

Rahmenkonzept



Bayerische Allianz für Energieforschung und -technologie

Empfehlungen der Expertenkommission

September 2011

Die Empfehlungen wurden im Namen der gesamten Expertenkommission am 29. 9. 2011 von Prof. Dr.-Ing. Heinz Gerhäuser und Dr.-Ing. Reinhold Achatz an die Auftraggeber, Staatsminister Martin Zeil und Staatsminister Dr. Wolfgang Heubisch, in München übergeben.

Bildnachweis Titelseite:
Bildunion, LMU NIM-Cluster, BMI, StMWIVT

Gliederung

1. Einleitung.....	1
1.1 Ausgangslage	1
1.2 Aufgabenstellung und Ziele des Konzepts	2
1.3 Expertenkommission.....	2
2. Strategie und Rahmensetzung	4
2.1 Energiepolitischer Rahmen, insb. Klimaziele	4
2.2 Wissenstransfer von der Grundlagenforschung in den Markt	4
2.3 Zeitlicher und fachlicher Realisierungspfad: Umsetzung in Stufen	5
2.4 Adressaten und Förderformate	6
3. Forschungsprioritäten und Technologieentwicklung.....	9
3.1. Regenerative Energiebereitstellung stärken	9
3.1.1 Photovoltaik.....	10
3.1.2 Solarthermie	12
3.1.3 Biogase/Biogene Rohstoffe	13
3.1.4 Wind	15
3.1.5 Geothermie.....	16
3.1.6 Wasser	17
3.1.7 Fossil basierte Energie	18
3.1.8 Kraft-Wärme-Kopplung.....	19
3.1.9 Niedertemperatur-Verstromung.....	21
3.1.10 Photokatalyse	22
3.1.11 Rückbauoptimierung (KKW)	22
3.2 Effiziente Energieanwendung	24
3.2.1 Energieeffizienz in und an Gebäuden.....	24
3.2.2 Industrielle Verfahrenstechnik	26
3.2.3 Elektromobilität.....	27
3.2.4 Testplattformen.....	27
3.3 Technologie zur Speicherung von Energie	28
3.3.1 Elektrische und elektrochemische Speicher	29
3.3.2 Mechanische Speicher	31
3.3.3 Chemische Speicher	32

3.3.4 Wärmespeicher	33
3.4 Innovationen für Netze und Infrastruktur	34
3.4.1 Smart Grids	35
3.4.2 Gleichstrom	37
3.4.3 Supergrids, HGÜ-Netze.....	38
3.5 Querschnittsthemen	39
3.5.1 Gesamtsystembetrachtung / Szenarien.....	39
3.5.2 Technikpotenzialabschätzung / Versorgungssicherheit.....	40
3.5.3 Märkte (Regulierung) / Gesellschaft (Akzeptanz)	41
3.5.4 Dienstleistungen	44
3.5.5 Rohstoffe	44
4. Weiteres Vorgehen / Umsetzung	47
4.1 Programmstruktur und Positionierung in Bayern.....	47
4.1.1 Energie Campus Nürnberg (EnCN)	48
4.1.2 Technische Universität München (TUM)	48
4.1.3 Weitere Forschungs- und Entwicklungsstandorte in Bayern (insb. ZAE Bayern)	49
4.1.4 Prioritäre Themen und erste Projektvorschläge	50
4.2 Begutachtung	52
4.3 Ausbildung	52
4.4 Positionierung im nationalen und internationalen Umfeld	54
4.5 Überprüfung des Gesamtkonzepts	55
5. Finanzierung	56
5.1 Mittelbedarf für prioritäre Projekte und den Ausbau der Zentren in Bayern	56
5.2 Attrahieren weiterer Finanzmittel auf Bundes- und EU-Ebene und aus der Wirtschaft	56
<u>Anlagen</u>	58
Anlage 1: Mitglieder der Expertenkommission	58
Anlage 2: Kompetenzatlas Bayern im Energiebereich	58

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage

Der Deutsche Bundestag hat am 30. Juni 2011 den Atomausstieg bis zum Jahr 2022 beschlossen. Mit einem Anteil der Kernenergie am Stromverbrauch von rund 60% steht Bayern durch diese politische Entscheidung vor besonders großen Herausforderungen. Konkret entsteht bereits jetzt durch die Abschaltung des Kraftwerks Isar I ein unmittelbarer Leistungsbedarf von 800 MW. Der Gesamt-Ersatzkraftwerksbedarf im Jahr 2022 wird durch die Abschaltung der verbleibenden vier Kernkraftwerke in den Jahren 2015 bis 2022 auf 3000 bis 4000 MW steigen¹. Zusätzlich muss auch berücksichtigt werden, dass eine entsprechende Energiemenge bereitgestellt wird.

Um diese Herausforderungen zu meistern, hat die Bayerische Staatsregierung am 24. Mai 2011 das Energiekonzept „Energie Innovativ“ beschlossen. Wichtiges Element des Konzepts ist der Ausbau der erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2022 auf einen Anteil von 50 % der Stromerzeugung. Allerdings hilft ein massiver Zubau erneuerbarer Energien in Bayern nicht alleine, da diese mit den aktuellen technologischen Möglichkeiten keine ausreichende gesicherte Leistung bieten.

Eine stark auf erneuerbare Energien gegründete Energieversorgung wird einen weit dezentraleren Charakter haben als bisher und erfordert daher andere elektrische Netzstrukturen. Künftig müssen viele Wind- und Solaranlagen miteinander koordiniert und ihre Ertrags- und Lastprofile abgestimmt werden. Deren unregelmäßige Verfügbarkeit erfordert neue Speicher, Übertragungs- und Regeltechniken. Gleichzeitig sind erhebliche Anstrengungen bei Forschungs- und Technologieentwicklung auf der Energienachfrage- bzw. -anwenderseite erforderlich. Der nachhaltigste Weg Energie zu gewinnen ist, sie gar nicht erst „anzuwenden“.

Insgesamt müssen für einen erfolgreichen Energieumstieg somit folgende vier Herausforderungen verfolgt werden:

- Erneuerbare Energien rascher ausbauen, zusätzliche effiziente Grundlast- und Spitzenlastkraftwerke errichten ohne die Klima- und Ressourcenschutzziele infrage zu stellen bzw. zu gefährden
- Verstärkter Einsatz von energieeffizienten Technologien in Haushalt, Verkehr und Industrie
- Einsatz von Stromspeichertechnologien ausbauen

¹ Diese Angabe bezieht den Neubau und die Stilllegung von konventionellen Kraftwerken und von erneuerbaren Energien ein.

- Stromnetze: Netzausbau, Netzintegration erneuerbarer Energien u.a. mittels Steuer- und Regelungstechnik.

1.2 Aufgabenstellung und Ziele des Konzepts

Die Bayerische Staatsregierung hat am 24. Mai 2011 im Zuge des Energiekonzepts „Energie Innovativ“ die besondere Bedeutung von Energieforschung und -technologien im Zusammenhang mit dem beschleunigten Ausstieg aus der Kernenergie betont und federführend das Wirtschaftsministerium gemeinsam mit dem Wissenschaftsministerium beauftragt, ein Bayerisches Konzept für Energieforschung und neue Energietechnologien auszuarbeiten. Das Konzept ist auf eine Laufzeit von 10 Jahre angelegt (2012-2021). Es verfolgt folgende Ziele:

- zukunftsweisende, thematisch umfassende Herangehensweise,
- ganzheitliche Strategie und Planung,
- detailliertes Konzept für Forschung und Technologie,
- inhaltliche Schwerpunkte mit besonderer Bedeutung für Bayern aufzeigen,
- Priorisierung nach fachlicher und zeitlicher Dringlichkeit,
- Aussagen zu geeigneten Förderformaten,
- Empfehlungen für ein Begutachtungsverfahren,
- Einbettung in die Aktivitäten des Bundes,
- Benennung prioritärer Forschungs- und Technologiethemata und erster Projektvorschläge,
- Grundlage für Verhandlungen zum Nachtragshaushalt 2012.

Diese Zielsetzung hat der Bayerische Ministerrat am 19. Juli bestätigt und den Auftrag für die konkrete Ausgestaltung bis zum Herbst 2011 erteilt. Mit dem hier vorliegenden bayerischen Konzept für Energieforschung und -technologien erfolgt eine Konzentration auf die Schwerpunkte und Themenfelder, in denen Bayern besondere Stärken, Alleinstellungsmerkmale und wirtschaftliche Chancen hat. Im Umkehrschluss heißt dies, dass verschiedene Themen von geringerer Priorität für den Freistaat nicht berücksichtigt wurden. Das Konzept der „Bayerischen Allianz für Energieforschung und -technologie“ stellt die Fokussierung auf für Bayern wichtige Kernthemen klar über die Vollständigkeit aller generell aktuellen Forschungs- und Entwicklungsthemen.

1.3 Expertenkommission

Zur Erstellung des Konzepts hat das Bayerische Wirtschafts- und Wissenschaftsministerium am 11. Mai 2011 eine hochrangige Expertenkommission einberufen, in der der gesamte Sachverstand im Bereich der Energieforschung und -wirtschaft in Bayern gebündelt ist (siehe

Anlage 1). Die Staatsministerien für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten sowie für Umwelt und Gesundheit haben jeweils einen weiteren Experten entsandt. Insgesamt siebzehn Energiefachleute aus Wirtschaft und Wissenschaft brachten ihr Fachwissen zur Erstellung des Konzepts ein. Die Kommission agiert flexibel und tritt daher nach Bedarf und auf Einladung zusammen; sie ist beratend, grundsätzlich aber nicht gutachterlich tätig. Im Bedarfsfall können weitere Experten zu Fachgesprächen hinzugezogen werden. Die Kommission tagte am 3. Juli 2011 und im Rahmen einer Klausursitzung am 17. September 2011. Ausgehend von einer Bestandsaufnahme der bayerischen Kompetenzen im Energiebereich der Universitäten, Hochschulen für angewandte Wissenschaften, Einrichtungen der angewandten/außeruniversitären Energieforschung sowie Unternehmen (siehe Anlage 2 und Ziffer 2.4 *Adressaten*) übermittelten die Experten an die federführenden Ministerien ihre Vorstellungen zu thematischen Schwerpunktsetzungen, relevanten künftigen Forschungs-, Entwicklungs- und Technologiefeldern für Bayern und Vorschlägen für prioritäre Leitprojekte. In einem iterativen Prozess gelangten die Experten einvernehmlich zu vorliegendem Konzept und prioritären Themenfeldern. Zur Umsetzung einer ganzheitlichen Strategie und Planung erklärte sich die Expertenkommission bereit, die Staatsregierung auch weiterhin im Sinne des Konzepts „Bayerische Allianz für Energieforschung und –technologie“ und dessen Fortschreibung zu beraten.

2. Strategie und Rahmensetzung

2.1 Energiepolitischer Rahmen, insb. Klimaziele

Am energiepolitischen Zieldreieck „sichere, bezahlbare, umweltverträgliche Energieversorgung“ wird festgehalten, um auch in Zukunft Energie- und Produktionsstandort zu bleiben. Das bedeutet auch, dass Bayern künftig nicht auf Netto-Stromimporte angewiesen sein darf. Schließlich stellt sich Bayern auch seiner Verantwortung gegenüber der Weltgemeinschaft. Klimawandel und Ressourcenknappheit stellen Herausforderungen dar, die alle Herausforderungen der letzten Jahrzehnte übertreffen. In einigen Jahrzehnten werden ca. 10 Milliarden Menschen mit ausreichend Energie zu versorgen sein, bei möglichst konsequenter Eindämmung der Erderwärmung. Es wird sich maßgeblich anhand der Energiefrage entscheiden, ob es der Menschheit gelingt, ihre Lebens- und Wirtschaftsweise auf einen nachhaltigen Entwicklungspfad zu bringen. Nachhaltige Entwicklung umfasst auch die weltweite Zugangsgerechtigkeit zu Energiedienstleistungen. Die bisherige, stark auf fossilen Energieträgern beruhende Energieversorgung stößt vor allem in zweierlei Hinsicht an Grenzen: in Bezug auf die Endlichkeit der fossilen Energieträger und in Bezug auf die durch deren energetische Nutzung freigesetzten Emissionen und Klimaauswirkungen. Es ist Konsens, dass ein „Weiter so!“ in der Energieversorgung unter dem Blickwinkel der Nachhaltigkeit keine verantwortbare Option ist. Für Bayern gilt: Trotz des erheblichen Umbaus der Energieversorgung wird am Klimaziel, die energiebedingten CO₂-Emissionen pro Kopf in Bayern von 6,4 Tonnen deutlich zu reduzieren, festgehalten. Die Bedeutung ressourcenschonender Technologien ist erkannt und wird in Bayern forciert. Materialsubstitution und Fragen des Recyclings stehen insofern in enger Beziehung zum Energiebereich.

Eine Umsetzung dieses Zielbündels ist nicht ohne erhebliche Investitionen in Energieforschung und neuen Energietechnologien möglich. In seiner Regierungserklärung zum Energieumstieg am 28. Juni 2011 wies Herr Ministerpräsident darauf hin, dass Bayern an seiner Technologieführerschaft in der Energietechnik festhalten will. Damit sei auch das Ziel verbunden, dass Bayern das Land mit der höchsten Energieeffizienz und der umweltfreundlichsten Energieversorgung sein soll.

2.2 Wissenstransfer von der Grundlagenforschung in den Markt

Um den Zielen einer zukunftsweisenden, thematisch umfassenden Herangehensweise, sowie einer ganzheitlichen Strategie und Planung für die Erstellung eines Konzepts für eine bayerische Allianz für Energieforschung und -technologie gerecht zu werden, haben Wirtschaftsministerium und Wissenschaftsministerium zu einem frühen Zeitpunkt eine

gemeinsame Vorgehensweise vereinbart. Diese enge Abstimmung hat sich bereits bei der Erstellung des „Gesamtkonzepts für Forschungs-, Technologie- und Innovationspolitik der Bayerischen Staatsregierung“ bewährt. Auch im Energiekonzept „Energie Innovativ“ erstrecken sich die beschriebenen Aktivitäten von der Grundlagenforschung über die angewandte Forschung bis hin zur wirtschaftsnahen Produktentwicklung.

Im Mittelpunkt steht die praxisnahe Forschung. In der oben genannten Regierungserklärung vom 28. Juni 2011 geht Ministerpräsident Seehofer auf diesen Themenkomplex ein:

- *Technologische Sprünge sind erforderlich, um den Umstieg Bayerns auf eine auf erneuerbare Energien gegründete Energieversorgung zu bewältigen.*
- *Aus wirtschaftlicher Sicht ist der Umstieg mittelfristig nur erreichbar, wenn wir bei Energietechnologien mit massiven technologischen Fortschritten höhere Wirkungsgrade und eine verbesserte Marktfähigkeit erreichen.*
- *Aus Sicht der Wettbewerbsfähigkeit des Hightech-Standorts Bayern steht der Ausbau der Energieforschung und neuer Energietechnologien für den wirtschaftlichen Erfolg Bayerns auf den Weltmärkten. Mit Energietechnologien „Made in Bayern“ kann der Freistaat seine technologische Führungsrolle unter Beweis zu stellen.*
Energietechnologie ist ein wesentliches Aushängeschild der Leistungsfähigkeit der bayerischen Wirtschaft.

Daher gilt es, die Spitzenstellung der angewandten Forschung bis hin zur wirtschaftsnahen Produktentwicklung in Bayern auszubauen. Auf diese Weise kommen unmittelbar und zeitnah neue Technologien zur Anwendung, werden Stromeinspareffekte erzielt und neue Energieformen bzw. Verfahren zur Marktreife getrieben. Der Stärkung von Forschung und Entwicklung in Unternehmen kommt dabei eine wesentliche Bedeutung zu, da diese in Bayern ca. 80 % der FuE-Aufwendungen erbringen.

Gleichzeitig müssen die begrenzten staatlichen Ressourcen aber auch in die Grundlagenforschung im Energiebereich fließen. Hier ist Exzellenz im internationalen Maßstab das Ziel. Dabei stehen weniger schnelle Ergebnisse für den Markt im Vordergrund als vielmehr die Schaffung von grundlegenden Voraussetzungen für Sprunginnovationen in den Energietechnologien auf längere Sicht. Interdisziplinäre Begleitforschung soll sicherstellen, dass strategische Weichenstellungen jeweils in die richtige Richtung erfolgen.

2.3 Zeitlicher und fachlicher Realisierungspfad: Umsetzung in Stufen

Das Konzept zur Energieforschung und -technologie in Bayern folgt einem fachlich und zeitlich gestaffelten Vorgehen, bei dem kurzfristige sowie mittel- und längerfristige Aspekte

berücksichtigt werden. Auch in Abhängigkeit der jeweils zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel soll alle drei Jahre eine Bewertung des Realisierungspfades erfolgen.

Da der Energieumstieg schnell greifen soll, sollen vorrangig Projekte angestoßen werden, die schon in den kommenden Jahren realisiert werden können und zügig Beiträge zum Energieumstieg leisten können. Im Sinne einer solchen ersten Priorisierungsstufe sollen auf Empfehlung der Expertenkommission insbesondere Projekte angestoßen werden, die in den ersten drei Jahren weitgehend abgeschlossen werden können bzw. das Potential haben, einen grundsätzlichen Beitrag zum Energieumstieg für den Forschungs- und Technologiestandort Bayern zu leisten. Diese Projekte sollen auch „sichtbare Zeichen“ in die Bevölkerung sein, dass der Energieumstieg in allen gesellschaftlichen Bereichen, auch in Wissenschaft und Wirtschaft, durch staatliche Unterstützung angestoßen wird (Phase 1).

Zentrale technologische Fragen des Energieumstiegs können aber nur auf mittlere Sicht gelöst werden. Daher sollen in einer zweiten Priorisierungsstufe Projekte angestoßen werden, die einen längeren Vorlauf erfordern und daher ihre Wirkungen in einigen Jahren entfalten (Phase 2).

Eine dritte Priorisierungsstufe bilden Vorhaben, die weit über den Zeitraum von 10 Jahren hinausreichen (Phase 3): Um den Weg für die Umsetzung zukünftiger Technologieoptionen und Maßnahmen grundsätzlich offenzuhalten, muss die Forschung und Technologieentwicklung auch in Bayern die Unabhängigkeit besitzen, Aspekte zu bearbeiten, die gegenwärtig nicht im Mittelpunkt der politischen Handlungsoptionen liegen. Dies ist besonders dringend vor dem Hintergrund, dass die politischen, sozioökonomischen, ökologischen und klimatischen Randbedingungen und Handlungsoptionen der Politik für die nächsten 50 oder gar 100 Jahre kaum vorhersehbar sind. Der künftige Energiemix ist offen. Insofern stellt z.B. die Fusionsforschung – auch wenn sie jenseits des Rahmens des hier vorliegenden Konzepts liegt – einen wichtigen Wissenschaftsansatz dar, der bei einer zukunftsorientierten Herangehensweise eine wichtige Rolle einnimmt.

In allen drei Prioritätsstufen sollen die Projekte besonders geeignet sein, Bundes- und EU-Mittel zu attrahieren. Angesichts des zeitlichen Vorlaufs der Einwerbung trifft dies vor allem auf längerfristige Projekte zu.

2.4 Adressaten und Förderformate

Adressaten für die Forschung und Technologieentwicklung im Energiebereich sind Bayerns Wissenschaftseinrichtungen (Hochschulen, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen, Forschungsverbände) und die forschenden Unternehmen (siehe Anlage 2 „Kompetenzatlas“): Der Energiestandort Bayern wird durch neun staatliche Universitäten und

17 staatliche Hochschulen für angewandte Wissenschaften (HAW) und zahlreiche außeruniversitäre Forschungseinrichtungen geprägt. Dies sind elf Einrichtungen der Fraunhofer-Gesellschaft als Bund-Länder-finanzierte Institutionen, das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP Garching) sowie die sieben Forschungseinrichtungen Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern), ATZ Entwicklungszentrum, Süddeutsches Kunststoffzentrum, Fortiss GmbH, bifa Umweltinstitut GmbH, die Forschungsstelle für Energiewirtschaft und die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Diese enorme energiewissenschaftliche und -wirtschaftlicher Kompetenz wird durch den Energiecampus Nürnberg als innovatives Kooperations-Projekt von 5 Partnereinrichtungen (FAU, OHM, ZAE, IIS, IISB)² und das Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe in Straubing ergänzt (Anlage 2). Um den maximalen Ertrag der bayerischen Forschung und Technologieentwicklung für den Energieumstieg zu ermöglichen, sollte nur in Ausnahmen die isolierte Arbeit in den einzelnen Einrichtungen im Vordergrund stehen als vielmehr die Abstimmung bzw. die Vernetzung und Kooperationen zwischen den vorhandenen Kompetenzträgern (siehe Ziffer 4.1).

