

Endbericht | September 2020

Forschungsbedarf für Energiewende-Technologien in NRW - eine erste Analyse und Bewertung

Gefördert durch das Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen

Förderkennzeichen EFO 0005
(progres.nrw – Innovation)



**Wuppertal
Institut**

Dieser Bericht ist Ergebnis des Projektes „Forschungsbedarf für Energiewende-Technologien in NRW – eine erste Analyse und Bewertung (TRF-NRW – Teil 1)“.

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde vom Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie (MWIDE) des Landes NRW gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Projektlaufzeit: September 2019 – Juli 2020

Projektkoordination:

Dr. Claus Barthel / Dr. Peter Viebahn

Tel.: +49 202 2492 -166 / - 306

E-Mail: claus.barthel@wupperinst.org, peter.viebahn@wupperinst.org

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH

Abteilung Zukünftige Energie- und Industriesysteme

Forschungsbereich Sektoren und Technologien

Döppersberg 19

42103 Wuppertal

Projektpartner:

Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V.

Dr. Thilo Schäfer

Postfach 10 19 42 / 50459 Köln

Konrad-Adenauer-Ufer 21 / 50668 Köln

Telefon: +49 221 4981-0

Autorinnen und Autoren:

Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V.

Dr. Thilo Schaefer

Andreas Fischer

Dr. Roland Kube

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH

Dr. Claus Barthel

Dr. Peter Viebahn

Lena Tholen

Thomas Adisorn

Magdolna Prantner

Dr. Johannes Venjakob

Bitte den Bericht folgendermaßen zitieren:

Wuppertal Institut (2020): Forschungsbedarf für Energiewende-Technologien in NRW – eine erste Analyse und Bewertung. Forschungsprojekt gefördert durch das Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie (MWIDE) des Landes NRW (Förderkennzeichen EFO 0005). Wuppertal.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	4
1 Einleitung	5
2 Herausforderungen der Energiewende in Nordrhein-Westfalen	7
2.1 Ausgangslage	7
2.2 Wirtschaftliche Kennzahlen	7
2.3 Energiekennzahlen	8
2.4 Treibhausgas-Emissionen	8
2.5 Herausforderungen auf Technologieebene	8
3 Qualitative Bewertung und Einordnung der Technologiefelder	10
3.1 Methodisches Vorgehen	10
3.1.1 Basisbewertung	10
3.1.2 Begründete Auswahl „besonders relevanter“ Technologien	11
3.1.3 Verfeinerung der Bewertung	12
3.2 Gesamtbewertung der Technologiefelder	12
4 Detaillierte Analyse der von Bund und Land eingeworbenen Forschungsmittel und der Forschungsschwerpunkte in NRW	14
4.1 Ziele der Analyse	14
4.2 Methodisches Vorgehen und Grenzen der Analyse	14
4.3 Ergebniszusammenschau	15
4.3.1 Wesentliche Ergebnisse der Technologiefelder	15
4.3.2 F&E-Mittel des Landes NRW – Exkurs zu den Daten des PtJ	17
4.4 Weitere Forschungsansätze und vertiefende Forschungsfragen	22
5 Detaillierte Analyse der wirtschaftlichen Chancen für NRW von ausgewählten Technologiefeldern	23
5.1 Methodisches Vorgehen	23
5.2 Bewertungskriterien	23
5.3 Bewertungsergebnisse	24
5.3.1 Bewertung der Marktpotenziale	24
5.3.2 Bewertung der Wertschöpfung	26
5.4 Grenzen der Untersuchung	27
5.5 Weitere Forschungsansätze und vertiefende Forschungsfragen	28
6 Aufnahme weiterer Technologien und Zuordnung der Technologiefelder zu den Handlungsbereichen in NRW	30
7 Kriterien zur Einordnung möglicher Projektideen aus den Strukturförderprogrammen für das Rheinische Revier und das Ruhrgebiet	32
8 Innovative Forschungsformate	34
8.1 Forschungsmethode Reallabor	34
8.2 Methoden im Living Laboratory	35
8.3 Anwendungsnahe Forschung zur Überwindung des „Tal des Todes“	36
9 Ableitung vertiefender Forschungsfragen für Nachfolgeprojekte	38
10 Literaturverzeichnis	39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Skala für die Bewertung mit einzelnen Kriterien und für Gesamtbewertung-----	11
Tabelle 2:	Gesamtbewertung der 31 Technologiefelder, bezogen auf NRW-----	13
Tabelle 3:	Aufstellung der Forschungslandschaft und Höhe der eingesetzten F&E-Mittel (Bund und NRW) im Vergleich zu anderen Bundesländern -----	16
Tabelle 4:	Ergebnisse der Detailbewertung ausgewählter Technologiefelder hinsichtlich der wirtschaftlichen Chancen für NRW-----	25
Tabelle 5:	Zuordnung der Technologiefelder zu den Handlungsbereichen in NRW-----	31
Tabelle 6:	Vorschlag für Bewertungsdimensionen und mögliche Prüffragen zur Bewertung von technischen und nicht-technischen Projekten im Rahmen der Strukturförderung -----	33

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Kriterienraster zur Bewertung der Technologiefelder (aus TF-Energiewende) -----	10
Abbildung 2:	Energierrelevante Forschungsmittel aus den Ländern zwischen 2010 und 2018 (in Tsd. EUR)-----	17
Abbildung 3:	Energierrelevante Forschungsmittel aus NRW in 2018 (in Tsd. EUR)-----	18
Abbildung 4:	Energierrelevante Forschungsmittel für den Bereich „Energieeffizienz in der Industrie“ in 2018 (in Tsd. EUR) -----	18
Abbildung 5:	Energierrelevante Forschungsmittel für den Bereich „Energieeffizienz im Verkehr“ in 2018 (in Tsd. EUR)-----	19
Abbildung 6:	Energierrelevante Forschungsmittel für den Bereich „sonstige Energieeffizienzmaßnahmen“ in 2018 (in Tsd. EUR)-----	19
Abbildung 7:	Energierrelevante Forschungsmittel für den Bereich „thermische Kraftwerke und CO ₂ -Technologien“ in 2018 (in Tsd. EUR) -----	20
Abbildung 8:	Energierrelevante Forschungsmittel für den Bereich „Solarthermie und Photovoltaik“ in 2018 (in Tsd. EUR)-----	20
Abbildung 9:	Energierrelevante Forschungsmittel für den Bereich „Wasserkraft“ in 2018 (in Tsd. EUR) -----	21
Abbildung 10:	Energierrelevante Forschungsmittel für den Bereich „Energiespeicher“ in 2018 (in Tsd. EUR)-----	21

1 Einleitung

In dieser Studie bewertet das Wuppertal Institut mit Unterstützung durch das Institut der deutschen Wirtschaft (IW) den Forschungsbedarf für Energiewende-Technologien in Nordrhein-Westfalen (NRW). Die Studie basiert auf den Ergebnissen des BMWi-Projekts „Technologien für die Energiewende“ (TF-Energiewende), in dem als zentraler wissenschaftlicher Input für das 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung 31 Technologiefelder hinsichtlich ihres Forschungsbedarfs und ihrer Bedeutung für die Energiewende mit einem Raster aus 12 Kriterien bewertet wurden (Wuppertal Institut et al. 2018). Die Technologiefelder wurden in die folgenden Technologiebereiche (TB) gegliedert. Eine Liste der Technologiefelder und der hierin betrachteten Technologien befindet sich in Anhang 1.

- TB 1: Erneuerbare Energien,
- TB 2: Konventionelle Kraftwerke,
- TB 3: Infrastruktur,
- TB 4: Technologien für die Sektorkopplung (PtX),
- TB 5: Energie- und ressourceneffiziente Gebäude,
- TB 6: Energie- und Ressourceneffizienz in der Industrie und
- TB 7: Integrative Aspekte.

Die zentrale Fragestellung der vorliegenden Studie ist, welche dieser Technologien und Technologiebereiche im Rahmen der Energieforschung für NRW unter Berücksichtigung der speziellen Herausforderungen des Energielandes NRW einen besonders hohen Stellenwert in Relation zur Bewertung für Deutschland bekommen sollten, die wiederum eine besondere Unterstützung im Rahmen der Energieforschung rechtfertigen.

Hierzu wurden die 31 Technologiefelder zunächst qualitativ anhand von 12 Kriterien im Vergleich mit der bundesweiten Situation eingeschätzt (Kapitel 3). Ergänzend erfolgte eine Analyse der für die jeweiligen Technologiefelder relevanten Forschungsschwerpunkte und eingeworbenen Forschungsbudgets in NRW (Kapitel 4), die in die Gesamtbewertung mit eingegangen ist. Nach (virtuellen) Workshops, in denen die ersten Ergebnisse mit ausgewiesenen Experten für die einzelnen Technologiebereiche aus NRW diskutiert wurden, erfolgte die finale Bewertung sowie eine erste Aufteilung der betrachteten Technologiefelder in zwei Gruppen. Ausschlaggebende Kriterien hierfür waren i. d. R. das mögliche *Marktpotenzial in NRW* und die potenzielle *Wertschöpfung in NRW*. Wurde beispielsweise für ein Technologiefeld ein hohes erwartetes Marktpotential mit gleichzeitig hoher erwartbarer Wertschöpfung abgeleitet, das aber noch nicht hinreichend durch Forschungsaktivitäten oder industriepolitische Kompetenzen unterlegt ist, ergab dies einen Hinweis auf Handlungsbedarf.

- Gruppe A umfasst solche Technologiefelder, deren Gesamtbewertung als „sehr viel relevanter“ oder „relevanter“ im Vergleich zum Bundesdurchschnitt eingeschätzt wird, und für die eine umfassende Forschungsförderung empfohlen wird.
- Gruppe B beinhaltet solche Technologiefelder, für die die Gesamtbewertung „keinen Unterschied“ zur Bundesebene ergab oder die als „weniger relevant“ eingeschätzt wurden, so dass hier kein Bedarf für eine zusätzliche Forschungsförderung gesehen wird. Diese für die Energiewende ebenso wichtigen Technologien sollten allerdings weiterhin wie bisher gefördert werden.

Für ausgewählte Technologiefelder der ersten Gruppe erfolgte anschließend durch das IW eine detailliertere Analyse der *wirtschaftlichen Chancen für NRW*, indem Marktpotenzial und Wertschöpfung mithilfe einzelner Unterkriterien genauer untersucht wurden (*Kapitel 5*). Die detaillierteren Analysen ergaben für alle analysierten Technologiefelder eine um eine Stufe höhere Bewertung, wodurch die Gesamteinschätzung (Einordnung in Gruppe A) zusätzlich bestätigt wurde.

Ergänzend zu den bewerteten Technologien, die sich an der Studie TF-Energiewende orientieren, wurden auch weitere Technologien aufgenommen, die insbesondere für NRW relevant sind. Hier wurde auf die Empfehlungen aus den Expertengesprächen zurückgegriffen, eine Bewertung konnte jedoch im Rahmen dieses Projektes nicht durchgeführt werden. Schließlich wurden auch diejenigen Technologien geprüft, die im Zentrum der Industrieinitiative In4Climate.NRW stehen. Diese sind jedoch bis auf zwei Ausnahmen (H₂-Transport/Speicherung) auch im Projekt TF-Energiewende enthalten und wurden entsprechend in die Bewertung mit einbezogen.

Alle Technologien wurden schließlich systematisch den ausgewiesenen Handlungsbereichen zugeordnet, die in *Kapitel 2* als zentral für die Energiewende in NRW abgeleitet wurden (*Kapitel 6*).

Neben dieser Bewertung, die den Kern der Studie darstellt, werden Hinweise für anzuwendende Kriterien zur Bewertung möglicher Projektideen für das Rheinische Revier und das Ruhrgebiet (Strukturförderprogramme zum „Kohleausstieg“) gegeben (*Kapitel 7*) und innovative Forschungsformate beschrieben (*Kapitel 8*). In *Kapitel 9* werden schließlich vertiefende Forschungsfragen abgeleitet.

Mit dieser Studie wird somit die erste systematische Untersuchung überhaupt für ein Bundesland vorgelegt, das den möglichen Beitrag von 31 Energiewendetechnologien für NRW und eine Einschätzung ihres Forschungsbedarfs bewertet. Aufgrund des begrenzten Budgets und der Natur der Studie (mit dem Rückgriff auf die bundesweite Studie TF-Energiewende) konnte jedoch keine Detailstudie, sondern nur ein grobes, qualitatives Screening durchgeführt werden. Die Studie erhebt daher keinen Anspruch auf Vollständigkeit – sie behandelt nur diejenigen Technologiefelder, die auch in der Basisstudie TF-Energiewende enthalten sind. Dennoch stellt sie eine Besonderheit dar, da es bisher keine multikriterielle Bewertung von Energiewendetechnologien in NRW gab. Auf diese Studie kann nun mit weiteren Studien aufgebaut werden, die die offen gebliebenen Punkte vertiefen sollten.

Es wird empfohlen, im Anschluss nun für jede der als besonders förderungswürdig eingestuften Technologiefelder detaillierte multikriterielle Bewertungen durchzuführen, um auch quantitativ zu analysieren, welche Beiträge die Technologiefelder zur Energiewende in NRW erbringen können. Ebenso sollten weitere Technologien, die für NRW eine Rolle spielen, hier aber nur cursorisch erwähnt wurden, in die Bewertung mit einbezogen werden. Auch hinsichtlich der Schaffung von Datenstrukturen zur (regelmäßigen) Analyse von Forschungslandschaft und Fördermittel für NRW besteht Forschungsbedarf, ebenso bei der Schaffung von Grundlagen für eine qualitativ ausreichende Analyse der wirtschaftlichen Chancen von Technologiefeldern in NRW. Last but not least bedarf es der Entwicklung eines Vorgehens zur Bewertung der in der nächsten Zeit eingehenden Projektideen im Rahmen der Strukturförderprogramme für das Rheinische Revier und das Ruhrgebiet.

2 Herausforderungen der Energiewende in Nordrhein-Westfalen

2.1 Ausgangslage

Nordrhein-Westfalen ist ein Schlüsselland für das Gelingen der Energiewende in Deutschland, denn es ist sowohl bei Energieerzeugung und -verbrauch als auch bei der industriellen Wertschöpfung bundesweit von herausragender Bedeutung.

Gleichzeitig wirken Dynamiken wie der demografische Wandel, die zunehmende Globalisierung oder die Digitalisierung auf den Wirtschaftsstandort ein. Um die ökonomischen Chancen für die Entwicklung von NRW in dieser dynamischen Gemengelage zu identifizieren, werden Ansätze benötigt, welche Synergien zwischen den Entwicklungen adressieren. Die multikriterielle Bewertung von Technologien für die Umsetzung der Energiewende, die auch nach Möglichkeit nichttechnologische Aspekte (wie die Technologieakzeptanz in der Bevölkerung oder die Forschungslandschaft des Bundeslandes) berücksichtigt, ist hierfür eine wichtige Grundlage.

Die skizzierten Transformationsherausforderungen werden in NRW in besonderer Weise sichtbar. Deutschlands wichtigster Standort der konventionellen Energiewirtschaft ist vorwiegend durch zentrale und fossil befeuerte Erzeugungsstrukturen, eine hohe Konzentration energieintensiver Industrien und eine große Dichte urbaner Nachfragezentren für Strom und Wärme gekennzeichnet. Die Energiewende ist im traditionellen Bergbau- und Industrieland NRW deshalb mit erheblichen ökonomischen, sozialen und nicht zuletzt kulturellen Herausforderungen verbunden.

2.2 Wirtschaftliche Kennzahlen

Einige Kennzahlen ordnen die Bedeutung NRWs im Vergleich zum Bund und anderen Bundesländern ein. Sie dienen gleichzeitig als Grundlage für die multikriterielle Bewertung, da die jeweilige Ausprägung eines Kriteriums im Vergleich zum Bundesdurchschnitt am Verhältnis von Kennzahlen wie der Bevölkerungsanzahl oder des Energieverbrauchs abgeschätzt wird.

Mit rund 17,9 Mio. Einwohnern (21,5 %) ist NRW das bevölkerungsreichste Bundesland und erzielt absolut gesehen das höchste Bruttoinlandsprodukt aller Bundesländer. Bezogen auf die Bevölkerung liegt das BIP etwa im Bundesdurchschnitt.

Die starke Rolle als Industriestandort lässt sich daran verdeutlichen, dass NRW in zentralen energieintensiven Branchen wie Metallerzeugung, Grundstoffchemie, Nichteisen-Metalle und Papier weit überdurchschnittliche Anteile an der deutschen Industrieproduktion hält¹. Blickt man auf das verarbeitende Gewerbe insgesamt, zeigt sich, dass ca. 22 Prozent aller deutschen Betriebe dieses Wirtschaftszweigs in NRW angesiedelt sind. Betrachtet man nur die Industrie (als Teil des verarbeitenden Gewerbes), zeigt sich die Dominanz dieses Wirtschaftsstandortes: Fast die Hälfte aller Industriebetriebe Deutschlands befindet sich in NRW. Von den bundesweit 5,7 Millionen Industriebeschäftigten arbeiten hier rund 1,3 Millionen (22,8 %).

