

9. März 2022

Handlungsempfehlungen für die nächste Phase der Energiewende – Integration des Energiesystems vorantreiben

Um die Treibhausgasminderungsziele zu erreichen und die Abhängigkeit von fossilen Energieimporten zu reduzieren, müssen die erneuerbaren Energien sehr viel stärker ausgebaut werden. Zugleich muss sich die weitere Entwicklung des Systems an den stark wachsenden Mengen wetterabhängiger, nur bedingt regelbarer erneuerbarer Energien orientieren. Deshalb muss die Bundesregierung mit Unterstützung der Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft wesentliche Aufgaben für die Systemintegration in Angriff nehmen.

Der ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (FVEE) hat eine Liste prioritärer Kernaufgaben zusammengestellt. Dazu gehören der Aufbau technischer Flexibilitätsoptionen, die digitale Vernetzung der Systemkomponenten sowie weitgehende Reformen im Bereich der Regulatorik und des Marktdesigns, die integrierte Systemlösungen anreizen und unterstützen.¹

Durch Flexibilisierung des Energiesystems für Erneuerbare ertüchtigen

Strom aus erneuerbaren Energien ist das Kernelement der künftigen Energieversorgung. Ein schneller Ausbau von Windkraft und Photovoltaik ist deshalb mit hoher Priorität zu verfolgen, wie sich dies auch in den Ausbauzielen des Koalitionsvertrags der Bundesregierung widerspiegelt.

Um den erzeugten Strom aus diesen volatilen und nur bedingt regelbaren erneuerbaren Energien effizient zu nutzen, muss auch das Stromversorgungssystem weiterentwickelt werden. Die erforderlichen Veränderungen sind ein Paradigmenwechsel des gegenwärtig immer noch stark auf zentralen Kraftwerken basierenden Versorgungsmodells. Denn die Energiebereitstellung der Vergangenheit durch Großkraftwerke wird zukünftig zunehmend durch ein flexibles Energiesystem ersetzt, in dem die volatil bereitgestellten Strommengen durch flexiblere Nutzung, steuerbare Erzeugung sowie zu- und abschaltbare Lasten ausgeglichen werden.

Definition: Systemintegration bezeichnet die technische und digitale Verknüpfung der Energiesystemkomponenten und den Aufbau verschiedener Flexibilitätsoptionen zur Nutzung hoher Anteile volatiler erneuerbarer Energien. Treiber der Systemintegration sind die Energiewendeziele Versorgungssicherheit, Treibhausgassenkung und Kostenminimierung.

In einem solchen Energiesystem wird die Energie aus Sonne und Wind je nach Verfügbarkeits- und Nachfragesituation den herkömmlichen Strombedarf decken, zusätzliche Leistung für Elektromobilität, Wärmepumpen und Elektrolyse bereitstellen und auch Stromspeicher laden.

Die Nachfrage nach Strom wird sich stärker nach den (wetterbedingten) Verfügbarkeiten richten, zumal sich dies auch preislich stärker bemerkbar macht: Zeitlich flexible Energiebedarfe werden in Phasen hoher Verfügbarkeit an fluktuierendem Strom gedeckt. Übersteigt die Nachfrage das Angebot volatil einspeisender Stromerzeugungsanlagen, dann reduzieren automatisierte Nachfragemanagementsysteme den Bedarf, es kommen flexible erneuerbare Energien wie Bioenergie und Wasserkraft zum Einsatz, die Stromspeicher werden entladen und es werden abschaltbare Lasten eingesetzt.

¹ Das vorliegende Papier richtet sich auf die Handlungsanforderungen der Systemintegration. Die gleichermaßen wichtigen Ausbaubedarfe der Kapazitäten und Infrastrukturen für die Wärmeversorgung und die nachhaltige Mobilität sowie die europäische und internationale Integration unseres Energiesystems stehen hier nicht im Fokus.

