

Wasserstoff in Thüringen

Ausgangslage, Potentiale und Handlungsoptionen



Gutachterliche Betrachtung

Wasserstoff in Thüringen

Ausgangslage, Potentiale und Handlungsoptionen

Auftraggeber

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

Auftragnehmer

Bauhaus-Universität Weimar
Bauhaus-Institut für zukunftsweisende Infrastruktursysteme (b.is)
Professur Energiesysteme
Coudraystraße 7
99423 Weimar

Bearbeitung

Prof. Dr. Mark Jentsch, Sebastian Büttner, Nicole Meyer

Weimar, Oktober 2019

Disclaimer

Die in diesem Dokument zusammengefassten Inhalte beruhen auf dem aktuellen Stand der Informationen, die dem Auftragnehmer zum Zeitpunkt der Erstellung der gutachterlichen Betrachtung aus öffentlich zugänglichen Informationsquellen bzw. aus Gesprächen mit Branchenvertretern vorlagen.

Der Auftragnehmer hat sich um Vollständigkeit der Bestandsaufnahme zu den Wasserstoffaktivitäten und den für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft relevanten Rahmenbedingungen in Thüringen bemüht. Da der Markt sich derzeit in einer frühen Entwicklungsphase befindet, kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass einzelne Unternehmen, Akteure und Aspekte, die für strategische Entwicklung von Wasserstofftechnologien und -infrastrukturen in Thüringen relevant sind, in diesem Dokument nicht in ausreichendem Maße berücksichtigt wurden oder fehlen. Die Angaben zu möglichen Zeithorizonten für eine Umsetzung von Maßnahmen im Rahmen eines Markthochlaufs der Wasserstoffwirtschaft beruhen auf der persönlichen Einschätzung der Autoren.

Weiterhin wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Autoren dieses Dokuments an der im Text erwähnten Machbarkeitsstudie zum Einsatz von Wasserstoff-Brennstoffzellen-Triebwagen in Thüringen beteiligt waren, eine koordinierende Funktion im ebenfalls erwähnten Forschungsbündnis H₂-Well übernehmen und an Forschungsarbeiten zu dezentralen Wasserstoffinfrastrukturen auf der Kläranlage Sonneberg-Heubisch mitgewirkt haben. Prof. Dr. Jentsch ist zudem Vorsitzender des wissenschaftlichen Beirats des Fördervereins Institut für Angewandte Wasserstoffforschung Sonneberg e.V. (HySON).

Die Professur des Hauptautors, Prof. Dr. Jentsch ist eine Stiftungsprofessur, die zu je einem Drittel von der Firma AVX/KUMATEC Hydrogen GmbH & Co. KG, vom Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft (TMWWDG) und der Bauhaus-Universität Weimar getragen wird. Darüber hinaus wird die Ausstattung der Professur durch die Stiftung für Technologie, Innovation und Forschung Thüringen (STIFT) finanziell unterstützt.

Inhalt

1	Hintergrund und Zielstellung	1
2	Ausgangslage	2
2.1	Wirtschaftsstruktur	3
2.2	Forschungsinfrastruktur	4
2.3	Bestehende technische Infrastrukturen	4
2.4	Wirtschaftliche und gesellschaftliche Herausforderungen	7
3	Bestandsaufnahme der Wasserstoffaktivitäten	9
3.1	Hersteller von Komponenten und Technologien für Wasserstoffanwendungen	9
3.2	Dienstleister für Wasserstoffanwendungen	10
3.3	Erzeugerstrukturen und derzeitiger Wasserstoffbedarf in Thüringen	10
3.4	Infrastrukturen für die Wasserstoffnutzung	11
3.5	Forschungs- und Entwicklungsprojekte	12
3.6	Vernetzungsaktivitäten	12
4	Potentiale für Wasserstoffsysteme und -infrastrukturen	13
4.1	Wasserstofferzeugung, -weiterverarbeitung und -speicherung	13
4.2	Wasserstoffverteilung	14
4.3	Wasserstoffanwendungen	16
4.4	Forschung, Entwicklung und Produktion von Komponenten und Systemen	17
4.5	Dienstleistungsangebote in der Wasserstoffwirtschaft	18
5.	Handlungsoptionen für die strategische Entwicklung	19
5.1	Schaffung von geeigneten Rahmenbedingungen	19
5.2	Umsetzung von initialen Wasserstoffprojekten	19
5.3	Unterstützung der strategischen Entwicklung	20
6.	Netzwerkarbeit und Akzeptanzförderung	21
	Quellenverzeichnis	21

1. Hintergrund und Zielstellung

Der voranschreitende **Wandel des globalen Klimas** mit seinen **Auswirkungen auch auf regionaler und lokaler Ebene** verlangt nach Lösungen, die Emissionen von Treibhausgasen signifikant zu reduzieren, und zwar zeitnah. Für eine effektive Reduzierung bedarf es daher Maßnahmen auf allen Ebenen, also auch in den Bundesländern und Regionen.

Das **Thüringer Klimagesetz** (ThürKlimaG) liefert in Thüringen die Grundlage für die Umsetzung der erforderlichen Maßnahmen für einen effektiven Klimaschutz und zur Anpassung an Klimawandelfolgen. Mit dem Ziel, „den Energiebedarf in Thüringen ab dem Jahr 2040 bilanziell durch einen Mix aus erneuerbaren Energien aus eigenen Quellen zu decken“, wird im ThürKlimaG ein klarer Rahmen zur Energieeinsparung, Energieeffizienz und erneuerbaren Energieerzeugung vorgegeben. Um dieses Ziel in sämtlichen energierelevanten Sektoren zu realisieren, sind in den nächsten Jahren grundlegende Veränderungen im Rahmen einer **sektorenübergreifenden Energie- und Mobilitätswende** notwendig.

Wasserstofftechnologien stellen einen wichtigen Baustein im Energiesystem der Zukunft dar, da sich mit erneuerbaren Energieträgern **grüner Wasserstoff** emissionsfrei herstellen lässt, der in der Elektrizitätswirtschaft, im Verkehrswesen und bei der Wärmebereitstellung vielfältig Anwendung finden kann und sich vor allem auch **längerfristig speichern** lässt. Die Nutzung von durch Wasserelektrolyse erzeugtem Wasserstoff bietet hierbei insbesondere dort Potentiale, wo eine direkte Stromnutzung technisch schwer zu realisieren ist. Weitere potentielle Anwendungen für Wasserstofftechnologien bestehen in der **Dekarbonisierung von Industrieprozessen** beziehungsweise in der Nutzung des Elektrolyseproduktes Sauerstoff, zum Beispiel in der weitergehenden Abwasserreinigung.

Die Relevanz von Wasserstofftechnologien für die zukünftige Energieversorgung ist inzwischen in vielen Ländern erkannt worden. So gibt es in **Japan** bereits seit 2017 eine **grundlegende Wasserstoffstrategie**, in der ausgehend von den strukturellen Herausforderungen der Versorgung Japans mit Energie strategische Ansätze zur Umsetzung der Wasserstoffwirtschaft gemacht werden, wobei der Entwicklung einer Lieferkette mit im Ausland nachhaltig hergestelltem Wasserstoff eine große Bedeutung zukommt (METI, 2017). Aber auch in **Europa** sind strategische Ansätze für die Umsetzung von Wasserstofftechnologien entwickelt worden, so zum Beispiel in **Frankreich** mit dem **Wasserstoffentwicklungsplan** zur Dekarbonisierung der Industrie, Energiespeicherung und Sicherstellung einer emissionsfreien Mobilität (République Française, 2018). Weiterhin wurde im Rahmen der **österreichischen EU-Ratspräsidentschaft** in der zweiten Jahreshälfte 2018 eine **Wasserstoffinitiative** mit Eckpunkten für nachhaltige Wasserstofftechnologien aufgesetzt, die von 26 EU-Staaten, unter Ihnen auch Deutschland, sowie der Schweiz und Island unterzeichnet wurde (BMNT, 2018). Dieser Initiative folgend soll bis Ende 2019 die **Österreichische Wasserstoffstrategie** fertiggestellt werden (BMNT, 2019).

In **Deutschland** hat die Bundesregierung ebenfalls den Beschluss einer **Wasserstoffstrategie bis Jahresende 2019 angekündigt** (BMW, 2019). Darüber hinaus sind in verschiedenen Bundesländern Strategiedokumente für Wasserstofftechnologien in der Vorbereitung. Auf Grundlage eines im April 2019 vorgelegten Eckpunktepapiers, das neben Handlungsfeldern auf regionaler Ebene Forderungen an

den Bund und die EU enthält, wollen die Länder **Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein** möglichst noch bis Ende 2019 die **Norddeutsche Wasserstoff-Strategie** fertigstellen und politisch beschließen (Ministerielle Arbeitsgruppe, 2019). In **Bayern** ist im September 2019 durch die Bayerische Staatsregierung das Zentrum Wasserstoff.Bayern (H2.B) gegründet worden, das in den kommenden Monaten eine **bayerische Wasserstoffstrategie** erarbeiten soll (StMWi, 2019). In **Brandenburg** sind mit einer im Juli 2019 vorgelegten **Potentialstudie** bereits die Eckpunkte für eine Wasserstoffstrategie gelegt worden, wobei die Maßnahmenvorschläge insbesondere auf große Infrastruktur- und Industrieprojekte abzielen (MWE, 2019; Nozharova & Diewald, 2019). Mit der **Wasserstoffstudie Nordrhein-Westfalen** liegt auch in Nordrhein-Westfalen eine umfangreiche Betrachtung der Potentiale von Wasserstofftechnologien vor, die auch Handlungsempfehlungen für die Wasserstoffherstellung, den Aufbau von Wasserstoffinfrastrukturen und die Steigerung der Wasserstoffnachfrage umfasst (Michalski et al., 2019). Darüber hinaus gibt es in vielen Bundesländern einen politischen Diskurs zum Thema Wasserstofftechnologien, der häufig vor dem Hintergrund der jeweiligen wirtschaftlichen und technologischen Besonderheiten der Region geführt wird. Außerdem finden Themen der Wasserstoffwirtschaft Erwähnung in energiepolitischen Dokumenten. Für **Thüringen ergibt sich hierbei die Chance**, auf Basis der regionalen Kompetenzen einen **eigenen Entwicklungspfad in Ergänzung zu den Entwicklungen in anderen Regionen** zu beschreiten.

Ziel dieser Betrachtung ist es, ausgehend von den veröffentlichten **Eckpunkten einer Thüringer Wasserstoffstrategie** (TMUEN, 2019b), die **Ausgangslage** sowie die **Potentiale und Handlungsoptionen für die Umsetzung** von grünen Wasserstofftechnologien und Wasserstoffinfrastruktursystemen in Thüringen zu ermitteln. In Vorbereitung auf den anstehenden Markthochlauf werden weiterhin die **Möglichkeiten für die strategische Entwicklung** einer grünen Wasserstoffwirtschaft aufgezeigt.