¹ Quellen: it.nrw (Stand 19. August 2019); www.deutschland-in-zahlen.de, Statistisches Bundesamt

2.3 Energiekennzahlen

Diese Dominanz in der Industrieproduktion schlägt sich auch in Energiekennzahlen nieder². Insgesamt hat NRW von den Bundesländern den höchsten Primärenergieverbrauch. Fasst man Stein- und Braunkohle zusammen, wird ein Drittel des Primärenergieverbrauchs durch diese Energieträger gedeckt. Alle anderen Flächenländer liegen deutlich darunter³. Der verbleibende Primärenergiebedarf wird in NRW nahezu vollständig über Mineralöle, Mineralölprodukte und Gase gedeckt. Auf Erneuerbare Energien entfallen lediglich fünf Prozent.

Dieses deutliche Übergewicht in der Nutzung fossiler Energieträger zeigt sich auch mit Blick auf die Stromerzeugung, die in NRW zu knapp 70 Prozent auf Basis von Stein- und Braunkohle erfolgt. Auf Erdgas entfallen weitere zwölf Prozent. Erneuerbare Energieträger spielen eine untergeordnete Rolle. Mit einem 13-prozentigen Anteil an der Bruttostromerzeugung liegt NRW im Vergleich mit den anderen Flächenländern deutlich zurück.

2.4 Treibhausgas-Emissionen

Die skizzierte Erzeugungsstruktur schlägt sich in den THG-Emissionen nieder, die in 2014 (gemessen in CO₂-Äquivalenten) bei rund 280 Millionen Tonnen lag. Dies entspricht in etwa einem Drittel der bundesdeutschen Emissionen. Insbesondere die Sektoren Energiewirtschaft, flüchtige Emissionen aus Brennstoffen und die Industrie weisen einen besonders großen Anteil an den deutschen Gesamtemissionen auf. Dieses schlägt sich damit auch unmittelbar auf die Emissionen NRWs nieder. Dies ist vor allem auf die Bedeutung des Ruhrgebiets und der Rheinschiene als wichtige deutsche Industriestandorte sowie auf die Steinkohleförderung und die Stein- und Braunkohleverstromung zurückzuführen. Entsprechend fällt auch der pro Kopf-Wert für NRW überdurchschnittlich aus. Dieser lag in 2014 bei 15,8 Tonnen – verglichen mit einem bundesweiten Wert von 11,3 Tonnen CO₂-Äquivalent. Diese Werte müssen jedoch in Beziehung gesetzt werden zum Anteil der nordrhein-westfälischen an der gesamtdeutschen Industrieproduktion. Da dieser überdurchschnittlich ausfällt, muss dieses bei der Einordnung der Emissionszahlen zugute gehalten werden.

2.5 Herausforderungen auf Technologieebene

Ein wichtiger Strategiebaustein im Spannungsverhältnis der Herausforderungen und Chancen, die mit der Transformation des Energiesystems einhergehen, liegt in der Stärkung der Innovationskraft des Energie- und Wirtschaftsstandortes. Orientierungswissen liefert hierfür eine Sondierung der spezifischen Technologiepotenziale des Landes. Das Technologie-Screening der hier vorliegenden Studie liefert dafür eine wichtige Grundlage. Aus den obigen Darstellungen lassen sich drei zentrale Handlungsbereiche mit fünf Technologieclustern ableiten, in die in *Kapitel 6* die in dieser Studie betrachteten Technologien eingruppiert werden:

² Quellen: Landesarbeitskreis Energiebilanzen 2019

³ Für Sachsen, mit dem Braunkohle-Fördergebiet der Lausitz, liegen allerdings keine Angaben vor.

1 | Transformation zu einem erneuerbaren Energiesystem

- **Transformation Stromsektor:** Der Übergang zu erneuerbaren Energien bedingt eine nach und nach erfolgende Abschaltung der Großkraftwerke, beschleunigt durch den beschlossenen „Kohleausstieg“ bis spätestens zum Jahr 2038. Dies bedingt einen starken Umbau und ein hohes Marktpotenzial für eine low-carbon Strom- und Wärmeerzeugung, darunter der massive Einsatz erneuerbarer Energien-Technologien und damit verbunden Stromspeicher und Stromtransport, aber auch Erdgas-Kraftwerke im Übergang sowie Energieeffizienzmaßnahmen.
- **Transformation Fern- und Nahwärmeversorgung:** Speziell im Wärmesektor besteht in NRW traditionell eine hohe Auskopplung von Fernwärme aus Großkraftwerken zur dezentralen Wärmeversorgung. Diese fällt mit der Abschaltung von Kohle- und später von Erdgaskraftwerken weg, z. B. das Steinkohlekraftwerk Herne als zentraler Einspeisepunkt in die Fernwärmeschiene Ruhr. Daher ist ein starker Umbau der Wärmeversorgungsstrukturen nötig (dies betrifft Wärmeerzeugung, BHKW, Motoren, Wärmenetze und Wärmespeicher). Gleichzeitig bestehen hier Synergien zu den folgenden beiden Handlungsbereichen, wenn z. B. wie in Herne geplant die Wärme zukünftig über die Nutzung von synthetischem Methanol verbunden mit einer Brennstoffzelle bereit gestellt werden soll (Projekt „MefCO₂“).

2 | Transformation des Industriesystems

- **Grundstoffindustrie:** Eine weitgehende Emissionsminderung mit den bisher vorhandenen Technologien ist in der energieintensiven Industrie nicht möglich. Erforderlich sind zum einen umfangreiche, z. T. auch radikale Innovationen. Zu solchen Breakthrough-Innovationen gehört z. B. die Nutzung von grünem Wasserstoff in Produktionsprozessen. Zum anderen ist eine umfassende Steigerung der Materialeffizienz über die kompletten Wertschöpfungsketten hinweg nötig. Ziel ist dabei, eine langfristig angelegte Innovationsstrategie zu entwickeln, die sowohl die Klimaschutzanstrengungen als auch die Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit der energieintensiven Industrie in NRW stärkt (Wuppertal Institut 2018).
- **Verarbeitende Industrie:** Neben der Grundstoffindustrie besteht in NRW aber auch eine starke verarbeitende Industrie, die wichtig für Anlagenbau und Zulieferer der hier betrachteten Technologien ist. Dieses wirkt sich direkt proportional auf die Wertschöpfung in Nordrhein-Westfalen aus (z. B. Generatoren für Windkraftanlagen, Kraftwerksturbinen, ...).

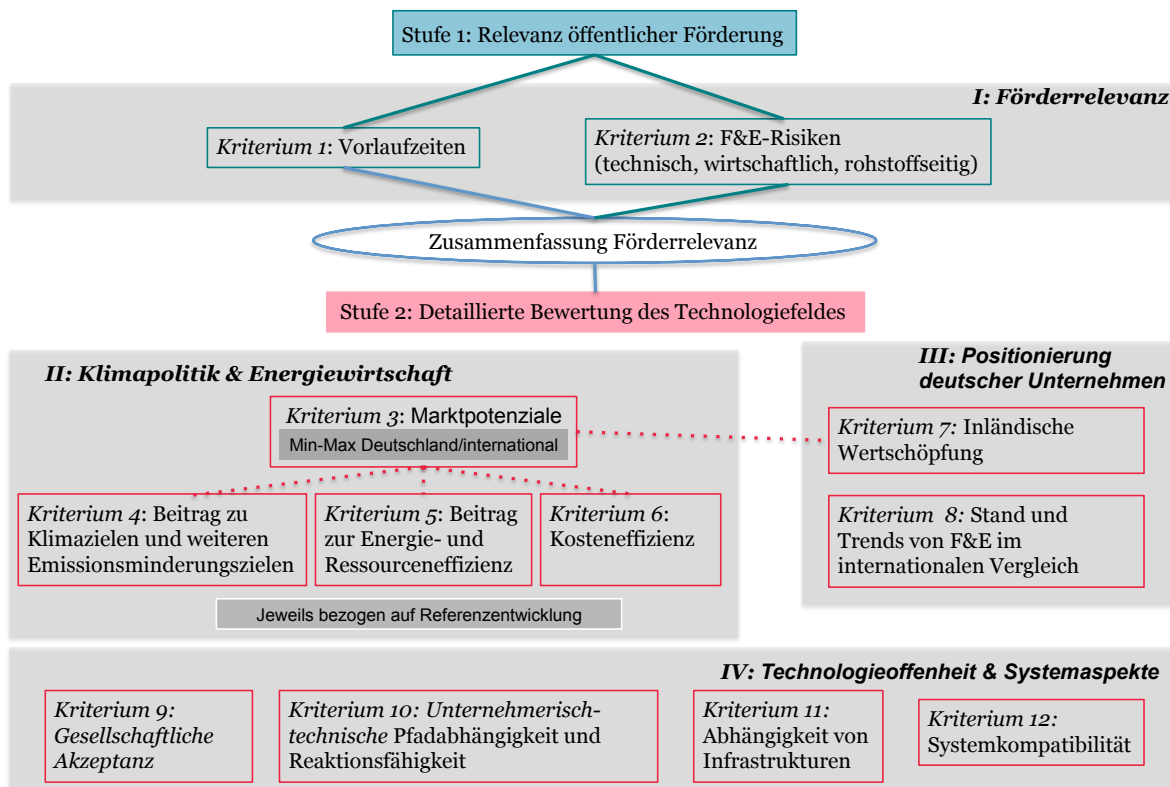
- 3 | **Sektorenkopplung:** Aus beiden der vorgenannten Bereiche („Energiewende“ und „Industriewende“) ergibt sich als überlappende Struktur der Bereich Sektorenkopplung mit der Wasserstoffherzeugung und den Power-to-X (PtX)-Technologien als Kernelementen. Weiterhin müssen hier auch die Infrastruktur-Technologien hinzu gezählt werden (Transport und Speicherung von Strom und Wärme) sowie die Bereitstellung von klimaneutralem CO₂ – beides hängt direkt mit den vorgenannten Bereichen zusammen. Entsprechend der oben dargestellten Bedeutung der beiden ersten Bereiche kommt damit auch der Sektorenkopplung als verbindendem Element eine hohe Bedeutung in NRW zu.

3 Qualitative Bewertung und Einordnung der Technologiefelder

3.1 Methodisches Vorgehen

3.1.1 Basisbewertung

In einem ersten Schritt wurden alle 31 Technologiefelder dahingehend qualitativ eingeschätzt, wie ihre Bewertung mittels der 12 Kriterien aus der Vorgängerstudie TF-Energiewende hinsichtlich eines Einsatzes in NRW im Vergleich zur Bewertung für ganz Deutschland abschneidet. Abbildung 1 zeigt die Kriterien, die in Anhang 2 kurz beschrieben werden.



Gruppen II - IV in Analogie zu den 3 Zielen der Energieforschungspolitik im aktuellen 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung

Abbildung 1: Kriterienraster zur Bewertung der Technologiefelder (aus TF-Energiewende)

Quelle: Wuppertal Institut et al. (2018)

Das Kriterium 8 wurde ersetzt durch „Stand von F&E im Vergleich der Bundesländer“, da der internationale Vergleich bereits in TF-Energiewende erfolgt ist.

Die Bewertung erfolgte mittels Expertenwissen und zusätzlichen Literaturanalysen in Bezug auf die Situation in NRW. Die vorläufigen Ergebnisse wurden anschließend in (virtuellen) Workshops mit ausgewiesenen Expertinnen und Experten für die einzelnen Technologiebereiche aus NRW diskutiert und ggf. angepasst.

Die Herleitung der Bewertungsergebnisse wurde in jeweils einem Steckbrief pro Technologiefeld kurz dokumentiert (siehe Anhang 3 mit allen Steckbriefen).

Die Relation der Bewertungsergebnisse für NRW im Vergleich zu ganz Deutschland wurde auf einer fünfstufigen Skala eingeordnet, sowohl für die einzelnen Kriterien als auch für die zusammenfassende Bewertung eines Technologiefeldes (Tabelle 1):

Tabelle 1: Skala für die Bewertung mit einzelnen Kriterien und für Gesamtbewertung

Bewertung einzelner Kriterien					
Einstufung	++	+	0	-	--
Bedeutung	überproportional hoch	höher	kein Unterschied	niedriger	überproportional niedrig
Im Vergleich zum Ergebnis der Bewertung für ganz Deutschland					
Gesamtbewertung eines Technologiefeldes					
Einstufung	sehr viel relevanter	relevanter	kein Unterschied	weniger relevant	sehr viel weniger relevant
Im Vergleich zum Ergebnis der Bewertung für ganz Deutschland					

Bei der Interpretation der Ergebnisse sind folgende Hinweise zu beachten:

- Die Ergebnisse zeigen eine relative, aber keine absolute Bedeutung. So kann ein Kriterium, das keinen Unterschied relativ zur Bundesebene zeigt, dennoch einen sehr hohen absoluten Wert darstellen. So ist z. B. das THG-Reduktionspotenzial von Erneuerbaren Energien sowohl in NRW als auch im Bund sehr hoch. Die Einschätzung für NRW lautet daher: „kein Unterschied“.
- Bei der Einschätzung muss auch immer die allgemeine Bedeutung von NRW im Vergleich zur Bundesebene hinsichtlich der allgemeinwirtschaftlichen Situation, wie sie in Kapitel 2 beschrieben wird, berücksichtigt werden. Erscheint z. B. ein Indikator zunächst als hoch, relativiert sich dies durch die allgemeine Bedeutung von NRW. (Befinden sich in NRW z. B. 20 % der Stromtrassen, relativiert sich dieser zunächst hohe Wert durch den Bevölkerungsanteil, der 21,5 % beträgt, so dass das Kriterium mit „niedriger“ beurteilt wird. Würde der Wert dagegen mit 40 % abgeschätzt, wäre die Einschätzung im Vergleich zur Bundesebene „überproportional hoch“).
- Lagen keine Informationen für die Situation in NRW vor, wurde die gleiche Bewertung wie für die Bundesebene angenommen (z. B. hinsichtlich der Akzeptanz einer Technologie), also mit „kein Unterschied“ ausgewiesen.
- Die Bewertung „kein Unterschied“ ergibt sich auch bei technischen Kriterien, da z. B. die Vorlaufzeiten, Pfadabhängigkeiten oder Abhängigkeiten von Infrastrukturen i. d. R. unabhängig vom Bundesland sind.
- Für Kriterium 8 „Stand von F&E im Vergleich der Bundesländer“ wurde eine abweichende Skala verwendet (siehe Kapitel 4).

3.1.2 Begründete Auswahl „besonders relevanter“ Technologien

Basierend auf dieser ersten Einschätzung wurden die Technologiefelder im 2. Schritt in zwei Gruppen aufgeteilt, um eine Auswahl zu treffen, für welche Technologien eine umfassende Forschungsförderung und tiefer gehende Analysen und Bewertungen empfohlen werden. Ausschlaggebende Kriterien hierfür waren i. d. R. das mögliche *Marktpotenzial* und die potenzielle *Wertschöpfung in NRW*. Wurde beispielsweise für ein Technologiefeld ein hohes erwartetes Marktpotential mit gleichzeitig hoher erwartbarer Wertschöpfung abgeleitet, das aber noch nicht hinreichend durch For-

schungsaktivitäten oder industriepolitische Kompetenzen unterlegt ist, ergab dies einen Hinweis auf Handlungsbedarf.

- **Gruppe A** umfasst solche Technologiefelder, deren Gesamtbewertung als „sehr viel relevanter“ oder „relevanter“ im Vergleich zum Bundesdurchschnitt eingeschätzt wird. Zum Teil stehen diese Technologiefelder noch am Anfang ihrer Entwicklung und sind noch nicht ausreichend im Markt vertreten, so dass sie einer massiven Förderung bedürfen.⁴
- **Gruppe B** beinhaltet solche Technologiefelder, für die die Gesamtbewertung „keinen Unterschied“ zur Bundesebene ergab oder die als „weniger relevant“ eingeschätzt wurden und für die daher kein Bedarf für eine zusätzliche Forschungsförderung gesehen wird. Dies heißt nicht, dass sie keiner Förderung bedürfen – im Gegensatz zur Gruppe A sind diese Technologiefelder jedoch schon im Markt vertreten und erhalten bereits vielfältige Forschungsförderung. Vor dem Hintergrund, dass es zur Umsetzung der Energiewende massiver Anstrengungen in allen Bereichen bedarf, wird empfohlen, diese auch beizubehalten.