Durch einen Rahmen, welcher die Marktakteure entsprechende flexibel einsetzbare Kapazitäten vorhalten lässt, wird der Bedarf an "Reservekapazitäten" handhabbar. Die Digitalisierung des Energiesystems ermöglicht dabei das intelligente und sichere Management von vielen dezentralen Erzeugern und Speichern. Bei zunehmend mehr Erzeugern von Strom aus Sonne und Wind können diese Versorgungskreisläufe sehr effizient gehalten werden und damit Aufwand für Infrastrukturen einsparen. Je besser dieses Zusammenspiel funktioniert, umso schneller und effizienter können fossile Energieträger abgelöst werden.

Diese umfassende Nutzung aller Flexibilisierungsoptionen zu einem effizienten kurzfristigen Management von Energieflüssen ermöglicht, dass die steigenden Mengen volatilen erneuerbaren Stroms auch vollumfassend im System genutzt werden können. Ein solchermaßen ertüchtigtes Energiesystem kann immer größere Mengen klimafreundlich hergestellten Stroms auch in den Sektoren Gebäude, Verkehr und Industrie nutzen.

Alle Energiesystemstudien zeigen, dass diese Phase des Systemumbaus jetzt dringend vorangehen muss, um ein klimaneutrales Energiesystem bis 2045 zu erreichen (Abb. 1).

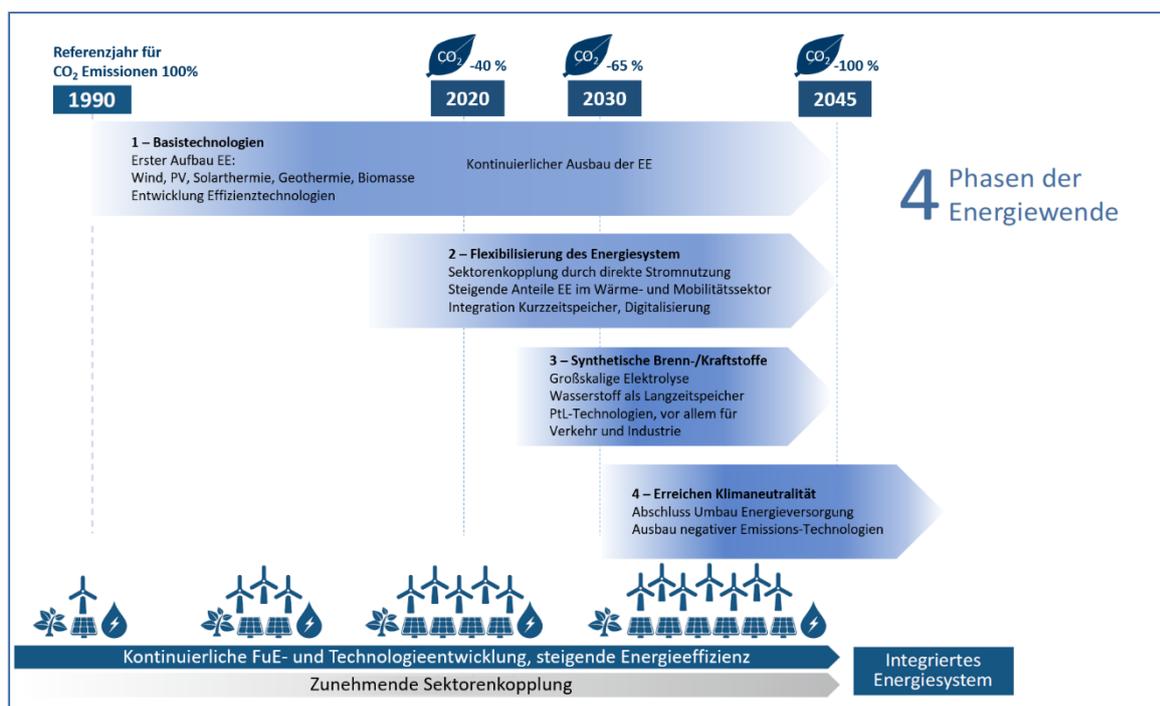


Abb. 1: Die vier Phasen der Energiewende: Die Phasen sind dadurch gekennzeichnet, dass Technologien, die zuvor entwickelt wurden, eine wesentliche Marktdurchdringung erlangen müssen, um den CO₂-Reduktionspfad erfolgreich zu beschreiten. (Quelle: »Sektorkopplung« – Optionen für die nächste Phase der Energiewende. Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung. Stellungnahme ESYS – Energiesysteme der Zukunft. November 2017; FVEE-Bearbeitung 2022)