Die bayerischen Unternehmen nehmen in Deutschland eine führende Rolle in der angewandten Forschung und Technologieentwicklung im Energiebereich in den Schwerpunkten dieses Konzepts ein: Technologien zur regenerativen Energiebereitstellung, Energieanwendung, Speichertechnik sowie Neue Technologien für Stromnetze. Neben einigen Global Playern geht die Innovationskraft in diesem Bereich vor allem von vielen mittelständischen Unternehmen aus. Oft liegt dabei die Stärke bayerischer Unternehmen nicht nur in der Produktion der Endprodukte für den Einsatz bei der Energieerzeugung, sondern als wichtige Lieferanten für die Vorstufen („hidden champions der Energietechnologie“). Beispielsweise sind bayerische Firmen wichtige Zulieferer für Anlagen zur Windenergieerzeugung, obwohl die Endproduzenten ihren Standort außerhalb Bayerns haben.

Mit Blick auf die zeitliche und fachliche Prioritätensetzung und aus der Struktur der bayerischen Forschungs- und Technologielandschaft leiten sich daher folgende erforderliche Förderformate für die Stärkung der Forschung und Technologieentwicklung im Energiebereich in Bayern her:

- Breite Verwendungsmöglichkeit der zur Verfügung stehenden Mittel für die Hochschulen. Im investiven Bereich (Neubauten, Um- und Erweiterungsbauten), für

² FAU: Universität Erlangen-Nürnberg; OHM: Georg-Simon-Ohm-Hochschule Nürnberg; ZAE: Bayerisches Zentrum für angewandte Energieforschung e.V.; IIS: Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen; IISB: Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie

Großgeräte und bewegliche Ausstattung sowie für Personalmittel, auch für den internationalen Austausch und die Wissenschaftskommunikation.

- Auf- und Ausbau der einschlägigen Einrichtungen der hochschulischen und außeruniversitären Forschung und Entwicklung im Energiebereich. Besonders die Unterstützung von Vorhaben der Fraunhofer-Gesellschaft bietet die Möglichkeit, dass sich diese Einrichtungen nach Beendigung der Aufbauphase weitgehend ohne Landesmittel selbst tragen.
- Unterstützung erfolgreich tätiger und Einrichtung neuer Forschungsverbände. Forschungsverbände ermöglichen durch die große Zahl der Teilnehmer aus Wirtschaft und Wissenschaft das Entstehen einer für die erfolgreiche Forschung äußerst wichtigen kritischen Masse. Beispielsweise ist das Verbundforschungsvorhaben „Kraftwerke des 21. Jahrhunderts“ ein außergewöhnlich erfolgreiches Projekt in Kooperation zwischen Industrie und Wissenschaft.
- Schaffung der Grundlagen für einschlägige FuE-Verbundvorhaben. Geeignetes Instrument sind die Technologie-Förderprogramme des StMWIVT, die sich mit ihrer einzelbetrieblichen Förderung vor allem an KMU, aber auch an Verbände mit Großunternehmen in verschiedenen Technologiefeldern richten. Sie haben eine beachtliche Hebelwirkung, denn die Unternehmen bringen zu den Fördermitteln des Staates mindestens einen Betrag in gleicher Höhe an Eigenmitteln auf. Hinzu kommen Folgeinvestitionen der Wirtschaft bei der Umsetzung und Verwertung der FuE-Ergebnisse, die in den letzten Jahren zur Schaffung von Tausenden von Arbeitsplätzen in Bayern geführt haben. Die Einbeziehung der Forschungseinrichtungen des Landes in die Förderprogramme unterstützt gleichzeitig den direkten und effizienten Technologietransfer in die Wirtschaft.
- Schaffung eines niederschweligen Zugangs für Unternehmen. Gerade für kleine und mittlere Unternehmen muss die Zugänglichkeit der Hochschulforschung gewährleistet werden, um deren Innovationskraft zu stärken. Insbesondere die Hochschulen für angewandte Wissenschaften (HAW) sind – auch wegen der regionalen Nähe – wertvolle Partner für diese Unternehmen. Hier soll das erfolgreiche Programm „Innovationsgutscheine“ auf die Energieforschung und -entwicklung ausgedehnt werden.

Ziel ist: Möglichst flexibler und unbürokratischer Mitteleinsatz für alle Formen des Wissenschaftsbetriebs (nach erwiesener fachlicher Exzellenz und Priorität).

3. Forschungsprioritäten und Technologieentwicklung

Die Expertenkommission hat fünf große Themenbereiche für die Energieforschung und -technologien herausgearbeitet: Zentrales Thema ist die Stärkung der Technologien zur regenerativen Energiebereitstellung. Angesichts der zunehmenden Nachfrage nach Energie und im Besonderen nach Strom benötigt ein ganzheitliches Konzept aber auch Lösungen, die die Effizienz der Energieanwendung erhöhen. Angesichts des zunehmenden Einsatzes von erneuerbaren Energien und deren dezentralen und oft wenig planbaren Bereitstellung stehen des weiteren Entwicklungen im Mittelpunkt des Konzepts, die Stromangebot und -nachfrage bei einer Aufrechterhaltung der Netzstabilität zusammenführen. Hierfür sind verbesserte Speichertechnik und neue Technologien für Stromnetze gefragt. Der Themenbereich Querschnittsthemen verbindet die vier einzelnen Fachthemenbereiche.

Die Expertenkommission hat zu jedem der in den Kapiteln 3.1 bis 3.5 genannten Unterpunkten den konkreten Forschungs- und Entwicklungsbedarf hinsichtlich der thematischen Bedeutung für die bayerische Wirtschaft, für die Wissenschaft und für die Umsetzung des Konzepts „Energie innovativ“ ausführlich diskutiert und fachlich priorisiert (siehe Ziffer 4.1.4).

3.1. Regenerative Energiebereitstellung stärken

Im Energiekonzept der Staatsregierung ist festgehalten, die erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2022 auf einen Anteil von 50 % des Stromverbrauchs auszubauen. Dafür sind so rasch wie möglich alle in Bayern verfügbaren und zu ökonomisch und ökologisch vertretbaren Bedingungen nutzbaren erneuerbaren Energieformen auf breiter Basis einzubeziehen: Photovoltaik, Solarthermie, Biogene Rohstoffe, Wind, Geothermie, Umgebungswärme und Wasserkraft. Da für eine Zeit des Übergangs auf konventionelle Kraftwerke nicht verzichtet werden kann, müssen die Forschungsanstrengungen in diesem Bereich ebenfalls verstärkt werden. Bei dem Thema konventionelle Kraftwerke ist darauf zu achten, welche Lücken in nationalen und europäischen Förderprogrammen bestehen, die sinnvoll durch regionale Maßnahmen geschlossen werden können.

Um den Energieumstieg wirtschaftlich möglich und rentabel zu machen, kommt der Forschung und Entwicklung eine wesentliche Rolle zu. Für die Technologien der nächsten Generation sind entscheidende Verbesserungen bei der Reduzierung der Kosten und des Herstellungsaufwandes, unter Berücksichtigung der Herstellung einer Grundlastfähigkeit, und bei der Effizienz der Energieumwandlung zu erzielen. Für einen volkswirtschaftlich tragbaren Übergang ins regenerative Zeitalter müssen immer leistungsfähigere und vor allem auch immer kostengünstigere Technologien zur Stromerzeugung aus regenerativen Energiequellen realisiert werden.

3.1.1 Photovoltaik

Die Ziele bei der Photovoltaik sind ehrgeizig: Bayern will den Anteil der Photovoltaik an der gesamten Bruttostromerzeugung von 3 % im Jahr 2009 bis auf 16 % im Jahr 2022 erhöhen. Um dieses Ziel auch ökonomisch vertretbar zu realisieren, sind drastische Kostensenkungen durch die Weiterentwicklung bestehender und die Entwicklung neuer Solarzellentechniken erforderlich. Schon heute ist Bayern führend im Ausbau der Photovoltaik und produziert mehr Photovoltaikstrom als die gesamten USA. Auf Grund der relativ hohen Sonneneinstrahlung und der für die Photovoltaik sehr attraktiven Infrastruktur ist Bayern innerhalb Deutschland prädestiniert, die Rolle des Vorreiters zu übernehmen, sowohl bei der Produktion von Solarzellen und Solaranlagen, beim Ausbau, der Netzeinspeisung, aber auch bei der Forschung und Entwicklung. Um eine nachhaltige Zukunft zu garantieren, ist es wichtig die Teile der Wertschöpfungskette zu fördern, die in Bayern zukünftig besondere Erfolgchancen versprechen.

Ein fachlicher Schwerpunkt bei den bisher erprobten Technologien der ersten und zweiten Generation der Photovoltaik, der „Silizium Wafer Technologie“ sowie der „Dünnschichttechnologie“, wird für die weitere Forschung und Entwicklung auf die Qualitätssicherung von Solarwafern, Solarzellen und Solarmodulen gelegt.

Ziel möglicher Anstrengungen in Bayern könnte auch die dritte Generation der Photovoltaik sein. Neue Ansätze wie die „organische Photovoltaik“ sowie Hybridtechnologien aus organischen und anorganischen Materialien sollten es bis 2020 ermöglichen, die Produktionskosten deutlich zu reduzieren. Derzeit werden große Anstrengungen unternommen, diese „Dritte Generation von Solarzellen“ zu entwickeln, die die Nachteile von Silizium (energetischer Erntefaktor) als auch von derzeit gängigen Dünnschichtsolarzellen (z.B. Rohstoffproblematik bei CIGS-Dünnschichtzellen) vermeiden sollen. Prominente Beispiele solcher organischer und hybrider Materialsysteme sind:

- nanoporöses Titandioxid und Farbstoffmoleküle (Farbstoff-Solarzellen)
- konjugierte organische Moleküle und Fullerene (organische Solarzellen)
- Nanokristalle aus verschiedenen Halbleitermaterialien bzw. organische Moleküle (Nanokristalline Solarzellen)

Das große Marktpotential der organischen Photovoltaik resultiert auch aus den Möglichkeiten für eine Gebäudeintegration. Die gebäudeintegrierte Photovoltaik wird im Neubau zunehmend wichtiger, da sie Teile der Gebäudehülle ersetzt. Ansprechende Ästhetik (z. B. auch für den Denkmalsbereich relevant) und Energieerzeugung werden hier kombiniert, was zukünftig bei einem erheblichen Ausbau der Photovoltaik auch wichtig für die Akzeptanz in

der Bevölkerung sein wird. Insbesondere die bayerischen Universitäten in Bayreuth, München, Erlangen-Nürnberg (künftig auch auf dem EnCN) und Würzburg sowie das ZAE haben in den letzten Jahren konsequent in die Forschung auf diesem Gebiet investiert. Ein Verbund würde die international sichtbaren bayernspezifischen Forschungsaktivitäten weiter stärken, insbesondere durch Ausbau der vorhandenen Infrastruktur. In Bayern sind neben den genannten exzellenten Forschungseinrichtungen zahlreiche Unternehmen aus den Branchen Halbleitertechnologie, gedruckte Elektronik, Maschinenbau, Drucktechnik und Materialentwicklung vorhanden, die das Potenzial haben, sich erfolgreich mit der „Next Generation“ Photovoltaik zu beschäftigen.

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- *Kostengünstige, ressourcen- und energieeffiziente Photovoltaiktechnologie speziell bei der Waferherstellung, der Modulbeschichtung und der Recyclingfähigkeit (Dickschicht, herkömmliche Technik)*
- *Steigerung des Wirkungsgrads herkömmlicher Solarmodule durch Verbesserung bei Verschaltung, Design und Aufbau der Module*
- *Neue kostensparende Produktionsverfahren für Dünnschicht-Photovoltaikmodule (anorganisch), in denen bisher separat durchgeführte Prozessschritte hintereinandergeschaltet werden*
- *Für die dritte Generation der Photovoltaik die Entwicklung von organischen und hybriden Materialsystemen, die Entwicklung von Bauelement-Architekturen und von kostengünstigen Herstellungsprozessen durch den Einsatz von Drucktechnologien*
- *Für die dritte Generation der Photovoltaik die Analyse und Optimierung von Lichtsammlung, Transport- und Injektionsprozessen, der Ladungstrennung sowie des Stabilitätsverhaltens. Einsatz von Materialien, deren Rohstoffbasis und Energiebilanz unproblematisch sind. Erhöhung von Wirkungsgraden durch innovatives Materialdesign und Abstimmung technologischer Prozesse auf die verschiedenen Materialklassen.*

3.1.2 Solarthermie

Mit der Solarthermie und Umgebungswärme soll bis 2022 rund 4 % des Gesamtenergieverbrauchs Bayerns gedeckt werden. Angesichts der gegenwärtigen Leistung dieser Technologie von 0,5 % sind hier erhebliche Anstrengungen erforderlich.

Die Solarthermie kann hinsichtlich ihres Temperaturniveaus grundsätzlich in Niedertemperatur- und Hochtemperatur-Solarthermie unterteilt werden. Die Niedertemperatur-Solarthermie dient der Bereitstellung von Wärme zur Warmwasserbereitung, Heizungsunterstützung, solaren Kühlung und Prozesswärmebereitstellung. Die Niedertemperatur-Solarthermie ist für Anwendungen in Bayern von großer Bedeutung. Die Hochtemperatur-Solarthermie zielt auf die Stromerzeugung in solarthermischen Kraftwerken. Entsprechend dem Temperaturniveau und den Anwendungen muss der Forschungsbedarf im Bereich Solarthermie voneinander abgegrenzt werden. Ebenso ist die Einbindung von solarthermischer Energie in bestehende fossile Kraftwerkskonzepte von Bedeutung. Die Hochtemperatur-Solarthermie hat aufgrund des beschränkten Potentials in Bayern vorwiegend für die Exportwirtschaft einen hohen Stellenwert.

Bei der solaren Wärmeerzeugung besteht Forschungsbedarf hinsichtlich der Entwicklung effizienter und kostengünstiger Kollektoren, dem Einsatz neuer Materialien, Fertigungstechniken aber auch kompletter Konzepte. Neben der Wärmebereitstellung sind Konzepte und Technologien zur Wärmespeicherung zu entwickeln. Ziele sind hier höhere Speicherdichten, geringere Wärmeverluste und die effizientere Integration der Speicher in die Systeme. Auf dem Weg zu einer breiten Anwendung besteht des Weiteren noch hoher Forschungsbedarf bei der Systemtechnik, vor allem in den Bereichen solare Kühlung, solare Prozesswärme und solar beheizte Gebäude. Zu beachten ist dabei auch, dass die Niedertemperatur-Solarthermie in Konkurrenz zu aus Abwärme bzw. KWK-Anlagen gespeister Nah- und Fernwärme stehen kann. Zudem sollten werkstoffliche Themen wie die Entwicklung effizienter, kostengünstiger und langzeitstabiler Kollektoren und der Einsatz neuer Materialien und Fertigungstechniken voran getrieben werden.

Bei der Hochtemperatur-Solarthermie steht insbesondere die Entwicklung neuer Materialien und Materialkombinationen zur Steigerung der Effizienz und Zuverlässigkeit solarthermischer Energiewandlungsprozesse auch mit Blick auf Kreislaufprozesse im Vordergrund. Marktchancen ergeben sich unter anderem auf den Feldern solare Konzentration, kosteneffizienter Herstellprozess solarthermischer Module, der Verstetigung der Energieversorgung durch Speicherwerkstoffe, Beschichtungen zur Erhöhung der Langlebigkeit der Gläser und der Konversionseffizienz. Zudem sollten Überlegungen

angestellt werden, ob solarthermische Kraftwerke durch fossile Zufeuerung sinnvoll ergänzt werden können, um die Verfügbarkeit in Zeiten ohne Sonneneinstrahlung weiter zu erhöhen.

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- *Nutzung der Solarthermie mit geringeren thermischen Verlusten durch die Einbindung der erzeugten Wärme an bestehende GuD-Kraftwerke*
- *Entwicklung neuer Materialien und Materialkombinationen zur Effizienz- und Zuverlässigkeitssteigerung solarthermischer Energiewandlungsprozesse (Hochtemperaturwerkstoffe, Speicherwerkstoffe, Beschichtungen, adaptive Werkstoffe)*
- *Prüftechnik für solarthermische Receiver*
- *Kombination von Hochtemperatursolarthermie mit der chemischen Speicherung*

3.1.3 Biogase/Biogene Rohstoffe

Der Beitrag der Biomasse soll entsprechend des Energiekonzepts „Energie Innovativ“ in Bayern von derzeit 6 % auf 10 % der Energieproduktion steigen. Verglichen mit anderen Bundesländern ist Bayern besonders von seinen ländlichen Regionen und der dort vorherrschenden Landwirtschaft geprägt. Der energetischen Nutzung von Biomasse kommt daher eine besondere Bedeutung zu und macht Biomasse zur derzeit wichtigsten erneuerbaren Energie in Bayern. Aufgrund der Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion und dem begrenzten Volumen der nachwachsenden Pflanzenmasse sind allerdings Grenzen eines Ausbaus der bisherigen Biomassenutzung sichtbar. Zur Effizienzsteigerung der Energiegewinnung aus Biomasse ist eine systematische Erforschung von Energiepflanzen und -hölzern von großer Notwendigkeit. Besonderes Ausbaupotential haben bisher noch nicht genutzte organische Reststoffe sowie noch nicht nutzbare Reststoffe wie Getreidestroh, sogenannte Energieträger der zweiten Generation (Lignozellulose).

Ein wichtiges Ziel der Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten ist es, die bisher verwendeten Biomasse-Energieträger der ersten Generation möglichst effizient umzuwandeln. Mit der vorwiegend praktizierten reinen Wärmeerzeugung aus Biomasse werden nur geringe Jahresnutzungsgrade von 50-70 % erreicht. Zielführender ist eine direkte Verwendung in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. Zudem sind weiter innovative Verfahren zur stofflichen Verwertung von Biomasse zu untersuchen. Beispielsweise könnte Biomasse durch thermochemische Vergasung in gasförmige Energieträger überführt werden. Angesichts der hohen Kosten dieser Technologie sollte jedoch der Forschungs- und Entwicklungsbedarf – z. B. hinsichtlich geeigneter Wirbelschicht- und Flugstromvergaser für

die Herstellung eines Synthesegases, der Gasreinigung und effizienten und kostengünstigen Verfahren zur Herstellung von gasförmigen Energieträgern – geprüft werden.

Darüber hinaus sind Verfahren weiterzuentwickeln, um aus bisher nicht nutzbarer Restbiomasse, den Energieträgern der zweiten Generation, biogene Rohstoffe herzustellen. Dieser Ansatz hat den entscheidenden Vorteil, dass neue Rohstoffquellen erschlossen werden können, die nicht in Konkurrenz zur Nahrungsproduktion stehen. Ziel ist es, speicherbare und flexibel einzusetzende Energieträger zu entwickeln. Derzeit werden Verfahren und Katalysatoren zur Behandlung von lignozellulosehaltiger Biomasse entwickelt und erste Pilotanlagen errichtet. Bedarf besteht hinsichtlich der Entwicklung dieser Verfahren zur Nutzung von Reststoffen wie Stroh, Gräser, Landschaftspflegematerial sowie der Nutzung in thermischen Prozessen z.B. in Wirbelschicht- oder Flugstromvergasern.

Wenn Biogase in Erdgasqualitäten umgewandelt werden, steht ein riesiger Speicher zur Verfügung, der auch einen Teil der zusätzlich notwendigen Gasversorgung übernehmen kann. Diese Wandlung ist zwar heute bekannt, allerdings unter zu großem Verlust an Energie.