3.1.3 Verfeinerung der Bewertung

Nach der ersten groben und qualitativen Bewertung sämtlicher Technologiefelder wurde die Bewertung im 3. Schritt hinsichtlich folgender Kriterien verfeinert:

- Für das Kriterium 8 „Stand von F&E im Vergleich der Bundesländer“ wurde eine eigene detaillierte Analyse der für die jeweiligen Technologiefelder relevanten Forschungsschwerpunkte und eingeworbenen Forschungsbudgets in NRW durchgeführt und das Kriterium in zwei Teilkriterien 8a „Forschungslandschaft in NRW“ und 8b „Forschungsbudgets in NRW“ aufgeteilt. Diese Analyse wird in *Kapitel 4* dargestellt. Die Ergebnisse bestätigten die vorherige qualitative Analyse im Wesentlichen und führten in einigen Fällen zu einer besseren (höheren) Bewertung.
- Für ausgewählte Technologiefelder der Gruppe A erfolgte durch das IW eine detailliertere Analyse der *wirtschaftlichen Chancen für NRW*, indem Kriterium 3 „Marktpotenzial“ und Kriterium 7 „NRW-Wertschöpfung“ mithilfe einzelner Unterkriterien genauer untersucht wurden. Diese Analyse wird in *Kapitel 5* dargestellt. Die detaillierteren Analysen ergaben für alle analysierten Technologiefelder eine um eine Stufe höhere Bewertung, wodurch die Gesamteinschätzung (Einordnung in Gruppe A) zusätzlich bestätigt wurde.

3.2 Gesamtbewertung der Technologiefelder

Tabelle 2 zeigt die Gesamtbewertung der Technologiefelder, in die bereits die Ergebnisse der detaillierten Bewertung aus den Kapiteln 4 und 5 eingegangen sind.

⁴ Vier Technologiefelder, die ebenfalls als „relevanter“ eingestuft wurden, werden jedoch der Gruppe B zugeordnet, da entweder bei ihrem Marktpotenzial oder der Wertschöpfung kein Unterschied zur Bundesebene gesehen wird.

Tabelle 2: Gesamtbewertung der 31 Technologiefelder, bezogen auf NRW

Technologiekategorie	Lfd. Nr.	Bezeichnung aus TFE	Technologiefeld	1	2	3	4	5	6	7	8a	8b	9	10	11	12	Gesamtbewertung	Gesamtbewertung		
				Vorlaufzeiten	F&E-Risiken (technisch, wirtschaftlich, rohstoffseitig)	Marktpotenziale (Anwendung in NRW)	Beitrag zu Klimazielen und weiteren Emissionsminderungszielen	Beitrag zur Energie- und Ressourceneffizienz	Kosteneffizienz	NRW Wertschöpfung (Anwendung weltweit)	Forschungslandschaft in NRW	Forschungsbudgets in NRW	Gesellschaftliche Akzeptanz	Unternehmerische Pfadabhängigkeit und Reaktionsfähigkeit	Abhängigkeit von Infrastrukturen	Systemkompatibilität		A (vorrangig)	B (bisher und weiter relevant)	
1. Erneuerbare Energien	1	1.1	Bioenergie	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0	0	kein Unterschied	15 Tech.	16 Tech.	
	2	1.2	Tiefengeothermie	0	0	0	-	-	0	++	+	+	0	0	0	0	relevanter	X	X	
	3	1.3	Photovoltaik	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kein Unterschied		X	
	4	1.4	Solare Wärme und Kälte	0	0	0/+	0/+	0/+	0/+	0	0	0	0	0	0	0	kein Unterschied		X	
	5	1.5	Solarthermische Kraftwerke	0	0	0	0	0	0	++	++	++	0	0	0	0	relevanter	X	X	
	6	1.6	Windenergie mit Exkurs Meeresenergie	0	0	-	-	-	0/+	0	0	+	-	0	-	0	kein Unterschied		X	
	7	1.7	Umweltwärme	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kein Unterschied		X	
2. Konventionelle Kraftwerke	8	2.1	Zentrale Großkraftwerke	0	0	0	++	++	0	+	0	0	0	0	0	0	kein Unterschied		X	
	9	2.2a	Dezentrale Kraftwerke (Brennstoffzellen)	0	0	0/+	0/+	0/+	0	0	+	0	0	0	0	0	kein Unterschied		X	
	10	2.2b	Dezentrale Kraftwerke (Motoren und Turbinen)	0	0	+	0	0	0	+	+	+	0	0	0	0	relevanter	X		
	11	2.3	CO2-Abscheidung und Speicherung (CCS)	0	0	0/+0	0/+0	-	-	0	+	+	0	0	0	+	0	relevanter		X
	12	2.4	CO2-Nutzung	0	0	++	++	++	+	++	+	+	0	0	0	0	sehr viel relevanter	X		
3. Infrastruktur	13	3.1	Stromtransport und -verteilung			++					0	+	+	0	0	0	sehr viel relevanter	X		
	14	3.2	Wärmetransport und -verteilung	0	0	++					+	+	0	0	0	0	sehr viel relevanter	X		
	15	3.3a	Energiespeicher (elektrisch und elektro-chemisch)	0	0	+					-	++	0	0	0	0	relevanter	X		
	16	3.3b	Energiespeicher (thermisch, thermo-chemisch und mechanisch)	0	0	++					+	+	0	0	0	0	sehr viel relevanter	X		
	17	3.4	Nutzung von Erdgas- und Erdölinfrastruktur und Raffinerien für strombasierte Brennstoffe			++						0	0				sehr viel relevanter	X		
4. Technologien für die Sektorkopplung (P2X)	18	4.1	Power-to-gas (Wasserstoff)	0	0	++	++	++	0	++	+	+	0	0	0	0	sehr viel relevanter	X		
	19	4.2a	Power-to-gas (Methanisierung chem.-katalyt.)	0	+	0	0	0	0/+	?	0	+	0	0	0	0	relevanter		X	
	20	4.2b	Power-to-gas (Methanisierung biologisch)	0	0	0	0	0	0/+	?	0	0	0	0	0	0	relevanter		X	
	21	4.3	Power-to-liquids/chemicals	0	0	+	0	++	++	++	+	+	0	0	0	++	0	sehr viel relevanter	X	
	22	4.4	CO2-Abtrennung aus Faulgasen und Umgebungsluft	0	0	++					++	0	0	0	0	++	-	sehr viel relevanter	X	
5. Energie-/ress. eff. Gebäude	23	5.1	Energieeffiziente Gebäude und Gebäudetechnik	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kein Unterschied		X	
6. Energie- und Ressourcen-effizienz in der Industrie	24	6.1	Energieeffiziente Prozesstechnologien	0	0	++/0/0	++/0/0	++/0/0	++/0/0	0	+	++	0	0	++/0/0	0	sehr viel relevanter	X		
	25	6.2	Energieeffiziente Querschnittstechnologien	0	0	+	+	+	+	0	+	+	0	0	0	0	relevanter		X	
	26	6.3	Stromerzeugungstechnologien zur Abwärmenutzung	0	0	++	++	++	++	0	0	0	0	0	0	0	sehr viel relevanter	X		
	27	6.4	Low-carbon und ressourceneffiziente Industrie	0	0	++/++/+	++/++/+	++/++/+			--/?/?	+	+	0	0	++/0/+	0	sehr viel relevanter	X	
7. Integrierte Aspekte	28	7.1	Elektromobilität - PKW	0	0	0	0			0	+	+	0	0	0	0	kein Unterschied		X	
	29	7.2	Elektromobilität - Hybrid-Oberleitungs-LKW	0	0	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	weniger relevant		X	
	30	7.3	Informations- und Kommunikationstechnologien								+	+	0	0	0	0	kein Unterschied		X	
	31	7.4	Systemintegration, -transformation und -innovation								+	+					kein Unterschied		X	

Es wird jeweils die relative Bedeutung im Vergleich zur deutschlandweiten Bewertung aus "TF-Energiewende" eingeschätzt.

Skala für Einzelkriterien
 -- = überproportional niedrig
 - = niedriger
 0 = kein Unterschied
 + = höher
 ++ = überproportional hoch

Skala Gesamtbewertung
 sehr viel weniger relevant
 weniger relevant
 kein Unterschied
 relevanter
 sehr viel relevanter
 Bewertung nicht möglich

4 Detaillierte Analyse der von Bund und Land eingeworbenen Forschungsmittel und der Forschungsschwerpunkte in NRW

4.1 Ziele der Analyse

Ziel dieses Studienteils ist die vertiefende Analyse der Technologiefelder mit Blick auf den Stand der Forschung und insbesondere den Status der Forschungslandschaft in NRW. Zudem werden Kompetenzen und Potenziale in NRW in Bezug zu den Technologiefeldern ermittelt. Aus der Untersuchung der Forschungslandschaft NRWs werden Rückschlüsse gezogen, welche Technologiefelder besonders relevant für NRW sind. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass bereits ein hoher Anteil an Forschungsmitteln (Förderung des Bundes und des Landes) in NRW eingesetzt wird, Leuchtturmprojekte umgesetzt werden, relevante Akteure und Forschungseinrichtungen ihren Standort in NRW haben, spezifische Netzwerke vorhanden sind und ein hohes Potenzial für die zukünftige Entwicklung gesehen wird.

4.2 Methodisches Vorgehen und Grenzen der Analyse

Um die Forschungslandschaft in NRW zu analysieren, wurden mehrere Quellen untersucht und ausgewertet. Ein zentraler Ansatzpunkt war die Auswertung der Datenbank *enArgus* (PtJ 2020a), die die bundesweiten Forschungsvorhaben rund um das Thema Energieforschung bereitstellt. Hierbei wurden (soweit wie möglich) für alle 31 Technologiefelder die Höhe der Forschungsmittel und die Leuchtturmprojekte ermittelt. Wenn möglich, wurden die Schlagworte verwendet, die in *enArgus* hinterlegt sind. In einigen Fällen war zwar kein Schlagwort zu einem spezifischen Technologiefeld vorhanden, eine Suche aber dennoch möglich. In wenigen Ausnahmefällen wurde bei der Eingabe des Technologiefeldes kein Treffer erzielt.

Bei der Auswertung wurden alle Projekte aus NRW ab dem Jahr 2010 berücksichtigt. Die Anzahl der Projekte und die Höhe der Forschungsgelder wurden in einem zweiten Schritt ins Verhältnis gesetzt zu Forschungsmitteln und -projekten in anderen Bundesländern. Um die relative Größe des Bundeslandes NRW ins Verhältnis zu setzen, wurde abschließend eine Auswertung der Forschungsmittel pro Einwohner vorgenommen (++: Platz 1; +: Platz 4-6; o: Platz 7-16). Bezüglich der *enArgus*-Datenbank sollte beachtet werden, dass es sich um eine Momentaufnahme handelt, und die Datenbank regelmäßig aktualisiert wird. Der Stand der Auswertung ist Mai/Juni 2020.

Um auch die Landesmittel, die in F&E investiert wurden, in die Analyse aufzunehmen, wurden die aktuellen Länderberichte (2018) vom Projektträger Jülich ausgewertet. Eine Herausforderung dabei ist, dass die Systematik zur Einordnung von Technologien nicht immer deckungsgleich mit der im Projekt verwendeten Systematik ist. Beispielsweise erfassen die Länderberichte das Technologiefeld „Energieeinsparung“, während die Projektsystematik etwas feiner nach „Energieeffizienz in Gebäuden“, nach „energieeffizienten Querschnittstechnologien“ sowie nach „energieeffizienten Prozesstechnologien“ differenziert. Da keine Informationen über die genaue Verwendung der Landesmittel im Bereich „Energieeinsparung“ vorliegen, erschien eine Verteilung der Mittel auf die drei Bereiche nicht sinnvoll. Für andere von PtJ erfasste Technologien gilt ähnliches. Entsprechende Informationen sind im folgenden Kapitel noch einmal zusammengestellt. Aufgrund der Grenzen der Analyse der Län-

derberichte wurden Mitarbeiter vom Projektträger ETN/Forschungszentrum Jülich ergänzend interviewt. Die Expertenmeinung zur F&E-Landschaft und zu F&E-Mitteln in bzw. aus NRW ist für jedes der 31 Technologiefelder in die Bewertung eingeflossen.

Auch die vorhandenen Netzwerke in NRW wurden betrachtet und den Technologiefeldern zugeordnet. Ferner wurden die Leiterinnen und Leiter der Netzwerke der Energieagentur NRW nach einer Bewertung der Technologiefelder befragt. Deren Einschätzungen wurden bei der Bewertung der Forschungslandschaft berücksichtigt.

Auch weitere Quellen, wie Webseiten und Datenbanken, wurden in begrenztem Umfang berücksichtigt. Beispiele sind die Webseiten www.strom-forschung.de und www.rhein-ruhr-power.de und die Spitzencluster Industrielle Innovation (SPIN).

Darüber hinaus wurden während der (virtuellen) Workshops innerhalb des Projekts Expertinnen und Experten zur Forschungslandschaft befragt. Deren Meinungen und hilfreichen Hinweise sind ebenso in die Bewertung eingeflossen.

4.3 Ergebniszusammenschau

4.3.1 Wesentliche Ergebnisse der Technologiefelder

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass NRW in vielfältigen Technologiebereichen energierelevante Forschung und Entwicklung umsetzt (vgl. Tabelle 4). Besonders hervorzuheben ist das Technologiefeld „solarthermische Kraftwerke“, in dem das DLR in Köln und Jülich laut Aussagen von Expertinnen und Experten Spitzenforschung betreibt und Leuchtturmprojekte umsetzt, die besondere Strahlkraft über die Landesgrenzen hinweg haben (z. B. der Solar- und Multifunktionsturm). Auch fließen hierfür besonders viele F&E-Mittel nach NRW. Die Erforschung „energieeffizienter Prozesstechnologien“ kann vergleichsweise hohe Summen an Fördermitteln auf sich vereinen, während „elektrische und elektro-chemische Energiespeicher“ zwar nicht besonders viele Mittel erhalten (abgesehen von der institutionellen Förderung), die Forschungslandschaft allerdings von besonderer Bedeutung ist und gut aufgestellt zu sein scheint. Zu nennen sind u. a. das Batterieforschungszentrum in Münster, die RWTH Aachen und das Fraunhofer Institut Umsicht in Oberhausen.

Betrachtet man die übergeordneten Technologiebereiche in Tabelle 4, so lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Im Technologiebereich *erneuerbare Energien* sticht neben der „Solarthermie“ die „Geothermie“ hervor.
- Bei der *konventionellen Kraftwerkstechnik* sind „Motoren und Turbinen“ sowie „CO₂-Technologien“ von besonderer Bedeutung.
- Im Bereich *Infrastruktur* sind „Stromtransport und -verteilung“ und „thermische, thermo-chemische und mechanische Energiespeicher“ neben den genannten „elektrischen und elektro-chemischen Energiespeichern“ nennenswerte Technologiefelder. Die Analyse der Forschungslandschaft hat ergeben, dass diese hier relevanter ist als in vielen anderen Bundesländern.
- Mit Blick auf *Technologien für die Sektorenkopplung* wurden „H₂-basierte PtG-Technologien“ sowie „PtL/PtC“ als relativ bedeutsam eingestuft.
- Im Bereich der *Industrietechnologien* zur Energie- und Ressourceneffizienz wur-

den lediglich „Stromerzeugungstechnologien zur Abwärmenutzung“ als weniger relevant im Bundesländervergleich einstuft; die anderen drei TF sind relevanter.

- Gleiches gilt für den Bereich der *integrativen Aspekte*: Drei von vier Technologiefeldern sind hier im Vergleich relevanter aus F&E-Sicht.

Tabelle 3: Aufstellung der Forschungslandschaft und Höhe der eingesetzten F&E-Mittel (Bund und NRW) im Vergleich zu anderen Bundesländern

Technologiebereich	Technologiefeld	Aufstellung Forschungslandschaft	Höhe F&E-Mittel
Erneuerbare Energie	Bioenergie	0	0
	Tiefengeothermie	+	+
	Photovoltaik	0	0
	Solare Wärme und Kälte	0	0
	Solarthermische Kraftwerke	++	++
	Windenergie mit Exkurs Meeresenergie	0	+
	Umweltwärme	0	0
Konventionelle Kraftwerke	Zentrale Großkraftwerke	0	0
	Dezentrale Kraftwerke (Brennstoffzellen)	0	+
	Dezentrale Kraftwerke (Motoren und Turbinen)	+	+
	CO ₂ -Abscheidung und Speicherung (CCS)	+	+
	CO ₂ -Nutzung	+	+
Infrastruktur	Stromtransport und -verteilung	+	+
	Wärmetransport und -verteilung	+	0
	Energiespeicher (elektrisch und elektro-chemisch)	++	0
	Energiespeicher (thermisch, thermo-chemisch und mechanisch)	+	0
	Nutzung von Erdgas- und Erdölinfrastruktur und Raffinerien für strombasierte Brennstoffe)	0	0
Technologien für die Sektorkopplung	Power-to-gas (Wasserstoff)	+	+
	Power-to-gas (Methanisierung chem.-katalytisch)	0	+
	Power-to-gas (Methanisierung biologisch)	0	0
	Power-to-liquids/chemicals	+	+
	CO ₂ -Abtrennung aus Faulgasen und Umgebungsluft	0	0
Energie-/ressourceneffiziente Gebäude	Energieeffiziente Gebäude und Gebäudetechnik	0	0
Energie- und Ressourceneffizienz in der Industrie	Energieeffiziente Prozesstechnologien	+	++
	Energieeffiziente Querschnittstechnologien	+	+
	Stromerzeugungstechnologien zur Abwärmenutzung	0	0
	Low-carbon und ressourceneffiziente Industrie	+	+
Integrative Aspekte	Elektromobilität - PKW	+	+
	Elektromobilität - Hybrid-Oberleitungs-LKW	0	0
	Informations- und Kommunikationstechnologien	+	+
	Systemintegration, -transformation und -innovation	+	+

Einstufung: Verhältnis der Forschungsmittel und -projekte in NRW im Vergleich zu anderen Bundesländern
 ++: Platz 1; +: Platz 4-6; 0: Platz 7-16

4.3.2 F&E-Mittel des Landes NRW – Exkurs zu den Daten des PtJ

Fördermittel der Bundesländer stellen neben den Mitteln des Bundes eine wichtige Säule zur Finanzierung von Forschungsvorhaben dar. PtJ erfasst jedes Jahr diese Mittelzuweisungen in sogenannten „Länderberichten“. Die Erfassung von Daten erfolgt zwar auch nach Technologien und Technologiefeldern. Die Systematisierung weicht allerdings von der hier verwendeten in Teilen ab, so dass an dieser Stelle lediglich die übergreifenden Ergebnisse erfasst werden. Für jene Technologien, bei denen sich die Systematiken decken, wird in den jeweiligen Steckbriefen in Anhang 3 auf die entsprechenden Ergebnisse aus den Länderberichten Bezug genommen (z. B. PV, Geothermie, Wind).