2. Ausgangslage

Die technischen und räumlichen **Rahmenbedingungen in Thüringen sind günstig** für die Umsetzung einer grünen Wasserstoffwirtschaft und den dazugehörigen Markthochlauf, sofern die dafür erforderlichen regulatorischen Voraussetzungen geschaffen werden.

Die **kleinteilige Wirtschaftsstruktur** mit flexibel agierenden kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) sowie die **dezentral über die Landesfläche verteilten Erzeugerstrukturen von Erneuerbaren-Energien-Anlagen** begünstigen die technische Entwicklung und den Aufbau von dezentralen Wasserstoffinfrastrukturen. Gelingt es, dies im Zusammenwirken mit den **wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Herausforderungen**, vor denen das Land steht, zu realisieren, dann können Wasserstofftechnologien ein Erfolgskonzept für Thüringens Zukunft werden.

Thüringen hat die **Chance**, in einem **Bottom-up-Prozess** der kleinen Schritte auf breiter Basis eine integrierte Energie- und Mobilitätswende mit Hilfe von Wasserstofftechnologien umzusetzen. Diese Chance, deren Hintergründe im Folgenden erörtert werden, gilt es jetzt zu nutzen. Gleichzeitig bieten sich auch Chancen, **großskalige Ansätze zur Wasserstoffnutzung** zu realisieren, etwa für die Substitution von Erdgas in Prozessanwendungen in der glas-, aluminium- und stahlverarbeitenden Industrie.

2.1 Wirtschaftsstruktur

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 1.1 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 1.2 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 1.3 zeigt, im Bundesvergleich gesehen unterdurchschnittlichen Anteil von wirtschaftlich ausgerichteten Dienstleistungen.

Fazit für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft: Das **produzierende Gewerbe, vor allem im Bereich der KMU, ist ein Standortvorteil** Thüringens, auf dem sich aufbauen lässt. KMU, die in der Zulieferkette arbeiten, haben Erfahrungen im schnellen und flexiblen Reagieren auf Herausforderungen und Veränderungen. Sie können sich auf neue Marktsegmente einstellen, wobei die kostengünstigen Strukturen und vergleichsweise direkten, kurzen Entscheidungswege für die Umsetzung von Innovationen wie der Wasserstofftechnologie von Vorteil sind. Die Einführung der Wasserstoffwirtschaft erfordert zudem **neue technische und wissenschaftliche Dienstleistungen**. Dies kann zur Stärkung und zum Ausbau des tertiären Sektors beitragen und die Attraktivität der Region erhöhen.

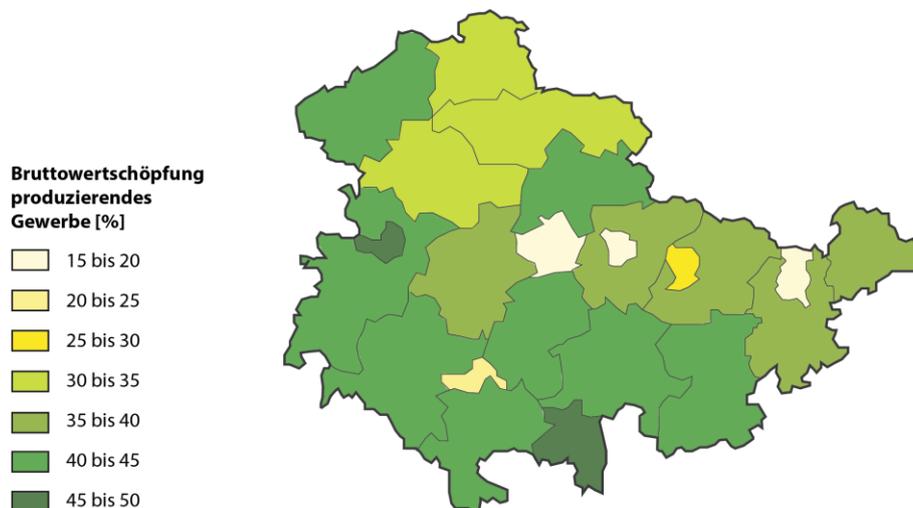


Abb. 1.1: Anteil des produzierenden Gewerbes (sekundären Sektors) an der Bruttowertschöpfung 2016 nach Landkreisen / kreisfreien Städten in Thüringen (Datenquelle: DESTATIS, 2019)

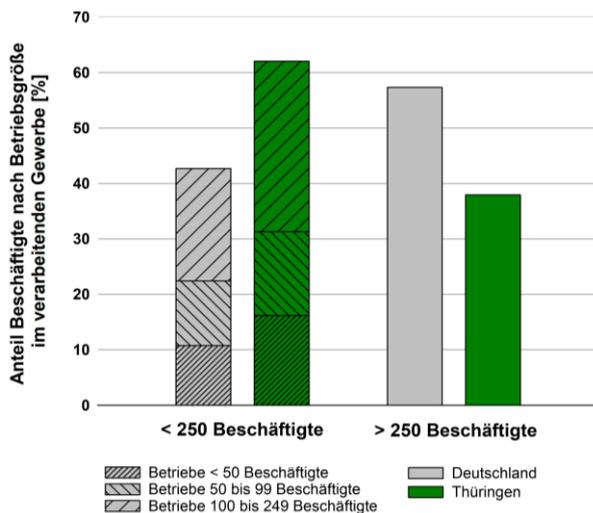


Abb. 1.2: Anteil der Beschäftigten im verarbeitenden Gewerbe nach Betriebsgröße in Deutschland und Thüringen, September 2017 (Datenquelle: DESTATIS, 2019).

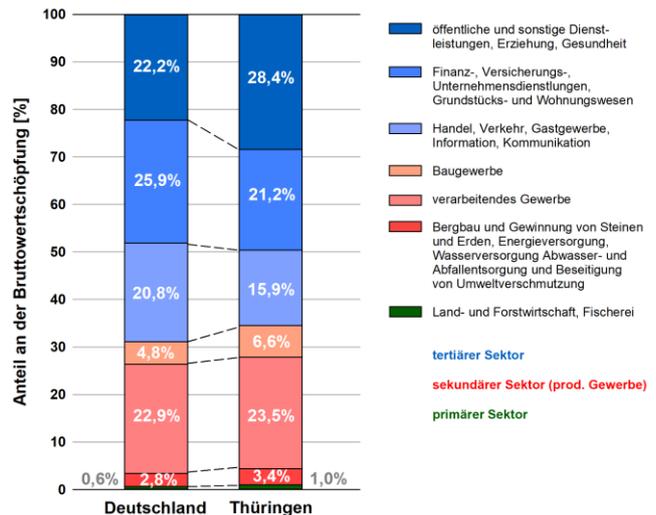


Abb. 1.3: Anteil der verschiedenen Wirtschaftszweige an der Bruttowertschöpfung in Deutschland und Thüringen 2016 (Datenquelle: DESTATIS, 2019)

2.2 Forschungsinfrastruktur

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, außeruniversitären Forschungseinrichtungen 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 (Hermsdorf, Jena), Elektrotechnik / Maschinen- und Fahrzeugbau / Systemtechnik (Ilmenau), Sensorik (Ilmenau, Erfurt), Energietechnik (Nordhausen), Bauwesen / Infrastruktursysteme (Weimar). Ein spezifischer Schwerpunktbereich oder Standort zur Forschung im Bereich Wasserstofftechnologien existiert bisher nicht.

Fazit für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft: Die vorhandene Forschungsinfrastruktur in Thüringen bietet sowohl im Bereich der Grundlagenforschung als auch in der angewandten Forschung **günstige Voraussetzungen** für die Entwicklung von Komponenten der Wasserstoffwirtschaft und deren Umsetzung in Pilotanlagen und -systemen, da relevante Forschungsexpertise vorhanden ist. Bei einer entsprechenden **Vernetzung innerhalb Thüringens** lassen sich Synergien in der Forschung zu Wasserstofftechnologien erzielen, die den Forschungsstandort stärken können.

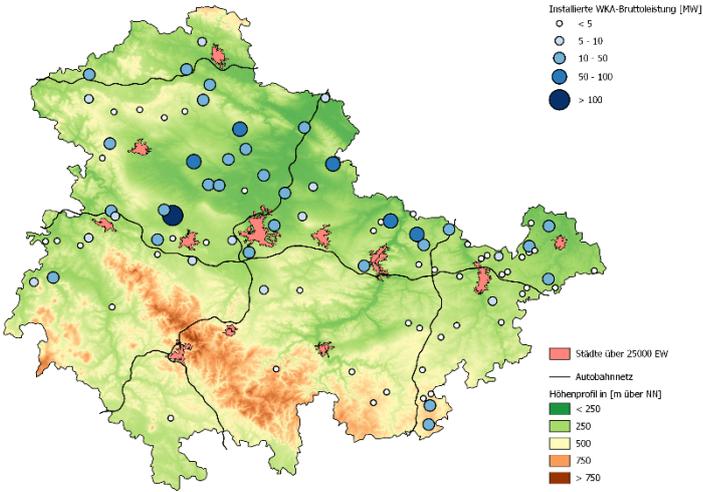
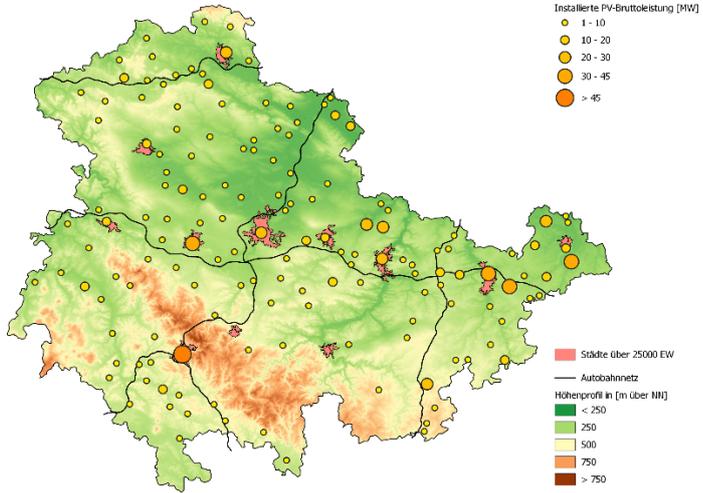
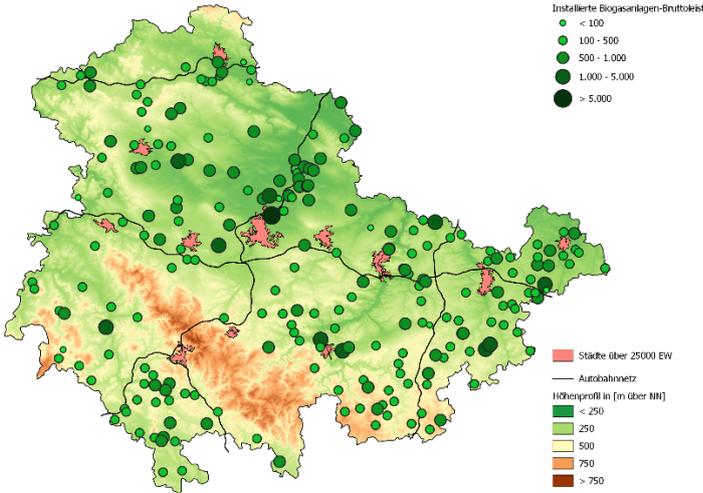
2.3 Bestehende technische Infrastrukturen