Ansatzpunkt ist das umfangreiche bayerische Forschungsnetzwerk aus akademischen, außeruniversitären und industriellen Partnern zur Entwicklung und Umsetzung solcher neuer Technologien. Dieses könnte die ganze Wertschöpfungskette abbilden. Demonstrationsanlagen wie z.B. im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe in Straubing, in dem derzeit Deutschlands derzeit größte Zellulose-Ethanol-Anlage entsteht, runden die starken bayerischen Kompetenzen bei nachwachsenden Rohstoffen ab und bieten das Potential für das Entstehen einer Industrie, die durch den Verkauf solcher Anlagen in Weltregionen mit intensiver Agrarindustrie hervorragende Wachstumschancen bietet. Im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe in Straubing hat die Bayerische Staatsregierung die Aktivitäten rund um die Nachwachsenden Rohstoffe gebündelt (Wissenschaftszentrum Straubing WZS, Technologie- und Förderzentrum TFZ und C.A.R.M.E.N. e.V.).

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- *Effizienzsteigerung von Biomasseerzeugung (Anbau) und Umwandlung in Energie*
- *Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten der Biomassevergasung durch Nutzung neuer Rohstoffarten oder durch neue Verfahren, wie der thermischen Vergasung*
- *Effiziente Umwandlung von nasser lignozellulosereicher Biomasse in feste Energieträger*

- *Referenzanlage zur kompetitiven Herstellung von Bioethanol aus Reststoff-Biomasse*
- *Entwicklung von Abwärmenutzungskonzepten für Biogasanlagen*
- *Effektive Wandlung von Biogas in Erdgasqualitäten*
- *Innovative und ökologische Logistikstrategien für Energiehölzer und Energiepflanzen*

3.1.4 Wind

Windkraft ist unter den erneuerbaren Energiequellen von großer Bedeutung: Von den Kraftwerksleistungen, die im Jahr 2009 in der EU neu installiert wurden, entfielen 39 % auf Windenergieanlagen. Bayern strebt bis zum Jahr 2021 an, 6 bis 10 % des Stromverbrauchs durch Windkraft zu decken. Der Markt ist von einem hohen Innovationstempo mit entsprechendem Bedarf an Forschung und Entwicklung gekennzeichnet. Die Forschung und Technologieentwicklung bieten ein großes noch unausgeschöpftes Potential zur Energieeinsparung, da durch die Entwicklung neuer Generatoren die Effizienz einer Windenergieanlage stark verbessert werden kann. Zudem können durch die Automation von Fertigungsverfahren entscheidende Kosteneinsparungen erreicht werden. Die bayerische Industrie ist sowohl bei Produkten für die Onshore- als auch für die Offshore-Nutzung sehr stark vertreten. Wichtige Produkte sind Getriebe, verschiedene Lager sowie Windkrafttürme. Auch im Engineering von Windkraftanlagen verfügt Bayern über eine große Zahl von Ingenieuren und Informatikern. Von besonderer Bedeutung ist zudem eine standortangepasste Auslegung der Rotoren (aerodynamische Rotorblatt-Optimierung).

Bei der Onshore-Nutzung steht die Industrie vor der Herausforderung einer weltweiten Markterschließung bei gleichzeitiger Kostenreduktion, die eine Technologieentwicklung mit Schwerpunkten auf Standardisierung und höchster Zuverlässigkeit in der Großserienproduktion erfordert. Eine der wichtigsten Ziele der Forschung und Entwicklung ist eine weitere Kostenreduktion durch grundlegende Innovationen wie zum Beispiel eine Weiterentwicklung der Anlagentechnik und die Entwicklung neuer Materialien und Verbundstoffe.

Bei der Offshore-Nutzung stehen zusätzliche Belastungen, die sich vor allem aus den größeren Lasten durch Wind und See und der erschwerten Zugänglichkeit ergeben, im Vordergrund. Beispielsweise sind innovative Lösungen für Gesamtanlagen, Regelungen und technische Zuverlässigkeit zu untersuchen. Die Entwicklung von Prüftechniken sowohl bei der Produktion als auch bei der Inspektion am Installationsort muss weitergetrieben werden.

Schlüssel für die Wettbewerbsfähigkeit der Windenergie ist die Entwicklung der nächsten Generation von Windenergieanlagen mit einer Leistung von 8 bis 10 MW. Zentral sind Verbesserungen der Antriebstechnik, da 40 % der Gesamtkosten einer Windenergieanlage zu Lasten der mechanischen und elektrischen Kraftumwandlung gehen. Gleichzeitig sollte das Potential für Kleinwindanlagen genau untersucht werden.

In Bayern bestehen weitreichende Kompetenzen in Forschung und Industrie in den für die zukünftige Forschung und Technologieentwicklung bei Windenergie wichtigen Feldern. Diese reichen von Werkstoffen und elektrischen Maschinen über Getriebe, Umrichtertechnik, Fertigungsverfahren, Regelungstechnik bis hin zur Aerodynamik.

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- *Entwicklung der nächsten Generation von Windenergieanlagen, vor allem leichtgewichtige, kostengünstige Rotoren, alternative Antriebskonzepte, Verbesserung der aerodynamischen Eigenschaften, Aspekte der Leistungselektronik und effizientere und zuverlässigere Wandler sowie neuartige Turmkonzepte*
- *Generatoren mit neuen Technologien wie z.B. der Hochtemperatursupraleitung*
- *Effizienzsteigerung im Antriebsstrang*
- *Prüfsysteme für besonders stark belastete Teile von Windanlagen, wie Rotorblätter*

3.1.5 Geothermie

Erdwärme aus mehreren Tausend Metern Tiefe bietet grundsätzlich eine konstante, planbare Energieversorgung und ist daher grundlastfähig. Das heiße Wasser kann für Heizzwecke, als Prozesswärme und zur Stromerzeugung genutzt werden. So geht man alleine für Deutschland von einem Potenzial zur geothermischen Stromerzeugung von 324 TWh gegenüber einem Stromverbrauch in Deutschland von 604 TWh (2010) aus; das hydrogeothermale Wärmepotenzial liegt sogar bei der 300-fachen Menge der Wärmenachfrage in Deutschland. Da die Temperaturen oft nicht für einen normalen Wasserdampfturbinenprozess ausreichen, kommen besondere Verfahren wie Organic-Rankine-Cycle (siehe auch 3.1.9) zum Einsatz.

Der Forschungs- und Entwicklungsbedarf zur Erschließung dieser Potenziale erstreckt sich hier sowohl auf den untertägigen Teil als auch auf die übertägige Anlagentechnik. Im untertägigen Teil müssen die Verfahren der Erkundung, Erschließung und Bohrung verbessert werden. Eine bessere Kenntnis der wasserchemischen Vorgänge ist zudem erforderlich, um Maßnahmen gegen die häufig in Pumpen, Filtern und Wärmeüberträgern auftretenden Ablagerungen zu entwickeln. Zudem besteht Forschungsbedarf zu der Frage

der Korrosion. Für die übertägige Anlagentechnik besteht Entwicklungsbedarf für die Erhöhung der Effizienz dieser Verfahren, wie z.B. integrierte Kraftwerks- und Wärmenutzungen mit neuartigen Kreisprozessen für die Nutzung geringerer Temperaturdifferenzen (siehe auch Punkt Niedrigtemperaturwärme). Zudem erfordert die Entwicklung von kosteneffizienten Prospektions- und Bohrtechniken weitere Anstrengungen.

Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in Bayern für Tiefengeothermie sollen gebündelt und ausgebaut werden. Es sollen ganzheitlich alle Fragen von der Erschließung bis zur energetischen Nutzung und Speicherung aufgegriffen werden. Das in Bayern entwickelte Know-how zur Nutzung der Geothermie im Niedertemperaturbereich stößt in anderen Ländern auf großes Interesse.

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- *Erprobung von petrothermalen Technologien zur Nutzung der Geothermie, um in weiteren Regionen Bayerns die Nutzung der Geothermie zu ermöglichen*
- *Verbesserung der Effizienz geothermischer Stromkraftwerke, z.B. durch Wärmezuführung*

3.1.6 Wasser

Der Wasserkraft kommt in Bayern mit einem angestrebten Anteil am Stromverbrauch bis 2022 von 17 % beim Energieumstieg eine große Bedeutung zu. Bayern ist in Deutschland mit ursprünglich mehr als 15.000 Wasserkraftwerken kleinerer aber auch großer Leistung das Land der Wasserkraft schlechthin. Davon könnten eine Vielzahl von Wasserkraftanlagen, die seit mehr als 80 Jahren Strom liefern, durch gezielte Rehabilitationsmaßnahmen auf eine um 20 bis 30% höhere Leistung gebracht werden sowie eine große Anzahl bereits stillgelegter Anlagen mit einem relativ geringen Aufwand mit modernen Turbinen ausgerüstet und wieder in Betrieb genommen werden.

Infolge der zunehmenden Einspeisung von Wind- und Solarenergie in das Verbundnetz nimmt der Anteil fluktuierender Energiequellen stetig zu. Zum Ausgleich dieser Volatilitäten müssen geeignete Speicherkapazitäten geschaffen werden, um die Netzstabilität und Versorgungssicherheit in einem durch verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien geprägten Energiesystem gewährleisten zu können. Dies könnte durch den Bau einer neuen Generation von dezentralen, an die Landschaft optimal angepassten Pumpspeicherkraftwerken realisiert werden, bevorzugt in Bayern. Da Pumpturbinen aus Kavitationsgründen sehr tief, d.h. bis zu 60m und mehr, eingebaut werden müssen, soll ein neues System von Pumpturbinen mit vorgeschalteten Vorpumpen entwickelt werden.

Weitere Ausbaupotentiale im Bereich von Flusskraftwerken sind durch neue Kraftwerkskonzepte, die Eingriffe in die Flussökologie vermindern, vorhanden. Zudem wird die Wasserkraft von weiter optimierten Turbinen, Generatoren und Transformatoren profitieren.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht bei der Reaktivierung stillgelegter sowie Modernisierung alter Wasserkraftanlagen und deren Turbinen und vor allem der Schaffung geeigneter Speicherkapazitäten mittels neuer Pumpturbinensysteme. Bei Flusskraftwerken sollten die Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen auf Wasserkraftanlagen konzentriert werden, die einen wirtschaftlichen Betrieb auf höchstem gewässerökologischem Niveau ermöglichen (z.B. Schachtkraftwerk). Dies schließt einen Modellversuch an einem unverbauten Fluss ein, mit dem eine hohe Akzeptanz erreicht werden und ein weltweites Marktpotential erschlossen werden könnte.

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- *Neue Kraftwerkssysteme (z.B. Schachtkraftwerke), Steuerung, Kühlsysteme*
- *Entwicklung von Generatoren und von In-Stream-Turbinen, die die dezentrale Wasserenergienutzung ohne Störungen in der Flusslandschaft erlauben*
- *Neue Technologien für Kleinwasserkraftanlagen und für die Erneuerung alter Kleinwasserkraftanlagen für eine erhöhte Energieausbeute*

3.1.7 Fossil basierte Energie

Auf absehbare Zeit wird es nicht gelingen, den wegfallenden Kernenergiestrom ausschließlich durch regenerativen Strom zu kompensieren, so dass mittelfristig in erheblichem Umfang auch Kraftwerke auf Basis fossiler Brennstoffe zu installieren sind. Der Fokus liegt dabei aus Gründen der CO₂-Reduzierung und der Küstenferne Bayerns auf dem Energieträger Erdgas. Mit dem zunehmenden Anteil der fluktuierenden Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern ergeben sich an diese Kraftwerke höchste Anforderungen hinsichtlich Flexibilität, niedrigerer Investitions- und Betriebskosten aufgrund geringerer Auslastung und hoher Wirkungsgrade zur Begrenzung der CO₂-Emissionen. Zum Thema „Fossil basierte Energie“ zeichnen sich zwei Themenfelder für Forschung und Entwicklung ab:

Erstens sind die elektrischen Wirkungsgrade zu steigern. Besonders von der Kombination von Gas- mit Dampfturbinen (GuD)-Kraftwerken geht ein hohes Potential aus: Ziel bis 2022 ist ein Wirkungsgrad von mindestens 65 %, der die Steigerung von Druck und Temperatur

erforderlich macht. Dies setzt neue Hochtemperaturwerkstoffe für die Dampferzeuger und die Gas- bzw. Dampfturbinen voraus.

Ferner sollte im Mittelpunkt der Anstrengungen die Erhöhung der Flexibilität von Gas- und Dampfturbinenkraftwerken stehen. Bei kombinierten Gas- und Dampfprozessen ist die Dampfturbine üblicherweise wenig flexibel, da sie erhebliche thermische Trägheit aufweist. Die Fähigkeit zum schnellen Start und Stopp und zur Lastfolge ist daher eingeschränkt. Für Anlagen kleinerer und mittlerer Baugröße können Prozesse und Systeme entwickelt werden, auch auf Basis anderer Arbeitsmedien als Wasser, die eine deutlich größere Flexibilität ermöglichen.

Die Einbindung von Speichern in bestehende oder neue Kraftwerke könnte unter Umständen einen wirkungsvollen Beitrag zur Verbesserung der Betriebsflexibilität leisten. Noch ist allerdings zu klären, ob die Integration der Erzeugung von synthetischen Energieträgern wie z.B. Wasserstoff oder Methan aus Überschussstrom, Vorteile hinsichtlich Kosten und Effizienz bietet.

Basis für weitere Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen in Bayern sind die im Verbundforschungsprojekt „Kraftwerke des 21. Jahrhunderts (KW21)“ vorhandenen Kompetenzen.

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- *Umbaukonzepte für die Flexibilisierung des Dampfturbinenbetriebs bei existierenden Kraftwerken*
- *Effizienzerhöhung bestehender GuD-Kraftwerke durch neue Turbinenschaufeldesigns, Erhöhung des Verdichtermassenstroms, Optimierung der Verbrennung*
- *Umbau bestehender Kraftwerke auf GuD mit einer Gasturbinenerweiterung*

3.1.8 Kraft-Wärme-Kopplung

Verfahren der Kraft-Wärme-Kopplung können einen erheblichen Beitrag zur hocheffizienten, kostengünstigen und dezentralen Energieversorgung in Kommunen, Industriebetrieben, Krankenhäusern oder im privaten Wohnungsbau leisten. Durch die gleichzeitige Bereitstellung von Strom und Wärme können bis zu 40 % Primärenergie eingespart werden. Da der wirtschaftliche Ausbaugrad der Fernwärme in den Großstädten bereits relativ hoch ist, steht lediglich ein gewisses Potenzial bei der Nachverdichtung und etwas mehr beim Ersatz alter Anlagen zur Verfügung. Der wesentliche Teil des Zubaus muss daher bei kleinen

dezentralen Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen, gerade auch in der Industrie, erfolgen. Sowohl aufgrund der erwünschten energetischen Sanierung des Gebäudebestands, der hohen energetischen Standards von Neubauten als auch der zu erwartenden Klimaveränderungen wird der Heizwärmebedarf tendenziell sinken, der Klimatisierungsbedarf aber steigen. Gleichzeitig wird die Niedertemperatur(ab)wärme aus KWK-Anlagen steigen. Ein Ansatz, diese Wärme gerade bei vorhandenen Netzen sinnvoll zu nutzen, könnte die Erzeugung von Kälte aus Wärme über Ab-/Adsorptionskälteanlagen sein.

Ein weiterer Vorteil der Kraft-Wärme-Kopplung ist ihr hohes Potential zur Regelenenergiebereitstellung. Damit wird sie im Zuge des Ausbaus von Windkraft und Photovoltaik an Bedeutung gewinnen. Die Flexibilisierung des Betriebes, das heißt die Entkopplung der thermischen und elektrischen Bedarfsdeckung, ist mit großen Wärmespeichern möglich. Für optimale Auslegung und Betriebsmanagement, aber auch für Methodenentwicklung und Feldversuche, Vergütungsstrategien und der Zusammenschaltung dieser Anlagen zu virtuellen Kraftwerken besteht erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Modellhaft soll deshalb der Einsatz von zentralen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen als „Spitzenlast-Heizkraftwerke“ mittels Einbindung thermischer Speicher durchgeführt werden. Damit soll ein effizientes Konzept für eine zeitliche Entkopplung der thermischen und elektrischen Bedarfsdeckung in der Praxis getestet werden und die Markteinführung vorbereitet werden.

Ein vielversprechender Ansatz ist der Einsatz der Brennstoffzelle bei Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen. Speziell Hochtemperaturanwendungen im Leistungsbereich von 1-20 KW einerseits bzw. 20-1000 KW versprechen aufgrund von geringen Emissionen und einem hohen Wirkungsgrad zukünftige Marktpotentiale.

Bayern hat eine Stärke in der für die Brennstoffzellen notwendigen Zelltechnik und Membran-Entwicklung. Die Polymer-Brennstoffzellentechnik ist in Bayern auf einem konkurrenzfähigen Entwicklungsstand. Dieses hohe Niveau ist weiter ausbaufähig.

Darauf aufbauend könnte Bayern mehr Wertschöpfung entwickeln, wenn es durch Forschungsanstrengungen gelänge, im Verbund mit Partnern aus Industrie und Hochschulen die Herstellung auf gesamte Systeme auszubauen. Dieser Vernetzungsgedanke wird durch eine Kooperation mit Partnern aus der Wirtschaft sowie der HAW Amberg/Weiden, der Universität Bayreuth und dem ATZ Entwicklungszentrum (Sulzbach-Rosenberg) beispielgebend umgesetzt.

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- *Untersuchungen zur Steigerung der Energieeffizienz der KWK-Anlagen, zur Verwendung biogener Brennstoffe, Regellenergiebereitstellung, Niedertemperaturwärmennetze, Gasturbinen- und alternative Antriebe.*
- *Optimierung der Energieerzeugung bei KWK-Anlagen durch den Zusammenschluss mehrerer Einzelanlagen und der Einbindung von thermischen Speichern.*
- *Einsatz von industriellen Wärmepumpen zur Wärmerückgewinnung von industrieller Abwärme und Nutzung in Nah- und Fernwärmesystemen unter Berücksichtigung von volatilen Strompreisen. Eine Anbindung an ein Smart Grid soll realisiert werden.*
- *Entwicklung einer neuen Brennstoffzellengeneration, um dezentral effizient Energie zu erzeugen (Kombination Elektrolyse/Brennstoffzelle)*

3.1.9 Niedertemperatur-Verstromung

Mit der Kraft-Wärme-Kopplung verwandt ist die Nutzung von Niedertemperaturwärme und dezentral erzeugter Abwärme. Abwärme ist untrennbar mit Energienutzung und Energiewandlung verbunden und bislang weitgehend ungenutzt. Man geht in Deutschland von einem Potenzial von mehr als 5 GW im stationären Bereich außerhalb von konventionellen Kraftwerken aus. Abwärme fällt meist dezentral und auf einem niedrigen Temperaturniveau an. Die Nutzung dieser Energiereserven für die Stromerzeugung erfordert daher spezielle Wärmekraftmaschinen. Beispielsweise ermöglichen Organic-Rankine-Cycle-Minikraftwerke die Erzeugung elektrischer Energie aus bislang nicht wirtschaftlich nutzbarer Abwärme. In dem dort verwendeten Kreislaufprozess werden statt Wasser organische Flüssigkeiten mit niedrigerem Siedepunkt verwendet. Dadurch können auch weniger heiße Abwärmeströme zur Verdampfung und somit zur Gewinnung elektrischer Energie genutzt werden. Anwendungen finden diese Technologien im Bereich der Geothermie, der KWK, bei Thermogeneratoren und als mobile Anwendungen in der Automobilindustrie.

Erfahrungen mit Technologien und Anwendungen im Bereich der Verstromung von Niedertemperaturwärme liegen in Bayern vor, sowohl in der Industrie als auch bei Forschungseinrichtungen und Hochschulen. Im Mittelpunkt der Anstrengungen sollte die Entwicklung kostengünstigerer Expansionsmaschinen stehen. Zur Verbesserung der Organic-Rankine-Cycle-Minikraftwerke stehen Fragen des Arbeitsmediums, der Wärmeübertragung, der Expansionsmaschine und der Wärmeabfuhr im Mittelpunkt.