Die folgende Abbildung 2 zeigt, dass energierelevante Forschungsausgaben aus NRW relativ volatil sind. Seit Beginn der Erfassung waren die Ausgaben 2016 am niedrigsten, um dafür 2017 stark anzusteigen. Dies betrifft sowohl die absoluten Werte (2016: 17,2 Mio. EUR, 2017: 79 Mio. EUR), als auch den Anteil an den Ausgaben aller Länder (2016: 6,9 %; 2017: 28 %). In 2018 gingen die Mittel NRWs wieder zurück auf 28,8 Mio. EUR und 13,1 %.

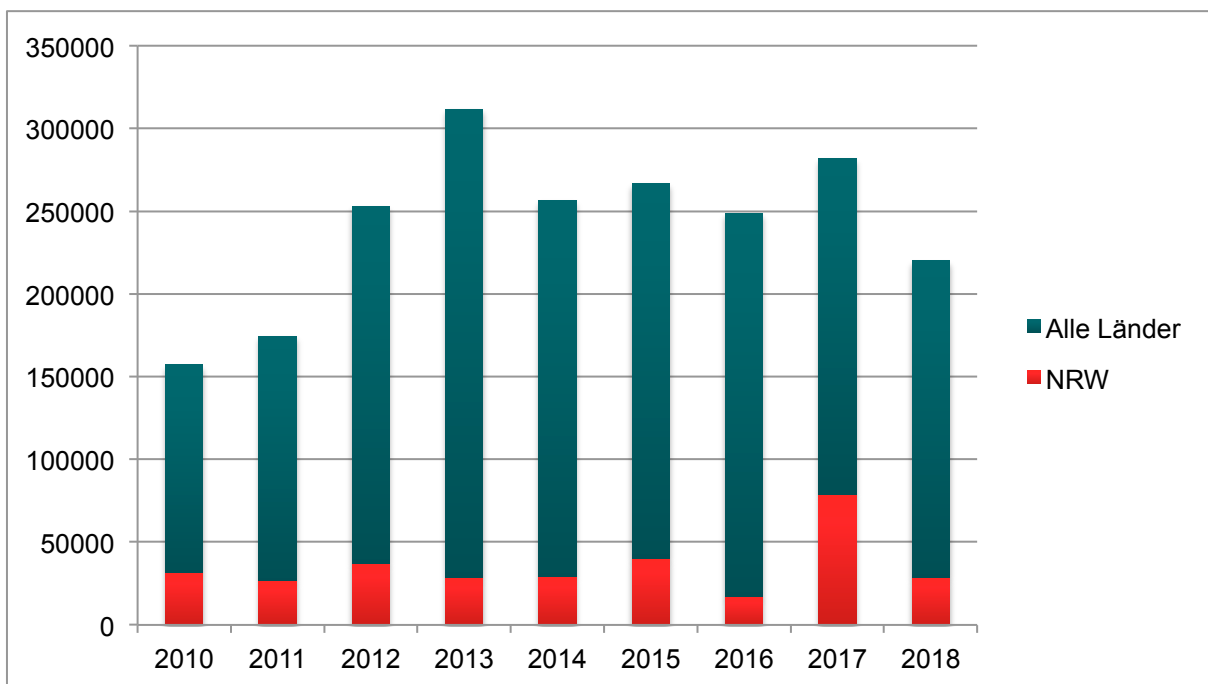


Abbildung 2: Energierelevante Forschungsmittel aus den Ländern zwischen 2010 und 2018 (in Tsd. EUR)

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf den Länderberichten des Projektträgers Jülich von 2010 bis 2018

Abbildung 3 zeigt, in welche Technologiefelder laut PtJ in 2018 Mittel geflossen sind. Danach erscheinen Energiespeicher und Brennstoffzellen sowie Solarthermie und PV von besonderer Bedeutung.

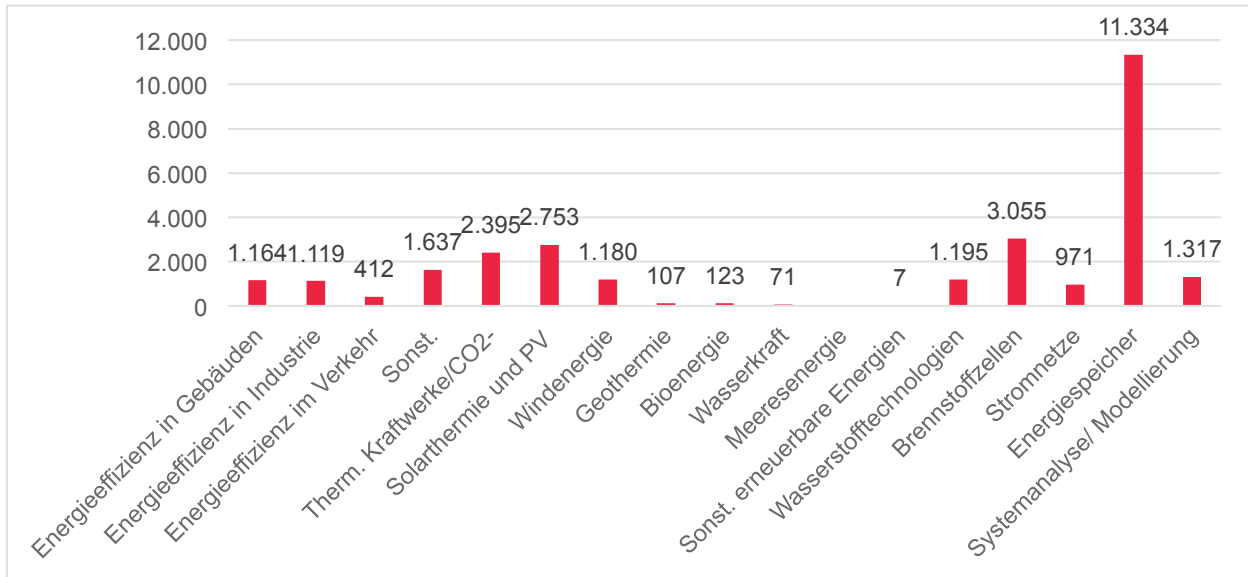


Abbildung 3: Energierelevante Forschungsmittel aus NRW in 2018 (in Tsd. EUR)

Quelle: PTJ (2020b)

Im Rahmen des Projekts TFE-NRW wird im Bereich der industriellen Energieeffizienz zwischen Querschnitts- und Prozesstechnologien unterschieden. Bei PtJ erfolgt diese Differenzierung nicht. Bayern, Sachsen und Baden-Württemberg nehmen in diesem Bereich einen Spitzenplatz ein. NRW folgt auf Rank vier.

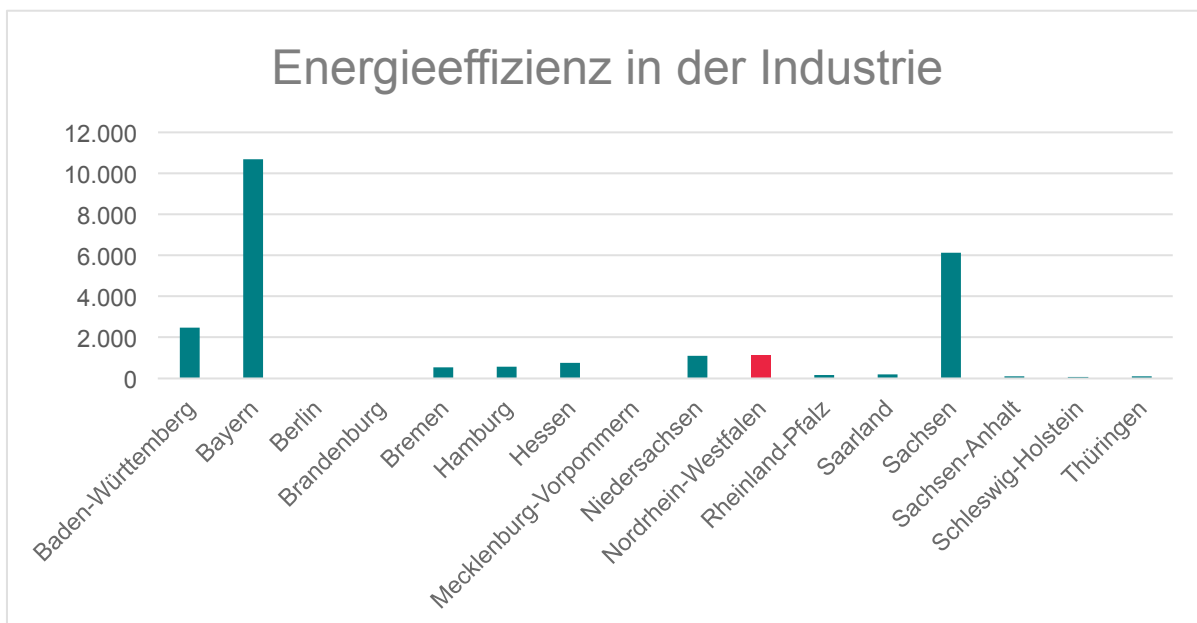


Abbildung 4: Energierelevante Forschungsmittel für den Bereich „Energieeffizienz in der Industrie“ in 2018 (in Tsd. EUR)

Quelle: PTJ (2020b)

Die Ausgaben von NRW im Bereich Energieeffizienz im Verkehr fallen gering aus. Diese Kategorie schließt den Bereich Elektromobilität ein. Im Verlauf des Dokuments wird der Fokus ausschließlich auf die Elektromobilität gerichtet.

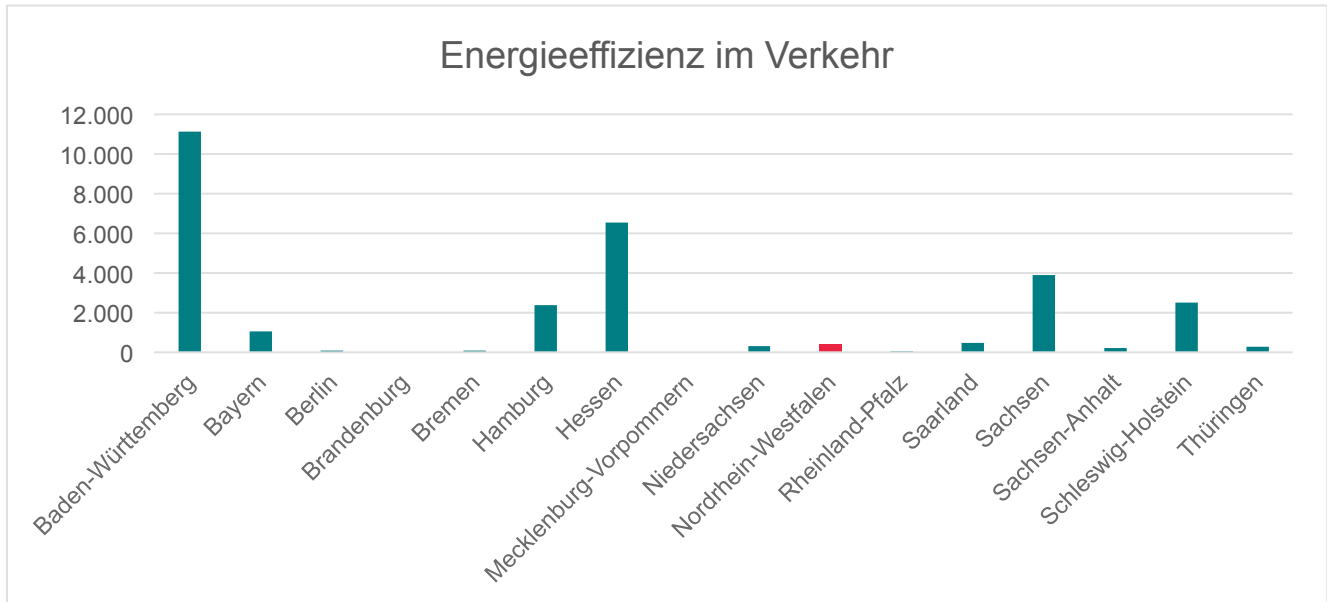


Abbildung 5: Energierrelevante Forschungsmittel für den Bereich „Energieeffizienz im Verkehr“ in 2018 (in Tsd. EUR)

Quelle: PTJ (2020b)

Die Ausgaben im Bereich der sonstigen Energieeffizienzmaßnahmen sind moderat. Eine genauere Beschreibung, was genau hierunter (in Abgrenzung zu Gebäuden, Industrie und Verkehr) zu verstehen ist, liegt nicht vor.

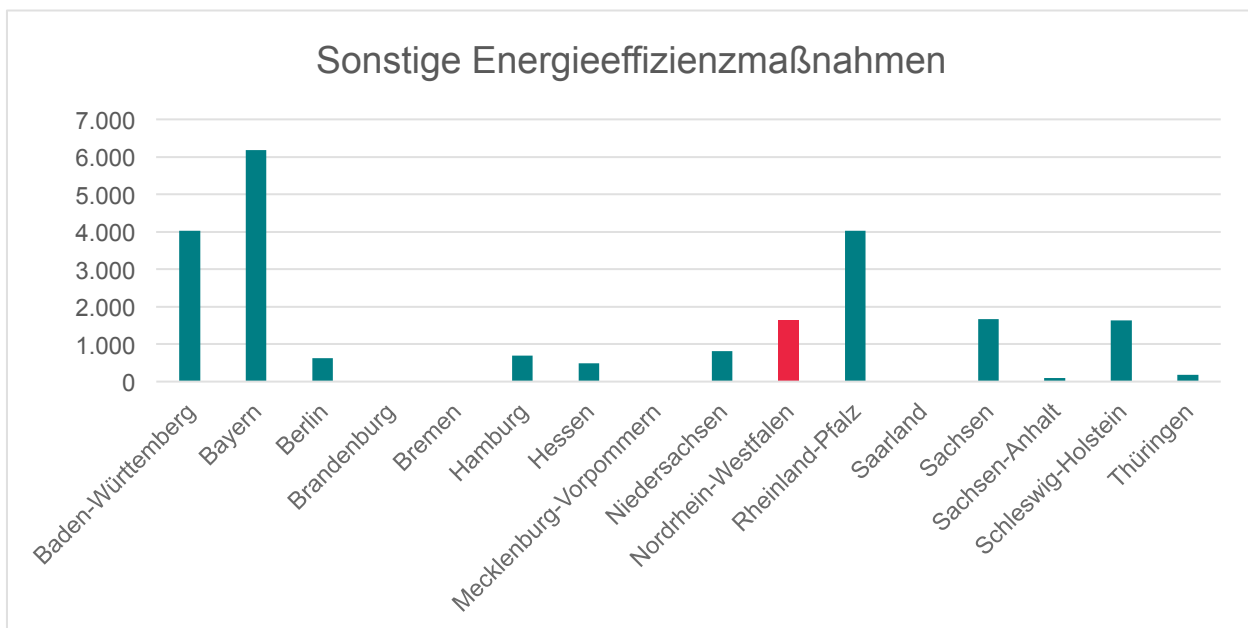


Abbildung 6: Energierrelevante Forschungsmittel für den Bereich „sonstige Energieeffizienzmaßnahmen“ in 2018 (in Tsd. EUR)

Quelle: PTJ (2020b)

Bei der Förderung thermischer Kraftwerke und CO₂-Technologien nimmt NRW den Spitzenplatz unter den Bundesländern ein. Eine genauere Differenzierung der Technologiefelder wie in Kapitel 3 liegt nicht vor.