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 Zella-Mehlis sowie 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 Bleichloch vier große netzdienliche Elektrizitätsspeicher mit einer Gesamtkapazität von 12,1 GWh (Schmid et al., 2011). Wie Tabelle 1.1 verdeutlicht, sind **Erneuerbare-Energien-Anlagen in signifikanter Größenordnung dezentral über Thüringen verteilt**, bei Windkraftanlagen allerdings mit einem regionalen Schwerpunkt nördlich der A4. Innerhalb der nächsten 7 Jahre fallen nennenswerte installierte Leistungen an Windkraft- und Biogasanlagen aus den Vergütungsstrukturen entsprechend des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) heraus. Für diese müssen, sofern keine Repoweringmaßnahmen vorgesehen sind, im Rahmen der technischen Restlaufzeiten Lösungen gefunden werden.
- **Gaswirtschaft:** Thüringen wird von zwei wichtigen Ost-West Transitleitungen für Erdgas durchquert und **besitzt erschlossene Erdgasspeicher** in Allmenhausen und Kirchheilingen, die als Porenspeicher jedoch nur bedingt für eine Speicherung von Wasserstoff geeignet sind (Kleinickel, 2014). Grundsätzlich eignen sich diese Speicher besser **für die Speicherung von synthetisch aus Wasserstoff hergestelltem Methan**, während für die reine Wasserstoffspeicherung vor allem eigens dafür hergestellte **Kavernen** in Frage kommen, welche in Thüringen derzeit nicht existieren. Es gibt in Thüringen jedoch geeignete geologische Formationen zur Herstellung von Kavernen zur Wasserstoffspeicherung bzw. ggf. nutzbare Altkavernen aus der Gewinnung von Kalisalzen (Kleinickel, 2014).
- **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 **Transitland** und ein **wichtiger Logistikstandort**. Der Anteil der **Auspendler** über die Kreisgrenzen hinweg ist hierbei in Thüringen sehr ausgeprägt mit nur 3 Kreisen mit einem Auspendleranteil der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten von unter 30 % (TLS, 2017). 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 2014 in Thüringen mit 23 % über dem Bundesdurchschnitt von 21 % (Ebert et al., 2016; UBA, 2019).

Tabelle 1.1: Windkraftanlagen, große Photovoltaikanlagen und landwirtschaftliche Biogasanlagen in Thüringen.

Lage und installierte Leistung Erneuerbarer-Energie-Anlagen	Gesamtleistung, Ausscheiden aus EEG
 <p>Installierte WKA-Bruttoleistung [MW]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ < 5 ○ 5 - 10 ○ 10 - 50 ○ 50 - 100 ● > 100 <p>Städte über 25000 EW</p> <p>Autobahnnetz</p> <p>Höhenprofil in [m über NN]</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ < 250 ■ 250 ■ 500 ■ 750 ■ > 750 	<p>Windkraftanlagen</p> <p>Stichtag: 31.12.2017</p> <p>Installierte Gesamtleistung: 1,5 GW</p> <p>Installierte Leistung, die von 2021 bis 2026 zum jeweiligen 01.01. aus den Regelungen des EEG ausscheidet:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 2021 – 140,4 MW ● 2022 – 45,7 MW ● 2023 – 56,5 MW ● 2024 – 136,3 MW ● 2025 – 69,6 MW ● 2026 – 13,0 MW <p>Datenbasis: TLVwA, 2018</p>
 <p>Installierte PV-Bruttoleistung [MW]</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 1 - 10 ● 10 - 20 ● 20 - 30 ● 30 - 45 ● > 45 <p>Städte über 25000 EW</p> <p>Autobahnnetz</p> <p>Höhenprofil in [m über NN]</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ < 250 ■ 250 ■ 500 ■ 750 ■ > 750 	<p>Photovoltaikanlagen / -parks > 1 MW *1</p> <p>Stichtag: 31.12.2017</p> <p>Installierte Gesamtleistung: 1,3 GW</p> <p>Installierte Leistung, die von 2021 bis 2026 zum jeweiligen 01.01. aus den Regelungen des EEG ausscheidet:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 2021 – 0,0 MW ● 2022 – 0,0 MW ● 2023 – 0,0 MW ● 2024 – 0,0 MW ● 2025 – 0,0 MW ● 2026 – 2,4 MW <p>Datenbasis: Bundesnetzagentur, 2019</p>
 <p>Installierte Biogasanlagen-Bruttoleistung [kW]</p> <ul style="list-style-type: none"> ● < 100 ● 100 - 500 ● 500 - 1.000 ● 1.000 - 5.000 ● > 5.000 <p>Städte über 25000 EW</p> <p>Autobahnnetz</p> <p>Höhenprofil in [m über NN]</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ < 250 ■ 250 ■ 500 ■ 750 ■ > 750 	<p>Landwirtschaftliche Biogasanlagen</p> <p>Stichtag: 01.05.2015 *2</p> <p>Installierte Gesamtleistung: 106 MW</p> <p>Installierte Leistung, die von 2021 bis 2026 zum jeweiligen 01.01. aus den Regelungen des EEG ausscheidet:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 2021 – 2,2 MW ● 2022 – 3,1 MW ● 2023 – 3,5 MW ● 2024 – 3,0 MW ● 2025 – 1,9 MW ● 2026 – 12,4 MW <p>Datenbasis: TLLLR, 2015</p>

*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.

- **Wärmebereitstellung:** Die Wärmebereitstellung in Thüringer Haushalten erfolgt derzeit **im Wesentlichen über Erdgas** gefolgt von Biomasse, Heizöl und Fernwärme (Ebert 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 2017 hatte Thüringen 555 kommunalen Kläranlagen mit einer Abwasserbehandlungskapazität von ca. 3,43 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, 2019a).

Fazit für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft: Die Voraussetzungen für den **Aufbau dezentraler Strukturen für die Erzeugung von Wasserstoff** im Zusammenhang mit Erneuerbaren-Energien-Anlagen sind günstig, um beispielsweise technische Restlaufzeiten optimal auszunutzen. Bei bestehenden **Biogasanlagen** besteht zudem die Möglichkeit, über die **Synthese von CO₂ aus der Anlage mit Wasserstoff**, die Methanausbeute zu erhöhen und **grünes Methan ins bestehende Erdgasnetz einzuspeisen**. Hiermit kann die CO₂-Intensität der gasgebundenen Wärmebereitstellung gesenkt und die Energiewende im Thüringer Gassektor unterstützt werden. Die dezentrale Verteilung von Erzeugerkapazitäten für erneuerbare Elektrizität in Thüringen liefert zudem günstige Voraussetzungen für den Aufbau von **dezentralen Wasserstoffbetankungsinfrastrukturen mit Vor-Ort-Elektrolyseanlagen zur lokalen Treibstoffversorgung** von Brennstoffzellenfahrzeugen z.B. in der Logistik und Kommunalwirtschaft sowie dem ÖPNV und Individualverkehr. Durch die vorhandenen großen Windparks ist auch die Möglichkeit zur Errichtung größerer Power-to-Gas-Anlagen z.B. zur **Wasserstoffversorgung von Schienenfahrzeugen** oder zur **netzdienlichen Rückverstromung** gegeben. Für den bei der Elektrolyse entstehenden Sauerstoff ergeben sich Einsatzmöglichkeiten bei der **Ozonherstellung für die Reinigung von Mikroschadstoffen** auf den großen Thüringer Kläranlagenstandorten.

2.4 Wirtschaftliche und gesellschaftliche Herausforderungen

Thüringen steht in den nächsten Jahren vor einer **Reihe von Herausforderungen**, die sich zum Teil aus den bestehenden wirtschaftlichen Strukturen und den daraus resultierenden Abhängigkeiten und zum anderen aus gesellschaftlichen Faktoren ableiten:

- Durch die bereits im Abschnitt 2.1 genannte Zulieferfunktion vieler Unternehmen in Thüringen bestehen im Sinne einer „*verlängerten Werkbank*“ **externe Abhängigkeitsverhältnisse von Großunternehmen**, die außerhalb Thüringens angesiedelt sind. Dies gilt insbesondere in der Automobilzulieferindustrie als strukturelles Defizit, ebenso wie die oftmals kleinen Betriebsgrößen, die Standortausrichtung auf reine Fertigungsprozesse, die insgesamt eher geringen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten sowie die im Vergleich niedrigen Löhne (Olle et al., 2018). Zentrale Herausforderung für die Zukunftsfähigkeit ist daher die Verringerung dieser Abhängigkeiten von OEM, was den **Innovationsdruck zur Entwicklung eigener Produktlinien** erhöht.
- Die **Digitalisierung, neue Werkstoffe und Fertigungstechnologien sowie die Transformation der Mobilität** zu neuen Antriebssträngen, Connected Car Konzepten und autonom fahrenden

Systemen werden in den nächsten Jahren große Veränderungen in den für Thüringen wichtigen Branchen der Automobilzulieferindustrie und der Elektroindustrie mit sich bringen. Aus diesem sich verändernden Marktumfeld entstehen insbesondere für KMU, die in Nischenbereichen des verarbeitenden Gewerbes tätig sind, **neue Wachstumschancen**.