Ein solches integriertes Energiesystem ist auch die Voraussetzung, um eine grüne Wasserstoffwirtschaft aufzubauen und das im Koalitionsvertrag formulierte Ziel einer Wasserstoff-Leitmarktführerschaft bis 2030 zu erreichen: Aus dem fluktuierenden Strom aus Sonne und Wind wird der lager- und transportfähige Energieträger Wasserstoff, der dann flexibel in den Bereichen zum Einsatz kommt, in denen eine direkte Stromnutzung nicht möglich ist. Zugleich übernehmen Wasserstofftechnologien für die bevorstehenden Aufgaben der Systemintegration eine Schlüsselrolle, da sie über längere Zeiträume große Energiemengen speichern können.

Handlungsempfehlungen für die Umsetzung der Systemintegration

Für die Integration des Energiesystems müssen insbesondere technische Lösungen besser genutzt, die Digitalisierung weiter vorangetrieben sowie regulatorische Barrieren abgebaut werden. Zudem muss die Gesellschaft die Veränderungen der Energieinfrastruktur und -nutzung unterstützen. Der erforderliche Transformationsprozess muss daher zusätzlich sozialpolitische Elemente enthalten. Zur Erreichung dieser Ziele hat der FVEE Handlungsempfehlungen formuliert, die sich an Politik, Wirtschaft sowie Gesellschaft und Forschung richten.

1. Technische Lösungen zur Flexibilisierung der Energieversorgung

Durch die Flexibilisierung des technischen Versorgungssystems lassen sich variable Verfügbarkeiten ausgleichen und damit höhere Anteile erneuerbarer Energien erreichen. Hier sind verschiedene technische Komponenten notwendig, die jede für sich, aber auch im Zusammenspiel weiterentwickelt und großskalig etabliert werden müssen. Im Mittelpunkt stehen Energiespeicher und -netze, PtX-Wandlungstechnologien, das Management flexibler Lasten z.B. in der Industrie sowie die erforderliche Steuerungs- und Regelungstechnik.

Aufgaben für die Politik:

- den Einsatz von Sektorenkopplungstechnologien über gezielte Programme für den Gebäude- und Mobilitätssektor systematisch und breit fördern
- die angekündigte Verankerung der Energiespeicher (Strom und Wärme) als eigenständige Säule des Energiesystems sehr zügig umsetzen und somit Investitionssicherheit für die Wirtschaft schaffen
- die Nutzung von Technologien zur direkten Erzeugung erneuerbarer Wärme im Hinblick auf deren Systemintegration über Roadmaps für Tiefengeothermie, Solarthermie und Wärmenetze weiter fördern
- weitere Förderung der kommunalen Energiequartiere (sogen. Open District Hubs), die durch digital vernetzte und lokal verankerte Energieversorgungs- und Speicherkonzepte hohe Anteile lokaler Versorgungsbeiträge gekennzeichnet sind

Aufgaben für die Wirtschaft (Netzbetreiber, Energieversorgungsunternehmen u.a.):

- stationäre Netzspeicher an unterschiedlichen Stellen im Stromnetz einbinden, Marktmechanismen zu deren Integration etablieren und Speicherkonzepte auf allen Zeitskalen entwickeln
- Flexibilisierung dort vorantreiben, wo sie günstiger ist als Netzausbau, Regelenergie, Kapazitätsmärkte oder Reserven
- Windenergie- und Photovoltaikanlagen für die Bereitstellung von Systemdienstleistungen ertüchtigen
- multifunktionale Wärmespeicher zur Speicherung von Umwelt- und Abwärme sowie zur Sektorenkopplung weiterentwickeln
- netzgebundene Wärmeversorgung ausbauen, Quartiersnetze mit großen Wärmepumpen entwickeln und die kommunale Wärmeplanung vorantreiben
- Die anvisierten 1 Mio. öffentlich zugänglichen Ladesäulen für Elektrofahrzeuge sollten zeitnah aufgestellt und gezielt platziert werden. Dabei sollten auch Rahmenbedingungen für bidirektionales Laden und Entladen geschaffen werden, damit die Elektrofahrzeuge systemdienlich wirken können.