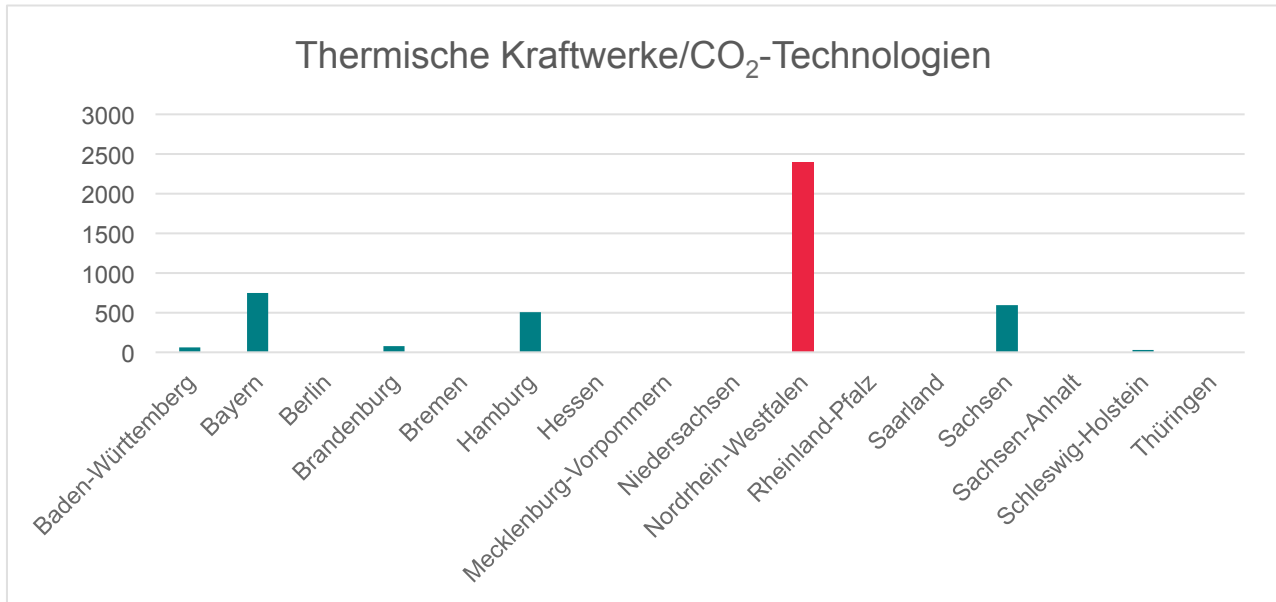


Abbildung 7: Energierelevante Forschungsmittel für den Bereich „thermische Kraftwerke und CO₂-Technologien“ in 2018 (in Tsd. EUR)

Quelle: PTJ (2020b)

Solarthermie und Photovoltaik werden im Gegensatz zur Systematik im TFE-Bericht im aktuellen Länderbericht des PTJ zusammen erfasst. NRW ist in diesem Bereich zweiplatziert.

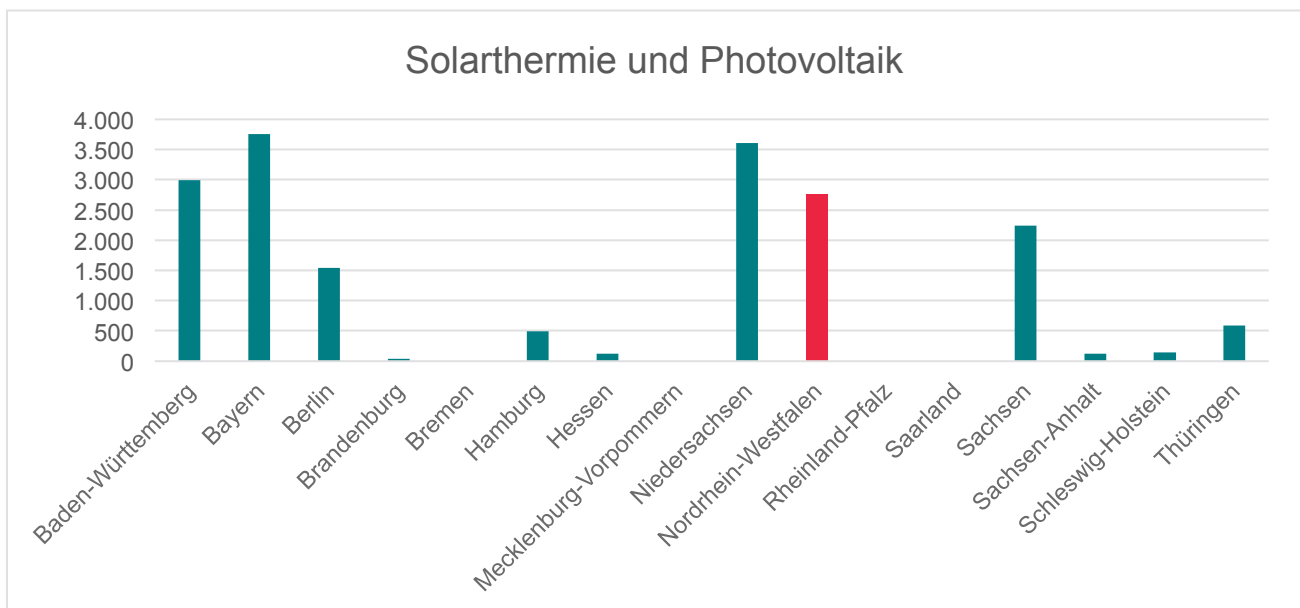


Abbildung 8: Energierelevante Forschungsmittel für den Bereich „Solarthermie und Photovoltaik“ in 2018 (in Tsd. EUR)

Quelle: PTJ (2020b)

Die Vergabe von Mitteln im Bereich der Wasserkraft erfolgt nur in wenigen Bundesländern. Hierzu gehört auch NRW, jedoch weit abgeschlagen nach Bayern, was an den geografischen Begebenheiten liegen dürfte.

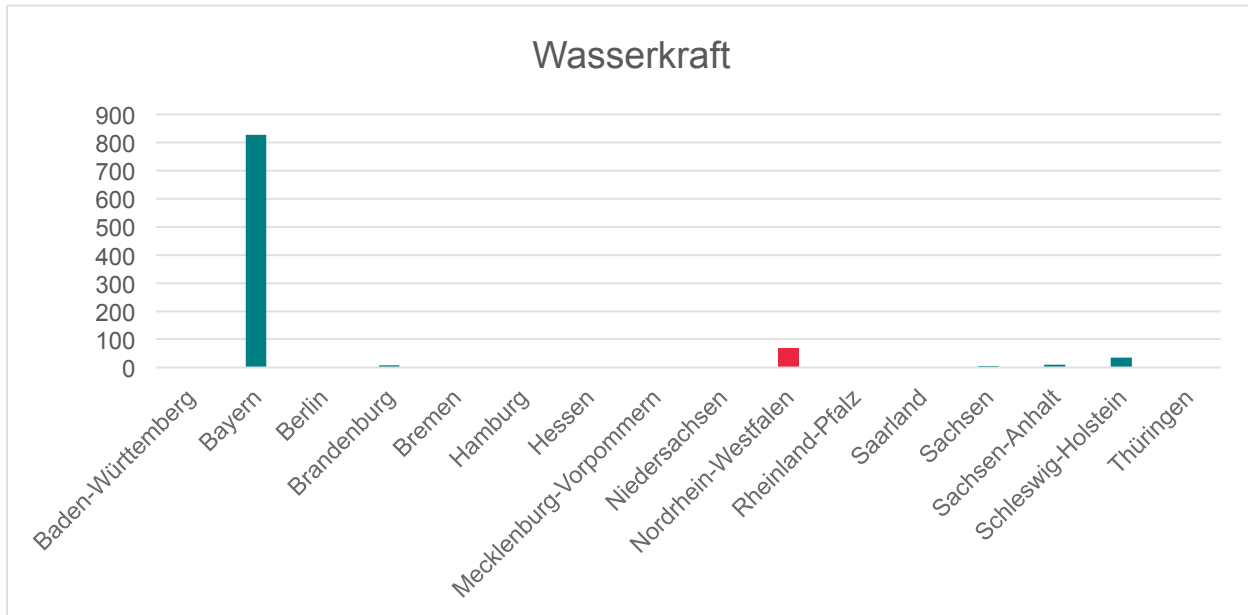


Abbildung 9: Energierrelevante Forschungsmittel für den Bereich „Wasserkraft“ in 2018 (in Tsd. EUR)

Quelle: PTJ (2020b)

In der Kategorie Energiespeicher des PtJ, die im Rahmen der Studie TF-Energie-wende unterschieden wird in elektrische und thermische Speicher, ist NRW auf dem Spitzenplatz. Niedersachsen folgt auf Platz 2 mit deutlichem Abstand.

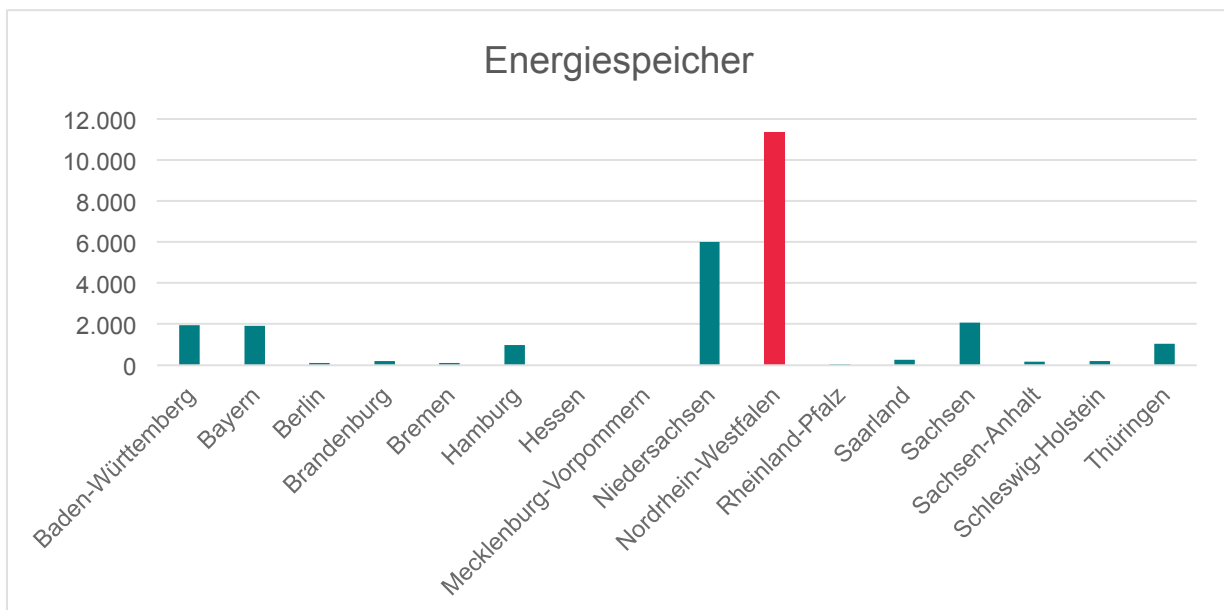


Abbildung 10: Energierrelevante Forschungsmittel für den Bereich „Energiespeicher“ in 2018 (in Tsd. EUR)

Quelle: PTJ (2020b)

Für Forschungsvorhaben, die von der EU oder dem Bund kofinanziert werden und eines Eigenanteils der Bundesländer bedürfen, erfasst das PTJ ausschließlich die Mittel der Länder.

4.4 Weitere Forschungsansätze und vertiefende Forschungsfragen

Bei der Untersuchung der Forschungslandschaft NRWs konnte im Rahmen des Projektes TFE-NRW nur eine übergreifende und erste Einschätzung vorgenommen werden. Dafür waren die Möglichkeiten der Auswertung der Datenbanken begrenzt, die Expertinnen- und Expertengespräche auf wenige Teilnehmer ausgelegt und die Berücksichtigung und Analyse weiterer Quellen nur cursorisch. Insbesondere die Forschungsmittel aus NRW konnten durch Grenzen bei der Datenverfügbarkeit nicht umfassend berücksichtigt werden.

Für eine umfassende Analyse der Forschungslandschaft NRWs müssten weitere Interviews geführt und die bestehenden Datenbanken noch umfassender ausgewertet werden. Zudem könnten die bestehenden Netzwerke noch stärker auf ihre Mitglieder und Schwerpunktthemen untersucht und einbezogen werden (wie die Netzwerke des Forschungsnetzwerk Energie des BMWi). Weiterhin steht eine Analyse der institutionellen Förderung bislang aus.

Auch die Fördermittel des Landes NRW (im Vergleich zu anderen Bundesländern) und die Aktivitäten der EU sollten detaillierter analysiert werden. Hierbei könnte intensiver der Frage nachgegangen werden, welche Themen in den einzelnen Technologiefeldern in den nächsten 10 Jahren eine besonders hervorzuhebende Rolle spielen werden und welchen Bedarf an Unterstützung seitens der Landesregierung notwendig wäre.

Insgesamt ist es ratsam, eine Methode zu entwickeln, wie zukünftig die relevanten Daten aus den vorhandenen Datenbanken und Netzwerken systematisch erfasst und ausgewertet werden sollten. Hieraus könnten frühzeitig Rückschlüsse gezogen werden, welche Technologiefelder und Themen derzeit und in Zukunft eine herausragende Rolle spielen, wo Lücken bestehen und wie vorhandene Potenziale durch stärkere Forschungsaktivitäten (Fördermittel/Förderprojekte) gehoben werden könnten.

5 Detaillierte Analyse der wirtschaftlichen Chancen für NRW von ausgewählten Technologiefeldern

5.1 Methodisches Vorgehen

In diesem Kapitel erfolgt eine Einschätzung der wirtschaftlichen Potenziale für ausgesuchte Technologiefelder aus der Gruppe A. Zu diesem Zweck werden die Kriterien 3 „Marktpotenzial“ und 7 „NRW-Wertschöpfung“ mithilfe einzelner Unterkriterien genauer untersucht und bewertet. Da hier nur Technologiefelder berücksichtigt werden, die bereits als „besonders relevant“ für NRW identifiziert werden konnten, ist die Bandbreite der Bewertungen geringer, als es in der vorangegangenen Kriterienbewertung in *Kapitel 3* der Fall ist. Es zeigte sich, dass die Ergebnisse überwiegend positiv ausfallen.

Im Rahmen der vorliegenden Studie können bereits für 8 der 15 als für NRW besonders relevant identifizierten Technologiefelder erste qualitative Abschätzungen der ökonomischen Potenziale auf Landesebene durchgeführt werden. Diese können als Grundlage für eine zukünftige detaillierte Identifizierung und Quantifizierung der einzelnen Potenziale der betrachteten Technologiefelder dienen. Zwar wurden die acht Technologien auch aufgrund ihrer hohen Relevanz für die regionale Wertschöpfung ausgewählt, allerdings erfolgte die Auswahl hauptsächlich aufgrund der Verfügbarkeit notwendiger Informationen sowie unter Berücksichtigung der Komplexität einzelner Technologiefelder und der betreffenden Akteurskonstellationen. Gerade im Bereich der Wertschöpfung ist die Bewertung einiger Technologiefelder im Rahmen dieses Forschungsprojekts vorerst nicht darstellbar. Die sieben weiteren Technologiefelder weisen hinsichtlich der ökonomischen Potenziale allerdings ebenso eine hohe Relevanz für NRW aus, weshalb zu deren Identifizierung weiterer Untersuchungsbedarf besteht.

Eine Bewertung von „0“ weist aus, dass im Rahmen der Untersuchung keine überproportional hohen Potenziale bezüglich des Kriteriums abzusehen sind oder im Rahmen dieses Forschungsprojekts noch nicht abschließend identifiziert werden können. Die Potenziale werden dabei auf Landesebene im Verhältnis zu den Bevölkerungs- oder Flächenanteilen eingeordnet, da NRW vor allem aufgrund der hohen Bevölkerungsanteile in absoluten Größen durchgehend überdurchschnittliche Potenziale aufweist. Analog geben die beiden Bewertungen „+“ und „++“ an, dass und in welchem Ausmaß überproportional hohe Potenziale auf Länderebene identifiziert werden konnten. Ebenso weist eine Bewertung von „++“ aus, dass Potenziale in diesen Fällen schon spezifisch benannt werden können. Eine Bewertung von „+“ hingegen deutet auf absehbare Potenziale hin, zu deren Identifizierung es aber einer umfassenderen Untersuchung bedarf.

Detailliertere Ausführungen zu den Bewertungen und den Kriterien sind in den Technologie-Steckbriefen im Anhang 4 hinterlegt. Darin sind darüber hinaus in vielen Fällen identifizierte Forschungsbedarfe zur Untersuchung technologiespezifischer Potenziale aufgeführt.

5.2 Bewertungskriterien

Marktpotenzial: Unter diesem Kriterium werden die Potenziale auf der Nachfrageseite bewertet. Potenzielle regionale Absatzmärkte werden einerseits für die An-

wendung der betrachteten Technologien und andererseits für die nachgelagerten Endprodukte betrachtet, für deren Fertigung die Technologien vorrangig genutzt werden. Letztere beinhaltet auch die mithilfe der jeweiligen Technologie bereitgestellte Energieerzeugung. Zusätzlich weist das Unterkriterium „Exportchancen“ aus, ob in den jeweiligen Technologiefeldern anhand bestehender Export- und Weltmarktanteile bereits signifikante Potenziale im Außenhandel erkennbar sind.