- Der **Mangel an Fachkräften** sowie der **demografische Verlust von Fachkräften** wird sich bei einer insgesamt bis 2030 voraussichtlich **weiter schrumpfenden Bevölkerung** in Thüringen, wie Abbildung 1.4 zeigt, perspektivisch weiter verschärfen. Dies gilt insbesondere auch für Landkreise, die einen hohen Anteil der Bruttowertschöpfung im produzierenden Gewerbe aufweisen (siehe auch Abb. 1.1), denn schon jetzt gilt Thüringen als das **Bundesland mit den stärksten Engpässen an Fachkräften nach Baden-Württemberg** (Burstedde, 2017).
- Mit etwas über 23 % war der Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch in Thüringen im Jahr 2014 der zweithöchste aller Bundesländer nach Mecklenburg-Vorpommern (Diekmann et al., 2017). Auch wenn dieser Anteil bis 2016 auf 24,5 % gesteigert werden konnte (LAK, 2019), stellt eine weitere Erhöhung eine Herausforderung dar, um das Ziel des ThürKlimaG, ab 2040 den Energiebedarf in Thüringen bilanziell aus erneuerbaren Energiequellen im Land zu decken, zu erreichen. Die hierfür **erforderliche Transformation des Thüringer Energiesektors** bedeutet, dass der Bedarf an integrierten Konzepten für die Energieerzeugung, effiziente Energieverteilung und -nutzung steigen wird, woraus **Chancen für neue Geschäftsmodelle** erwachsen.

Fazit für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft: Neue wirtschaftliche Aktivitäten zu Wasserstofftechnologien können auf in der Region vorhandenen Kompetenzen in der Automobilzulieferindustrie und Elektrobranche aufbauen, bei der Reduktion von externen Abhängigkeiten helfen und zur **Steigerung der Attraktivität des lokalen Arbeitsmarktes** in wichtigen Zukunftsbranchen beitragen, um Fachkräfte für Thüringen zu gewinnen. Es besteht die Möglichkeit, in den vom produzierenden Gewerbe geprägten ländlichen Regionen Thüringens **attraktive Zukunftsperspektiven** zu schaffen. Gleichzeitig kann der **demografische Wandel** mit **neuen wasserstoffbasierten Infrastrukturkonzepten** in den Bereichen Energie, Mobilität und der erweiterten Abwasserbehandlung **gestaltend begleitet** werden. Thüringen hat hierbei die Chance, einen **eigenständigen Weg** in die Wasserstoffwirtschaft zu entwickeln, wodurch sich auch Synergiepotentiale im Austausch mit anderen Regionen ergeben.

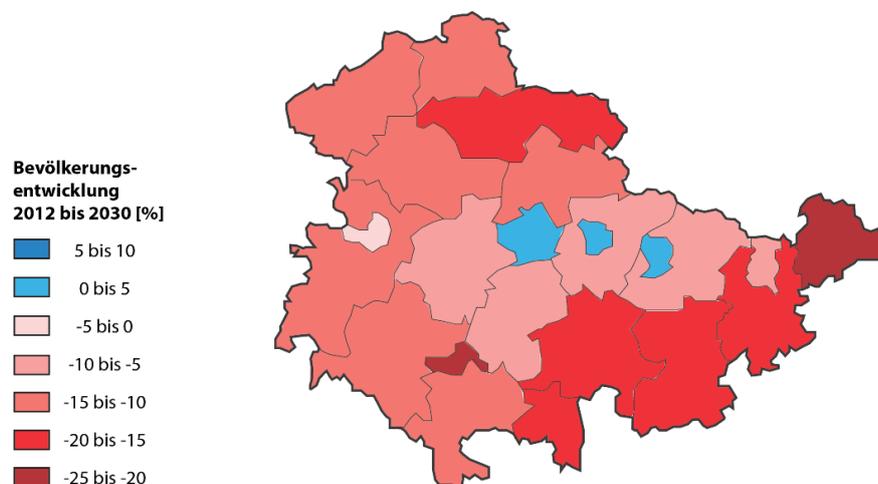


Abb. 1.4: Prognose der relativen Bevölkerungsentwicklung von 2012 bis 2030 nach Landkreisen / kreisfreien Städten in Thüringen (Datenquelle: Bertelsmann Stiftung, 2019)

3. Bestandsaufnahme der Wasserstoffaktivitäten

Die Aktivitäten in Thüringen mit einem direkten Bezug zu Wasserstofftechnologien und -anwendungen sowie der Entwicklung der dazugehörigen Dienstleistungen und Infrastrukturen halten sich bisher in einem **überschaubaren Rahmen**. Sie werden im Folgenden dargestellt.

3.1 Hersteller von Komponenten und Technologien für Wasserstoffanwendungen

Firmen, die **direkt Komponenten und Technologien für Wasserstoffanwendungen** herstellen, konzentrieren sich in Thüringen derzeit auf einige wenige technologische Ansätze und sind **räumlich in Nordhausen, im Landkreis Sonneberg, um Ilmenau und in Hermsdorf** 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 2400 bar, Hydraulische Nachverdichter für Wasserstoff, Hochdruckprüftechnik für Wasserstoffkomponenten, Gasregel- und -verbindungstechnik für Wasserstoffanwendungen

Sonneberg:

- **AVX/KUMATEC Hydrogen GmbH & Co. KG** (Neuhaus-Schierschnitz, Maschinen- und Anlagenbau): alkalische Druckelektrolyse bis 100 bar, Systemkomponenten für die Druckelektrolyse (Füllstandsmesssystem, Servoventiltechnik, kaskadierte Wasserstoffreinigung), PEM-Elektrolyse
- **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, Messtechnik und Prozessautomatisierung): DC-DC-Konverter für Brennstoffzellen mit integrierten Überwachungs- und Steuerungsfunktionen für die Brennstoffzelle und Peripherie, Stromversorgungen für Elektrolyseure
- **UST Umweltsensortechnik GmbH** (Geschwenda, Messtechnik und Prozessautomatisierung): Gasspürgeräte und keramische Sensorsysteme zur Detektion und Messung von Wasserstoff

Hermsdorf:

- **Siegert Thinfilm Technology GmbH** (Hermsdorf, Messtechnik und Prozessautomatisierung): Drucksensoren für Wasserstoff
- **TRIDELTA Thermprozess GmbH** (Hermsdorf, Maschinen- und Anlagenbau): wasserstoffbetriebene Wärmebehandlungsanlagen (thermischer Apparatebau)

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**, in der bereits Drehschieberpumpen und Seitenkanalverdichter gefertigt wurden, 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 Antriebstrangs Neuentwicklungen vorantreiben. So entwickelt und fertigt die **FRAMO GmbH** in **Löbichau** elektrische LKW für die Kommunalwirtschaft, die Warenverteilung und die Bauwirtschaft in den Größenklassen von 7,5 bis 44 Tonnen, 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 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 Antriebstrangs auch Grundlage für Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeuge** ist, sind bei einem Markthochlauf von Brennstoffzellenfahrzeugen folglich mit den vorhandenen Firmen grundlegende Kompetenzen in Thüringen bereits vorhanden.

3.2 Dienstleister für Wasserstoffanwendungen

Bisher gibt es in Thüringen wenige Dienstleister, die sich mit Wasserstoffthemen befassen. Der **TÜV Thüringen** 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. Weiterhin erbringt die **EnviroConsult IngenieurBüro Dr. Lux e.K.** aus **Erfurt** Dienstleistungen zur Entwicklung von Anlagenschutz- und Störfallkonzepten, Explosionsschutzprüfungen sowie der Durchführung von Genehmigungsverfahren für Wasserstoffanlagen. 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.

3.3 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 wird gegenwärtig vom Deutschen Verein des

Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW) die **Power-to-Gas-Anlage auf der Kläranlage Sonneberg-Heubisch** aufgeführt (DVGW, 2019), die sich als Forschungsanlage im Versuchsbetrieb befindet.

Da Wasserstoff deutschlandweit derzeit nahezu ausschließlich prozesstechnisch genutzt wird und in Thüringen keine entsprechenden industriellen Strukturen in der Chemieindustrie vorhanden sind, ist die **Anzahl der Wasserstoffverbraucher in Thüringen übersichtlich**. 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 auch 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-Immelborn) zum Einsatz. Die Bedarfe sind dabei jedoch so gering, dass diese über eine Belieferung mit flüssigem Wasserstoff in vakuumisolierten Behältern oder gasförmigem Wasserstoff in Druckbehältern gedeckt werden.

3.4 Infrastrukturen für die Wasserstoffnutzung

Leitungsgebundene Wasserstoffinfrastrukturen oder Wasserstoffspeicher sind in Thüringen bisher nicht vorhanden. Die Energieversorger in Thüringen sind jedoch dabei, die Verträglichkeit von Wasserstoff im Erdgasnetz über den derzeitig zulässigen Rahmen hinaus zu prüfen. Die zum Stand Oktober 2019 einzige **Wasserstofftankstelle** in Thüringen, die als nichtöffentlicher Forschungsdemonstrator ausgeführt ist, befindet sich auf der **Kläranlage Sonneberg-Heubisch**. Weiterhin befindet sich auf dem Werksgelände der Firma AVX/Kumatec Hydrogen GmbH & Co. KG in **Neuhaus-Schierschnitz** eine Betriebstankstelle mit Elektrolyseur im Aufbau. Die Betriebsaufnahme der **ersten öffentlichen Wasserstofftankstelle** in Thüringen ist für das vierte Quartal 2019 an der TOTAL Tankstelle Am Urbicher Kreuz in **Erfurt** angesetzt (H2 Mobility, 2019). Weitere öffentliche Wasserstofftankstellen des Zusammenschlusses H2 Mobility für den Ausbau des Wasserstofftankstellennetzes in Deutschland sind in Thüringen derzeit nicht in der Planung (H2 Mobility, 2019). Auch von anderer Seite bestehen zurzeit keine konkreten Tankstellenplanungen in Thüringen, die über eine Ideenfindung hinausgehen würden.

In einer vom Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz (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. Empfohlen wurde hierbei, in Rottenbach eine Bahnwasserstofftankstelle mit Betankungsoption für Straßenfahrzeuge einzurichten, die über eine **Logistikkette mit in bestehenden Thüringer Windparks über Elektrolyse erzeugtem grünen Wasserstoff** versorgt werden sollte. Eine Probefahrt mit dem Wasserstoff-Brennstoffzellen-Triebwagen Alstom Coradia iLint im Februar 2019 hat die grundsätzliche technische Machbarkeit demonstriert, so dass weitere Schritte für eine Umsetzung unternommen werden können.