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- *Entwicklung alternativer Verfahren der Niedertemperatur-Verstromung*

3.1.10 Photokatalyse

Die Ladungstrennung in den unter Ziffer 3.1.1 genannten hochinnovativen organischen und hybriden Materialien kann nicht nur zur Generierung von Photostrom, d.h. für photovoltaische Zwecke genutzt werden. Die entstehenden Ladungen können mittels katalytisch aktiver Materialien unter bestimmten Voraussetzungen den im Wasser gebundenen Wasserstoff reduzieren und somit Wasserstoffgas erzeugen; die ebenfalls notwendige Oxidation des Sauerstoffs ist weit schwieriger zu realisieren. Diese Umwandlung von Lichtenergie in chemische Energie mittels hybrider und katalytisch aktiver Nanomaterialien (Photokatalyse) hat sich weltweit zu einem rasant voranschreitenden, interdisziplinären Forschungsgebiet entwickelt. Vorbild für eine technisch basierte Photokatalyse kann die Natur selbst sein, die mittels Photosynthese Lichtenergie in biochemische Energie umwandelt. Enzymatische Prozesse spielen hierbei eine wesentliche Rolle. Zukünftige Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Photokatalyse wird anorganisch-katalytische und biochemisch-enzymatische Lösungsstrategien versuchen zu kombinieren und zu integrieren.

Wie bereits in Ziffer 3.1.1 beschrieben, haben insbesondere die bayerischen Universitäten in Bayreuth, München (TUM, LMU), Erlangen-Nürnberg (künftig auch auf dem EnCN) und Würzburg sowie das ZAE hierfür international wettbewerbsfähige Forschungskompetenzen aufgebaut. Ein Verbund würde die international sichtbaren bayernspezifischen Forschungsaktivitäten weiter stärken, insbesondere durch Ausbau der vorhandenen Infrastruktur. Auch sollte eine Kultur etabliert werden, die jungen Forschern erlaubt, die Verwertung ihrer Ergebnisse mittels eigener Ausgründungen voranzutreiben.

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- *Technologische Realisierung der lichtinduzierten Wasserstoff- und Sauerstoffproduktion durch Einsatz neuartiger hybrider Nanomaterialien sowie molekularer und biomolekularer Systeme*
- *Drastische Steigerung der Wirkungsgrade*

3.1.11 Rückbauoptimierung (KKW)

Der Umstieg auf eine vermehrt regenerative Energiebereitstellung darf nicht gleichbedeutend sein mit einem „Ausstieg“ aus den kerntechnischen Kompetenzen. Vielmehr gilt es, einen an höchsten Sicherheitsstandards ausgerichteten Betrieb der hiesigen KKW bis zum Ausstiegsdatum 2022 sicherzustellen und den Rückbau der stillgelegten KKW optimal zu organisieren. Rückbau von Kernkraftwerken ist noch kein „Massenmarkt“. Individuelle Methoden der (ehem.) Betreiber dominieren den Rückbau. Es können steigende Lernkurven

in Deutschland und Bayern aufgrund der Zunahme stillgelegter Kernkraftwerke erwartet werden. Eine nächste Stufe könnte die Entwicklung von "Produktbündeln" zum Rückbau von KKW sein, im Gegensatz zu den aktuellen, fragmentierten Angeboten. In Deutschland überwiegt der zeitnahe Rückbau stillgelegter Anlagen, während in anderen Teilen der Welt der „sichere Einschluss“, d.h. die Konservierung der Anlage über einen Zeitraum von 40 Jahren bis zum Beginn des eigentlichen Rückbaus, dominiert. Rückbau gilt in vielerlei Hinsicht als anspruchsvoller Ingenieurssektor (z.B. erforderliche Spezialmaschinen, umfangreiche Maßnahmen zur Dekontaminierung vor dem eigentlichen Recycling, hoher manueller Aufwand, komplexe Güter- und Informationsströme, aufwändige Zerlegung der Anlagen). Ähnlich wie in anderen Branchen ist somit eine Fokussierung auf „Lösungen“ anzustreben. Analog zur (Kontrakt-)Logistik könnten neue Dienstleister den „nachhaltigen Rückbau aus einer Hand“ organisieren; „Nachhaltig“ ist hier im Sinne der ökologischen, ökonomischen und sozialen Verträglichkeit zu verstehen: z.B. Umschulungs- und/oder Weiterbildungsprogramme für ehem. KKW-Mitarbeiter, Entwicklung von Sozialplänen, ressourceneffizienter Transport von rückgebauten Anlagenteilen (Binnenschiff vs. Schiene vs. LKW), Standortwahl und Betrieb von Zwischenlagern, Export von Turbinen und Generatoren etc. Aufgrund der umfangreichen, langdauernden Rückbauarbeiten und den hohen Lagerzeiten für abklingendes, radioaktives Material, können langfristige Kontrakte geschlossen werden, die beiden Seiten Planungssicherheit bieten.

Ein weiterer Aspekt sei hier begleitend angesprochen: Die Aufrechterhaltung und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses für alle relevanten Bereiche der nuklearen Sicherheit muss in Bayern mittelfristig gewährleistet bleiben. Die hier etablierten Sicherheitsstandards sollten auch im bayerischen Eigeninteresse ein „Know How-Exportschlager“ in Länder, die weiter auf Kernenergie setzen, bleiben. Insofern ist der Erhalt der vorhandenen exzellenten „Grundausstattung“ in der Nachwuchsförderung für die Themen "Reaktorsicherheitsforschung" und "Entsorgungsforschung" erforderlich. Kompetenzen dazu sind insbesondere an der TU München und der Universität Erlangen-Nürnberg vorhanden (u.a. Lehrstuhl bzw. Studiengang Nukleartechnik).

Die Kommission verweist darauf, dass in diesem Themenbereich insbesondere die Bundesregierung gefordert sei. Eine finanzielle Unterstützung durch die Förderprogramme des Bundes wird nachdrücklich empfohlen und unterstützt.

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- *Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Messung und Registrierung ionisierender Strahlung*

- *Drahtlose Sensorik zur Zustandsüberwachung von Anlagenteilen*
- *Autonome Räumroboter*
- *(mobile) Abwasseraufbereitungsanlagen*
- *Versorgung stillgelegter Anlagen vor- und während des Rückbaus*
- *Entsorgung kompletter Anlagen und ggf. kontaminierter Böden (Ziel: grüne Wiese)*
- *Entwicklung neuer Dienstleistungen bzw. Dienstleistungsbündel (Sicherheitsdienstleistungen)*
- *Personalmanagement /-Entwicklung (insbes. in Bezug auf ehem. KKW-Mitarbeiter)*

3.2 Effiziente Energieanwendung

Strom, Wärme, Energieträger: Der nachhaltigste Weg Energie zu gewinnen ist, sie gar nicht erst zu verbrauchen. Die Verwendung von Strom erfasst stetig sich ausweitende Aufgabenfelder. Die Digitalisierung der Gesellschaft führt über zahllose Endgeräte und Server zu höherem Stromverbrauch. Im Straßenverkehr erfolgt ein schrittweiser Übergang von der ölbasierten Mobilität auf Elektrofahrzeuge. Daher kann ein holistisches Energiekonzept nicht auf die Erzeugung von Strom beschränkt bleiben. Angesichts des steigenden Strombedarfs müssen auf der Verwendungsseite Einsparungen entgegenstehen, die einen gleichen Anwendernutzen mit weniger Energie- und Ressourceneinsatz ermöglichen. Dies schließt sowohl Einsparungen beim direkten Verbrauch an Elektrizität als auch bei der Wärme ein.

3.2.1 Energieeffizienz in und an Gebäuden

Derzeit werden in Deutschland 35 % der Endenergie für die Gebäudebeheizung und für Warmwasser verbraucht. Technologisch versprechen Neubauten enorme energetische Fortschritte, die bis zu Plus-Energie-Häusern, Häuser, die von Energieverbrauchern zu Energielieferanten werden, reichen. Wird das Gebäude Teil eines „Smart Grid“, kann es zudem einen entscheidenden Beitrag an einem Energieversorgungssystem der Zukunft leisten.

Bis zum Jahr 2022 wird angestrebt, dass alle neuen Gebäude die von ihnen benötigte Energie vor Ort selbst erzeugen oder als Plus-Energiehäuser sogar zu Energielieferanten werden. Durch Einbeziehung von Photovoltaik und solarthermischen Anlagen einerseits und den Verbrauch senkende Effizienztechnologien andererseits können Energieüberschüsse in hauseigene chemische und physikalische Energiespeicher fließen und etwa über eine

Schnittstelle für E-Mobilität genutzt werden. Die Verbindung des Gebäudes als Energielieferant, als eigener Energiespeicher mit der Speicherfunktion des Fahrzeugs ermöglichen im Gesamtsystem heute noch unerreichte Synergiegewinne. Eine "Plusenergiehaus-Initiative" würde neue wirtschaftliche und bezahlbare Konzepte inklusive der dazu benötigten technischen Lösungen entwickeln können und den flächendeckenden Einsatz voranbringen.

Gleichzeitig liegt eine besondere Herausforderung bei der Sanierung des Altbaubestands, da 80 % der Gebäude älter als 20 bis 30 Jahre sind. Wenn jede Sanierung mit einer zeitgemäßen energetischen Sanierung verbunden ist, kann Energie im großen Stil eingespart werden. Schon durch Standardsanierungen von Gebäuden aus den siebziger Jahren können 50 % des Energieverbrauchs eingespart werden. Technisch ist heute schon deutlich mehr möglich.

Im Einzelnen liegen die Herausforderungen für zukunftsgerichtete Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten darin, die modernen Energiesysteme preiswerter, einfacher und zuverlässiger zu machen sowie neue Lösungen zu erforschen. Gefragt sind unter anderem langlebige und robuste Hochleistungsdämmsysteme, Multifunktionsfassaden mit anpassungsfähigem Sonnenschutz, die Minderung der Lüftungswärmeverluste sowie die Erhöhung von Wärmegewinnung durch neue Fensterlösungen und Solarkollektoren. Schließlich sind Konzepte zu entwickeln, die die Gebäudehülle für die Stromerzeugung nutzen. Erhebliche Energieeffizienzverbesserungen sind durch neue Entwicklungen in der technischen Gebäudeausrüstung, wie Heizsysteme, Gas-Wärmepumpen und saisonale Wärmespeicher möglich.

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- *Einrichtungen und Initiativen für die Schaffung von autarken und Plus-Energie-Häusern durch Entwicklung neuer Bausysteme und Technologien sowohl im Alt- und Neubau. Eine wesentliche Rolle können dabei Baustoffe aus Kunststoffen, die I&K-Fähigkeit (z.B. Optimierung der Elektronifizierung) und die Weiterentwicklung von Gebäudehüllen spielen. Die Entwicklung von Sensormaterialien zur Langzeitkontrolle von Luftdichtheit und Temperatur ist für die Weiterentwicklung von Wärmedämmverfahren wichtig.*
- *Pilotvorhaben zur Konzeption von Energieversorgungssystemen von Gebäudekomplexen zur rein regenerativen Energieversorgung. Dies schließt die Nutzung verschiedener regenerativer Energieträger, thermischer oder chemischer (z.B. Ethylcarbazol) Speicher und die Integration in ein „smart grid“ ein. Auch ein Pilotvorhaben für das Kühlkonzept „district cooling“, womit Stadtbezirke oder*

Industrieparks unter Energieeinsparung von 40 bis 60 % gekühlt werden, erscheint vielversprechend.

3.2.2 Industrielle Verfahrenstechnik

In Deutschland werden mehr als 40 % der Endenergie in den Bereichen Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen verwendet. Kern der Steigerung der Energieeffizienz ist die Optimierung von industriellen Prozessen und den zugehörigen Anlagenkomponenten.

Das größte Potential zur Energieeinsparung liegt in dem optimierten Kühlen der Räume sowie in der effizienten Nutzung von Prozess- und Umgebungswärme. Dabei sind bestehende Abwärmepotenziale, beispielsweise durch Integration von Speichersystemen zu heben. Die Erweiterung von Produktionsprozessen mit Wärmerückgewinnungssystemen und thermisch angetriebenen Wärmepumpen und Kältemaschinen oder angepasster Produktionsführung ist ein weiterer Schritt zu effizienteren und damit energiesparenderen Industrieanlagen. Ein Beispiel für eine derartige Systemoptimierung ist die Vernetzung der innerbetrieblichen Druckluft-, Kälte-, Dampf-, Wärme- und Stromerzeugung. In vielen industriellen Prozessen fällt Abwärme auf unterschiedlichen Temperaturniveaus an. Diese kann durch Wärmetransformation wieder als Prozesswärme auf einem gewünschten Temperaturniveau bereitgestellt werden oder in Kombination mit thermischen Energiespeichern externen Verbrauchern zugeführt werden. Besonders interessant erscheinen diese Strategien bei energieintensiven Industriezweigen wie z.B. Zement, Glas und Metall. Oft stehen dabei weniger Einzelprozesse im Vordergrund als ganze Systeme. Auch die Elektronik spielt bei der effizienten Nutzung von Energie in der Industrie eine wichtige Rolle. In Rechnern, Industrieanlagen und Stromversorgungsnetzen minimiert effiziente Leistungselektronik zur Steuerung der Energieflüsse die Verluste und beschränkt den Stromverbrauch.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf in Bayern entsteht dabei vordringlich bei der Energieeffizienzsteigerung in Industrieparks durch Produktionsstätten übergreifende Maßnahmen, durch Konzepte zur Integration von Energieeffizienzmaßnahmen in Produktions- und Herstellungsprozessen und durch die Nutzung von fluktuierender Mitteltemperaturwärme aus Industrieprozessen durch den Einsatz von Speichertechnologie.

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- *Schaffung von Modellfabriken für energiesparende Produktionstechniken, die den Know-How-Transfer in die bayerische Wirtschaft ermöglichen.*

- *Senkung des industriellen Energieverbrauchs durch neue Steuerung-, Regelungs- und Automatisierungskonzepte auf Basis von Leistungselektronik.*
- *Entwicklung innovativer Bauelemente und Komponenten (Leistungstransistoren, passiven Bauelementen und Modulen) aus der Leistungselektronik zur Verbesserung der Wandler.*
- *Die Senkung des Energieverbrauchs in spezifischen Anwendungen wie bei Kläranlagen und bei Druckluftsystemen.*

3.2.3 Elektromobilität

Unter dem Gesichtspunkt einer effektiven Energieanwendung ist insbesondere die energie- und verkehrswirtschaftliche Integration der Elektromobilität von Interesse. Das Thema Elektromobilität wird in Bayern und auf Bundesebene im Rahmen verschiedenster Initiativen bearbeitet (z.B. Zukunftsoffensive Elektromobilität im Rahmen von „Aufbruch Bayern; Nationale Plattform Elektromobilität NPE). Die Technische Universität München hat im Rahmen der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder einen Exzellenzcluster „Electromobility beyond 2020“ vorbereitet. An verschiedenen Hochschulen für angewandte Wissenschaften (HAW) wird im Bereich Elektromobilität geforscht.

3.2.4 Testplattformen

Weitere wichtige Energieeinsparpotentiale bietet die Energiesystemoptimierung. Erst wenn Energiequellen, Versorgungsanlagen und Energienutzer miteinander kombiniert werden können, wird ein Optimum aus Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit zu erzielen sein. Ein sofortiger Einstieg in den Energieumstieg kann durch Nutzung und Ausbau existierender Wachstumskeime in Form von Gebäudekomplexen, Industrieanlagen oder kleinen Kommunen, die bereits nahezu energieautark arbeiten bzw. dafür vorbereitet sind, geschehen. Die effiziente Energienutzung sowie der vernetzte Umgang von Erzeugern, Verbrauchern und Speichern kann in diesen Modellkomplexen erprobt werden. Damit entstehen Testplattformen für neue Technologien und Ansätze zu deren schneller Erprobung und Markteinführung. In einem zweiten Schritt kann das Konzept durch die Hinzunahme von ausgewählten Industrieanlagen und Kommunen erweitert werden.

Die Testplattformen sollten vor allem die Nutzung von regenerativen Energiequellen wie Photovoltaik, Energiewandlung, verschiedene Energiespeicher oder synthetisches Erdgas, Blockheizkraftwerke, lokale Gleichstromnetze, Smart Grids, Kraft-Wärme-Kopplung, Wärmepumpen und Mobilitätskonzepte umfassen. Es sollten Ansätze zur Optimierung des Gesamtsystems mit Hilfe von Energieschnittstellen mit effizienten Wandlern, Regel- und

Überwachungskonzepte getestet werden. Die Testplattformen soll auf die Stärken der bayerischen Industrie mit beispielsweise alleine in Nordbayern 500 Unternehmen im Bereich Energie und 200 im Bereich Leistungselektronik ausgerichtet werden. Partner sind hier sowohl Mittelständler wie auch die Global Player der Energiewirtschaft.

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- *Modellgelände, auf dem regenerative Energieerzeugung, intelligente Netze, Speicher und höhere Energieeffizienz im Gebäudebestand verknüpft werden*
- *Entwicklung eines Modellhybridkraftwerks in einer Kombination von Photovoltaik, Gas und Elektrolyse: Elektrolyse des Überschussstroms, Speicherung und spätere Rückwandlung in Strom*

3.3 Technologie zur Speicherung von Energie

Der forcierte Umbau der Stromversorgung auf erneuerbare Energieträger erfordert neben dem Ausbau der Energiegewinnung mit höchster Priorität den Ausbau der Energiespeicherung. Energieträger wie Sonne und Wind sind nicht durchgängig und nur stark dezentral verfügbar, was eine kontinuierliche Energieversorgung erschwert. Diese Herausforderung wird beispielsweise am enormen Potential der Photovoltaik sichtbar: Schätzungen gehen davon aus, dass die Photovoltaik in Bayern 25 % oder mehr des Stromverbrauchs decken kann. Gleichzeitig fallen bei der Photovoltaik Erzeugung und Verbrauch teils drastisch auseinander.

Nur mit Hilfe leistungsstarker Speichertechnologien ist es möglich, die Erzeugung und Nutzung von elektrischer Energie zeitlich zu entkoppeln. Die bisher wichtigste Möglichkeit der Entkopplung sind Pumpspeicherkraftwerke. Allerdings sind hier Erweiterungen aufgrund der vorherrschenden geologischen Gegebenheiten in Bayern nur eingeschränkt möglich. Deshalb besteht ein hoher Bedarf an der Entwicklung neuer, preisgünstiger, dezentral verfügbarer und leistungsstarker Speichertechnologien.

Die notwendigen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten werden die Realisierung effizienter elektrischer, elektrochemischer, chemischer und mechanischer Wärmespeicher zum Inhalt haben. Mehrere verschiedene Speichertechniken sind erforderlich, da in inhaltlicher und zeitlicher Hinsicht verschiedene Herausforderungen bestehen. Speicher sind für verschiedene Größenskalen und Zeitskalen – von Sekunden bis hin zu Monaten – erforderlich. Elektrochemische Speicher gleichen vor allem kurzfristige Schwankungen aus. Die mittel- bis langfristige Energiespeicherung erfolgt chemisch, entweder mittels Wasserstoff, Energieträgern, wie z.B. Methanol, „Energie Tragenden Stoffen“ oder

synthetischem Methan, die alle mit erneuerbaren Energien erzeugt werden. Wärmespeicher werden als Kurzfrist-, Mittelfrist- und als saisonale Speicher in Gebäuden eingesetzt.

Viele innovative Speichertechnologien sind heute theoretisch bereits verfügbar, aber noch nicht alltagstauglich. Vor allem sind die Systemkosten zu hoch. Deswegen wird die Blei-Säure-Batterie die nächsten Jahre noch eine führende Technologie bleiben. Dies gilt insbesondere für neue Generationen von Stromspeichern für große Energiemengen sowie die dezentrale Speicherung. Unter anderem sind leistungsfähige Batterien eine entscheidende Speichertechnologie der Zukunft. Es gilt neue Material-, Fertigungs- und Systemintegrationskonzepte zu erforschen, um den höheren Anforderungen hinsichtlich Energie- und Leistungsdichte, Lebensdauer, Sicherheit und Kosten gerecht werden zu können. Der Aufbau und Betrieb von Demonstrationsanlagen ergänzt diese Anstrengungen im Bezug auf die Markteinführung innovativer Speicherlösungen. Ein wichtiger Beitrag zur Speicherung könnte auch von der regenerativen Wasserstoffwirtschaft ausgehen.