Wertschöpfung: Die Wertschöpfung beinhaltet die ökonomischen Potenziale bei der Fertigung und Anwendung der betrachteten Technologien. Das Kriterium betrachtet die Angebotsseite und die Erfolgsaussichten, die identifizierten Absatzmärkte zu bedienen. Durch eine erste Bestandsaufnahme der relevanten Akteure in NRW wird der Umfang des möglichen Wertschöpfungspotenzials abgeschätzt. Im nächsten Schritt erfolgt zur Bemessung der regionalen Wertschöpfungspotenziale eine Einschätzung, in welchem Umfang diese Potenziale entlang der betreffenden Wertschöpfungsketten im Land gehoben werden können oder ob einzelne Wertschöpfungsstufen tendenziell außerhalb der Landesgrenzen verortet sind. Darüber hinaus werden zusätzliche Standortfaktoren, wie beispielsweise die vorhandene technische und industrielle Infrastruktur, in die Bewertung einbezogen.

5.3 Bewertungsergebnisse

Tabelle 4 zeigt, dass in vielen Technologiefeldern gerade aufgrund der stark ausgeprägten industriellen Strukturen in NRW überproportional hohe Marktpotenziale identifiziert werden können. Insbesondere die Technologiefelder im Bereich der Sektorenkopplung, vertreten durch PtX und auch CO₂-Nutzung, weisen umfangreiche Anwendungsmöglichkeiten auf. Diese ergeben sich aus hohen Nachfragepotenzialen, vor allem im Industriesektor, und auch aus umfangreichen Wertschöpfungspotenzialen durch die Technologieanwendung und Anlagenfertigung. Desweiteren können im Bereich der klimafreundlichen Technologien im Industriesektor zahlreiche Potenziale in der Anwendung identifiziert werden. Bezüglich möglicher Wertschöpfungseffekte bei der Fertigung industrieller Anlagentechnik sind zwar ebenso erste Potenziale erkennbar, allerdings bedarf es hier einer genaueren Untersuchung der auf Landesebene vorhandenen technologiespezifischen Kompetenzen.

5.3.1 Bewertung der Marktpotenziale

Nachfrage nach Technologien und Endprodukten: Bei den Anwendungsmöglichkeiten der einzelnen Technologien zeigen sich umfangreiche Potenziale in der Nutzung verschiedener PtX-Technologien. Dies betrifft die Erzeugung und Nutzung von grünem Wasserstoff, aber genauso die Anwendung von Power-to-Heat zur Bereitstellung von Prozesswärme und zur Dampferzeugung. Hierunter fallen auch sogenannte Power-to-Products-Routen, wobei mithilfe von grünem Wasserstoff und abgefangenen CO₂-Strömen synthetische Kohlenwasserstoffe erzeugt werden. Die Verwendung dieser Technologie bietet sich vor allem in der stark vertretenen Chemieindustrie zur Erzeugung von Grundstoffchemikalien an.

Nachteilig ist, dass alle PtX-Anwendungen große Mengen an grünem Strom benötigen, wodurch gerade dessen Erzeugung als auch Speicherung und der Transport eine Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Etablierung dieser Technologien darstellt. Da gerade in NRW Potenziale im Bereich der erneuerbaren Energien bisher nur be-

grenzt gehoben werden konnten, ergibt sich die Notwendigkeit einer effektiven Nutzung der verfügbaren Energiemengen. Dies bietet wiederum hohe Chancen für die hier betrachteten Technologiebereiche der elektrischen Energiespeicher und der Thermoelektrik. Gerade die Nutzung von industrieller Abwärme, beispielsweise zur Stromerzeugung, bieten in NRW deutlich überdurchschnittliche Anwendungsmöglichkeiten, da durch die stark vertretene Grundstoffindustrie umfangreiche Abwärmemengen vorhanden sind.

Tabelle 4: Ergebnisse der Detailbewertung ausgewählter Technologiefelder hinsichtlich der wirtschaftlichen Chancen für NRW

Lfd. Nr.	Technologiefeld	Marktpotenziale			Wertschöpfung		
		Nachfrage Technologie	Nachfrage Endprodukt	Exportchancen	NRW-Akteure	Regionale Wertschöpfung	Standortattraktivität
5	Solarthermische Kraftwerke	0	++	++	++	+	0
12	CO ₂ -Nutzung	++	+	+	++	++	++
15	Energiespeicher (elektrisch)	+	++	0	+	0	+
18	Power-to-Gas (Wasserstoff)	+	++	++	++	+	+
21	Power-to-Liquids/Chemicals	++	+	+	++	+	++
24	Energieeffiziente Prozesstechnologien	++	0	+	++	+	+
26	Stromerzeugungstechnologien zur Wärmenutzung	++	++	0	++	+	++
27	Low-carbon und ressourceneffiziente Industrie	++	0	0	++	0	+

Einstufung:

0: Keine überproportional hohen Potenziale in Relation zu den zu den Bevölkerungs- oder Flächenanteilen abzusehen oder nicht möglich gewesen, im Rahmen der Studie abschließend zu identifizieren.

+: Absehbare höhere Potenziale, zu deren Identifizierung es aber einer umfassenderen Untersuchung bedarf.

++: Überproportional hohe Potenziale können benannt werden.

Exportchancen: Für alle hier betrachteten Technologien sind langfristig Exportpotenziale erkennbar. Im Bereich der Solarthermie als auch der Elektrolyseure zur Wasserstofferzeugung können diese Potenziale durch die Fertigung von Anlagen und Anlagenkomponenten durch die in NRW ansässigen relevanten Hersteller klar benannt werden. Für Technologiefelder wie der „Stromerzeugungstechnologie aus Abwärme“ und der elektrischen Energiespeicher können kurzfristig keine überproportional hohen Exportpotenziale identifiziert werden. Obwohl durchaus relevante Akteure in NRW vertreten sind, ist der Großteil der führenden Unternehmen außerhalb angesiedelt.

Bei breit gefächerten Technologiefeldern wie den „energieeffizienten Prozesstechnologien“ und der „low-carbon und ressourceneffizienten Industrie“, bedarf es weiterer spezifischer Untersuchungen der einzelnen Technologien, um genaue Aussagen treffen zu können. Da in diesen Fällen eine ganze Reihe verschiedener Technologien mit branchenspezifischen Anwendungen betrachtet werden, können hier aufgrund der verfügbaren Informationen nur Bewertungen zu einigen der technischen Anwendungen vorgenommen werden. Beispielsweise sind kurz- bis mittelfristig keine Potenziale im Bereich der hocheffizienten Steam Cracker erkennbar, da diese Anlagen vor-

nehmlich im Ausland entwickelt werden und die bestehenden deutschen Fertigungsstandorte nicht in NRW verortet sind.

5.3.2 Bewertung der Wertschöpfung

Regionale Wertschöpfung durch NRW-Akteure: Wertschöpfungspotenziale können vornehmlich bei industriellen Anwendungen im Technologiebereich 6 und Sektorkopplungstechnologien in Technologiebereich 4, dies mit einer ebenfalls hohen Bedeutung für die ansässige Industrie, identifiziert werden. Beispielsweise lassen sich umfangreiche Anwendungsmöglichkeiten von klimafreundlichen Prozessen in den stark vertretenen Wirtschaftszweigen Chemie und Metallerzeugung und -bearbeitung identifizieren. Vielfach spielt neben den Anwendungsgebieten ebenso die Fertigung der benötigten Anlagen zu absehbaren Wertschöpfungspotenzialen im Anlagen- und Maschinenbau. Diese drei genannten Branchen machen dabei mit insgesamt 137 Mrd. Jahresumsatz in 2018 knapp 40 % des gesamten Umsatzes des produzierenden Gewerbes in NRW aus (IT.NRW 2019).

Zusätzlich zu den Möglichkeiten bei der Anwendung der Technologien ist bei allen betrachteten Technologiefeldern von weiteren Potenzialen in den stark vertretenen Wirtschaftszweigen der Grundstoffindustrie durch den Bedarf in der Anlagen- und Komponentenfertigung auszugehen. Zu den Wertschöpfungseffekten der breitgefächerten Technologiefelder im Industriesektor können im Rahmen dieser Studie bereits erste Abschätzungen der Potenziale durch Anwendung der Technologien auf Branchenebene getroffen werden. Allerdings bedarf es hier einer genauen Identifizierung der vorhandenen Kompetenzen im Maschinen- und Anlagenbau und in einigen Fällen einer Untersuchung auf der Ebene einzelner Prozesse, da es sich beispielsweise bei der industriellen Nutzung von Power-to-Heat um eine Vielzahl prozessspezifischer Anwendungen handelt. Zukünftig gilt es, gezielt zu erfassen, in welchen Technologiefeldern angesiedelte Akteure neben Forschungsaktivitäten auch in der Herstellung technischer Anlagen bereits signifikante Erfolge vorweisen können und wie diese dauerhaft gesichert werden. Dies gilt auch für die Frage, in welchen Bereichen noch aufgrund bestehender Standortvorteile – meist bedingt durch die angesiedelte Forschungs- und Industrieinfrastruktur – zusätzliche Potenziale gehoben werden können. In anderen Fällen sind weitere zum jetzigen Zeitpunkt schwer absehbare Faktoren entscheidend für die Erschließung zusätzlicher regionaler Wertschöpfungseffekte und es bedarf eines Monitorings der Entwicklung der betroffenen Branchen oder auch des Erfolgs politischer Maßnahmen. Beispielsweise im Fall der elektrischen Speicher könnte die geplante Förderung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung eine entscheidende Rolle spielen und es gilt zu überprüfen, ob durch die Ansiedlung der Forschung im Bereich der Zellfertigung dauerhaft auch signifikante Fertigungskapazitäten von Batteriezellen zu beobachten sein werden und im Zuge dessen auch eine Stärkung der Fertigung weiterer Komponenten.

Standortattraktivität: Hier lässt sich vor allem die räumliche Ballung von führenden Forschungseinrichtungen als klarer Vorteil benennen, da diese ein hohes Potenzial für die weitere Entwicklung einzelner Technologien und Kooperationen mit Unternehmen darstellt. Ebenso bietet die Vielzahl und Dichte der Industriestandorte, gerade zentraler Wirtschaftszweige wie Metallerzeugung und -bearbeitung sowie Chemie und Maschinenbau, die Voraussetzung zu umfangreichen Kooperationen

und der Bildung von Innovationsclustern, die durch Informationsaustausch eine effektive Etablierung neuer Technologien und damit die Stärkung des Industriestandorts NRW ermöglichen. Die vorhandenen industriellen Infrastrukturen begünstigen darüber hinaus den Energietransport und im Fall der chemischen Industrie den Transport von Wasserstoff und einiger Grundchemikalien, welche beispielsweise für die Anwendung von Power-to-Chemicals und Prozessen zur CO₂-Nutzung benötigt werden.

Ein klarer Nachteil liegt bisher im Mangel an klimafreundlicher Energiegewinnung. Unter anderem bedingt durch die begrenzten Flächen aufgrund der dichten Besiedlung des Landes und der begrenzten Potenziale im Bereich der Solar- und Windenergie lag 2017 der Anteil der erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung in NRW mit 11 % deutlich unter dem Wert auf Bundesebene von 33 % (Föederal Erneuerbar 2019). Der Großteil der betrachteten Technologien ist auf umfangreiche Strommengen angewiesen, wodurch sich zum Beispiel die Erzeugung von Wasserstoff oder synthetischen Kraftstoffen eher in Regionen mit höheren Potenzialen für Wind- oder Solarenergieanlagen anbietet.

5.4 Grenzen der Untersuchung

Im Rahmen dieser Untersuchung konnten bereits qualitative Aussagen zu einer Vielzahl der für NRW relevanten Technologiefelder getroffen werden, vor allem im Hinblick auf die Anwendungspotenziale. Es konnten in vielen Fällen neben einer ersten qualitativen Abschätzung der Wertschöpfungspotenziale vor allem weitere Forschungsbedarfe identifiziert werden, um diese Potenziale zukünftig auch gezielt quantifizieren zu können. Um eine genauere Bewertung der hier betrachteten Kriterien zu ermöglichen, bedarf es allerdings weiterer Forschungsaktivitäten. Bei vielen Technologien fehlt bisher die notwendige Erfahrung aus der praktischen Anwendung, um genaue Aussagen treffen zu können. Infolgedessen konnten auch die Technologiefelder „Nutzung von Erdgas- und Erdölinfrastruktur und Raffinerien für strombasierte Brennstoffe“ und „CO₂-Abtrennung aus Faulgasen und Umgebungsluft“ nicht bewertet werden. Ebenso bedarf eine detaillierte Bewertung der Technologiefelder umfangreiche Daten zu den ansässigen Kompetenzen.

Die Komplexität der Akteurskonstellationen, der Wertschöpfungsketten als auch der Definition der Technologiefelder führt ebenfalls dazu, dass von einer Bewertung zusätzlicher Technologiefelder im Bereich der Energieerzeugung und –infrastrukturen abgesehen wird. Hier besteht ein hoher Bedarf für weitere Untersuchungen, gerade auch mit Blick auf den hohen Energiebedarf auf Landesebene. Beispielsweise sind im Bereich der Energieinfrastrukturen eine Vielzahl heterogener Akteure und unterschiedliche technische Anwendungen im Rahmen der Wertschöpfungsketten zu beachten. Ein weiteres Beispiel ist die Errichtung von Geothermieanlagen, da hier aufgrund umfangreicher vorgelagerter Arbeitsschritte eine hohe Anzahl diverser Akteure auf unterschiedlichen Wertschöpfungsstufen berücksichtigt werden müssen. Ebenso erfordert eine Bewertung der Potenziale für das Technologiefeld „Dezentrale Kraftwerke – Motoren und Turbinen“ die detaillierte Untersuchung spezifischer Wirtschaftszweige beziehungsweise eine produktbezogene Aufarbeitung von Hersteller-Datenbanken.

5.5 Weitere Forschungsansätze und vertiefende Forschungsfragen

Hersteller-Analyse zur Einschätzung der Standortstärke von NRW: Eine Bestandsaufnahme der in NRW ansässigen Hersteller innerhalb unterschiedlicher Technologiefelder kann eine detailliertere Auskunft darüber liefern, wie stark die wirtschaftlichen Chancen im Bundesland bereits genutzt werden. Daten über Hersteller der einzelnen Technologiefelder sind unmittelbar noch nicht verfügbar, könnten aber besonders für den Maschinenbausektor einen erheblichen Erkenntnisgewinn liefern. Daher bietet sich die Nutzung amtlicher Statistiken auf NACE 4-Steller Ebene an, um eine eigene Zuordnung von Herstellern auf die Technologiefelder vorzunehmen.

Untersuchung weltweiter Marktentwicklungen für Technologien: Eine Abschätzung der möglichen Etablierung und der Marktentwicklung der Technologien in anderen Ländern bietet eine Grundlage zur Quantifizierung der nordrhein-westfälischen Exportpotenziale als auch für eine Analyse der Weltmarktkonstellationen. Durch eine Bestandsaufnahme der Entwicklungen in anderen Ländern ergeben sich zudem Einblicke in bisherige Erfahrungen bei der Anwendung einzelner Technologien. Zudem erlaubt dies die Identifizierung möglicher Hürden und zentraler Geschäftsmodelle im Rahmen der Etablierung neuer Technologien. Beispielsweise kann die Untersuchung von Plänen und Erfahrungen aus Ländern mit ambitionierten Zielen zur Etablierung einer Wasserstoffwirtschaft – wie die Niederlande oder Japan - als Anhaltspunkt zur Analyse der Anwendungsmöglichkeiten und Erfolgchancen der Sektorkopplungstechnologien in Technologiebereich 4 genutzt werden. Ebenso bieten internationale Beispiele Erfahrungen zur Bildung von Innovationsclustern zur Stärkung der Robustheit von Industriestandorten im Rahmen des technologischen Wandels.

Bemessung möglicher Weltmarktanteile für NRW: Eine Bestimmung des regionalen Wertschöpfungspotenzials, insbesondere möglicher Weltmarktanteile für nordrhein-westfälische Industriesektoren, erfolgt im bestehenden Projekt bisher nur ansatzweise. Auf Basis von Handelsstatistiken ließe sich detaillierter abschätzen, inwiefern NRW-Unternehmen sich als bedeutende Player auf dem Weltmarkt etablieren könnten. Zusätzlich können mithilfe einer Input-Output-Analyse mögliche Wertschöpfungseffekte durch entstehende Investitionen im Rahmen technologischer Transformationsprozesse identifiziert und quantifiziert werden. Anhand von Indikatoren wie zum Beispiel regionalen Beschäftigtenzahlen ist so auch eine Bemessung der Effekte auf Landesebene näherungsweise möglich. Darüber hinaus können bestehende Input-Output-Tabellen als Grundlage genutzt werden, um Erkenntnisse zu Wertschöpfungsketten und potenziellen Auswirkungen bisher wenig etablierter Technologien zu gewinnen.