3.5 Forschungs- und Entwicklungsprojekte

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 beziehungsweise befinden sich in der Umsetzung. Hieran waren/sind die folgenden **Thüringer Forschungseinrichtungen** beteiligt: das Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS in Hermsdorf, die Technische Universität Ilmenau, die Friedrich-Schiller-Universität Jena, das Leibnitz-Institut für Photonische Technologien e.V. in Jena, das CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH in Erfurt und die Bauhaus-Universität Weimar. Auch hier lassen sich **im Zusammenhang mit den vorhandenen Forschungseinrichtungen und Unternehmen 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
- **Hermsdorf:** Materialentwicklung für die Wasserstoffsensorik, katalytisch aktive Materialien für Wasserelektrolyseanwendungen, keramische Membranen / Membranreaktoren für Wasserstoffanwendungen, Mikro-Brennstoffzellensysteme
- **Jena:** photokatalytische Wasserstoffherstellung, katalytisch aktive Sensorschichten zur Wasserstoffdetektion, Systemuntersuchungen zu Wasserstoff-Untergroundspeichern
- **Sonneberg:** Wasserelektrolysesysteme, Systemintegration Elektrolysesauerstoff auf Kläranlagen
- **Nordhausen:** Wasserstoffspeicherung, Wasserstoffmotoren, Systemuntersuchungen
- **Erfurt:** Sensorik zur Prozessüberwachung in Wasserstoffsystemen
- **Weimar:** Systemuntersuchungen zu Wasserstoffinfrastrukturen

Das einzige bisher in Thüringen im Rahmen eines Forschungsvorhabens umgesetzte **Demonstrationsprojekt im technischen Maßstab** befindet sich auf der Kläranlage Sonneberg-Heubisch und besteht aus den Komponenten einer alkalischen Elektrolyseeinheit, einer Wasserstofftankstelle, einem Wasserstoff-Sauerstoff-Kreislaufmotor und einer Versuchskläranlage zur Reinsauerstoffnutzung aus der Wasserelektrolyse (Jentsch & Büttner, 2019). Im Rahmen des **Forschungsbündnisses H₂-Well** zur Entwicklung einer Wasserstoffmodellregion ist darüber hinaus geplant, in den Jahren bis 2022 in **Sonneberg** und **Apolda** weitere Wasserstoffinfrastrukturprojekte als Demonstratoren umzusetzen. Weiterhin gibt es in **Bad Langensalza** Erwägungen, eine Power-to-Gas-Anlage zu errichten, die aus einer großen Photovoltaik-Freilandanlage mit Strom gespeist werden soll (Wuggazer, 2019).

3.6 Vernetzungsaktivitäten

Der Themenbereich Wasserstofftechnologien ist seit etwa 2017/18 verstärkt in den Fokus verschiedener Thüringer Akteure aus Landespolitik, Wirtschaft, Wissenschaft, Kommune und Gesellschaft gekommen. 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 und im Juni 2019 fand die **1. Thüringer Wasserstoffkonferenz** 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, Wasserstoffsystemen und der dazugehörigen Infrastruktureinrichtungen zum Ziel und möchte sich aktiv in Technologietransfer und Öffentlichkeitsarbeit einbringen. Darüber hinaus ist die **Region Weimar und Weimarer Land** im September 2019 vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Rahmen der HyLand-Initiative als **HyStarter-Region** ausgewählt worden. Innerhalb dieses Programms soll die Region durch einen vom BMVI beauftragten Dienstleister dabei unterstützt werden, die Bevölkerung für den Themenbereich Wasserstofftechnologien zu sensibilisieren, wobei in Weimar der Themenbereich Bildung und Wissenstransfer im Vordergrund steht (BMVI, 2019).

4. Potentiale für Wasserstoffsysteme und -infrastrukturen

Die **spezifischen Potentiale für Wasserstoffsysteme und -infrastrukturen in Thüringen auf Basis erneuerbarer Energien** leiten sich aus der Ausgangslage für Wasserstofftechnologien in Thüringen sowie den bereits erfolgten Aktivitäten in diesem Bereich ab. Sie lassen sich, wie im Folgenden dargestellt, **thesenartig mit abgeschätzten Zeithorizonten für eine mögliche technische Umsetzung** zusammenfassen. Die tatsächlichen Umsetzungshorizonte werden hierbei ganz wesentlich von der Entwicklung der politischen, rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen abhängen.

4.1 Wasserstofferzeugung, -weiterverarbeitung und -speicherung

- **Dezentrale, kleine Erzeugerstrukturen:** Die vorhandenen, dezentral über Thüringen verteilten Erneuerbaren-Energien-Anlagen erlauben in sämtlichen Thüringer Landkreisen und Städten den Aufbau von dezentralen, kleinen Wasserelektrolyseanlagen im 2 bis 3-stelligen kW-Bereich, um im Markthochlauf den zukünftigen lokalen Bedarf an Wasserstoff für z.B. Mobilitätsanwendungen zu decken. Bei einem vorliegenden lokalen Wärmebedarf zum Beispiel zur Gebäudeheizung ist zudem ergänzend eine Prozesswärmenutzung aus der Elektrolyse denkbar. (Zeithorizont: 0 bis 4 Jahre)

- **Methanisierung an Biogasanlagen:** Bestehende Biogasanlagen benötigen nach Auslaufen der garantierten Einspeisevergütungen für Elektrizität entsprechend EEG neue Marktmodelle für einen wirtschaftlichen Weiterbetrieb. Die Vermarktung von aufbereitetem Biogas bietet hier Potentiale. Die Gasausbeute lässt sich hierbei durch die Synthese von Methan aus CO₂ aus der Anlage und Wasserstoff aus der Wasserelektrolyse steigern. Potentiale bestehen vor allem in einer biologischen Methanisierung über Bakterien. (Zeithorizont: 4 bis 7 Jahre)
- **Mittelgroße Power-to-Gas-Anlagen:** Die vor allem im Thüringer Becken vorhandenen großen Windparks mit installierten Leistungen > 10 MW erlauben den Aufbau von Power-to-Gas-Anlagen in Größenordnungen von 1 MW Leistung oder mehr, um z.B. Wasserstoff in definierten Mengen ins Erdgasnetz einzuspeisen oder für große Infrastrukturanwendungen wie Eisenbahnen zur Verfügung zu stellen. (Zeithorizont: 2 bis 5 Jahre)
- **Methanisierung an Industrieanlagen:** An Thüringer Standorten mit CO₂-intensiven Industrieprozessen lässt sich mit erneuerbarer Elektrizität und Power-to-Gas-Anlagen zur Wasserstoffherzeugung über einen nachgeschalteten Sabatier-Prozess oder Bioreaktoren mit CO₂ Methan erzeugen. Dieses Potential entsteht insbesondere bei der Einführung einer CO₂-Besteuerung. (Zeithorizont: 5 bis 10 Jahre)
- **Regionale Wertschöpfung:** Die dezentrale Wasserstoffherzeugung aus erneuerbarer Elektrizität ermöglicht es, in Thüringen regionale Wertschöpfungsketten aufzubauen, und zwar in Bereichen, wo diese bisher nicht oder nur eingeschränkt existieren (Kraftstoffe und Brenngase). (Zeithorizont: 0 bis 7 Jahre)
- **Überregionale Wasserstoffbereitstellung:** Die bestehenden Transitinfrastrukturen im Höchstspannungsnetz lassen sich perspektivisch in Grundlastzeiten mit erneuerbarer Elektrizität aus Norddeutschland für die Wasserstoffherzeugung mit großen Power-to-Gas-Anlagen im 2 bis 3-stelligen MW-Bereich nutzen, um eine überregionale Wasserstoffversorgung auch in angrenzende Bundesländer zu gewährleisten. (Zeithorizont: 10 bis 20 Jahre)
- **Untergrundspeicher:** Die bestehenden Erdgasspeicher in Thüringen können einen wichtigen Baustein in einem zukünftigen Power-to-Gas-System bilden. Sie erlauben die Speicherung von synthetisch aus Wasserstoff hergestelltem Methan und ggf. in kleinen Mengen Wasserstoff. Weiterhin gibt es in Thüringen geologische Voraussetzungen, die eine Erschließung von Salzkaavernen zur Wasserstoffspeicherung ermöglichen. (Zeithorizont: 5 bis 15 Jahre)

4.2 Wasserstoffverteilung

- **H₂-Kompakttankstellen:** Eine flächendeckende Umsetzung von kleinen, dezentralen Wasserstofftankstellen mit integrierter Wasserelektrolyse im, je nach Betankungsanforderung (PKW, LKW, Bus), 2 bis 3-stelligen kW-Bereich ist durch die vorhandenen, dezentral über Thüringen verteilten Erneuerbaren-Energien-Anlagen leicht zu erreichen. Besonders geeignet sind Wind- und Wasserkraftstandorte insbesondere, wenn für den erzeugten Strom keine EEG-Einspeisevergütung gezahlt wird. Dieser Ansatz, der schematisch in Abbildung 1.5 gezeigt wird, wäre bundesweit einmalig. Weitere Potentiale bestehen in der Verbindung mit einer Ladesäuleninfrastruktur für die batterieelektrische Mobilität. (Zeithorizont: 0 bis 4 Jahre)

- **Netzintegration von H₂-Kompakttankstellen:** Bei Vorliegen geeigneter Marktbedingungen kann eine räumliche Trennung zwischen Wasserstofftankstelle mit Elektrolyseur und Erneuerbaren-Energien-Anlagen mit entsprechendem Datenmanagement zur Ein- und Ausspeisung von Elektrizität über einen Grünstromtarif erfolgen. (Zeithorizont: 3 bis 6 Jahre)
- **Wasserstoffversorgung von Schienenfahrzeugen:** Für große Infrastrukturprojekte im Bereich der Wasserstoffmobilität, etwa dem Eisenbahnbetrieb, wird bis zu einer Änderung der Rahmenbedingungen in der Zusammensetzung des Elektrizitätspreises eine räumliche Trennung zwischen Wasserstofferzeugung an Erneuerbaren-Energien-Anlagen und der Wasserstofftankstelle notwendig sein. Hierfür müssen regionale Logistikstrukturen aufgebaut werden. Abbildung 1.6 zeigt diesen Ansatz schematisch auf, der bei einer entsprechenden Umsetzung in Thüringen die weltweit erste grüne Wasserstoffgestehungskette dieser Größenordnung darstellen würde. (Zeithorizont: 2 bis 5 Jahre)
- **Nutzung des Erdgasnetzes:** Das bestehende Erdgasnetz kann die Aufnahme und Verteilung von synthetischem Methan sicherstellen und zudem auch direkt Wasserstoff aus Power-to-Gas-Anlagen in definierten Mengen aufnehmen. (Zeithorizont: 2 bis 7 Jahre)
- **Leitungsgebundene Wasserstoffinfrastrukturen:** Langfristig besteht bei einem großflächigen Markthochlauf die Perspektive für leitungsgebundene Wasserstoffinfrastrukturen, wobei entweder ein Umbau des bestehenden Erdgasnetzes oder eigene Infrastrukturen denkbar sind. (Zeithorizont: 15 bis 25 Jahre)