Für diese Anstrengungen wird in Bayern auf den fachlichen Schwerpunkten am Energie-Campus Nürnberg, bei verschiedenen Einrichtungen der Fraunhofergesellschaft, an der Technischen Universität München, am Bayerischen Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern) und am ATZ Entwicklungszentrum aufgebaut. Entscheidende Weichen sind auch mit dem bereits beantragten neuen technologieübergreifenden Forschungsverbund „Speichertechnologien“ und dem geplanten Aufbau des ersten deutschen technologieübergreifenden Zentrums für Speicher mit Schwerpunkt auf thermischen und chemischen Speichern gestellt. Ziel ist die Überführung der im Labormaßstab verfügbaren Technologien in kommerzielle Anwendungen.

3.3.1 Elektrische und elektrochemische Speicher

Elektrische und elektrochemische Speicher sind besonders für mobile Anwendungen von sehr großer Bedeutung. Super-Kondensatoren (Supercaps) haben eine hohe Leistungsdichte und Lebensdauer. Sie können als Ersatz für herkömmliche Akkumulatoren dienen, wenn Lade- und Entladevorgänge häufig und schnell erfolgen müssen. Lithium-Ionen-Speicher haben ebenfalls eine hohe Leistungsdichte. Zudem können sie auch als stationäre Speicher eine wichtige Rolle beim Umbau des Stromnetzes spielen. Diese sind generell geeignet, sehr schnell auf Netzanforderungen zu reagieren. Damit eignen sie sich besonders für Kontrolle der Netzfrequenz, Minutenreserve und Peakshaving.

Bayerische Stärken und Alleinstellungsmerkmale liegen besonders in den Materialien für die Zellfertigung und im Management von Batteriesystemen. Für Zellmaterialien kann Bayern auf eine sehr starke Batteriezulieferindustrie bauen, die auf der Forschungsseite durch mehrere

Lehrstühle der Technischen Universität München und verschiedene Fraunhofer-Einrichtungen ergänzt wird. Wissen um das Management von Batteriesystemen liegt u.a. bei den Autoherstellern.

Gleichzeitig gilt es Lücken in der bayerischen Wertschöpfungskette im Bereich der Batteriekomponenten- und Zellfertigung mit neuen Materialentwicklungen und angepassten Herstellverfahren zu schließen. Durch eine Kooperation von Entwicklern und Herstellern könnten über den Weg einer Pilotfertigung industrieller Produkte von großer Marktbedeutung entstehen. Diese Kooperation könnte auch wesentliche Fortschritte bei der Herstellung von Elektroden ermöglichen, mit der gleichfalls große Marktchancen verbunden sind. Weitere wichtige Themen für Bayern sind die Erforschung deutlicher Verbesserungen hinsichtlich Energiedichte, Effizienz, Lebensdauer sowie die Reduzierung der Kosten einzelner Fertigungsschritte und Materialien bei diesen Speichermedien.

Von besonderem Interesse sind Redoxspeicher, die den Strom wie in einem Akku in Form chemischer Energie speichern. Sie zeichnen sich durch einen möglichen sehr hohen Wirkungsgrad von etwa 75 % aus; zudem kann die Energie verlustfrei chemisch gespeichert werden. Diese Technologie eignet sich vorrangig für größere Speicherkapazitäten, da die Energiespeicherung getrennt von der Umwandlung in flüssigen Elektrolyten erfolgt. Erheblicher Forschungsbedarf besteht bei den Themen Speicherdichte, Zyklenstabilität, Ladegeschwindigkeit und Skalierbarkeit. Dies gilt in gleicher Weise für das Design neuartiger, elektrochemischer Hochtemperatur-Speicher auf Basis der Solid-Oxide-Technologie. Auch Aspekte der Umweltfreundlichkeit dieser elektrochemischen Speicher sind zu beachten.

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- *Entwicklung von dezentralen stationären Energiespeichern auf Lithium-Ionen-Batterien-Basis und auf Bleibasis. Entwicklung eines Speichers für Windturbinen*
- *Entwicklung von neuen Bauformen für Doppelschichtkondensatoren (Supercaps) durch Nanostrukturierung mit hohen Energiekapazitäten für mobile Anwendungen*
- *Neue Materialentwicklungen und Herstellverfahren für Batteriekomponenten und die Zellfertigung*
- *Entwicklung von Hybridbatterien für große Speicher, die Vorteile der Speichertypen Bleibatterie, Redox-Flow und Doppelschichtkondensatoren kombinieren*
- *Forschungsanstrengungen bei weiteren Batteriekonzepten (z.B. Zink-Luft-Speicher)*

3.3.2 Mechanische Speicher

Als Stromspeicher mit potentiell hohen Kapazitäten für die Zwischenspeicherung des regenerativen Stroms bieten sich Druckluftspeicher an. In diesen Speichern wird mit Strom Luft stark komprimiert und beispielsweise in Salzstöcken gespeichert. Teilweise sind auch überirdische Speicher erforderlich. Bei Bedarf wird die Pressluft über eine Luftturbine wieder verstromt.

Erheblicher Bedarf an Technologieentwicklung und Machbarkeitsstudien ist erforderlich für verschiedene Komponenten: Wärmespeicher, Kompressoren und Turbinen. Eine erhebliche Senkung der Kosten aller Systemkomponenten wird für eine erfolgreiche Umsetzung entscheidend sein. Bayern ist für diese Anstrengungen ein idealer Standort, da sowohl Industrie als auch Hochschulen weitreichende F&E-Kompetenz und Produkterfahrung bezüglich der kritischen Komponenten haben.

Eine wichtige Rolle beim Energieumstieg können Schwungmassenspeicher spielen. Sie sind Kurzzeitspeicher, um vor Ort Störungen abzufangen und gleichen damit Störungen im Sekunden- und Minutenbereich aus. Sie haben zwar nur ein geringes Speichervolumen, können aber kurzfristig hohe Ströme abgeben. Eine Charakterisierung von Netzstörungen in verschiedenen europäischen Ländern ergab, dass 97 % aller gravierenden Störungen in einem Bereich von weniger als drei Sekunden erfolgt. Bei stark variierenden Lasten oder fluktuierender, dezentraler Energieerzeugung kommen heutige Netze bereits an ihre Kapazitäts- oder Stabilitätsgrenzen. Solche hochdynamische Belastungsschwankungen könnten durch den Einsatz dieser Speicher kompensiert und damit eine aufwändige Netzverstärkung vermieden werden. Angesichts der dezentralen Verortung dieser Speicher können sie auch in der Antriebstechnik bei Industrieanlagen eine wichtige Rolle spielen. Auch hier gibt es viele Systeme, die oft beschleunigt und abgebremst werden müssen. Um die Anlagen energieeffizienter zu machen, lohnt es sich, die verfügbare Bremsenergie zu speichern. Durch Verwendung dieser Speicher in Kränen, Hochregallagern, Robotern, Pressen und Stanzen kann Energie aus hohen dynamischen Kräften gespeichert und später wieder eingespeist werden. Damit kann erheblich Energie gespart werden.

Bei entsprechenden Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen bieten sich erhebliche Marktpotentiale, da sich die Kosten für Schwungmassenspeicher schnell amortisieren können. Im Vordergrund sollten die Anstrengungen darin bestehen, die Kosten der Fertigung deutlich zu senken. Gleichzeitig ist der Wirkungsgrad zu verbessern, die Lebensdauer zu verlängern und der Wartungsaufwand zu senken. Zu Pumpspeicherkraftwerken und -turbinesystemen siehe Ziffer 3.1.6.

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- *Erhöhung des Wirkungsgrades von Druckluftspeichern*

3.3.3 Chemische Speicher

Neben der direkten Speicherung von Energie kann auch eine chemische oder „stoffliche“ Speicherung durchgeführt werden. Dabei wird unter Energieeinsatz ein Energieträger produziert, der die Energie über einen beliebigen Zeitraum speichern kann, der einfach transportiert werden kann, zentral oder dezentral in die jeweils gewünschte Energieform umgesetzt werden kann und rasch für Bereitstellung und Einspeisung von elektrischer Energie zur Verfügung steht. Bei diesen Energieträgern handelt es sich in der Regel um Wasserstoff, Methanol, „Energie Tragende Stoffe“ oder Methan. Während die Technologie der Verwertung dieser Energieträger etabliert ist, muss die Technologie der Erzeugung der „Energie Tragenden Stoffe“ noch erarbeitet werden.

Für die Erzeugung aller dieser Energieträger ist die Wasserelektrolyse das zentrale Verfahren, mit der z.B. der überschüssige Windstrom als chemische Energie gespeichert werden kann. Zentraler Punkt einer Wasserstoffwirtschaft ist die ökologisch und wirtschaftlich vertretbare Erzeugung des Wasserstoffs mit verschiedenen Verfahren. Durch einen weiteren Umwandlungsschritt kann erneuerbares Methan aus Wasserstoff hergestellt werden. Da bereits heute Methan in Form des fossilen Erdgases eine bedeutende Rolle spielt, steht eine gut ausgebaute Infrastruktur mit hoher Speicherkapazität zur Verfügung. Im Zuge eines Umbaus des Energieversorgungssystems bietet es sich an, diese bestehende Struktur mit ihren ausgezeichneten Eigenschaften (gute Speicherfähigkeit von Methan, hohe Energiedichte, breites Anwendungsspektrum im Wärme-, Kraft- und Mobilitätsbereich) auch in Zukunft für regenerative Energiesysteme zu nutzen. Dieser Lösungsansatz zur Langzeit-Speicherung von erneuerbaren Energien bietet die Möglichkeit, intelligente und bidirektional verbundene Strom- und Gasnetze zu entwickeln. Dabei kann auf die bestehende Infrastruktur der Erdgasnetze zurückgegriffen werden. Hierzu ist es notwendig und sinnvoll, weiter optimierte Wege zu entwickeln, wie Methangas regenerativ bereitgestellt werden kann.

Daher soll ein Schwerpunkt auf die Erforschung der Umwandlung von Schwachlaststrom in Energieträger wie Methangas liegen. Bis zum Jahr 2021 wird angestrebt, dass regenerative Energie zu wettbewerbsfähigen Konditionen – für die allerdings auch der Gaspreis sowie Investitions- und Unterhaltskosten eine Rolle spielen – z.B. in Methangas umgewandelt werden kann. Daher ist es erforderlich, bei der Umwandlung von erneuerbarer Elektrizität in einen chemischen Energieträger vor allem die Effizienz des gesamten

Umwandlungsprozesses zu verbessern. Besonders wichtig sind Entwicklungen bei Membranen und Katalysatoren sowie für einfache und kostengünstige Konzepte für die Gastrocknung, Gastrennung und für die Systementwicklung. Bei der Elektrolyse sollten Anstrengungen unternommen werden, die Prozesseffizienz durch das Einbinden von industrieller Restwärme zu steigern. Methan-Konzepte bieten sich insbesondere als „zentrale Konzepte“, z.B. an Chemiestandorten an. Für dezentrale, lokale Konzepte bieten alternative „Energie Tragende Stoffe“ (z.B. Ethylcarbazol) Vorteile. Zentrale Substanz in allen Konzepten ist Wasserstoff. Es wird empfohlen, die „Wasserstoff-Kompetenz“ in Bayern grundsätzlich zu stärken.

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- *Speicherung des regenerativ erzeugten Stroms durch Konvertierung des Überschussstroms mittels Elektrolyse zu geeigneten chemischen Trägersubstanzen bzw. „Energie Tragenden Stoffen“ (z.B. Methan, Methanol, u.a.). Weiterentwicklung effizienter Elektrolyse-Verfahren (Hochtemperatur-, Hochdruckverfahren)*
- *Schaffung einer Einrichtung und eines Demonstrators zur Wasserstoffspeicherung durch „Energie Tragende Stoffe“ für die Anwendungen Mobilität, Netzstabilisierung und Hausenergieversorgung*

3.3.4 Wärmespeicher

Die Speicherung thermischer Energie ist ein wichtiges Instrument für eine effiziente Energienutzung und die Integration erneuerbarer Energien. Die möglichen Einsatzbereiche thermischer Energiespeicher reichen von der Speicherung von Niedertemperaturwärme für die Warmwasserbereitung bis zu Hochtemperaturspeichern bei der solarthermischen Elektrizitätserzeugung sowie auch zur Pufferung der Windenergie. Die Speicherdauer kann wenige Stunden bis hin zu mehreren Monaten (saisonale Speicher) betragen. Durch die Entwicklung neuer Speichermaterialien auf der Basis von Phasenwechselmaterialien sind neue Möglichkeiten der Wärmespeicherung mit geringen Speicherverlusten möglich, die höhere Energiedichten erlauben und den Einsatz dezentraler Wärmeversorgungssysteme unterstützen. Einen großen Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz kann insbesondere bei der Nutzung industrieller Abwärme erwartet werden (siehe Kapitel 3.2.2). Die Integration von Wärmespeichern in vorhandene Kraftwerksstrukturen kann eine kostengünstige Alternative zur Speicherung von Elektrizität darstellen.

Die Umwandlung der verschiedenen Energieformen bietet neue Möglichkeiten der effizienten Energiespeicherung. So kann z.B. erneuerbar erzeugte Elektrizität, wenn diese kurzzeitig nicht ins Netz einspeisbar ist, nach der Umwandlung in Wärme oder Kälte dezentral,

kostengünstig und effizient thermisch gespeichert werden. Auch Sonnenwärme von über 400 °C kann in thermischen Speichern gebunden und in der Nacht der Turbine wieder zugeführt werden. Damit werden die Effizienz und vor allem die Laufzeit von solarthermischen Kraftwerken deutlich erhöht. Entsprechende Konzepte sind auch für konventionelle thermische Kraftwerke anwendbar. Eine interessante Möglichkeit bieten Latentwärmespeicher, die zusätzlich zur Temperaturerhöhung einen Phasenwechsel des Speichermediums nützen. Dadurch kann auch bei kleineren Temperaturunterschieden deutlich mehr thermische Energie gespeichert werden.

Der effiziente Einsatz von thermischen Energiespeichern erfordert verschiedenste Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen. Dies schließt Systemuntersuchungen von Versorgungssystemen, industriellen Prozessen oder thermischen Kraftwerken sowie detaillierte Systemsimulationen ein. Materialforschung spielt eine entscheidende Rolle im Bereich der Latentwärmespeicher und thermochemischer Speicherprozesse. Die Einbindung von Speichern in ein konkretes Energiesystem (Steuerung und Regelung) ist zudem von großer Bedeutung. Schließlich müssen innovative Speichertechnologien durch Pilot- und Demonstrationsanlagen, die in relevanten Anwendungsbereichen installiert werden, einer Markteinführung näher gebracht werden.

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- *Lokal unabhängige Demonstratoranlage eines thermischen Energiespeicher mit dem Speichermedium Sand mit einer Speicherkapazität von mehreren Hundert MWh*

3.4 Innovationen für Netze und Infrastruktur

Der verstärkte Ausbau dezentraler, regenerativer Energieerzeuger in großer Zahl (Solaranlagen, Windräder, Biogasanlagen) macht einen grundlegenden Umbau der bestehenden Stromnetze erforderlich. Es liegt in der Natur einiger dieser Energieformen, dass deren Verfügbarkeit örtlich und zeitlich deutlichen Schwankungen unterworfen ist, die teils nur mit Einschränkungen vorhersagbar und oft auch nicht steuerbar sind. Diese Schwankungen können durchaus einer Situation gleichkommen, die im konventionellen Bereich einem Ausfall von Großkraftwerken entspricht. Bisher gibt es für diese Fälle eher „singuläre“ Notfallpläne und den Regelenergiemarkt. Zukünftig wird das Ausregeln derartiger Schwankungen zum Alltag gehören und muss ökonomisch sinnvoll gesteuert werden. Dies erfordert neue Steuerungs- und Regelungskonzepte für die Stromnetze, um eine effiziente Verteilung der elektrischen Energie zu ermöglichen. Zudem sind neue Sicherheitskonzepte notwendig, um die Stromversorgung landesweit zuverlässig zu gewährleisten und die Netzstabilität zu garantieren. Die Schlüsselrolle kommt dabei dem Einsatz moderner

Informationstechnologie und Mikroelektronik zu. Angesichts zunehmender Entfernungen zwischen Erzeugung und Verbrauch ist ein europäisches Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsnetz (HGÜ) ein wichtiger Baustein des Energieumstiegs.

Im Hinblick auf die zeitliche Dringlichkeit der Ausbaumaßnahmen sind anwendungsnahe Forschungs- und Entwicklungsvorhaben von Unternehmen der Energieversorger und der bayerischen IT-Industrie unter Einbeziehung bayerischer Forschungseinrichtungen erforderlich. Die universitäre und außeruniversitäre anwendungsnahe Forschungsinfrastruktur ist auszubauen.

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- *Aufbau eines Kompetenzzentrums für sichere und verlässliche Energieinformationsnetze zur engen Zusammenarbeit zwischen Forschung, IKT-Industrie und Stromversorgern. Ziel ist die Entwicklung manipulationsgeschützter, zuverlässiger Technologie, robuster Überwachungssysteme und Software-Plattformen*
- *Aufbau von Modellprojekten von nahezu autark arbeitenden Komplexen wie Industrieanlagen oder kleinen Kommunen unter der Nutzung neuester IT-Technologie bei Verbrauchern, Erzeugern, Speicherung sowie den lokalen und überregionalen Stromnetzen. Die Nutzer sollen ggf. durch Steuereinheiten miteinander verbunden werden*
- *Aufbau einer Rechner gestützten Simulation der Energienetze Elektrizität und Gasversorgung, die in Zukunft miteinander gekoppelt sein werden.*

3.4.1 Smart Grids

Die Anwendung neuester technologischer Entwicklungen in den Informations- und Kommunikationsanwendungen in den Energieversorgungssystemen sind Smart Grids. Vom Internet getrieben bahnt sich eine technische Revolution an: Analog zum „Internet der Dinge“, bei dem jedes Gerät zu einem Knoten im Netzwerk wird, wird die Informationstechnologie und Mikroelektronik ein „Internet der Energie“ entstehen lassen. Dadurch können eine Vielzahl dezentraler Energiequellen flexibel integriert werden. Dies ermöglicht virtuelle Kraftwerke und die Netzsteuerung und das Energiemanagement bis auf die Kleinerzeugerebene hinab. Die Dezentralisierung der Stromnetze und der zukünftige Einsatz moderner Speichertechnologien erfordern auch eine effizientere und flexiblere Regelung des Stromverbrauchs bei den Endverbrauchern. Durch den Einsatz von Informationstechnik und Leistungselektronik kann der Stromverbrauch in privaten Haushalten, in industriellen Produktionsanlagen und im Verkehr optimiert werden. Diese

Entwicklungen werden zu Energie-Applikationen für Geräte wie 'iPods' führen, die neue Vertriebswege eröffnen und damit eine bislang nicht gekannte Dynamik in die Energiemärkte bringen.

Beispielsweise ermöglichen Smart Grids die Einsetzung von Virtuellen Kraftwerken, also die Zusammenschaltung kleiner, dezentraler Stromerzeuger zu einem Verbund mit gemeinsamer Steuerung. Smart Grids sind unerlässlich für den Ausbau erneuerbarer Energien. Moderne Kabeltechnik, Wechselrichter, verschiedene IT-Anwendungen und intelligente Stromzähler („smart metering“) helfen, Schwankungen beim wetterabhängigen Wind- und Sonnenstrom auszugleichen. Sie signalisieren, zu welchem Zeitpunkt zusätzliche Kraftwerke eingeschaltet werden müssen. Gleichzeitig steuern sie die Nachfrage so, dass sie sich dem schwankenden Angebot anpasst. Damit sind auch intelligente Stromtarife möglich, die Verbrauchern einen Anreiz bieten, bei hoher Stromproduktion die elektrischen Geräte zu betreiben. Ergänzend zum herkömmlichen Energieverteilungsnetz sind daher flächendeckend Energieinformations- und Kommunikationsnetze aufzubauen. Dadurch kann die Einbindung, Steuerung und Überwachung der Verfügbarkeit erneuerbarer Energiequellen und ein frühzeitiges Erkennen von Problemen und die Einleitung von Gegenmaßnahmen gewährleistet werden. Mit diesen Technologien ist ein erhebliches Marktpotential verbunden, das Bayern angesichts seiner hohen Kompetenz in der Informations- und Kommunikationstechnik nutzen sollte.