- Für vehicle-to-grid-Lösungen müssen technische und regulatorische Aspekte parallel zum Ausbau der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge etabliert und umgesetzt werden.
- Es müssen integrierte Energiekonzepte entwickelt und angewendet werden, die möglichst hohe Anteile an Eigenversorgung bei zugleich systemdienlichem Verhalten bieten.

2. Digitalisierung zur sicheren datenbasierten Vernetzung der Systemkomponenten

Der effiziente Betrieb dieses komplexer werdenden Systems basiert auf der umfangreichen Nutzung von Techniken und Methoden der Digitalisierung. Moderne Steuerungstechnik und Prognosemethoden ermöglichen die kurzfristige Abstimmung von Energieerzeugung, -speicherung und -verbrauch. Für die Digitalisierung eines integrierten Energiesystems gibt es Handlungsanforderungen auf Seiten der Politik und der Wirtschaft.

Aufgaben für die Politik:

- den Aufbau virtueller Kraftwerke fördern, als Zusammenschluss von mehreren Strom-Speichern und Anlagen, zur Steuerung, Bündelung und bedarfsgerechten Einspeisung
- gemeinsam mit der Industrie den Dialog zu einheitlichen digitalen Schnittstellen und Datenformaten intensivieren, welche über alle Steuerungsebenen gelten (vom virtuellen Kraftwerk, über den „digitalen Netzanschluss“, bis hin zu den flexiblen Anlagen)
- die breite Implementierung des netz- und systemdienlichen Verhaltens von Energiemarktbeteiligten durch die Schaffung entsprechender Anreizsysteme fördern
- Plattformen (und geeignete regulatorische Rahmen) zur Bündelung und Steuerung von verteilten flexiblen Anlagen in Form von intelligenten Arealen und Quartieren schaffen

Aufgaben für die Wirtschaft:

- offene Standards ohne unnötige Komplexität entwickeln, um Einstiegshürden zu verringern und die Entwicklung von Open Source-Lösungen zu begünstigen
- die voll automatisierte Bereitstellung (Erzeugung, Transport, Handel) von Energie durch entsprechende Automatisierungs- und Regelungstechnik entwickeln
- mit Hilfe von künstlicher Intelligenz die Energieversorgung weiterentwickeln und Angebote für zeitlich flexible, systemdienliche Energienachfrage entwickeln (z.B. variable Stromtarife)
- mit virtuellen Kraftwerken die Komplexität von verteilten Erzeugern, Speichern und flexiblen Lasten durch Bündelung und Steuerung im Kraftwerksmaßstab reduzieren

3. Weiterentwicklung des regulatorischen Rahmens für die Umsetzung der Systemintegration

Für ein Gelingen der Systemintegration müssen die Potenziale von intelligenten Gesamtlösungen über die Sektoren Strom, Wärme und Mobilität hinweg gehoben und der Transaktionsaufwand für Genehmigung und Betrieb substantiell reduziert werden.

Der heutige Rechtsrahmen erweist sich für die Implementierung von Gesamtlösungen in Gebäuden, Quartieren und gewerblichen Betrieben als äußerst hemmend. Es gibt eine Vielzahl an Einzelregelungen, die sich vielfach an den eingesetzten Komponenten orientieren – von der Photovoltaikanlage, dem Blockheizkraftwerk über Speicher, Wärmepumpen bis hin zu Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität. Diese Komponenten-orientierte Logik der Regulierung muss durch eine Schnittstellen-orientierte Logik ersetzt werden: Es gilt das Subsidiaritätsprinzip, nach dem an der Schnittstelle zum übergeordneten Netz bestimmte Regeln und Qualitätsmerkmale einzuhalten sind, unterhalb derer aber eine flexible Systemgestaltung (Anreize, Rechte und Pflichten) erfolgen kann.