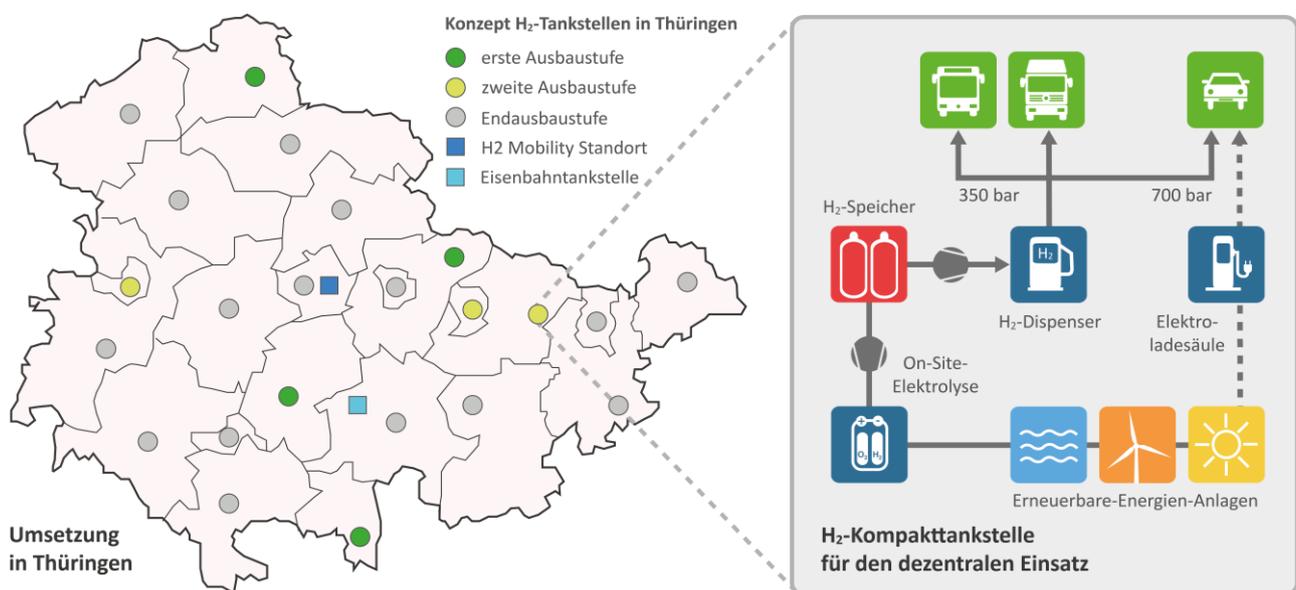


Abb. 1.5: Schematische Darstellung des Konzepts und der gestuften Umsetzung von H₂-Kompakttankstellen mit integrierter Wasserelektrolyse an Erneuerbaren-Energien-Anlagen in den Thüringer Landkreisen und Städten, ggf. ergänzt um Ladensäulen für batterieelektrische Fahrzeuge.

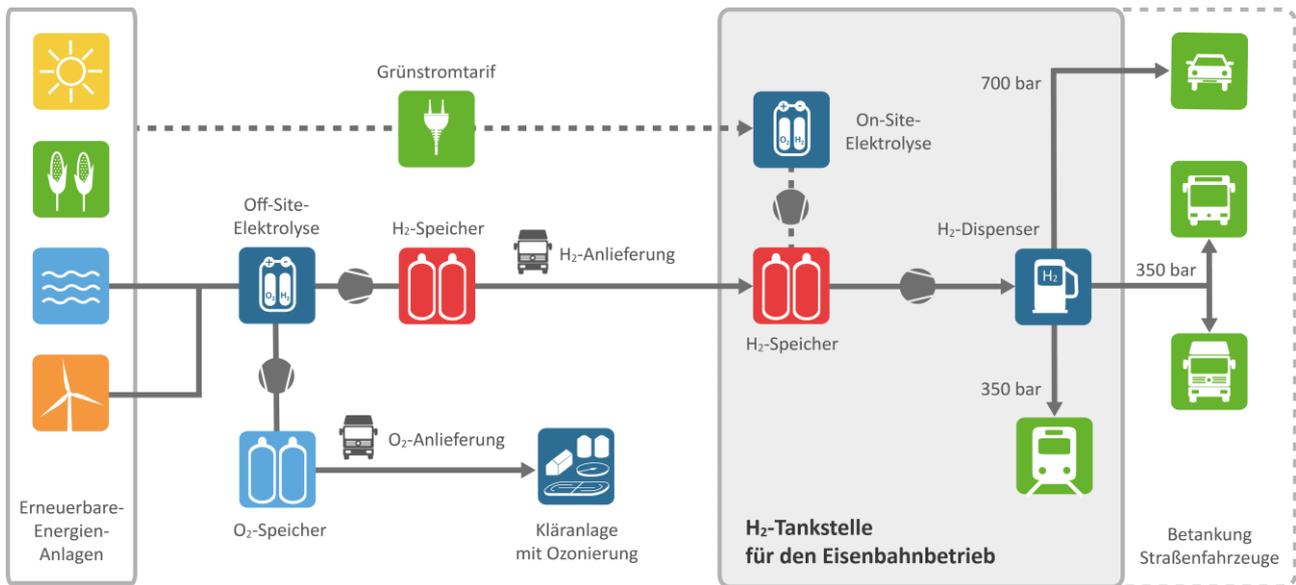


Abb. 1.6: Schematische Darstellung des Versorgungskonzepts einer Wasserstofftankstelle für den Eisenbahnbetrieb über eine Straßenlogistik mit an Erneuerbaren-Energien-Anlagen hergestelltem Wasserstoff unter Nutzung des Elektrolysesauerstoffs auf kommunalen Kläranlagen.

4.3 Wasserstoffanwendungen

- **Kommunale Fahrzeuge:** Busse und Müllfahrzeuge mit Wasserstoff-Brennstoffzellenantrieb sind bereits oder werden in absehbarer Zeit marktverfügbar. Sie sind geräuscharm und emissionsfrei, haben Reichweiten von bis zu ca. 400 km und können innerhalb weniger Minuten betankt werden. Damit eignen sie sich gut für Anwendungen im ländlichen Raum Thüringens. Aber auch lange Busumläufe in Thüringer Städten, für die es bisher keine emissionsfreien Fahrzeugalternativen gab, sind mit einer Tankfüllung möglich. (Zeithorizont: 0 bis 5 Jahre)
- **Logistikfahrzeuge:** Flurförderfahrzeuge auf Brennstoffzellenbasis sind bereits am Markt und LKW sollen in den nächsten Jahren marktverfügbar werden. Für die Thüringer Logistikbranche entstehen Möglichkeiten, frühzeitig eine emissionsfreie Lagerlogistik und Mobilität mit kurzen Betankungszeiten umzusetzen. Dies kann einen Erfahrungsvorsprung und damit Wettbewerbsvorteil bedeuten. Große Potentiale entstehen insbesondere für den innerstädtischen Lieferverkehr, die sogenannte letzte Meile, da die geräuscharmen und emissionsfreien Fahrzeuge weniger störend sind und damit früh morgens eingesetzt werden können. (Zeithorizont: 1 bis 5 Jahre)
- **Personenkraftwagen:** Brennstoffzellen-PKW mit Reichweiten von 500 bis 700 km sind marktverfügbar. Bei einem entsprechenden flächendeckenden Tankstellennetz entstehen Nutzungspotentiale insbesondere dadurch, dass sich schnelle Betankungszeiten in einem gewohnten Rahmen (Tankstelle) realisieren lassen. Der geringere Ressourcenbedarf als bei batterieelektrischen Fahrzeugen und die im Gegensatz zu Ladesäulen zeitliche Unabhängigkeit des Betankungsvorgangs von der Erzeugung des Kraftstoffes bieten Chancen im Mobilitätssystem der Zukunft, sind allerdings mit höheren Wirkungsgradverlusten als bei einem reinen batterieelektrischen Antrieb verbunden. Potentiale für Thüringen bestehen, wie in Abbildung 1.5 gezeigt wird, in der Demonstration eines technologieübergreifenden, dezentralen Versorgungssystems mit einem multimodalen

Ansatz zur gleichzeitigen Betankung von LKW, Bussen und ggf. Schienenfahrzeugen mit Brennstoffzellenantrieben. (Zeithorizont: 0 bis 6 Jahre)

- **Schienegebundene Fahrzeuge:** Mit Wasserstoff-Brennstoffzellen betriebene Triebwagen für den ÖPNV sind bereits marktverfügbar. Durch den geringen Elektrifizierungsanteil der Thüringer Bahnstrecken ist dies derzeit der einzige Weg, den schienegebundenen ÖPNV großflächig zu dekarbonisieren, da die alternativen batteriebetriebenen Triebwagen nur auf ausgewählten Bahnstrecken genutzt werden können. (Zeithorizont: 2 bis 5 Jahre)
- **Wasserstoff-BHKW:** Wasserstoffmotoren- oder brennstoffzellenbasierte BHKW sind für vorhandene, bisher mit Erdgas betriebene Thüringer BHKW-Standorte in Großsiedlungen mit Nah- oder Fernwärmeauskopplung eine Option insbesondere, wenn ein BHKW-Motorenwechsel ansteht. Hiermit kann zur Erreichung der Thüringer Klimaschutzziele im Wärmesektor beigetragen werden. Potentiale für die Umsetzung bestehen vor allem in Kombination mit Wasserelektrolyseanlagen, wobei die Betriebsregimes der Elektrolyse und Rückverstromung in Abhängigkeit des Elektrizitätsdargebots und Wärmebedarfs aufeinander abgestimmt werden müssen. Weiterhin entstehen Möglichkeiten für die Entwicklung von an diese Nutzung angepassten Wasserstoffspeichersystemen. (Zeithorizont: 7 bis 15 Jahre)
- **Home Fuel Cell Systeme:** Home Fuel Cell Systeme zur Bereitstellung von Wärme und Elektrizität aus Wasserstoff eröffnen bei neu entwickelten Siedlungen im Passivhausstandard im Zusammenspiel mit Photovoltaikanlagen, Batteriespeichern und kompakten, kleinen Elektrolyseuren Möglichkeiten, energieautarke Quartiere zu realisieren. Dem Wasserstoff kommt hierbei die Langzeitspeicherfunktion zu. (Zeithorizont: 0 bis 4 Jahre)
- **Substitution von grauem Industrierwasserstoff:** Derzeitige Wasserstoffverbraucher in Thüringen z.B. aus der Glasindustrie erhalten die Möglichkeit, CO₂-neutralen grünen Wasserstoff zu erwerben. (Zeithorizont: 3 bis 7 Jahre)
- **Industrielle Prozesswärme:** Die Substitution von Erdgas durch Wasserstoff in industriellen Produktionsprozessen bietet Möglichkeiten zur regionalen Dekarbonisierung. In Thüringen bestehen beispielsweise Potentiale in der Glasherstellung sowie der Aluminium- und Stahlverarbeitung, wobei die erforderlichen Gasmengen den gleichzeitigen Aufbau von großen Power-to-Gas-Infrastrukturen zur Wasserstofferzeugung bedingen. (Zeithorizont: 5-10 Jahre).
- **Elektrolysesauerstoffanwendungen:** Bei einer Einführung der sogenannten vierten Reinigungsstufe zur Reinigung von Mikroschadstoffen im Abwasser entsteht ein Marktumfeld für regional hergestellten Sauerstoff zur Vor-Ort-Umwandlung in Ozon. (Zeithorizont: 2 bis 7 Jahre)