Im Vordergrund der Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen sollten dabei Themen wie Sicherheits- und Zuverlässigkeitslösungen für Energienetze, Design und Überwachung von Stromnetzen, Kommunikations-, Steuerungs- und Abrechnungssysteme sowie Sicherheitstechnik stehen. Bayern soll damit ein international führender Standort für die Technologie zum Aufbau und Betrieb zuverlässiger und sicherer Energieinformationsnetze werden. Ein erster Schritt könnte ein Pilotvorhaben darstellen, das neue Anwendungsszenarien, die Spezifikation einer neuen IuK-Infrastruktur für Smart Metering bei Stromversorgern, die Smart-Grid-Einbindung mit dynamischen Tarifen und Benutzerschnittstellen sowie die Umsetzung in Form von Prototypen und Erprobung verbindet.

Zudem besteht bei Konzepten wie dem Zusammenschluss einzelner Kraftwerke zu „Virtuellen Kraftwerken“ und der Kopplung dieser Einheiten mit dem Netzbetrieb zu „Microgrids“ erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Besonders derartige „Microgrids“ können in einer abgegrenzten Region eine wirtschaftlich und technisch optimale Energieversorgung unter vermehrter Nutzung lokaler Eigenerzeugung erreichen. Modellversuche in räumlich stark abgegrenzten Regionen mit hoher Erzeugung von erneuerbaren Energien könnten wertvolle ergänzende Beiträge für die Entwicklung von

Smart-Grid-Lösungen zur Marktreife ermöglichen. Hierzu ist auch die Forschung und Entwicklung für zahlreiche neue Bauelemente und Schaltungstechnologien voranzutreiben.

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- *Entwicklung von sicheren zuverlässigen und echtzeitfähigen Hochgeschwindigkeits-Kommunikationssystemen für „smart-grid“-Anwendungen*
- *Etablierung von „smart-grids“ und „micro-smart-grids“ durch Entwicklung passender IKT-Architekturen, die auch die dezentrale Steuerung auf bis auf Ebene einzelner Gebäude ermöglichen*
- *Entwicklung von virtuellen Kraftwerken unter Zusammenschluss mehrerer (wetterabhängiger) Kleinerzeuger unter Einbindung von Wetter-, Energienachfragedaten, etc.*

3.4.2 Gleichstrom

Die Installation von lokalen und industriellen Gleichstromnetzen bietet erhebliche Einsparpotentiale. Beispielsweise muss in Computerzentren jeder Server über ein eigenes Netzteil an die Wechselstromversorgung angeschlossen werden, gleichzeitig aber die Geräte heute schon mit Gleichstrom betrieben werden. Da Computerzentren enorme Leistungsaufnahmen ausweisen, bieten sich hier Einsparungspotentiale um 20%. Ein weiterer Vorteil von Gleichstromnetzen ist es, dass regenerative Energiequellen und elektrische Energiespeicher effizienter an das Stromnetz angeschlossen werden können. Daher ist es ein sehr vielversprechender Ansatz, Gleichstromnetze über Koppelpunkte mit konventionellen Niederspannungs- oder Mittelspannungsnetzen zu verbinden.

Forschungsbedarf existiert beim Aufbau lokaler und betrieblicher Gleichstromnetze, in denen neben der herkömmlichen Wechselstromversorgung ein separates Gleichstromnetz installiert wird. Dabei geht es unter anderem um Themen wie intelligente Verteilerstationen, Wechselrichter, Wandler, sowie Gesamtsystem-Konzepte und deren Optimierung.

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- *Prüfung der Potenziale eines Gleichstromnetzes für größere kommerzielle Gebäude mit Untersuchung des Leistungsbedarfs, der Steckertechnik, Überlast- und Kurzschlusschutz etc.*

3.4.3 Supergrids, HGÜ-Netze

Angesichts zunehmender Entfernungen zwischen Erzeugung und Verbrauch ist ein europäisches Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsnetz (HGÜ) ein wichtiger Baustein des Energieumstiegs. Es sichert die nationale Versorgung mit erneuerbaren Energien, indem regional Erzeugungsüberschüsse und -defizite innerhalb Europas und darüber hinaus ausgeglichen werden. Es ist die Voraussetzung für die Verwendung des in Nordafrika (Desertec) erzeugten Stroms oder der Stromübertragung von Offshore-Windparks an der Küste nach Bayern. Gleichwohl stellen innerhalb von Offshore-Windparks auch kürzere Distanzen von HGÜ-Leitungen einen Gegenstand der Forschung dar. HGÜ-Leitungen weisen keine elektromagnetischen Felder auf und können daher Strom weitgehend verlustfrei über große Entfernungen transportieren. Die Leistungselektronik spielt eine zentrale Rolle bei der Netzregelung. Sie hilft bei der Korrektur von Netzfehlern und beim Wiederaufbau des Netzes. Zudem besteht durch HGÜ-Netze die Chance, die Übertragungskapazität der jetzt schon stark belasteten Netze deutlich zu erhöhen und den erforderlichen Netzausbau zu minimieren.

Mit der Verwirklichung eines HGÜ-Netzes ist die schrittweise Etablierung einer überlagerten Spannungsebene in Europa erforderlich, die auf hybriden Gleichstrom-Wechselstrom-Strukturen besteht („Supergrid“). Während für Wechselstrom-Höchstspannungsnetze die notwendige Technologie in Teilen vorhanden sind, betritt man mit HGÜ-Netzen absolutes Neuland, da bis heute lediglich sog. Punkt-zu-Punkt-HGÜ-Verbindungen aufgebaut wurden, jedoch keine HGÜ-Netze. Auch die Verknüpfung eines europäischen „Supergrids“ mit bestehenden 400 kV-Verbundnetzstrukturen erfordert ein hohes Maß an Forschung und Entwicklung. Forschungsbedarf besteht für die Netzintegration von zentralen und dezentralen regenerativen Erzeugungsanlagen und für innovative Speichersysteme. Dies sollte durch Arbeiten an Hochleistungsschaltern und Systemen, die sich durch höchsten Wirkungsgrad und Zuverlässigkeit, optimierten Havarieschutz und Wirtschaftlichkeit auszeichnen, ergänzt werden.

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- *Realisierung einer Pilotanlage für ein AC/DC-Supergrid durch Forschungsarbeiten zum Verhalten von HGÜ-Netzen, zur Maximierung der Übertragungsleistung und zur Verbesserung seiner Umwelteigenschaften*
- *Steigerung der Effizienz von thermisch belasteten Hochspannungskomponenten über innovative Materialkonzepte, um die bessere Abfuhr der Wärmelasten zu erreichen*

3.5 Querschnittsthemen

Die in den Kapiteln 3.1 – 3.4 angesprochenen Forschungserfordernisse sind stark technologisch geprägt. Diese technischen und organisatorischen Lösungen müssen im komplexen Umfeld von technischen, sozialen, politischen, kulturellen und wirtschaftlichen Wechselbeziehungen beurteilt und effektiv umgesetzt werden. Querschnittsthemen und ein fachintegrativer Ansatz innerhalb Bayerns einerseits sowie nationale und internationale Perspektiven der Energieforschungsfragen andererseits sind ebenfalls in den Fokus zu nehmen, um dem komplexen Thema gerecht zu werden.

3.5.1 Gesamtsystembetrachtung / Szenarien

Die Erstellung eines konkreten Meilenstein- und Zeitplans im Zusammenhang mit dem Ausstieg aus der Kernenergie bis 2022 (und darüber hinaus) muss auch in Bayern vor dem Hintergrund von Annahmen über zukünftige Entwicklungen („Energiezukünfte“) erfolgen. Diese Annahmen betreffen z.B. die Verfügbarkeit und Sicherung der wirtschaftlichen Versorgung angesichts geopolitischer Verschiebungen, die Wirksamkeit von Anreizsystemen und die Abschätzung von Kosten und Folgen im gesamten Zyklus (Vollkostenrechnung), die Reichweite von internationalen Vereinbarungen oder die Akzeptanz von Technologien oder Lebensstiländerungen. Deshalb werden integrierte Modelle und Szenarien benötigt, die in der Lage sind, verschiedene Handlungsoptionen, deren voraussichtliche Vor- und Nachteile sowie deren Umsetzungschancen zuverlässig abzuschätzen – und zwar mit allen Unsicherheiten, die damit verbunden sind. Die Energiesystemanalyse ist insofern eine wichtige Basis für energiepolitische Entscheidungen. Sie kann helfen, relevante und weniger bedeutende Einflussfaktoren zu bestimmen, Sensitivitäten zu ermitteln sowie „No-Go“- und „No-Regret“-Lösungen aufzuzeigen. Entscheidend dafür ist, dass klare Fragen zu möglichst genau spezifizierten Szenarien gestellt werden. Die Forschungsaktivitäten sind vor allem auf die Interaktionen zwischen den Bereichen Technologieentwicklung, Diffusion von Innovationen, rechtliche und ethische Bewertungen, staatliche Regulierung sowie sozio-politische Anreize und Barrieren und die nationalen und internationalen Verflechtungen auszurichten. Kompetenzen hierfür sind in Bayern am EnCN, den Münchner Hochschulen, am bifa Umweltinstitut und am ATZ Entwicklungszentrum vorhanden.

Die Expertenkommission betont nachdrücklich die besondere Bedeutung einer wissenschaftlich fundierten Energiesystemanalyse und empfiehlt, dass eine entsprechende Begleitforschung in enger Abstimmung mit bzw. im Auftrag der federführenden Bayerischen Energieagentur organisiert wird.

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- *Strategische Werkzeuge zur vorausschauenden Umsetzung des Energieumstiegs in Bayern*
- *Szenarien und Systemintegration / Abschätzung von künftigen Entwicklungen durch Rechner gestützte Modellierung*
- *Auswirkungen einer vorrangig strombedarfsbasierten Energiebereitstellung auf Erdgasnetze, Fernwärmenetze, dezentrale Wärmespeicher, usw.*
- *Optionen zur Umstellung und Vernetzung der urbanen Infrastruktur auf erneuerbare Energien hinsichtlich Strom, Wärme, Verkehr sowie Abwasser, Abfall und Luftqualität*
- *Hierarchisierung der Netze und Entscheidungsträger; Bewertung der Gewinne und Verluste durch zentrale Steuerung versus lokaler Steuerung (Systemgleichgewicht versus Nutzergleichgewicht)*
- *Optimierung von Wertschöpfungsketten zukünftiger Stoffströme*

3.5.2 Technikpotenzialabschätzung / Versorgungssicherheit

Regenerative Energiequellen erfordern im Verhältnis von Spitzenleistung zu mittlerer Leistung andere Ausbaugrade als die abgeschalteten Kernkraftwerke, nämlich bis zu 8:1 für Photovoltaik und bis zu 4:1 für Windkraft an bayerischen Standorten. Alle bekannten Untersuchungen zeigen, dass die Spitzen erneuerbarer Energien nicht mehr vor Ort verbraucht werden können und in Zeiten hohen Verbrauches oder geringerer regenerativer Erzeugung Reservekraftwerke und, soweit vorhanden, Speicherkraftwerke eingesetzt werden müssen. Es gibt zuverlässige Daten vergangener Wetterlagen und typischer Stromverbrauchskurven, aus denen man berechnen kann, wie die Energieerzeugung aus regenerativen Quellen und der Verbrauch in zukünftigen Szenarien aussehen. Rein technisch lassen sie sich auch weitestgehend beschreiben, doch die Umsetzung stößt in vielen Fällen an manchmal kaum überwindbare Grenzen. Letztlich gibt es auch scheinbar tragfähige Szenarien, die bei ungünstigen Kombinationen von Erzeugung und Verbrauch die Versorgungssicherheit massiv gefährden. Das Basisszenario wie auch denkbare andere Szenarien der Abschaltung von Kernkraftwerken und des Zubaus erneuerbarer Energieerzeuger sind am erwarteten Strombedarf zu messen. Daraus ergeben sich quantifizierbare Kapazitäten, überschüssige Energiespitzen zu absorbieren, wie auch notwendige Reserveleistungen, um Erzeugungsdefizite über Ausfallzeiträume zu ersetzen, die aus vergangenen Wetteraufzeichnungen abgeleitet werden können. Dazu ist Entwicklung geeigneter (mathematischer) Modelle und Lösungsansätze erforderlich, um fundierte

Grundlagen für konkrete Handlungsentscheidungen liefern zu können. Beispielsweise am EnCN sind hierfür Kompetenzen vorhanden (TP 3 Simulation).

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- *Entwicklung von Methoden der Laststeuerung und bewertende Analyse der Szenarien bezüglich ihrer Kosten, Umweltverträglichkeit und Versorgungssicherheit*
- *Analyse der Grenzen und Möglichkeiten einer effizienten Engpassbewirtschaftung innerhalb Bayerns, Deutschlands und an den Grenzkuppelstellen zu den europäischen Nachbarländern*
- *Modelle zur Untersuchung der Zuverlässigkeit der Infrastruktur sowie Untersuchung der Netzstabilität der verschiedenen Lösungen im Normalbetrieb wie auch bei denkbaren Störfällen*
- *Kopplung mit Simulation für die IKT-Infrastruktur dieser Systeme, die das Zusammenspiel von elektrischen Netzen und Kommunikationsnetzen untersuchen und Auslegungen hinsichtlich der Bandbreiten und Latenzen der Netze ermöglichen*
- *Integration von Stoffkreisläufen auf der Grundlage „Energie Tragender Stoffe“ bei deren Einsatz sich die Anforderungen an den Ausbau elektrischer Transportnetze reduzieren würden; hierbei auch der Einsatz „Energie Tragender Stoffe“ in der Mobilität*

3.5.3 Märkte (Regulierung) / Gesellschaft (Akzeptanz)

Zum Bereich Märkte (Regulierung):

Der Energieumstieg ist technisch machbar. Aber ist er auch ökonomisch und ökologisch sinnvoll? Droht eine Deindustrialisierung, wird eine Strompreisexplosionen Realität? Gerade die wichtigen Zulieferindustrien der erneuerbaren Energien und der nachhaltigen Mobilität profitieren vom Energieumstieg. Die Chemiebranche liefert wichtige energieeffiziente Produkte, etwa für den Transport- und für den Gebäudesektor. Die Liste der industriellen Profiteure ist lang. Die Wirkungen auf den Strompreis sind ambivalent. Es gibt neben preistreibenden auch preissenkende Faktoren. Wie hoch der Strompreis 2022 letztendlich sein wird, ist heute nicht belastbar zu beziffern. Die Frage bleibt dennoch: Wer zahlt diesen Energieumstieg? Die Anfangsinvestitionen des Umstiegs werden sicherlich zum größten Teil von Unternehmen getätigt werden, aber auch eine teilweise Finanzierung durch die öffentliche Hand wird notwendig sein.

Es sind gewaltige Investitionen notwendig: Wird der Anteil erneuerbarer Energien verdoppelt, müssen deutschlandweit bis zu 122 Mrd. Euro in den kommenden 10 Jahren in diesen

Sektor investiert werden, so die Schätzung des Bundesumweltministeriums. Für den Netzausbau veranschlagt die Bundesnetzagentur eine Größenordnung von bis zu 25 Milliarden Euro in den kommenden 15 Jahren. Für die energetische Gebäudesanierung werden pro Jahr bis zu 3,5 Milliarden Euro Fördermittel benötigt. Das sind zwei Milliarden Euro mehr als derzeit im Förderprogramm der KfW-Bank vorgesehen. Die benötigten Fördermittel könnten, ebenso wie die zusätzlichen Ausgaben für die Energieforschung, aus dem Verkauf der CO₂ Emissionsrechte erwirtschaftet werden. Für zusätzliche Gaskraftwerkskapazitäten von bis zu zehn Gigawatt müssen in Deutschland bis zu 15 Milliarden Euro investiert werden, und zwar von privaten Investoren wie Stadtwerken, sowie Infrastruktur- und Energieunternehmen. In der Summe kommt man so auf Investitionen von knapp 200 Milliarden Euro in den kommenden 10 Jahren. Das notwendige Knowhow im Anlagen-, Infrastruktur- und auch Kraftwerksbau ist auch in Bayern vorhanden. Tausende neuer Arbeitsplätze können so geschaffen werden.

Zum Bereich Gesellschaft (Akzeptanz):

Hier ist einerseits das energiebezogene Problembewusstsein und andererseits energieeffizientes Verhalten (z. B.: Lebensstil ändern, energieeffiziente Geräte beschaffen, gesellschaftlich aktiv werden) von besonderem Gewicht. Beide Zielgrößen hängen mit politischen Orientierungen, Wertvorstellungen, aber auch individuellen Einflussüberzeugungen zusammen (d.h. das Gefühl, auch individuell etwas bewirken zu können). Darüber hinaus hat die Medienberichterstattung nachweislich einen erheblichen Einfluss auf das Problembewusstsein, aber auch auf die Handlungsabsichten der Verbraucher bzw. Entscheider. Zu Zeiten intensiver Berichterstattung über Energiefragen ist mit hohem Problembewusstsein und damit verbunden auch mit einer großen Bereitschaft, das individuelle Verhalten energieeffizient zu gestalten, zu rechnen. Treten andere Probleme auf die gesellschaftliche Tagesordnung, sinken Problembewusstsein ebenso wie die Bereitschaft, einen ressourcenschonenden Lebensstil zu verfolgen. Ein anderes Problemfeld entsteht durch die notwendige Dezentralisierung der Energieversorgung im Rahmen des Energieumstiegs. An Standorten von Windkraftanlagen, Solarparks, Pumpspeicherwerken und sogar an Standorten für Hochspannungsmasten entsteht häufig Widerstand gegen diese Projekte. Initiativen formieren sich, die ebenfalls im Sinne des Umwelt- bzw. Landschaftschutzes argumentieren, dass gerade dieser Standort nicht geeignet ist.

Für beide Bereiche sind an den bayerischen Hochschulen (insbesondere an den Münchner Universitäten, in Augsburg und an der FAU) hervorragende Kompetenzen vorhanden. Das bifa Umweltinstitut befasst sich interdisziplinär mit gesellschaftlichen Fragestellungen bei der Technologieentwicklung und -akzeptanz. An der TU München wird zudem ein neues Zentrum für Energie und Information geplant.