Aufgaben für die Politik:

- Rechte und Pflichten der Betreiber von Vor-Ort-Systemen an den Schnittstellen zur vorgelagerten Ebene klären, Subsidiarität als Teil des Energiesystems etablieren
- den Verteilnetzbetrieb mithilfe von digitalen Assistenzsystemen zügig reformieren, Prozesse und Vorgaben für den Netzbetrieb massiv vereinheitlichen
- Kosten-/Preiselemente als Anreize für systemdienliches Verhalten von Vor-Ort-Systemen einführen und dies auch bei der anvisierten Reform des Strommarktdesigns berücksichtigen
- Anreize setzen, um die stärkere Zusammenarbeit im Netzbetrieb trotz lokalen Netzeigentums und hoher Anzahl von Konzessionen zu fördern
- im Dialog mit der Wirtschaft die Systemkosten (z.B. durch die Nutzung von Netzkapazität) am Zielbild des Verursacherprinzips ausrichten
- die begonnene Flexibilisierung im Bereich der Biomasseverstromung konsequent weiterführen und technologieoffen auf weitere Konversionstechnologien ausweiten, dafür auch die Biomasse-Strategie mit Blick auf flexible Bioenergiekonzepte im Strom- und Wärmebereich weiterentwickeln
- einen gesetzlichen Ausstiegsplan aus den fossilen Brennstoffen für alle Energiesektoren entwickeln, und somit die Entwicklung und den Einsatz von technischen Lösungen zur Integration von Erneuerbarer Energie beschleunigen
- für eine noch stärkere Marktintegration das Marktprämienmodell dahingehend anpassen, dass ergänzend zu den Differenzkosten zum aktuellen Strompreisniveau zukünftig auch die Differenzzerlöse (wenn das Strompreisniveau den energieträgerspezifischen Referenzwert überschreitet) für die Vergütungszahlen mitberücksichtigt werden
- Marktdurchdringung flexibler Hybridlösungen im Wärmebereich stärken, dafür als Fördervoraussetzungen die geltenden Anforderungen an Einzeltechnologien unter Berücksichtigung der notwendigen Leittechnik ergänzen und anpassen
- das geplante Reallabor- und Freiheitszonengesetz konzeptionell mit Blick auf regulatorisches Lernen für Systemintegrations- und Sektorenkopplungstechnologien weiterentwickeln

Aufgaben für die Wirtschaft:

- Vorgaben zu Netzanschluss, Messung und Abrechnung in Kundenanlagen vereinheitlichen
- Abkehr von der Kupferplatte als Grundgedanken für Handels- und Verteilungsfragen, stattdessen Vor-Ort-Systeme in die Abbildung und Bewirtschaftung von Engpässen einbeziehen

4. Gesellschaftlicher Rahmen für die Systemintegration

Neben den geeigneten technischen und regulatorischen Rahmenbedingungen und Maßnahmen, ist die gesellschaftliche Akzeptanz und die Teilhabe eine zentrale Voraussetzung für die Umsetzung der Ziele der Energiewende und entsprechend auch für die hinreichende Flexibilisierung der Energieversorgung. Zielgruppen sind dabei einerseits private Stromverbraucher*innen und kleine und mittlere Unternehmen (KMU), wenn es z.B. um die Bereitschaft geht, sich an Lastmanagementmaßnahmen zu beteiligen, andererseits mit Blick auf die übergeordneten gesellschaftlichen Fragen die Zivilgesellschaft als Ganzes.

Handlungserfordernisse für diesen Bereich umfassen u.a.