4.4 Forschung, Entwicklung und Produktion von Komponenten und Systemen

- **Wasserstoffinfrastrukturkomponenten:** Thüringen besitzt günstige Voraussetzungen für die weitere technische Entwicklung von zentralen Infrastrukturkomponenten der Wasserstoffwirtschaft in den Bereichen Wasserelektrolyseanlagen, Wasserstoffverdichtung und Wasserstoff-tankstellen. Es besteht die Möglichkeit, den Industriezweig weiter auszubauen und Arbeitsplätze zu generieren. (Zeithorizont: 0 bis 3 Jahre)
- **Automatisierung und Messtechnik:** Die in Thüringen vorhandenen Kompetenzen in der Steuerungs- und Regelungstechnik sowie der Wasserstoffsensorik sind für die Umsetzung von Wasser-

stoffinfrastruktursystemen insbesondere beim Zusammenwirken der Einzelkomponenten über verschiedene Sektoren (Elektrizitätswirtschaft, Gaswirtschaft, Mobilitätsanwendungen) von entscheidender Bedeutung. Auch hier besteht die Möglichkeit, den Industriezweig weiter auszubauen und Arbeitsplätze zu generieren. (Zeithorizont: 0 bis 5 Jahre)

- **Speicherbehälter:** Thüringen hat günstige industrielle Voraussetzungen für die Entwicklung von stationären und mobilen Wasserstoffspeicherbehältersystemen für die bei einer Umsetzung von dezentralen Wasserstoffinfrastruktursystemen zu speichernden kleinen Wasserstoffmengen. (Zeithorizont: 2 bis 5 Jahre)
- **Brennstoffzellen und Wasserstoffmotoren:** Es gibt grundlegende Potentiale in Thüringen für die Herstellung von Komponenten für Brennstoffzellensysteme und die Entwicklung von Wasserstoffmotoren. Weitergehende Entwicklungen im Bereich dieser Systeme sowohl für mobile als auch stationäre Anwendungen sind zwingend, um den industriellen Anschluss nicht zu verlieren. (Zeithorizont: 3 bis 8 Jahre)
- **Fahrzeugbau:** Die industriellen Grundlagen für die Herstellung von Komponenten für elektrisch betriebene Fahrzeuge sowie im Sonderfahrzeugbau sind günstig, um perspektivisch auch im Bereich der Wasserstoffantriebe eine Wertschöpfung in Thüringen generieren zu können. Weitere Potentiale bestehen im Leichtflugzeugbau. (Zeithorizont: 3 bis 8 Jahre)
- **Photokatalytische Wasserstoffherstellung:** Die photokatalytische Wasserspaltung, deren Grundlagen in Thüringen erforscht werden, bietet die Möglichkeit, aus Sonnenlicht einen Kraftstoff herzustellen. Bei einer großtechnischen Realisierung entstehen vollkommen neue Möglichkeiten in der Wasserstoffversorgung. (Zeithorizont: schwer abschätzbar)

4.5 Dienstleistungsangebote in der Wasserstoffwirtschaft

- **Infrastrukturprojektierung, -planung und -umsetzung:** Insbesondere bei einer Forcierung kleiner, dezentraler Systeme in Thüringen besteht die Möglichkeit, regionale Kompetenzen bei der Anlagenprojektierung, -planung und -umsetzung zu entwickeln. (Zeithorizont: 0 bis 5 Jahre)
- **Prüfung, Zertifizierung und Sicherheitsmanagement:** Wie bei der Infrastrukturplanung bestehen vor allem bei einer Entwicklung kleiner, dezentraler Systeme Potentiale zum Auf- und Ausbau von regionalen Kompetenzen. (Zeithorizont: 0 bis 5 Jahre)
- **Wartung und Unterhaltung von Anlagen und Fahrzeugen:** Mit der Umsetzung von Wasserstoffsystemen entsteht ein regionaler Bedarf an qualifiziertem Servicepersonal zur Wartung und Unterhaltung dieser Systeme. (Zeithorizont: 0 bis 4 Jahre)
- **Betreiber- und Finanzierungsmodelle:** Die Umsetzung von Wasserstoffsystemen erfordert die Entwicklung von neuen Geschäftsmodellen für den Anlagenbetrieb, den Vertrieb und die Abrechnung. Zudem sind geeignete Finanzierungsmodelle zu entwickeln. Ein frühzeitiger Einstieg schafft einen Wettbewerbsvorteil. (Zeithorizont: 0 bis 7 Jahre)
- **Aus- und Weiterbildung:** Beim Markthochlauf der Wasserstoffwirtschaft entstehen neue Anforderungsprofile in der beruflichen Aus- und Weiterbildung sowie auch in der Forschung und Lehre an Hochschulen. Eine frühzeitige Berücksichtigung kann einen Standortvorteil bedeuten und Fachkräfte binden. (Zeithorizont: 2 bis 7 Jahre)

5. Handlungsoptionen für die strategische Entwicklung

Aus den oben aufgeführten spezifischen Potentialen zum Markthochlauf der Wasserstoffwirtschaft in Thüringen lassen sich **unmittelbare strategische Handlungsoptionen für die nächsten Jahre** ableiten, die dazu beitragen können, **Thüringen zu einem wasserstoffbasierten Industriezentrum in Deutschland zu entwickeln** und die gesteckten Klimaschutzziele zu erreichen. Es gilt, diesen Prozess zeitnah einzuleiten und in auf die technologisch-wirtschaftliche Situation in Thüringen zugeschnittenen Pilotprojekten konkret umzusetzen, wobei Synergiepotentiale mit Entwicklungen in anderen Regionen gesucht und genutzt werden sollten.

5.1 Schaffung von geeigneten Rahmenbedingungen

Die Schaffung von geeigneten Rahmenbedingungen ist von zentraler Bedeutung für den Markthochlauf der Wasserstoffwirtschaft. Die Handlungsoptionen für den Freistaat Thüringen sind dabei wie folgt:

- eine **aktive Förderungs- und Ansiedlungspolitik**, um Wasserstofftechnologieunternehmen in Thüringen zu etablieren und damit den Industriestandort für die Zukunft aufzustellen,
- die **Einbeziehung von Wasserstoffinfrastrukturkonzepten** in die Planungen für die strategische Entwicklung zur Erreichung der Thüringer Klimaschutzziele in der Elektrizitätswirtschaft, der Gaswirtschaft und der Mobilität,
- die **Schaffung eines Thüringer Innovationszentrums für Wasserstofftechnologien** mit Inkubator für Startup-Unternehmen,
- die **Förderung der Vernetzung der Thüringer Forschungseinrichtungen und Unternehmen** zu Forschungsthemen im Bereich der Wasserstofftechnologien,
- das **Forcieren von technologieoffenen Ausschreibungsbedingungen** für die Umsetzung einer klimaneutralen Mobilität im ÖPNV und in öffentlichen Fuhrparks,
- ein **Hinwirken auf Bundesebene zur Änderung der derzeitigen Strommarktbedingungen**, um für Power-to-Gas-Infrastrukturen sowie Wasserstoffspeicher mit Rückverstromung eine EEG-Umlagebefreiung und damit wirtschaftliche Umsetzungsbedingungen zu erreichen,
- die **Berücksichtigung von Wasserstofftechnologien in der Thüringer Forschungsförderung**, z.B. im Rahmen der RIS 3 Thüringen Innovationsstrategie.

5.2 Umsetzung von initialen Wasserstoffprojekten

Aus den in den Abschnitten 3 und 4 genannten Grundlagen, Potentialen und technischen Zeithorizonten für die Implementierung von Wasserstoffsystemen und -infrastrukturen in Thüringen ergeben sich für die Umsetzung von initialen Wasserstoffprojekten folgende Handlungsoptionen für den Freistaat, deren wirtschaftliche Umsetzungsfähigkeit sich vor dem Hintergrund der Entwicklung der regulatorischen Rahmenbedingungen und hierbei insbesondere der CO₂-Bepreisung gestaltet:

- der **gestufte Aufbau eines Wasserstofftankstellennetzes mit dezentraler Wasserstofferzeugung für multimodale Anwendungen z.B. in der Logistik, Abfallentsorgung und im ÖPNV** bestehend aus H₂-Kompakttankstellen inklusive Elektrolyseanlage mit einer am Bedarf orientierten Umsetzung an Schwerpunkten der Wasserstofftechnologie in Thüringen (Abbildung 1.5),

- die **Umsetzung eines Wasserstoff-Brennstoffzellen-Triebwagen Pilotprojektes im Schwarzatal zwischen Rottenbach und Katzhütte** inklusive der dazugehörigen Betankungsinfrastruktur und einer klimaneutralen Versorgung mit Wasserstoff über eine Power-to-Gas-Anlage an einem Thüringer Windpark als weltweit erstes Bahnprojekt mit vollständig grüner Wasserstoffgestehungskette (Abbildung 1.6),
- der **Aufbau einer Logistikkette zur Versorgung der H₂-Eisenbahntankstelle** in Rottenbach mit Wasserstoff über in Thüringen entwickelte Wasserstoff-Trailer und Wasserstoff-Brennstoffzellen-LKW (Abbildung 1.6),
- die **Unterstützung eines Fahrzeugbauprojektes mit Brennstoffzellensystemen** im Sonderfahrzeugbereich,
- die **Optimierung der Gasausbeute einer Demonstrator-Biogasanlage über die biologische Synthese von Methan** aus CO₂ aus der Biogasanlage und Wasserstoff aus Windkraftstrom inklusive der entsprechenden Gasaufbereitung und einer Einspeisung von Biomethan ins Erdgasnetz,
- die **Realisierung eines real energieautarken Gebäudequartiers im Inselbetrieb** in einer Thüringer Gemeinde unter Anwendung von Erneuerbaren-Energien-Anlagen, einem Batteriespeicher, einem Elektrolyseur sowie von Home Fuel Cell Systemen,
- die Etablierung eines **Pilotprojektes zur Substitution von Erdgas durch Wasserstoff** in einer industriellen Prozessanwendung,
- die **Erprobung der 4. Reinigungsstufe auf einer Thüringer Kläranlage** zur Reinigung von Mikro Schadstoffen im Abwasser mittels Ozon, das aus Elektrolysesauerstoff hergestellt wird.