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf zum Bereich Märkte (Regulierung):

- *Analyse der ordnungspolitischen Möglichkeiten und Risiken für einen effizienten Ausstieg aus der Kerntechniktechnologie in einem integrierten europäischen Markt*
- *Bewertung und Quantifizierung der volkswirtschaftlichen Effekte des Energieumstiegs: Wie wirken die Investitionen auf Wertschöpfung und Beschäftigung? Welche finanziellen Anreizstrukturen benötigen private Investoren?*
- *Bewertung und Quantifizierung der Strommarkteffekte: Wie wirkt sich die Veränderung der Kraftwerksstruktur auf Strompreise, Emissionszertifikatepreise und EEG Umlage aus?*
- *Ökonomische Bewertung und Ausgestaltung des Infrastrukturmarktes: Welche finanziellen Anreizstrukturen werden zum raschen Ausbau des dezentralen Stromnetzes benötigt (Netz EEG)?*
- *Ökonomische Bewertung und Ausgestaltung von Stromspeicherförderung: Welche finanziellen Anreizstrukturen werden zum raschen Ausbau der Stromspeicher benötigt (Speicher EEG)? Welche Kosten werden durch einzelne Stromspeicher entstehen?*
- *Ausgestaltung des Strommarktdesigns: Wie werden ausreichend finanzielle Anreize zum Bau von Kraftwerkskapazitäten geschaffen (z.B. Kapazitätsmärkte)?*
- *Bewertung und Beseitigung marktwirtschaftlicher Barrieren: Wissenslücken, kurzfristiger Fokus, Marktverzerrungen*

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf zum Bereich Gesellschaft (Akzeptanz):

- *Grenzen und Chancen einer Dezentralisierung der Energieversorgung*
- *Analyse der Akzeptanz und des Potentials einer aktiven Beteiligung der Endverbraucher an effizientem und marktpreisbasiertem Lastmanagement (demand response) im deutschen Strommarkt*
- *Bewertung der gesellschaftlichen Folgeeffekte: Wie kann die gesellschaftliche Akzeptanz zum Umbau des Energieumstiegs erhöht werden (Transparenz, Partizipation)? Was kann die Gesellschaft aus Stuttgart 21 lernen?*
- *Welche Rolle spielen Mediennutzung und Kommunikationsverhalten für das energiebezogene Problembewusstsein und energieeffizientes Verhalten?*

- *Welche Dynamik steht hinter der Gründung von lokalen Bürgerinitiativen, insbesondere wenn sie sich gegen Infrastruktur- und nachhaltige Energieprojekte formieren?*
- *Wie kann die Kommunikation von Energieprojekten optimiert werden, so dass Stakeholder frühzeitig identifiziert und in die Planung mit einbezogen werden können?*

3.5.4 Dienstleistungen

Die bisher erreichten Einsparungen im Energieverbrauch durch Verbesserungen der Effizienz wurden weltweit immer wieder durch den Mehrkonsum von Energiedienstleistungen in nahezu allen Ländern überkompensiert. Dem Thema Nachfrage nach Energiedienstleistungen sollte künftig wesentlich mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der systematischen und praxisorientierten Instrumentenforschung. Auch dies erfordert die Entwicklung völlig neuer integrativer Forschungsansätze. Vor allem sind sogenannte Second Best-Strategien zu erforschen, die dann greifen, wenn beispielsweise ein weltweit geltendes klimapolitisches Abkommen nicht zustande kommt. Die Energiepolitik braucht mehr Wissen darüber, in welcher Weise psychologische, kulturelle und institutionelle Kontextbedingungen die Nachfrage nach Energiedienstleistungen und die Akzeptanz von Energietechnologien und energiepolitischen Maßnahmen beeinflussen. Typische Dienstleistungen im Energiebereich sind:

- Zurverfügungstellung von Regelenergie
- Unterstützung bei den komplexen Abrechnungsmethoden der dezentralen Energiequellen
- Bereitstellung von Energiehandelssystemen, Energiebörse
- Bereitstellung von Energiemanagement in Anlagen & Gebäuden auf Contracting Basis
- Entwicklung neuer Logistikstrategien für regenerative Energie (z. B. bei Biogasanlagen)

Insbesondere die Fraunhofer-Einrichtungen³ IVV, SCS und IML sowie an der TU München der Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik sind in Bayern für diesen Bereich kompetent.

3.5.5 Rohstoffe

Bayern besitzt so gut wie keine Rohstoffe, die für die Umsetzung des Energieumstiegs benötigt werden. Der Umbau der Energieversorgung wird nur gelingen, wenn die Rohstoffe der neuen Technologie verfügbar sind. Beispiele sind das Element Lithium für Lithium-Ionen

³ IVV: Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung; SCS: Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Supply Chain Services; IML: Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik

Batterien oder Vanadium für Redox-flow Batterien. Auch das Material für Edelmetallkatalysatoren muss in ausreichender Menge vorhanden sein. Neben der Bereitstellung von originärem Ausgangsmaterial ist das Recycling von gebrauchtem Material von großer Bedeutung, mit starker Betonung des Lithiums aus Lithium-Ionen-Batterien. Ferner müssen alle Möglichkeiten trotz ungünstiger thermodynamischer Ausgangslage geprüft werden, Kohlendioxid als chemischen Rohstoff zu verwenden, um die Emissionen zu verringern. Schließlich ist der Rohstoff Biomasse in verantwortlichen Mengen mit hoher Ausbeute und geeigneten Endprodukten zu verwenden, da Biomasse nicht der kurzfristigen Unstetigkeit der Energieversorgung mit PV- und Windanlagen unterliegt. Seine Grundlastfähigkeit ist in ein generelles Konzept einzubinden. In modernen Energiesystemen verlagern sich mögliche Restriktionen der Rohstoffversorgung weg von endlichen fossilen Brennstoffen hin zu Hochtechnologiematerialien, die für verbesserte Erzeugungstechnologien (z. B. Stahlveredler), Effizienzsteigerungen (z. B. Leuchtmittel) und erneuerbare Energien (z. B. photoaktive Halbleiter) unabdingbar sind. Erste diesbezügliche Untersuchungen zeigen die zunehmende Konkurrenz unterschiedlicher Zukunftstechnologien aufgrund der begrenzten natürlichen Vorräte solcher Rohstoffe auf. Oft bestehen darüber hinaus Verfügbarkeitsrisiken durch bestimmte Marktconstellationen, was am Beispiel der Exportbeschränkungen Seltener Erden aus China besonders deutlich wurde. Ausbauszenarien für erneuerbare Energien sollten sich im Stoffstrommanagement auch an der Rohstoffverfügbarkeit orientieren. Außerdem müssen effiziente Sammel- und Recyclingsysteme für besonders kritische Rohstoffe etabliert werden. Diese Aufgabe kann nur durch einen stark interdisziplinären Forschungsansatz bewältigt werden, der sowohl Material- und Ingenieurwissenschaften als auch Wirtschaftswissenschaften und Ressourcenstrategie einbezieht. Besonders herausragende Kompetenzen in Bayern sind hierfür an der Universität Augsburg (Lehrstuhl Ressourcenstrategie) an der OHM-Hochschule Nürnberg, am bifa Umweltinstitut und in Alzenau (Fraunhofer-Projektgruppe) vorhanden, die bereits im Rahmen der Aktivitäten der bayerischen Rohstoffstrategie vernetzt wurden.

Von den Experten identifizierter konkreter Forschungs-, Entwicklungs- und Ausbildungsbedarf:

- *Weitere Technologieentwicklung für Rohstoffrecycling und –substitution, Effizienzsteigerung von Recyclingprozessen*
- *Qualitätssicherungskonzepte für Sekundärrohstoffe*
- *Identifikation kritischer Rohstoffe für die bayerische Industrie / Kritikalitätskonzepte*

- *Entwicklung und Erprobung neuer Werkstoffe / Schichten für die speziellen Anforderungen der erneuerbaren Energien (Korrosion, Wechselbelastungen, etc.)*
- *Mit den bestehenden Studiengängen werden erst in ca. fünf Jahren kompetente Studienabgänger für diesen hochdynamischen Querschnittsbereich zur Verfügung stehen. Um diese „Zeitlücke“ zwischen rasantem technologischen Fortschritt und der Ausbildung von Experten in Bayern zu schließen, sollen in einer Graduiertenschule so zeitnah wie möglich Promotionsarbeiten zum Thema Ressourcenstrategische Konzepte für zukunftsfähige Energiesysteme gefertigt werden.*

4. Weiteres Vorgehen / Umsetzung

Das bayerische Konzept für Energieforschung und -entwicklung konzentriert sich auf die Themengebiete mit den größten Erfolgchancen für den Freistaat. Es wird nur dann seine größte Wirkung entfalten, wenn es auf vorhandenen personellen und wirtschaftlichen Stärken aufbaut.

4.1 Programmstruktur und Positionierung in Bayern

Daher wird zum einen die Stärkung der Energieforschung und -entwicklung in den zwei herausragenden Zentren Bayerns vorgeschlagen. Einer dieser regionalen Schwerpunkte liegt rund um den Energie Campus Nürnberg (EnCN), der zweite Schwerpunkt in Südbayern im Umfeld der Technischen Universität München. Die enge Vernetzung mit allen wichtigen außeruniversitären Forschungseinrichtungen, forschenden Unternehmen und Hochschulen in allen Regionen in Bayern soll zu einem abgestimmten Netzwerk aller Fachkompetenzen im Energiebereich beitragen, das im Sinne des Konzepts der „Bayerischen Allianz für Energieforschung und -technologie“ laufend ergänzt und fortgeschrieben wird. Dies ermöglicht es, dass Bayern in diesem Aufgabenfeld auch in Zukunft europaweit eine Vorreiterrolle einnehmen wird. Dazu werden auch die Kompetenzen weiterer Forschungs- und Entwicklungsstandorte, wie insbesondere dem national und international agierenden Bayerischen Zentrum für angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern) genutzt, die sich in erster Linie durch anwendungsnahe Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten auszeichnen.

Die Aktivitäten der Bayerischen Allianz für Energieforschung und -technologie werden mit der im Aufbau befindlichen Bayerischen Energieagentur verknüpft und mit Blick auf andere bayerische Initiativen wie „Klimaprogramm Bayern 2020“, „Bayerische Rohstoffstrategie“ und das bayerische F&E-Programm Elektromobilität ständig weiterentwickelt. Auch der Cluster Energietechnik ist ein wichtiger Partner. Die im Rahmen der Zukunftsinitiative „Aufbruch Bayern“ ermöglichten Maßnahmen (z.B. F&E-Zentrum Elektromobilität in Garching und Würzburg) werden bei der Ausgestaltung der Bayerischen Allianz für Energieforschung und -technologie berücksichtigt. Nicht zuletzt bestehen bzgl. der geplanten Initiative „Demographischer Wandel“ in gewissen Teilbereichen Schnittmengen mit der Bayerischen Allianz für Energieforschung und -technologie; insofern ist auch hier eine Zusammenschau der unterschiedlichen Initiativen zugeordneten Maßnahmen geboten.

4.1.1 Energie Campus Nürnberg (EnCN)

Im „Energie Campus Nürnberg“ bauen Industrie und Wissenschaft die bestehenden Kompetenzen am Standort Nürnberg systematisch aus. Beteiligte Partner sind die Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), die Georg-Simon-Ohm-Hochschule Nürnberg, die Fraunhofer-Institute für Integrierte Schaltungen (IIS) und für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB) sowie das Bayerische Zentrum für angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern).

Während es in der Aufbauphase gilt, den EnCN als eine schlagkräftige Forschungseinrichtung zu etablieren sowie Kooperationen und Kompetenzen aufzubauen, soll ab 2016 die Nachhaltigkeit der Einrichtung gesichert werden. Themenfelder und Schwerpunkte, die sich besonders erfolgreich entwickelt haben, sollen weiter ausgebaut sowie Technologietransferprojekte unterstützt werden, die dazu dienen, die gewonnene Erkenntnisse und Forschungsergebnisse in die Anwendungen zu transferieren. Gleichzeitig sollen Bund-Länder-finanzierte Forschungsstrukturen sicher gestellt werden.

Besonders intensiv beschäftigt sich der EnCN mit den Bereichen Photovoltaik („Dritte Generation“), Solarthermie, Energieeffizienz in und an Gebäuden, Industrielle Verfahrenstechnik, chemische Speicher (insbesondere „Energie Tragende Stoffe“), Netze (allgemein) sowie Smart Grids. Auch wurden am EnCN Forschungsvorhaben zu Querschnittsthemen („nicht rein technologisch orientierte Themen“) innerhalb verschiedener Teilprojekte angelegt. Auf diesen Kompetenzen soll mit der unter Ziffer 3.5 angesprochenen sozio-ökonomischen Begleitforschung aufgebaut werden.

4.1.2 Technische Universität München (TUM)

Die Technische Universität München (TUM) bündelt unter ihrer Dachmarke TUM•Energy alle Energieforschungs- und Entwicklungsaktivitäten; fachlich relevant sind dabei rd. 100 Professuren aus 10 Fakultäten.

An der TUM sollen in einem neuen Zentrum für Energie und Information die wissenschaftlichen Grundlagen geschaffen werden, damit Energie- und Informationsfluss ein neues optimales Energiesystem entstehen lassen. Ziel ist die Balance zwischen Energieerzeugung und -verbrauch. Die Entwicklung neuer Planungswerkzeuge (z.B. bzgl. geographische Bedingtheit) stellt hierbei einen Schwerpunkt dar. Auch müssen die Planungen frühzeitig an die Bürger kommuniziert werden, damit diese am Planungsprozess partizipieren können. Dabei ist das Zentrum für Energie und Information als Querschnittsansatz im übergeordneten TUM-Konzept „Energy Valley Bavaria“ integriert. Im TUM-Konzept „Energy Valley Bavaria“ werden thematische Teilbereiche wie

Kraftwerkstechnologien, Nachhaltiges Planen und Bauen, Elektromobilität und erneuerbare Energien nach Forschungsfeldern gebündelt und organisatorisch im Hinblick auf die Lehre in der Munich School of Engineering unter Einbeziehung der besten Forschertalente aus den Hochschulen für angewandte Wissenschaften in Deggendorf, München und Ingolstadt ergänzt.

Hinsichtlich der Wechselwirkung zwischen EnCN und TUM identifiziert die Expertenkommission als synergistische Kooperationsgebiete insbesondere die Themen Nachhaltiges Planen und Bauen / Energieeffizienz in und an Gebäuden einerseits sowie sozio-ökonomische Querschnittsthemen andererseits; als komplementäre Themengebiete für eine Stärkung der Zentren-Achse bieten sich bspw. die Themen Netze, elektrochemische Speicher und biogene Rohstoffe an. Die Vertreter der beiden Zentren betonen im Sinne der Bayerischen Allianz für Energieforschung und -technologie, die Zusammenarbeit EnCN-TUM/München künftig systematisch auszubauen und zu stärken.

4.1.3 Weitere Forschungs- und Entwicklungsstandorte in Bayern (insb. ZAE Bayern)

Hier sind zunächst die Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU) sowie die Universitäten in Würzburg und Bayreuth im Zusammenhang mit dem Forschungsgebiet „organische und hybride Materialsysteme“ zu nennen (siehe Ziffer 3.1.1 bzw. 3.1.10). An diesen universitären Standorten sind im genannten Bereich durch eine konsequente Fokussierung weltweit sichtbare Zentren entstanden (u.a. Exzellenzcluster „Nanosystems Initiative Munich NIM“, „Bayreuther Institut für Makromolekülforschung BIMF“ und „Würzburger Zentrum für Nanosystemchemie“). Diese Zentren bieten zahlreiche Kooperationen mit außeruniversitären Forschungseinrichtungen und Unternehmen und zeigen sich sehr erfolgreich hinsichtlich der Ausgründung neuer Firmen (spin-offs). Gerade auch die anwendungsnahen Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten an weiteren Standorten (z.B. Augsburg, Sulzbach-Rosenberg, Amberg-Weiden, Straubing) oder beispielsweise auch die kürzlich gestartete „Technologieallianz Oberfranken TAO“ sind für die Regionen in Bayern von großer Bedeutung, sowohl für die mittelständische Wirtschaft als auch im Rahmen der Umstellung der Energieversorgung für die Kommunen. Gleichzeitig wird dort wie an allen einschlägigen Hochschulen für angewandte Wissenschaften (HAW) ein bedeutender Beitrag für die exzellente Forschung und die international wettbewerbsfähige Technologieentwicklung in Bayern geleistet. Daher sollen auch diese Kompetenzen genutzt, nachhaltig ausgebaut und die außeruniversitäre Forschung möglichst in Bund-Länder-finanzierte Strukturen überführt werden.

Eine ganz besondere Bedeutung kommt hierbei dem Bayerischen Zentrum für Angewandte Energieforschung Bayern e.V. (ZAE Bayern) zu. Mit seinen international renommierten

Forschungsstandorten in Würzburg, Erlangen und Garching trägt es bereits jetzt zur fachlichen Vernetzung der jeweils umliegenden Wissenschaftseinrichtungen und einschlägiger Firmen im Bereich Energietechnologien bei. Das ZAE Bayern ist Gründungsmitglied des EnCN und Kooperationspartner der TUM•Energy. Das ZAE Bayern strebt mit Unterstützung der Staatsregierung eine Mitgliedschaft in der Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz e.V. (WGL) an.

Das ATZ Entwicklungszentrum in Sulzbach-Rosenberg entwickelt seit 1990 wirtschaftsnahe Verfahren zur Energieerzeugung und Energiespeicherung. Es wird im kommenden Jahr als Institutsteil der Fraunhofer Gesellschaft e.V. seine Aktivitäten in diesem Bereich weiter ausbauen.

4.1.4 Prioritäre Themen und erste Projektvorschläge

Die Expertenkommission empfiehlt mit Blick auf die spezifischen Herausforderungen des Energieumstiegs für Bayern sowie auf die Steigerung sowohl der Exzellenz und Leistungsfähigkeit der bayerischen Wissenschaft als auch auf die Wettbewerbsfähigkeit, die Arbeitsplatz- und Mittelstandsrelevanz und das technologische Potenzial für die bayerische Wirtschaft den in Ziffern 3.1- 3.5 in den 27 einzelnen Themenfeldern genannten Forschungs- und Entwicklungsbedarf in folgenden 13 Themenfeldern mit höchster Priorität⁴ umzusetzen:

- Photovoltaik,
- Biogase/Biogene Rohstoffe,
- Wind,
- Geothermie,
- Fossil basierte Energie,
- Kraft-Wärme-Kopplung,
- Photokatalyse,
- Energieeffizienz in und an Gebäuden,
- Industrielle Verfahrenstechnik,

⁴ Die Reihenfolge der Auflistung entspricht der Abfolge der Gliederung des Rahmenkonzepts und stellt keine weitere Abstufung dar.

- elektrische und elektrochemische Speicher,
- chemische Speicher,
- Netze (allgemein),
- Smart Grids.

Bei folgenden neun Themenfeldern sieht die Kommission mittel- und langfristigen Forschungs- und Entwicklungsbedarf, um damit die gesamte thematische Breite für einen Energieumstieg in Bayern im Zeitraum 2012-2021, dessen konkreter Verlauf heute noch nicht vorhersehbar ist, durch Beiträge aus Wissenschaft und Wirtschaft erfolgreich weiterzuentwickeln:

- Solarthermie,
- Wasser,
- Niedertemperatur-Verstromung,
- Rückbauoptimierung,
- Testplattformen,
- Mechanische Speicher,
- Wärmespeicher,
- Gleichstrom,
- Supergrids, HGÜ-Netze.

Für die Querschnittsthemen unter Ziffern 3.5.1-3.5.4 betont die Expertenkommission die hohe Bedeutung einer themenspezifischen Begleitforschung im ökonomischen, soziologischen, psychologischen, kulturellen und politischen Bereich. Nur mit einer solchen Verschränkung ist ein systemintegrativer Ansatz möglich. Im Querschnittsbereich mineralische, nicht energetische Rohstoffe (Ziffer 3.5.5) wird eine Stärkung der bestehenden Kompetenzen unterstützt.

Die Mitglieder der Expertenkommission haben zu den genannten prioritären Themen bereits Überlegungen zu möglichen Projekten angestellt und sind dabei auch auf deren zeitliche Umsetzbarkeit eingegangen. Aufgrund der bisher nicht feststehenden Dotierung des

Gesamtprogramms wurde davon abgesehen, zum jetzigen Zeitpunkt aus den von den Experten eingebrachten Projektvorschlägen einzelne konkret zu priorisieren. Dies wird durch die Staatsregierung unter Berücksichtigung des Expertenvotums erfolgen, sobald der finanzielle Gesamtrahmen des Programms feststeht. Eine Empfehlung zur Dotation des Programms aus Sicht der Experten liegt vor (siehe Ziffer 5.1).

4.2 Begutachtung

Nach der Entscheidung der Staatsregierung über die Ausgestaltung des Gesamtprogramms erfolgt eine Auswahl der konkreten Projekte:

Für wirtschaftsnahe Projekte werden die üblichen gutachtergestützten Verfahren angewandt. Hierfür existieren zwei Vorgehensweisen:

- Für viele Einzelprojekte wird das bewährte Auswahlverfahren des Wirtschaftsministeriums angewendet.
- Bei einigen Förderrichtlinien erfolgt die Auswahl durch vom Wirtschaftsministerium beauftragte Projektträger, die selbstständig die Vorauswahl treffen und zudem unabhängig externe Gutachter für den eigentlichen Begutachtungsprozess beauftragen.

Projekte, die vorwiegend im Wissenschaftsbereich angesiedelt sind, werden grundsätzlich in einem wissenschaftsgeleiteten Wettbewerbsverfahren auf der Grundlage von externen Gutachterempfehlungen ausgewählt.