- die hinreichende Information über den privaten und gesellschaftlichen Mehrwert (Nutzen) von Flexibilisierungstechnologien und -maßnahmen (dies schließt die Information über die sozialen Kosten des Nichthandelns durch Schadens- und Klimaanpassungskosten mit ein)
- die Einbindung der Verbraucher*innen bei der Entwicklung von Flexibilitätsoptionen wie insbesondere dem Lastmanagement z.B. im Rahmen von Living-Lab-Konzepten (nutzerintegrierte Entwicklung von Produkt-Dienstleistungsangeboten)
- eine ganzheitliche Bewertung von Flexibilitätstechnologien, insbesondere hinsichtlich des ökologischen Fußabdrucks (z.B. Ressourcenbedarf von Batterien) und das Aufzeigen von Maßnahmen und konkreten Fahrplänen zu dessen Verringerung (z.B. über Materialsubstitute, Recycling)
- Maßnahmen zur deutlichen Verringerung der Planungs- und Genehmigungszeiten für den Ausbau erneuerbarer Energien (insbesondere im Bereich Wind- und Solarenergie) u.a. durch Ausweitung der Bearbeitungskapazitäten bei den Genehmigungsbehörden, Anpassungen (zeitliche Verdichtungen) bei den möglichen Klageverfahren, gemeinsame Vereinbarungen mit Vogel- und Naturschutzverbänden, um Konflikte frühzeitig auszuräumen und Akzeptanz zu erhöhen
- Ausweitung der Beteiligungsmöglichkeiten (bei Planung und Finanzierung) an Anlagen für erneuerbare Energien (Einzelanlagen ebenso wie insbesondere Quartierskonzepte oder kommunale Versorgungskonzepte), um Bürger*innen an der Energiewende teilhaben zu lassen.
- Ausbildungs- und Qualifizierungsmaßnahmen für Fachkräfte (d.h. Planer und Handwerk), dabei auch Einbindung von möglichen Umschulungsmaßnahmen (z.B. im Rahmen des Strukturwandels in den Kohleregionen), um auch das Arbeitsplatzangebot zu transformieren

5. Forschungsbedarf für die Systemintegration

Während viele Einzeltechnologien der Energiewende heute schon weitgehend technisch verfügbar sind, werden jetzt erst langsam die großen Herausforderungen bei ihrer Integration in ein zunehmend sektorenübergreifendes Gesamtenergiesystem deutlich. Mit dem weiteren Verdrängen der fossilen Brennstoffe steigen die Anforderungen an die Flexibilisierung von Energieangebot und -nachfrage. Strategien für die nächsten Phasen der Energiewende müssen zunehmend eine ganzheitliche Betrachtung des Energiesystems mit Verknüpfungen der Wärme-, Strom- und Mobilitätssektoren in den Blick nehmen. Daraus erwachsen neue Herausforderungen für den Aufbau eines Energiesystems, das bis zum Jahr 2045 vollständig auf erneuerbaren Energien beruht und die Versorgungssicherheit zu jedem Zeitpunkt und kosteneffizient gewährleisten muss. Forschung und Entwicklung in Wissenschaft und Industrie können für diese Ziele wichtige Beiträge leisten.

Aufgaben für die Energieforschungseinrichtungen:

- gemeinsam mit der Industrie Systemintegrations- und Sektorenkopplungstechnologien weiterentwickeln und deren Anwendung in realen Zusammenhängen, wie z. B. in den sogenannten Reallaboren und Living Labs, erproben und demonstrieren
- integrierte Energiesysteme gemeinsam mit Energieversorgern und kommunalen Akteuren auf lokaler Ebene erforschen und entwickeln. Dabei geht es um den Aufbau von Energiequartieren in Städten und Gemeinden, die durch vernetzte Energieversorgungskonzepte einschließlich vor Ort installierter Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien und der Integration von Speichern hohe Anteile lokaler Versorgungsbeiträge erreichen.