5.3 Unterstützung der strategischen Entwicklung

Neben dem Herstellen von geeigneten Rahmenbedingungen für den Markthochlauf von Wasserstofftechnologien und -infrastruktursystemen sind zusätzliche Unterstützungsmaßnahmen für eine Umsetzung von Wasserstofftechnologien in der Fläche erforderlich. Die Handlungsoptionen des Freistaats Thüringen zur Unterstützung der strategischen Entwicklung sind hierbei:

- eine **Angebots- und Standortplanung zur Unterstützung des Markthochlaufs** im Bereich der H₂-Betankungsinfrastrukturen und der Implementierung von Power-to-Gas-Anlagen,
- die **Schaffung eines Investitionsprogramms zur Förderung von Wasserstofftechnologien**, z.B. für Beratungsleistungen sowie für Investitionen in Erzeuger-Infrastrukturen / Betankungseinrichtungen / Fahrzeuge / Brennstoffzellensysteme / H₂-BHKW / H₂-Speicher,
- eine **Vorbildwirkung durch die Beschaffung von Fahrzeugen** mit Wasserstoffantrieb,
- die **Durchführung einer detaillierten geologischen Analyse** zur technischen Eignung der vorhandenen Untergrundspeicher und Altkavernen in Thüringen sowie der Herstellung von Salzkavernen für die saisonale Speicherung von Wasserstoff aus Power-to-Gas-Anlagen,
- die **Umsetzung von Maßnahmen der Begleitforschung** zu Wasserstoffinfrastrukturprojekten, um die Erfahrungen zu bündeln und wissenschaftlich auszuwerten,
- die **Einbindung in Konzepte für die Entwicklung des ländlichen Raums und des Tourismus** in Thüringen um, wo möglich, Synergien zu nutzen.

6. Netzwerkarbeit und Akzeptanzförderung

Die Maßnahmen für die strategische Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft in Thüringen sollten **von einer geeigneten Netzwerkarbeit flankiert** werden, zum einen auf der fachlichen Ebene, um den Standort Thüringen zu stärken, und zum anderen in der Öffentlichkeitsarbeit, um in die Bevölkerung über die Möglichkeiten der Wasserstofftechnologien zu informieren. Hierbei scheint eine **Integration in die Öffentlichkeitsarbeit zum Klimaschutz** in Thüringen angebracht, da Wasserstofftechnologien einen wesentlichen Beitrag zur Umsetzung der Klimaschutzverpflichtungen leisten können. Zudem erscheint eine **ergänzende Informationskampagne zur Akzeptanzförderung** von Wasserstofftechnologien sinnvoll, um teilweise vorhandene Ängste vor dem Energieträger Wasserstoff zu nehmen. Um eine maximale Wirkung zu entfalten, ist der ideale Anfangszeitpunkt einer solchen Kampagne zeitgleich mit dem Beginn der Projektierung der ersten Umsetzungsprojekte für Wasserstoffinfrastrukturen in Thüringen.

Im Rahmen bestehender Vernetzungsformate der Thüringer Wirtschaftsförderung und anderer Institutionen sind innerhalb Thüringens gute Möglichkeiten zum fachlichen Austausch und zur Netzwerkarbeit zu Wasserstoffthemen gegeben. Die erstmalig 2019 durchgeführte **Thüringer Wasserstoffkonferenz** hat sich als ein sehr geeignetes integrierendes Format zur übergeordneten fachlichen Vernetzung erwiesen, so dass eine Beibehaltung dieses Formats in einem ein- bis zweijährigen Rhythmus zur Unterstützung der Entwicklung der Branche erstrebenswert erscheint.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Voraussetzungen günstig sind, um **Thüringen** zu einer **Erfolgsregion der grünen Wasserstoffwirtschaft** in Deutschland zu entwickeln, sofern die Stärken der regionalen Wirtschaft und Forschungseinrichtungen entsprechend genutzt werden. Die Chancen und Potentiale für Thüringen liegen in der Kleinteiligkeit und Dezentralität der Strukturen.

Quellenverzeichnis

- Bertelsmann Stiftung (2019). *Statistische Daten Bevölkerungsstruktur 2030*. Gütersloh: Bertelsmann Stiftung. Verfügbar unter: www.wegweiser-kommune.de
- BMNT (2018). *Die Wasserstoffinitiative*. Wien: Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus, 17.-18. September 2018.
- BMNT (2019). *Österreichische Wasserstoffstrategie - Auftaktveranstaltung Österreichische Wasserstoffstrategie am 20. März 2019 im Haus der Industrie*. Wien: Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus, 17.-18. September 2018. Verfügbar unter: <https://www.bmnt.gv.at/energie-bergbau/energie/Oesterreichische-Wasserstoffstrategie.html>
- BMVI (2019). *Neun Wasserstoffregionen stehen fest*. Pressemitteilung 064/2019. Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.

- BMWi (2019). *Altmaier verkündet Gewinner im Ideenwettbewerb ‚Reallabore der Energiewende‘: „Wir wollen bei Wasserstofftechnologien die Nummer 1 in der Welt werden“*. Pressemitteilung 18.07.2019. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
- Bundesnetzagentur (2019). *Marktstammdatenregister*. Bonn: Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen. Verfügbar unter: www.marktstammdatenregister.de
- Burstedde A., Malin L., Risius P. (2017). *Fachkräfteengpässe in Unternehmen – Rezepte gegen den Fachkräftemangel: Internationale Fachkräfte, ältere Beschäftigte und Frauen finden und binden* (Studie 4/2017). Köln: Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V.
- DESTATIS (2019). *Statistische Ämter des Bundes und der Länder, Deutschland*.
- Diekmann J., Schill W.-P., Püttner A. & Kirrmann S. (2017). *Vergleich der Bundesländer: Analyse der Erfolgsfaktoren für den Ausbau der Erneuerbaren Energien 2017 – Indikatoren und Ranking*. Berlin: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin), Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Agentur für Erneuerbare Energien e.V. (AEE).
- DVGW (2019). *Wo aus Wind und Sonne grünes Gas wird - Eine Übersicht der Power-to-Gas-Projekte in Deutschland*. Bonn: Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
- Ebert M. et al. (2016). *Gutachten zur Vorbereitung einer Energie- und Klimaschutzstrategie für Thüringen*. Leipzig: Leipziger Institut für Energie.
- H2 Mobility Deutschland GmbH & Co.KG, 2019. Verfügbar unter: h2.live
- Helaba (Hrsg.) (2011). *Die 100 größten Unternehmen in Thüringen*. Frankfurt am Main: Landesbank Hessen-Thüringen.
- Jentsch M.F., Büttner S. (2019). *Dezentrale Umsetzung der Energie- und Verkehrswende mit Wasserstoffsystemen auf Kläranlagen*, *gwf Gas + Energie*, 160 (6), 28-39.
- Kleinickel C. et al. (2014). *Potenzialstudie Untergrundspeicher in Thüringen – Systemkomponenten zur Verbesserung der Grundlastfähigkeit Erneuerbarer Energien*. Jena: ARGE Untergrundspeicher Thüringen.
- LAK (Hrsg.) (2019). *Energiebilanzen Primärenergieverbrauch*. Bremen: Landesarbeitskreis Energiebilanzen, Statistisches Landesamt Bremen. Verfügbar unter: www.lak-energiebilanzen.de
- METI (2017). *Basic Hydrogen Strategy*. Tokio: Ministerial Council on Renewable Energy, Hydrogen and Related Issues, 26. Dezember 2017.
- Michalski J., Altmann M., Bünger U., Weindorf W. (2019). *Wasserstoffstudie Nordrhein-Westfalen*. Ottobrunn: Ludwig-Bölkow-Systemtechnik.

- Ministerielle Arbeitsgruppe (2019). *Eckpunkte einer Norddeutschen Wasserstoff-Strategie*. Ministerielle Arbeitsgruppe im Auftrag der Wirtschafts- und Verkehrsminister bzw. -senatoren der Länder Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein, 16. April 2019.
- MWE (2019). Brandenburg kann Vorreiterregion für Wasserstoffwirtschaft werden. Potsdam: Ministerium für Wirtschaft und Energie. Verfügbar unter: <https://mwe.brandenburg.de/de/brandenburg-kann-vorreiterregion-f%C3%BCr-wasserstoffwirtschaft-werden/bb1.c.639772.de>
- Naharova D., Diewald W. (2019). *H2-Industrie Potenzialstudie Brandenburg – Studie zur Identifizierung und Analyse der Chancen und Potenziale zur Wasserstoffnutzung und Ansiedlung einer Wasserstoffindustrie im Land Brandenburg, insbesondere unter Beachtung der energie- und industriepolitischen Aspekte*. Berlin: Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e.V.
- NOW (2016). *Ergebnisbericht: Studie Wasserstoff-Infrastruktur für die Schiene*. Berlin: Nationale Organisation Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie.
- Olle W., Plorin D. & Chmelik R. (2019). *Wege zur Zukunftsfähigkeit der Automobilzulieferindustrie in Thüringen*. Erfurt: LEG Thüringen.
- Plank-Wiedenbeck U. et al. (2019). *Schlussbericht Machbarkeitsstudie Pilotprojekt Einsatz von H₂BZ-Triebwagen in Thüringen*. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar.
- République Française (2018). *Plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique*. Paris: Ministère de la Transition écologique et solidaire, 1. Juni 2018.
- Schmid et al. (2011). *Pumpspeicherkataster Thüringen. Ergebnisse einer Potentialanalyse*. Erfurt: Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Technologie (TMWAT).
- StMWi (2019). *Ministerpräsident Dr. Söder und Wirtschaftsminister Aiwanger gründen Zentrum Wasserstoff.Bayern (H2.B) – Breites Bündnis mit Industrie und Wissenschaft soll Technologieausbau vorantreiben*. Pressemitteilung 266/19: 05.09.2019. München: Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie.
- TLLLR (2015). *Landwirtschaftliche Biogasanlagen in Thüringen*. Jena: Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum.
- TLVwA (2018). *Bestandsliste aller zum 31.12.2017 in Thüringen registrierten Windkraftanlagen*. Weimar: Thüringer Landesverwaltungsamt.
- TLS (2017). *Thüringen-Atlas, Ausgabe 2017*. Erfurt: Thüringer Landesamt für Statistik.
- TMUEN (2019a). *Beseitigung von kommunalem Abwasser im Land Thüringen - Lagebericht 2019 nach Artikel 16 der EG-Richtlinie über die Behandlung von kommunalem Abwasser (91/271/EWG)*. Erfurt: Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz.
- TMUEN (2019b). *Eckpunkte Thüringer Wasserstoffstrategie*. Erfurt: Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz.

UBA (2019). *Energiebedingte Emissionen*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Verfügbar unter:
www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energiebedingte-emissionen

Wuggazer K. (2019). *Stadtrat beschließt erneut über innovatives Energie-Projekt im Gewerbegebiet Nord*. Thüringer Allgemeine, 26.09.2019.