Synergieeffekte mit weiteren NRW-Projekten nutzen: Es besteht erhebliches Synergiepotenzial mit anderen derzeit durch das MWIDE geförderten Forschungsprojekten, in denen weitere Erkenntnisse zu NRW-relevanten Technologiefeldern gewonnen werden. Allen voran ist hierbei das Projekt SCI4Climate.NRW zu nennen, in dem das Wuppertal Institut sowie das Institut der deutschen Wirtschaft gemeinsam mit Fraunhofer Umsicht und der RWTH Aachen an Technologien für eine klimaneutrale Grundstoffindustrie forschen, wie etwa zur Sektorenkopplung in der Industrie, aber auch rund um Themen der Energieerzeugung und zum Aufbau der not-

wendigen Infrastruktur. Mögliche Synergien bestehen etwa bei der Identifikation von bestehenden Industriekooperationen beziehungsweise Innovationsclustern als auch bei der Bestimmung der zu erwartenden ökonomischen Effekte durch den technologischen Wandel in der Grundstoffindustrie. Weiterhin werden im Rahmen des Projekts notwendige politische Rahmenbedingungen sowie technologiespezifisch passende Politikinstrumente zum Markthochlauf klimafreundlicher Technologien erarbeitet.

Passende Förderung von Know-how als Standortfaktor: Die Etablierung als führender Standort für innovative Energietechnologien bedarf einer herausragenden Innovations- und Forschungsleistung, die mit der entsprechenden Ausbildung von Fachkräften einhergeht. Das Vorliegen derartiger Standortvorteile ebenso wie gegebenenfalls Aufholbedarfe lassen sich nur mithilfe von regionalen Daten identifizieren. Mögliche Anknüpfungspunkte zur Gewinnung dieser Daten sind detaillierte Patentdatenbankanalysen, sowie ein Abgleich der Fachkräfte- und Ausbildungsstrukturen mit dem notwendigen technischen Fachkräftebedarf.

6 Aufnahme weiterer Technologien und Zuordnung der Technologiefelder zu den Handlungsbereichen in NRW

Die durchgeführte Bewertung bezog sich bisher nur auf die in TF-Energiewende betrachteten Technologien mit der dort erfolgten Kategorisierung. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden jedoch weitere Aspekte diskutiert, die in Tabelle 5 als Synthese aller Informationen zusammengefasst dargestellt werden:

- Ergänzend zu den bewerteten Technologien wurden auch weitere Technologien aufgenommen, die für NRW einen hohen Stellenwert besitzen (siehe vorletzte Tabellenspalte). Hier wurde auf die Empfehlungen aus den (virtuellen) Expertenworkshops und weiteren Expertengesprächen zurückgegriffen. Eine Bewertung konnte jedoch aufgrund der hier verwendeten Systematik nicht durchgeführt werden, da diese Technologien bisher nicht für die Bundesebene bewertet wurden.
- Zudem wurden auch diejenigen Technologien geprüft, die im Zentrum der Industrieinitiative In4Climate.NRW stehen (siehe letzte Tabellenspalte). Diese sind jedoch bis auf zwei Ausnahmen (H₂-Transport und -Speicherung) auch im Projekt TF-Energiewende enthalten gewesen und wurden entsprechend in die Bewertung mit einbezogen.
- Alle Technologien wurden systematisch den ausgewiesenen Handlungsbereichen und Technologieclustern zugeordnet, die in *Kapitel 2* als zentral für die Energiewende in NRW abgeleitet wurden:

1 | Transformation zu einem erneuerbaren Energiesystem

- Transformation Stromsektor
- Transformation Fern- und Nahwärmeversorgung

2 | Transformation des Industriesystems

- Grundstoffindustrie
- Verarbeitende Industrie

3 | Sektorenkopplung

- Die Technologiefelder wurden etwas umsortiert, um die Zuordnungen zu diesen Technologieclustern deutlicher sichtbar zu machen. So ist auf den ersten Blick erkennbar, welche Technologiefelder und Technologien für welches Cluster relevant sind. Die Nummerierung der Technologiefelder ist dadurch jedoch nicht mehr durchgehend möglich.
- Schließlich wurden auch die Bewertungsergebnisse aus Tabelle 2 mit übernommen. Auf diese Weise ist direkt ersichtlich, welche Technologiefelder bzw. Technologien bewertet werden konnten, wo noch Lücken bestehen und in welchen Bereichen (grün eingefärbt) vorrangiger Handlungsbedarf gesehen wird.

Tabelle 5: Zuordnung der Technologiefelder zu den Handlungsbereichen in NRW

Technologiefeld	Beinhaltete Technologien	Technologiecluster				Sektorenkopplung	Aufgenommen über		
		Transformation zu erneuerbarem Energiesystem	Transformation Wärmever-sorgung	Grund-stoff-industrie	Industrie allge-mein		TFE-Bericht Nr.	Experten-gespräch	IN4Climate. NRW
Technologiebereich 1: Erneuerbare Energien									
Bioenergie	Biochemische und thermo-chemische Konversion., Hybrid-Bioraffinerie	X	X				1		
Geothermie	Tiefe Geothermie	X					2		
	Oberflächennahe Geothermie		X				7		
	Geologische Speicher (z.B. H2)								X
Photovoltaik		X					3		
Solare Wärme und Kälte		X	X				4		
Solarthermische Kraftwerke		X					5		
Windenergie		X					6		
Technologiebereich 2: Konventionelle Kraftwerke									
Zentrale Großkraftwerke		X	X				8		
Brennstoffzellen	Mikro-KWK (PEFC, SOFC) / BHKW (PEFC, MCFC, SOFC)	X	X				9		
Motoren und Turbinen	BHKW mit Gasmotor / Mikrogasturbine	X	X				10		
	Effiziente Turbinen				X				X
Umweltwärme	el. WP / Gas-Sorptions-WP	X	X				7		
Technologiebereich 3: Infrastruktur									
Stromtransport und -verteilung	Netztechnik / Netzplanung und -betrieb	X					13		
Wärmetransport und -verteilung	Bestandsnetze / NT-Netze / Lastmanagement, flexiblerBetrieb / Planungsinstrumente		X				14		
Energiespeicher (elektrisch und elektro-chemisch)	Lithium-, Natrium-basierte und Redox-Flow-Batterien	X				X	15		
Energiespeicher (thermisch, mechanisch)	Therm. Energiespeicher / Zentrale Stromspeicher (mechanisch, thermisch)	X	X			X	16		X
Nutzung von Erdgas-/Erdölinfrastruktur & Raffinieren für strombasierte Brennstoffe)				X		X	17		
Technologiebereich 4: Technologien für die Sektorenkopplung (PtX)									
Wasserstoff	H2-Herstellung	X		X		X	18		X
	H2-Transport und -speicherung								X
	H2-Einsatz		X	X	X				X
Power-to-X	Power-to-Gas (chem.-katalytisch)					X	19		X
	Power-to-Gas (biologisch)					X	20		X
	Power-to-liquids					X	21		X
	Power-to-chemicals			X		X	21		X
	Power-to-heat (Prozesswärme)			X		X	27		
	Power-to-heat (HH-Wärmepumpen)	X	X			X	7		
	Power-to-heat (ind. Groß-WP)				X	X	25		
Carbon Capture	CCS (Industrie)			X		X	11		X
	DAC (Direct Air Capture)			X		X	22		X
	CCU			X			12		X
Technologiebereich 5: Energie-/Ressourceneffiziente Gebäude									
Energieeffiziente Gebäude und Gebäudetechnik	Gebäudehülle & Bautechnik / Gebäudesystemtechnik /Planung & Gebäudebetrieb / Quartiersperspektive						23		
Technologiebereich 6: Low-Carbon Industrie									
Grundstoffindustrie	Low-Carbon Stahlerzeugung			X			24		
	Low-Carbon Papiererzeugung			X			24		
	Low-Carbon Zementerzeugung			X			24		
	Low-Carbon Chemie (Kunststoffe)			X			27		
	Flexible Prozesse / Demand Side Management			X	X				X
	Circular Economy			X	X				X
Stromerzeugungstechnologien zur Abwärmenutzung	Thermoelektrische Generatoren (TEG) / Organic Rankine Cycle (ORC)				X		26		
Energieeffiziente Prozesstechnologien	Chemische Verfahrenstechnik			X	X				X
Energieeffiziente Querschnittstechnologien	Elektromotoren, generative Fertigungsverfahren				X		25		
	Fertigungstechnik				X				X
	Wärmeübertrager				X				X
	Industriemotoren				X				X
	Hochtemperatur-Supraleitung				X				X
	Anlagenbau				X				X
	Künstliche Intelligenz/ Prozesssteuerung in der Verfahrenstechnik				X				X
	Forschung zu Materialeffizienz				X				X
Technologiebereich 7: Integrative Aspekte									
Elektromobilität - PKW	Energiebedarf durch PKW					X	28		
Elektromobilität - Hybrid-Oberleitungs-LKW	Energiebedarf durch LKW					X	29		
Informations- und Kommunikationstechnologien	Zustandsbestimmung & Prognosen / Architektur, Anbindung & Aggregation / Standardisierung von Metering- und Kommunikationsmechanismen / Dataprocessing					X	30		
Systemintegration, -transformation und -innovation	Technologieentwicklung & Systemintegration / Systeminnovation / Systemtransformation	X	X	X		X	31		

7 Kriterien zur Einordnung möglicher Projektideen aus den Strukturförderprogrammen für das Rheinische Revier und das Ruhrgebiet

Die vorliegende Studie liefert eine umfassende Bewertung der relevanten Energietechnologien hinsichtlich ihrer Einsatzpotenziale und der Forschungs- bzw. Förderbedarfe in NRW. In dieser Bewertung werden Schwerpunkte auf technische und infrastrukturelle Aspekte und insbesondere die wirtschaftlichen Chancen für NRW gelegt. Marktpotenziale und Wertschöpfungspotenziale wurden daher eingehend beschrieben.

Im Rahmen der Strukturförderprogramme für das Rheinische Revier und das Ruhrgebiet werden in den kommenden Monaten Projektideen entwickelt, deren Förderfähigkeit auf Basis eines breiten Kriteriensets geprüft werden soll. Auch bereits laufende Vorhaben sollen ggf. hinsichtlich ihrer Richtungssicherheit im Sinne eines breiten Nachhaltigkeitsverständnisses bewertet werden.

Die vorliegenden 12 Kriterien aus der Technologiebewertung stellen für diese Projektprüfung eine wichtige Grundlage dar – vor allem dann, wenn die Projekte einen starken Technologie- oder Infrastrukturbezug beinhalten. Diese Bewertungsebene sollte daher erhalten bleiben, jedoch um weitere Wirkungsdimensionen ergänzt werden. Hierdurch soll vor allem gewährleistet werden, dass auch nicht-technische Projekte und Maßnahmen, die im Rahmen der Strukturförderung beantragt oder umgesetzt werden, aus Nachhaltigkeitsperspektive bewertet werden können.

Die nachfolgende Zusammenstellung (Tabelle 6) zeigt unterschiedliche Wirkungsdimensionen auf und benennt innerhalb der Wirkungsdimensionen mögliche Prüffragen, die in einem nächsten Arbeitsschritt mit Indikatoren hinterlegt werden müssen – technische Aspekte werden hier nicht weiter vertieft, weil sie umfänglich in der vorliegenden Studie behandelt werden.

Es wird einerseits empfohlen, das Kriterienset unter Einbezug relevanter Stakeholder zu validieren. Zur tatsächlichen Bewertung der Projektideen wird weiterhin der Einsatz eines interdisziplinären Gutachtergremiums vorgeschlagen. Eine konkrete Prüfung möglicher Projekte im Rahmen der Strukturförderprogramme konnte noch nicht erfolgen, da im Bearbeitungszeitraum der Studie die Ausschreibungen noch in Vorbereitung waren.

Tabelle 6: Vorschlag für Bewertungsdimensionen und mögliche Prüffragen zur Bewertung von technischen und nicht-technischen Projekten im Rahmen der Strukturförderung

Ökologische Wirkung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wirkung auf Klimaschutz ▪ Beitrag zur Energie- und Ressourceneffizienz ▪ Beitrag zu Natur- und Umweltschutz
Ökonomische Wirkung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenzial ▪ Wirtschaftlichkeit respektive Wirtschaftlichkeitslücke für die Umsetzung unter heutigen Bedingungen und Verstetigungsperspektiven nach Ende der Förderung
Soziale Wirkung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beeinflussung der gesellschaftliche Akzeptanz für die Energiewende ▪ (Ökonomische) Partizipation und Beteiligungsmöglichkeiten der Akteure vor Ort
Übergeordnete Aspekte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aktuelle und zukünftige Anwendungspotenziale (Multiplikationsfähigkeit-/potenzial bzw. Einsatzfähigkeit auf regionaler, nationaler, internationaler Ebene) ▪ Systemkompatibilität (Anschlussfähigkeit an bestehende Strukturen bzw. Notwendigkeit disruptiver Veränderungen, um Anschlussfähigkeit herzustellen) ▪ Konkreter Beitrag zur Umsetzung des Transformationsprozesses (Systemtransformation) in der Region ▪ Gefahr von Lock-In-Effekten und Pfadabhängigkeiten, die zukünftige Projekte behindern ▪ Gefahr von Rebound-Effekten und damit der teilweisen Kompensation intendierter Wirkungen ▪ Passform zu zentralen Strategien des Landes (z. B. Energieversorgungs-, Energieforschungs- und Nachhaltigkeitsstrategie) ▪ Kompatibilität mit anderen Projekten und Maßnahmen, die umgesetzt werden sollen (Identifikation von Trade-Offs respektive Synergieeffekten)

8 Innovative Forschungsformate

In den vorhergehenden Kapiteln wurden Analyseergebnisse vorgestellt, die darauf abzielen, Forschungs- und Förderbedarfe aufzuzeigen und konkrete Umsetzungsprojekte im Rahmen der Energiewende für Nordrhein-Westfalen zu konzipieren. In die iterative Erarbeitung dieser Ergebnisse wurden Schlüsselakteure eingebunden, die auf Basis ihrer Fachkompetenzen zur Validierung der Erkenntnisse beigetragen haben. Auch die weitere Umsetzung von Bewertungskriterien und die Konzeption konkreter Projekte sollten unter Einbezug relevanter Stakeholder aus Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft erfolgen.

Zahlreiche innovative Methoden wurden in den vergangenen Jahren erprobt, die geeignet sind, unterschiedliche Akteursgruppen zusammenzuführen und mit ihnen an der Festlegung von Zielen, der Entwicklung konkreter Lösungsansätze sowie der anschließenden Ausgestaltung von Umsetzungsprojekten zu arbeiten. Durch diese Art der Zusammenarbeit werden neue innovative und kreative Impulse gesetzt sowie die Legitimität und Robustheit der entwickelten Konzepte, Projekte und Strategien erhöht.

Die folgenden Abschnitte geben einen Überblick zu relevanten partizipativen Forschungsmethoden. Ergänzend wird ein Instrument zur Unterscheidungsunterstützung bei der punktuellen Förderung von anwendungsnahen Demonstrations- und Modellvorhaben aufgezeigt.

8.1 Forschungsmethode Reallabor

Reallabore und regionale Experimentierfelder haben sich in den letzten Jahren zunehmend als Instrument einer transformativen Forschung und Wissenschaft für eine nachhaltige Entwicklung etabliert. Der Ansatz positioniert Wissenschaft verstärkt in einer aktiven Rolle als Katalysator von gesellschaftlichen Transformationsprozessen und steht in engen Beziehungen zu anderen Formen der kollaborativen und realweltlich orientierten Forschung wie die Modus-2-Transdisziplinarität, Living Laboratories, Aktionsforschung oder Transition Management.

Der Reallabor-Prozess lässt sich üblicherweise in Co-Design, Co-Produktion und Co-Evaluation unterscheiden. Damit soll zum Ausdruck gebracht werden, dass sowohl die Entwicklung der Projektidee, seine Durchführung, als auch die kontinuierliche Bewertung der Projektergebnisse durch die Projektbeteiligten aus Wissenschaft und Praxis gemeinsam erfolgt (Wanner et al. 2018). Wichtige Charakteristika von Reallaboren sind, dass sie sich mit Nachhaltigkeitsthemen befassen, experimentell und transdisziplinär ausgelegt sind, im Sinne des Co-Designs und der Co-Evolution reflexive Lernprozesse zulassen und auf eine langfristige Entwicklungsperspektive ausgerichtet sind (Wanner und Stelzer 2019).

Einen anderen Zugang zum Instrument von Reallaboren wählen die aus dem 2019er BMWI-Ideenwettbewerb „Reallabore der Energiewende“ hervorgegangenen Projekte. Diese haben eine stark technische Ausrichtung und setzen weniger auf breite Partizipation aller relevanten Stakeholdergruppen. Gleichwohl sieht auch hier das Projektdesign eine enge Kooperation von Wissenschaft und Praxis vor (BMW i 2018, 2019).

8.2 Methoden im Living Laboratory

Living Lab(oratories) steht als Überbegriff für ein Forschungsformat, in dem gemeinsam mit unterschiedlichen Akteuren (derzeit vor allem Endverbraucherinnen und Endverbraucher) an der Ausgestaltung von Dienstleistungen und Technologien geforscht wird (Echternacht et al. 2016). Dabei kommen unterschiedliche Methoden zum Einsatz. Viele dieser Methoden sind bereits in anderen Kontexten entwickelt worden und werden an die spezifischen Zielsetzungen und Forschungsfragen der Living Labs angepasst. Im Folgenden werden exemplarisch einige innovative Methoden vorgestellt (INNOLAB 2019). Unterscheidungsmerkmale sind die Art der Datenerhebung, Kreativmethoden sowie Innovationsmanagement- und Innovationsbewertungsmethoden.