- gemeinsam mit der Industrie und den Energieversorgern Steuerungs- und Regelungstechnik für das intelligente Zusammenspiel der Komponenten entwickeln und standardisieren (sowohl Hardware als auch Software/Strategien/Konzepte)
- gemeinsam mit der Industrie Power-to-X-Komponenten, -Systeme und -Konzepte weiterentwickeln
- gemeinsam mit den Energieversorgern und den Netzbetreibern die Verknüpfung der Energienetze (Strom, Wärme, Gas) weiterentwickeln
- Konvergenzmöglichkeiten von Strom- und Gasnetzen zur Erschließung von Power-to-Gas-Potenzialen erforschen
- Netz- und Systemmodelle weiterentwickeln
- gesellschaftliche Akzeptanz und Beteiligung für die Veränderungen der Energieerzeugung und -nutzung erforschen

Fazit

Eine klimaneutrale Energieversorgung beruht auf großen Mengen volatiler erneuerbarer Energien. Die in der Vergangenheit dominierende Energiebereitstellung durch fossile Großkraftwerke wird zukünftig durch ein integriertes Energiesystem ersetzt, in dem das Zusammenspiel verschiedener Flexibilitätsoptionen kontinuierlich Angebot und Nachfrage ausgleicht. Ein solches Energiesystem ist auch die Voraussetzung, um eine grüne Wasserstoffwirtschaft aufzubauen.

Der erforderliche Systemumbau löst großen Handlungsbedarf für die technischen Komponenten, die digitale Vernetzung, Anreize zur Umgestaltung und die regulatorische Steuerung aus. Zugleich braucht es eine breite Akzeptanz und Beteiligung der Gesellschaft für die notwendigen Veränderungen. Forschung und Entwicklung in Wissenschaft und Industrie stellen Lösungen auf dem Weg zu einem integrierten Energiesystem bereit. Die Gesamtaufgabe lässt sich nur durch Kooperation der Akteure aus Forschung, Industrie, Politik und Gesellschaft bewältigen.

Ansprechpartner*innen in den FVEE-Mitgliedseinrichtungen

Hauptautor*innen:

- Prof. Dr. Hans-Martin Henning | hans-martin.henning@ise.fraunhofer.de | + 49 761 45 88-51 34
- Prof. Dr. Daniela Thrän | daniela.thraen@ufz.de | + 49 341 2434-435

technologische Aspekte:

- Prof. Dr. Carsten Agert | carsten.agert@dlr.de | + 49-441-99906-100
- Prof. Dr. Detlef Stolten | d.stolten@fz-juelich.de | + 49 2461 61-3076
- Prof. Dr. Jörg Sauer | j.sauer@kit.edu | + 49 721 608-22400
- Dr.-Ing. Federico Giovannetti | giovannetti@isfh.de | + 49 5151 999 501
- Dr.-Ing. Reinhard Mackensen | reinhard.mackensen@iee.fraunhofer.de | +49 561 7294-245

Digitalisierung und Energiesystemdesign:

- Prof. Dr. Veit Hagenmeyer | veit.hagenmeyer@kit.edu | + 49 721 608-29200
- Manuel Wickert | manuel.wickert@iee.fraunhofer.de | + 49 561 7294-369

regulatorischer Rahmen und Marktdesign:

- Juri Horst | horst@izes.de | +49 681 844 972-37
- Norman Gerhardt | norman.gerhardt@iee.fraunhofer.de | +49 561 7294-274

gesellschaftlicher Rahmen:

- Prof. Dr. Manfred Fishedick | manfred.fishedick@wupperinst.org | +49 202 2492-121
- Dr. Patrick Jochem | patrick.jochem@dlr.de | +49 711 6862-687
- Prof. Frank Baur | baur@izes.de | +49 681 844 972-59

Presse / Medien:

- Dr. Niklas Martin | fvee@helmholtz-berlin.de | + 49 30 2887565-71

Über den FVEE

Der ForschungsVerbund Erneuerbare Energien ist eine bundesweite Kooperation von Forschungsinstituten. Die Mitglieder erforschen und entwickeln Technologien für erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Energiespeicherung und das optimierte technische und sozio-ökonomische Zusammenwirken aller Systemkomponenten. Ziel ist die Transformierung der Energieversorgung zu einem nachhaltigen Energiesystem.