Im Rahmen der Datenerhebung im Living Lab-Kontext werden neben den klassischen Methoden aus der empirischen Sozialforschung (wie z. B. **Interviews, Befragungen, Beobachtungen** oder **Selstdokumentation**) auch innovative, neue Methoden und Verfahren verwendet bzw. miteinander kombiniert. So können zum Beispiel **sensorische Messgeräte** eingesetzt werden, um Verhaltensmuster von Personen automatisiert in einer Umgebung zu erfassen. Die Analyse dieser Daten hilft beim Design von Innovationsprozessen.

Ein anderer methodischer Zugang sind **InSitu-Tasks**. Hier werden die Lab-Teilnehmer gebeten, eine spezifische Aufgabe durchzuführen, um anschließend das Verhalten und die Energieverbräuche vergleichen zu können.

Bei Anwendung der **Think-Aloud-Methode** werden Testpersonen gebeten, ihre Meinungen, Gedanken und Gefühle laut zu äußern, während oder nachdem sie bestimmte Aufgaben durchgespielt haben bzw. durchspielen. Auch dieses dient dazu, Verbrauchsverhalten besser zu verstehen und im Produktdesign adressieren zu können.

Die Methode **Cultural Probes** bietet einen experimentellen, explorativen Zugang zu nutzerorientierten Daten, um die gewählte Zielgruppe vor allem emotional zu verstehen. Den Nutzern wird dabei häufig ein Kit von Dingen (Karten, Postkarten, Kameras, Fotoalben, Tagebuch etc.) gegeben, das sie inspirieren soll, Gewohnheiten oder Gefühle aufzuzeichnen.

Die Methode von **Wizard of Oz** zielt auf das Testen von computergestützten Funktionen und Benutzeroberflächen ab und kann dementsprechend sehr gut bei der Entwicklung von Assistenzsystemen angewendet werden. Es handelt sich dabei um einen Test, bei dem später automatisch ablaufende Funktionen, vor deren Implementierung, von Testnutzern (Wizards) simuliert werden, ohne dass diese davon wissen. Dadurch kann die zu erwartende Reaktion von Nutzern und die Interaktion mit dem System geprüft werden.

Für die Erhöhung der Kreativität im Innovationsprozess stehen mehrere Methoden zur Verfügung, zum Beispiel die Entwicklung von designorientierten Szenarios oder Innovationsworkshops. **Designorientierte Szenarien** (auch **Nutzungsszenarien** genannt) beschreiben beispielhaft die Durchführung einer Aufgabe durch eine Nutzerin oder einen Nutzer. Während der Entwicklung werden dadurch die möglichen Interaktionen mit dem Produkt für alle Beteiligten verständlich festgelegt und

die Kommunikation darüber erleichtert. **Innovationsworkshops** zielen darauf ab, Ideen für neuartige Produkte und Dienstleistungen zu entwickeln.

Ein Beispiel für Innovationsmanagement- und Innovationsbewertungsmethoden ist das **St. Galler Business Modell Navigator**. Mit Hilfe dieses Tools ist es möglich, durch die kreative Rekombination von 55 vorgegebenen Geschäftsmodellmustern ein neues innovatives Geschäftsmodell zu entwickeln.

Im Kontext des INNOLAB-Projektes wurde ein Positionspapier zur Förderung der Vernetzung, Entwicklung und Nachhaltigkeitsausrichtung von Innovationsinfrastrukturen in Deutschland veröffentlicht (INNOLAB 2017). Im Rahmen dieses Papers schlagen die Betreiber von 13 führenden Living Labs konkrete Maßnahmen für die Bündelung der Kräfte von Forschungs- und Innovationstätigkeiten vor. Die zentralen Forderungen des Dokumentes sind:

- **Stärkung des Forschungs- und Innovationssystems durch strategische Positionierung von Living Labs**, z. B. mittels eines entsprechenden Förderprogramms zur Vernetzung von Living Labs und anderen Schlüsselakteuren, die Harmonisierung und Professionalisierung der Methodennutzung und der Dienstleistungsangebote z. B. für Start-ups und KMU.
- **Erschließung neuer Innovationspotenziale durch Nachhaltigkeits- und Nutzerorientierung der Innovationspolitik**. So wird z. B. empfohlen, die Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen mit einzubeziehen und die Integration zukünftiger Nutzerinnen und Nutzer als leitende Kriterien in die Innovationsförderung und innovative öffentliche Beschaffung aufzunehmen. Dadurch könnten neue und auch nicht-technische Innovationspotenziale erschlossen werden. Zusätzlich könnten durch den Ausbau von spezifischen Programmen für kleinvolumige Fördermittel mit unbürokratischen Verfahren kurzfristige, kreative Entwicklungs- und Experimentierphasen bearbeitet werden. Ebenso könnten die stärkere Förderung von soziotechnischen und nichttechnischen Innovationen alternative Lösungen mit hohem Wertschöpfungspotenzial generieren.
- **Wissenstransfer durch den Aufbau von integrierten Daten- und Wissensplattformen für Smart Living und Smart Cities**. Die Autoren des Positionspapiers empfehlen die Unterstützung von integrierten Online-Plattformen für die Bündelung und Aufbereitung von Wissen und für Erfahrungsaustausch zur Nutzer- und Akteursintegration in offenen Innovationsprozessen in dem Kontext von Smart Living und Smart Cities. Dies ermöglicht effektivere Innovationsprozesse in zukunftsorientierten Technologiefeldern.

8.3 Anwendungsnahe Forschung zur Überwindung des „Tal des Todes“

Schließlich soll noch ein Instrument beschrieben werden, das in der diesem Vorhaben zugrunde liegenden Studie TF-Energiewende entwickelt wurde. Ein bekanntes Problem ist, dass neue Energietechnologien oft am Übergang zum Markt scheitern, wenn die eigentliche Forschungsfinanzierung beendet ist, für den weiteren Weg zum Markt jedoch keine finanziellen Mittel mehr gewährt werden („Tal des Todes“). Der Förderung anwendungsnaher Projekte kommt vor dem Hintergrund der energie- und klimapolitischen Zielsetzungen jedoch eine besondere Bedeutung zu, um in der Grundlagenforschung entwickelte Techniken und Konzepte erfolgreich und frühzeitig in den Markt zu bringen. Die Ausweitung der öffentlichen Finanzierung auf solche

experimentellen Entwicklungen könnte eine Möglichkeit sein, diesen Übergang zu verbessern.

Vor dem Hintergrund dieser Herausforderungen stellt sich aus Sicht von Fördermittelgebern die Frage, ob und in welchem Umfang im Rahmen einer Forschungsförderung auch eine **punktueller Förderung von anwendungsnahen Demonstrations- und Modellvorhaben** grundsätzlich sinnvoll ist und nach welchen Kriterien gegebenenfalls Prioritäten hinsichtlich der Verwendung begrenzt verfügbarer Mittel bei der Bewertung anwendungsnaher Forschungsvorhaben gesetzt werden können.

Die Identifizierung vielversprechender Projektvorschläge für Forschung und Entwicklung (F&E) ist jedoch aus verschiedenen Gründen ein schwieriges Feld:

- Marktnahe Implementierungen erfordern regelmäßig beträchtliche Ressourcen, während die öffentlichen Haushalte begrenzt sind,
- die Zuteilung öffentlicher Mittel muss fair, offen und dokumentiert sein;
- die Bewertung ist komplex und unterliegt den Vorschriften des öffentlichen Sektors für das öffentliche Engagement in der F&E-Finanzierung (z. B. Beihilferegelungen).

Daher ist ein rigoroser Evaluierungsprozess erforderlich. Als eine Möglichkeit, solch einen Prozess zu unterstützen, wurde in TF-Energiewende ein **Entscheidungsunterstützungssystem (DSS)** entwickelt, das Entscheidungsträgern in öffentlichen Förderinstitutionen bei der Ex-ante-Evaluierung von F&E-Vorschlägen für marktnahe Großprojekte in der Energieforschung helfen soll (Hirzel und Hettesheimer 2018, Hettesheimer und Hirzel 2018). Das System wurde auf der Grundlage einer Literaturanalyse und dem Screening verwandter Ansätze aus der Praxis in Verbindung mit einer Reihe von Workshops mit Praktikern aus deutschen öffentlichen Förderinstitutionen entwickelt.

Die Ergebnisse bestätigen, dass der Entscheidungsprozess ein komplexer Prozess ist, der sich nicht nur auf die Bewertung von F&E-Anträgen beschränkt. Die Entscheidungsträger müssen sich auch mit verschiedenen zusätzlichen Fragen wie der Bestimmung des Standes der technologischen Entwicklung, dem Nachweis von Marktversagen oder der Berücksichtigung bestehender Förderportfolios auseinandersetzen. Das in TF-Energiewende entwickelte DSS ist insofern einzigartig, als es über reine Multikriterien-Aggregationsverfahren hinausgeht und sich auch mit diesen Fragen befasst, um Entscheidungsträgern in öffentlichen Institutionen bei der Bewertung zu helfen.

9 Ableitung vertiefender Forschungsfragen für Nachfolgeprojekte

In der vorgelegten Studie konnte – wie geplant – nur ein grobes, qualitatives Screening, ergänzt um Detailanalysen zu Forschungsaktivitäten in NRW und zu wirtschaftlichen Chancen ausgewählter Technologiefelder, durchgeführt werden. Die Studie erhebt daher keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Basierend auf den Arbeiten der einzelnen Kapitel wird im Folgenden Forschungsbedarf für Nachfolgeprojekte dargestellt, in denen erheblich tiefere Analysen durchgeführt werden sollten.

- **Umfassende multi-kriterielle Bewertung:** Die hier dargestellten Ergebnisse stellen eine grobe Analyse hinsichtlich der *relativen Bedeutung* der Technologiefelder in Bezug auf die Bewertung für die Bundesebene dar. Im Anschluss ist es nun notwendig, ähnlich zur Vorgängerstudie detaillierte multi-kriterielle Bewertungen der Technologiefelder durchzuführen, um ihren möglichen Beitrag für die Energiewende in NRW einschätzen und im Detail Forschungsbedarf ableiten zu können. Dies sollte zumindest für die Gruppe A, also die für NRW „besonders relevanten“ Technologien durchgeführt werden. Als Novum könnte hier zudem Klimaneutralität in 2050 oder früher als Bezugspunkt gewählt werden.
- **Einbezug weiterer Technologien:** In den Expertengesprächen wurde eine Reihe weiterer Technologien hervor gehoben, die für NRW relevant sind, aber in TF-Energiewende nicht betrachtet wurden (siehe Tabelle 5). Auch für diese Technologien sollten – erstmals – multi-kriterielle Bewertungen zu ihrem Status, ihrem Beitrag zur Energiewende und ihrem Forschungsbedarf durchgeführt werden. Aber auch in TF-Energiewende (und damit auch in der hier vorgelegten Studie) konnten aus zeitlichen Gründen teilweise nur Beispieltechnologien betrachtet werden, insbesondere in den beiden relativ neuen Technologiefeldern „Low-carbon- und ressourceneffiziente Industrie“ und „Power-to-liquids/- chemicals“. Aber auch der Technologiebereich „Digitale Technologien für die Energiewende“ bietet zahlreiche Ansatzpunkte für vertiefende Analysen.
- **Forschungslandschaft und Fördermittel für NRW:** Wie in Kapitel 4.4 dargestellt, konnten die von Bund und Land eingeworbenen F&E-Mittel und die F&E-Schwerpunkte in NRW nur sehr grob erfasst werden. Es besteht Forschungsbedarf zur Konzeption und Pflege entsprechender Datenbanken auf Landesebene, die die hier nötigen Analysen in der Zukunft ermöglichen. Ebenfalls sollten die in den Netzwerken vorhandenen Informationen gebündelt und für die Zwecke regelmäßiger Auswertungen aufbereitet werden.
- **Wirtschaftliche Chancen von Technologiefeldern:** Wie in Kapitel 5.5 dargestellt, besteht erheblicher Forschungsbedarf, um die nötigen Größen, die für eine realistische Abschätzung technologiespezifischer Marktpotenziale und Wertschöpfung in NRW benötigt werden, zu bestimmen. Hier dürfte Bedarf für mehrere Nachfolgestudien bestehen.
- **Bewertung von Projektideen aus den Strukturförderprogrammen:** Wie in Kapitel 7 dargestellt, bedarf es der Entwicklung eines Vorgehens zur Bewertung der in der nächsten Zeit eingehenden Projektideen im Rahmen der Strukturförderprogramme. Neben der Festlegung von Indikatoren und der Durchführung von Beispielbewertungen sollte insbesondere ein partizipativer Ansatz unter Einbezug relevanter Stakeholder konzipiert werden.

10 Literaturverzeichnis

- BMWi (2018): Reallabore – Testräume für Innovation und Regulierung. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/reallabore-testraeume-fuer-innovation-und-regulierung.html> (letzter Zugriff am 31. August 2020).
- BMWi (2019): Altmaier verkündet Gewinner im Ideenwettbewerb „Reallabore der Energiewende“. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2019/20190718-altmaier-verkuendet-gewinner-im-ideenwettbewerb-reallabore-der-energiewende.html> (letzter Zugriff am 31. August 2020).
- Echternacht, L.; Geibler, J. v.; Stadler, K.; Behrend, J.; Meurer, J. (2016): Methoden im Living Lab: Unterstützung der Nutzerintegration in offenen Innovationsprozessen (Entwurf Methodenhandbuch). Arbeitspapier im Arbeitspaket 2 (AS 2.2) des INNOLAB Projekts. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Wuppertal.
- Föederal Erneuerbar (2019): Datenblatt: Solar. <https://www.foederal-erneuerbar.de/uebersicht/bundeslaender/BW|BY|BB|HB|HH|HE|MV|NI|NRW|RLP|SL|SN|ST|SH|TH|D/kategorie/solar>.
- Hettesheimer, T.; Hirzel, S. (2018): Technologien für die Energiewende. Teilbericht 4 (Entscheidungsunterstützung für die staatliche Förderung anwendungsnaher Forschungsvorhaben – Teil B: Leitfaden) an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Wuppertal Institut, Fraunhofer ISI, IZES: Wuppertal, Karlsruhe, Saarbrücken.
- Hirzel, S.; Hettesheimer, T. (2018): Technologien für die Energiewende. Teilbericht 4 (Entscheidungsunterstützung für die staatliche Förderung anwendungsnaher Forschungsvorhaben – Teil A: Anforderungen) an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Wuppertal Institut, Fraunhofer ISI, IZES: Wuppertal, Karlsruhe, Saarbrücken.
- INNOLAB (2017): Innovationsinfrastrukturen 4.0. Positionspapier zur Förderung der Vernetzung, Entwicklung und Nachhaltigkeitsausrichtung von Innovationsinfrastrukturen in Deutschland. <https://www.innolab-livinglabs.de/de/ergebnisse/positionspapier.html> (letzter Zugriff am 31. August 2020).
- INNOLAB (2019): Projektwebseite INNOLAB. <https://www.innolab-livinglabs.de/de/ergebnisse/methoden-im-living-lab.html> (letzter Zugriff am 25. Juli 2020).
- IT.NRW (2019): Verarbeitendes Gewerbe sowie Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden in Nordrhein-Westfalen 2018. Betriebsergebnisse - Beschäftigte, Entgelte und Umsatz. Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen (Stat. Berichte).
- PtJ (2020a): EnArgus: Zentrales Informationssystem Energieforschungsförderung. <https://www.enargus.de/>. Projektträger Jülich: Jülich (letzter Zugriff am 31. Juli 2020).
- PtJ (2020b): Förderung der nichtnuklearen Energieforschung durch die Länder im Jahr 2018. Projektträger Jülich: Jülich.
- Wanner, M.; Hilger, A.; Westerkowski, J.; Rose, M.; Stelzer, F.; Schöpke, N. (2018): Towards a Cyclical Concept of Real-World Laboratories: A Transdisciplinary Research Practice for Sustainability Transitions. *DisP – The Planning Review*, 54(2), 94-114
- Wanner, M.; Stelzer, F. (2019): Reallabore – Perspektiven für ein Forschungsformat im Aufwind. In brief 07/2019. Wuppertaler Impulse zur Nachhaltigkeit. <https://wupperinst.org/a/wi/a/s/ad/4777/>. Wuppertal.
- Wuppertal Institut (2018): Landscaping: Untersuchungen der Anforderungen an die energieintensive Wirtschaft und den Standort NRW im Übergang zu einem weitgehend auf erneuerbaren Energien basierenden Energiesystem der Zukunft. Projektbericht.
- Wuppertal Institut, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, IZES (2018): Technologie für die Energiewende. Status und Perspektiven, Innovations- und Marktpotenziale – eine multikriterielle vergleichende Technologieanalyse und –bewertung. <http://wupperinst.org/tf-energiewende/>. Wuppertal, Karlsruhe, Saarbrücken.