4.3 Ausbildung

An den Hochschulen in Bayern wird derzeit in rund 30 Studiengängen im Bereich erneuerbare Energien ausgebildet (acht an Universitäten, 21 an HAW), darunter solche Vorzeigeangebote wie die Masterkurse für *ClimaDesign* bzw. *Energieeffizientes und nachhaltiges Bauen* sowie *Power Engineering* an der TUM oder der Masterkurs *Elektromobilität und Energienetze* an der Hochschule Regensburg bzw. der Bachelorstudiengang *Technik erneuerbarer Energien* an der Hochschule Ingolstadt. Im weiteren Sinne sind in Bayern zurzeit etwa 120 Studiengänge mit Vertiefungen im Energiebereich eingerichtet, siehe Anlage 2.5 und 2.6.

Die Notwendigkeit interdisziplinärer Energieforschung erfordert eine weitere Umstrukturierung der Lehre. Neue grundständige energie-spezifische Studiengänge sind hier weniger zweckmäßig, weil sie auf Kosten der disziplinären Grundlagenausbildung gehen, kaum wirklich breit in allen Fächern der Energieforschung ausbilden können und so die Gefahr des Dilettantismus in sich bergen. An ausgewiesenen Hochschulen sollten vielmehr weitere Aufbaustudiengänge eingerichtet werden, die fertigen Naturwissenschaftlern und Ingenieuren die gesellschaftswissenschaftlichen Aspekte und fertigen Sozial- und Geisteswissenschaftlern die naturwissenschaftlichen und technischen Inhalte vermitteln.

Darüber hinaus erscheint es angebracht, die bestehenden Studiengänge daraufhin zu prüfen, ob nicht im Grundstudium im Sinne eines Studium Generale Grundperspektiven der anderen wissenschaftlichen Denkrichtungen vermittelt werden könnten, um die spätere Zusammenarbeit von interdisziplinär besetzten Arbeitsteams zu erleichtern. Kooperationen mit der Energiewirtschaft könnten die Ausbildung praxisnäher machen.

Die Einrichtung von Graduiertenkollegs an bayerischen Universitäten zu Energiefragen sollte geprüft werden. Verbessert werden sollte aber auch die Zusammenarbeit in der Doktorandenausbildung zwischen Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen (einschließlich der Industrieforschung) und speziell im Energiebereich mit den Hochschulen für angewandte Wissenschaften (HAW).

Um den Wissens- und Kompetenztransfer in Bayern im Energiebereich zu stärken, sollte die Weiterbildung in technisch-naturwissenschaftlichen Bereichen auch für Entscheidungsträger in Politik, Verwaltung und Industrie zum Standard werden. In den Weiterbildungsangeboten könnten Technik- und Naturwissenschaften, Wirtschafts- und Rechts-, Sozial- und Politikwissenschaften verknüpft werden. Der erweiterte Blick von Entscheidungsträgern könnte helfen, neue Entwicklungen bei Energiedienstleistungen, Energieeffizienz und in der Umsetzung der Klimaziele anzustoßen.

Die bisherigen Ausbildungsberufe in allen Bereichen der Energieversorgung bilden eine gute Grundlage, können aber keinen Gesamtblick vermitteln. Dazu ein Beispiel: für die Beratung, Installation und spätere Wartung bzw. Reparatur von kleinen Blockheizkraftwerken oder von Klein-Windkraftanlagen ist weder der Heizungsbauer noch der Elektroniker allein ausreichend, da diese Anlagen in hohem Maße mechanische, elektrische und elektronische Komponenten enthalten. Zur Sicherstellung der Akzeptanz dieser Technologien beim Anwender ist aber ein einziger, kompetenter Ansprechpartner erforderlich.

Ziel ist deswegen die Entwicklung von Ausbildungsangeboten, die den oben genannten Herausforderungen Rechnung tragen und damit die Voraussetzungen schaffen, Fachkräfte für die energetische Neuausrichtung zu qualifizieren (Spezifikation neuer Berufsfelder, Kursprogramme für bereits im Beruf stehende Fachkräfte, Bündelung und Bereitstellung der praktischen Erfahrungen mit den neuen Technologien). Dieser Erfahrungsrückfluss wäre auch für die Ingenieurausbildung sehr wertvoll. Insbesondere die Hochschulen für angewandte Wissenschaften (HAW) können als Bindeglied zwischen Hersteller (Industrie), Handwerk (IHK) und Anwender fungieren.

Gesondert zu betrachten ist die Frage nach der weiteren Gewährleistung der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses für alle Fragen der nuklearen Sicherheit (siehe Ziffer 3.1.11).

4.4 Positionierung im nationalen und internationalen Umfeld

Der Umsetzung der energiepolitischen Ziele und der Erhalt der Versorgungssicherheit bei einem steigenden Anteil erneuerbarer Energien an der Energieversorgung ist eine Herausforderung, die keinesfalls auf nationaler oder regionaler Ebene gelöst werden kann. Als Beispiele hierfür seien die Energie- und Ressourcenaußenpolitik, koordinierte Netzinfrastrukturen, Marktfragen, Sicherheitsstandards, aber auch die Harmonisierung der Fördersysteme und der Abgleich entsprechender Initiativen genannt.

Konkret ist es erforderlich, dass Bayern bei der Gestaltung und Partizipation von Förderprogrammen im Energiebereich wie der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) und dem korrespondierenden Regierungsprogramm Elektromobilität eine signifikante Rolle einnimmt. Ganz besonders gilt das für die Umsetzung des am 3. August 2011 von der Bundesregierung beschlossenen 6. Energieforschungsprogramms. Es wird daher ausdrücklich begrüßt, dass die Bundesregierung die beim BMWi eingerichtete „Koordinierungsplattform Energieforschungspolitik“ ausbaut. Diese nationale Koordinierung soll, neben der Abstimmung zwischen der Bundesressorts, auch Förderaktivitäten der Länder und der europäischen Förderinstitutionen einbeziehen. Die Koordinierungsplattform soll auch für eine Zusammenarbeit mit Wirtschaft und Wissenschaft genutzt werden. Bayern unterstützt das Ziel, den beteiligten Akteuren Gelegenheit für einen kontinuierlichen und umfassenden Informationsaustausch zu geben, Fragmentierung und Doppelarbeit entgegenzuwirken und einen möglichst hohen Mehrwert für den aus öffentlichen Mitteln bereitgestellten „Forschungs-Euro“ zu schaffen. Die Bayerische Allianz für Energieforschung und -technologie mit einer Stimme wird sich aktiv in diese Plattform einbringen.

Auf europäischer Ebene wird es darauf ankommen, die Potenziale im bevorstehenden Forschungsrahmenprogramm „HORIZON 2020“ (\cong 8.FRP) im Energiebereich und die zahlreichen strategischen Programme der Kommission Energie (u.a. SET-Plan) optimal für Bayern zu nutzen. Durch die neue Transparenz und Bündelung der bayerischen Aktivitäten im Energiebereich ist eine Antragstellung in größeren Konsortien erleichtert.

4.5 Überprüfung des Gesamtkonzepts

Energieforschung und -technologieentwicklung unterliegen einer starken Dynamik. In immer kürzeren Abständen zeigen sich neue technologische Möglichkeiten, deren marktmäßige Verwertbarkeit durch zeitnahes und zielgerichtetes staatliches Handeln erheblich beschleunigt werden kann. Entsprechende Anpassungen im Konzept der „Bayerischen Allianz für Energieforschung und -technologie“ können daher den Energieumstieg weiter beschleunigen. Daher soll das vorliegende Konzept im laufenden Prozess fortgeschrieben und die Zielsetzungen angepasst werden. Der Umsetzungsstand dieses Konzepts soll daher mindestens alle 3 Jahre überprüft werden.

5. Finanzierung

In den Jahren 2005-2010 hat der Freistaat nach einer aktuellen Erhebung unter den betroffenen Ressorts (i.W. Wissenschafts- und Wirtschaftsministerium) ca. 39 Mio. € (absolut) an Forschungsausgaben für *erneuerbare* Energien zur Verfügung gestellt⁵. Für die Jahre 2011 und 2012 sind bislang ca. 27 Mio. € bzw. 31 Mio. € an Beiträgen für Forschungsausgaben für *erneuerbare* Energien geplant. Diese Ansätze wurden noch vor den Beschlüssen der Staatsregierung zum Energieumstieg budgetiert. Bayern hat sich mit seinem Entschluss, den Energieumstieg trotz der bisher hohen Abhängigkeit von der Kernenergie mit hohem Tempo zu vollziehen, zum Vorreiter des Umstiegs gemacht. Deshalb ist es für Bayern von großer Bedeutung, die technologische Machbarkeit des Umstiegs durch große Anstrengungen bei Energieforschung und -technologieentwicklung zu untermauern. Auch angesichts der damit verbundenen vielfachen Zukunftsrenditen für bayerische Unternehmen sollten erhebliche finanzielle Anstrengungen unternommen werden.

5.1 Mittelbedarf für prioritäre Projekte und den Ausbau der Zentren in Bayern

Als Anhaltspunkt für die Gesamtdotierung des Konzepts der „Bayerischen Allianz für Energieforschung und -technologie“ wird von den Mitgliedern der Expertenkommission ein Mittelbedarf in der Größenordnung von 1 Mrd. € über einen Zeitraum von 10 Jahren 2012-2021 empfohlen.

Mit einem Betrag in dieser Größenordnung ist sichergestellt, dass die zahlreichen im Konzept der „Bayerischen Allianz für Energieforschung und -technologie“ identifizierten Themenfelder mit dringendem Handlungsbedarf auch durch konkrete Forschungs- und Entwicklungsvorhaben in allen Regionen und auf allen fachlichen und zeitlichen Prioritätsstufen in der erforderlichen Breite adressiert werden können.

5.2 Attrahieren weiterer Finanzmittel auf Bundes- und EU-Ebene und aus der Wirtschaft

Mit der Bereitstellung von Mitteln des Freistaates Bayern für Energieforschung und -technologie sollen auch Mittel des Bundes und der EU attrahiert werden. Beispielsweise bieten das 6. Energieforschungsprogramm des Bundes und das EU-

⁵ In die Ermittlung floß die Ausstattung der Professuren, die sich mit Energiefragen und Energieforschungsprojekten an den staatlichen Hochschulen in Bayern beschäftigen, nicht ein.

Forschungsrahmenprogramm exzellente Möglichkeiten. Bayern hat bereits die organisatorischen Voraussetzungen geschaffen, damit auf die verfügbaren Calls und Ausschreibungen zeitnah und erfolgreich reagiert werden kann: Mit dem „Haus der Forschung“ ist eine zentrale Förderberatungsstelle mit einem umfangreichen Serviceangebot zur EU-Beratung und EU-Antragstellung entstanden. Hochschulen und Unternehmen können damit auf ein umfassendes Dienstleistungsangebot unter einem Dach zurückgreifen, um das Potenzial der Förderprogramme gerade im Energiebereich noch besser ausschöpfen zu können. Die Bundesregierung stellt im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms für die Förderung von Forschung und Entwicklung zukunftsfähiger Energietechnologien 2011 bis 2014 rd. 3,5 Mrd. € zur Verfügung. Das entspricht gegenüber der Vergleichsperiode 2006 bis 2009 einer Steigerung um rd. 75 %! Dieser beachtliche Aufwuchs speist sich zu einem erheblichen Teil aus dem zum 1. Januar 2011 eingerichteten Sondervermögen „Energie- und Klimafonds“. Es werden aus diesem Fonds zusätzliche Mittel für die Jahre 2011 bis 2014 in Höhe von 685 Mio. € ausschließlich für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben in den Bereichen „erneuerbare Energien“ und „Energieeffizienz“ bereitgestellt. In 2014 wird die Bundesregierung fast 80 % ihres Forschungsbudgets auf diesen beiden für die künftige Energieversorgung Deutschlands wichtigen Feldern investieren. Dass hiervon signifikante Anteile der Fortentwicklung des bayerischen Forschungs- und Technologiestandortes zufließen, soll durch die Bayerische Allianz für Energieforschung und -technologie befördert werden.

Die Aufgaben des Freistaats sind insbesondere die Schaffung von Rahmenbedingungen für Innovation und technischen Fortschritt sowie sachgerechte Investitionen in Ausbildung und Grundlagenforschung; gerade dazu muss sich der Freistaat nach den „nach Fukushima“ gefassten Beschlüssen konsequent bekennen. Auf der anderen Seite müssen „marktwirtschaftliche Prozesse“ entschieden reagieren. Die Wirtschaft kennt die Stärken und Schwächen der Technologien am besten, und sie muss in einem Wettbewerbsmarkt besonders „überlegt“ agieren. Da die Wirtschaft die besseren Anreize für effektive Forschungs- und Entwicklungsarbeiten hat und sie der Hauptnutznießer der Forschungsergebnisse ist, wird die Erwartung an das Konzept geknüpft, dass auch die bayerische Wirtschaft ein Mehrfaches der staatlicherseits eingesetzten Mittel selbst in die eigene unternehmerische Forschung und Entwicklung für Energieeinsparung, -effizienz, -verteilung, -speicherung und in erneuerbare Energien investiert.

Anlagen

Anlage 1: Mitglieder der Expertenkommission

Anlage 2: Kompetenzatlas Bayern im Energiebereich

Mitglieder der Expertenkommission Energieforschung und -technologie

Name	Institution	Funktion
Dr.-Ing. Reinhold Achatz	Siemens AG	Leiter Corporate Research and Technologies
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Arlt	Energiecampus Nürnberg EnCN	Gründungsleiter und erster Sprecher
Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch	Hochschule Amberg- Weiden	Technische Thermodynamik / Erneuerbare Energien / Energieeffizienz
Prof. Dr. Jochen Feldmann	LMU München Lehrstuhl für Photonik und Optoelektronik	Koordinator Exzellenz- cluster Nanosystems Initiative Munich NIM
Prof. Dr.-Ing. Martin Faulstich	TU München, Lehr- stuhl für Rohstoff- und Energietechnologie	Vorsitzender des Sachverständigenrats für Umweltfragen, Wissenschaftlicher Leiter ATZ Entwicklungszentrum
Prof. Dr.-Ing. Heinz Gerhäuser	Fraunhofer Institut für Integrierte Schalt- ungen, Energiecampus Nürnberg EnCN	Institutsleiter
Dr.-Ing. Carlos Härtel	General Electric	Leiter Global Research Center Europe
Dr.-Ing. Klaus Hassmann	Cluster Energietechnik	Sprecher
Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Wolfgang A. Herrmann	TU München	Präsident
Prof. Dr. Claudia Kempf	DIW Berlin, Hertie School of Governance Berlin	Leiterin der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt
Dr. Andre Koltermann	Süd-Chemie AG	Leiter Corporate Research and Development
Dr. Josef Krapf	Bay Wa AG	Mitglied des Vorstands
Dr. Jörg Kruhl	E.ON	Bereichsleiter Technische Grundsatzfragen, Neue Technologien
Udo Möhrstedt	IBC Solar AG	Geschäftsführer

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Rommel	Bayerisches Umweltinstitut BIFA	Geschäftsführer
Prof. Dr.-Ing. Hartmut Spliethoff	TU München, Lehrstuhl für Energiesysteme	Vorstand Zentrum für Angewandte Energieforschung (ZAE Bayern)
Prof. Dr.-Ing. Ulrich Wagner	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt	Vorstandsmitglied für Energie und Verkehr

Kompetenzatlas Energieforschung und -technologie

1. Staatliche Universitäten in Bayern

staatliche Universitäten	Forschungsaktivitäten im Bereich Erneuerbare Energien/künftige Energieformen
Universität Augsburg	<ol style="list-style-type: none"> 1. Untersuchung von Materialien, die für Speichertechnologien und/oder für Anlagen zur Gewinnung erneuerbarer Energien nötig sind: Institut für Materials Resource Management Ansprechpartner: Prof. Dr. Siegfried Horn (LS für Experimentalphysik II) Prof. Armin Reller (LS für Ressourcenstrategie) 2. strategische Energieplanung für Kommunen („Urbane Energiesysteme) einschließlich konkreter Planungen für innovative Kraftwerke: Wissenschaftszentrum Umwelt (WZU) Ansprechpartner: Dr. Jens Soentgen 3. Analyse und Bewertung von Energiekonzepten; Standortplanung für Erneuerbare Energien: LS für Humangeographie (Prof. Peyke)
Universität Bayreuth	<ol style="list-style-type: none"> 1. Umweltfreundliche Energieerzeugung: z.B. erneuerbare Energieformen wie Biomasse, Geothermie, Solarthermie, Light and Energy Harvesting, organische und hybride Photovoltaik, Windkraft 2. Effiziente Energieumwandlung: z.B. Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, Organic Rankine Cycle, Abwärmenutzung, thermoelektrische Generatoren, Brennstoffzellen, Funktionspolymere, Elektretmaterialien 3. Verbesserte Energiespeicherung: z.B. thermische, elektrische, elektrochemische Speicher 4. Optimierte Energienutzung z.B. Energieanalyse von Systemen und Produktionsprozessen, Mobilität, Baustoffe, Gebäudetechnik, Leuchtdioden (OLEDs), Leichtbau, Polymerschäume Hybridmaterialien <p>Einrichtungen (Auswahl):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zentrum für Energietechnik (ZET) • Bayreuth Engine Research Center (BERC) • Forschungsstelle für deutsches und europäisches Energierecht (FER) • Bayreuth Center of Ecology and Environmental Research (BayCEER) • Bayreuther Institut für Makromolekülforschung (BIMF) <p>Ansprechpartner: Prof. Dr.-Ing. Dieter Brüggemann, Zentrum für Energietechnik</p>
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg	<ol style="list-style-type: none"> 1. zentrale und dezentrale regenerative Erzeugungsanlagen, Windenergieanlagen, Photovoltaik (LS für Elektrische Energiesysteme, Prof. Luther) 2. photoaktive Materialien, Solarzellen (LS für Werkstoffwissenschaften – Korrosion und Oberflächentechnik, Prof. Schmuki)

	<p>3. Energieerzeugung und -speicherung, Solarzellen, Photovoltaik (LS für Werkstoffwissenschaften – Werkstoffe der Elektronik und Energietechnik, Prof. Brabec)</p> <p>4. Photovoltaik (LS für Feststoff- und Grenzflächenverfahrenstechnik, Prof. Peukert)</p> <p>5. Biomasse und Biogas, Ölsand und Ölschiefer, energietragende Stoffe (LS für Thermische Verfahrenstechnik, Prof. Arlt)</p> <p>6. Solarenergie, Biomasse und Biogas (LS für Prozessmaschinen und Anlagentechnik, Prof. Schlücker)</p> <p>7. Solarenergie, Kraft-Wärme-Maschinen, Ölsand und Ölschiefer (LS für Strömungsmechanik, Prof. Delgado Rodriguez)</p> <p>8. Verbrennungstechnologie, effizientere umweltfreundliche Kraftwerke, Solarthermie, Geothermie (LS für Technische Thermodynamik, Prof. Leipertz)</p> <p>9. Energietechnik, Biomasse und Biogas, Solarthermie, Ölsand und Ölschiefer (LS für Chemische Reaktionstechnik, Prof. Wasserscheid)</p> <p>10. Photovoltaik (LS für Theoretische Chemie, Prof. Görling)</p> <p>11. organische Photovoltaik, Sonnenenergieumwandlung, katalytische Vorgänge (LS für Physikalische Chemie I, Prof. Guldi)</p> <p>12. Ölsand, Photovoltaik (LS für Organische Chemie I, Prof. Tykwinski)</p> <p>13. organische Solarzellen, anorganische Nanopartikel in der Photovoltaik, Photosynthese (LS für Organische Chemie II, Prof. Hirsch)</p> <p>14. Wasserspaltung zur Umwandlung und Speicherung von Solarenergie, Biogas (LS für Bioanorganische Chemie, Prof. in Ivanović-Burmazović)</p> <p>15. Modellierung der Ertragsbildung bei Mais (LS für Biochemie, Prof. Sonnewald)</p> <p>16. Rapsöl (LS für Molekulare Pflanzenphysiologie, Prof. Sauer)</p> <p>17. regenerative Energien (LS für Geologie, Prof. Stollhofen)</p> <p>18. Rohstoffe, Energie, Umwelt (Institut für Wirtschaftswissenschaft, Vorstand: Prof. Kurer)</p> <p>bevorstehend:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Energiespeicherung (neue Professur im Rahmen des EnCN); • Energieinformatik (neue Professur im Rahmen des EnCN) • Elektrische Energieverteilsysteme (neue Professur im Rahmen des EnCN) • Katalyse/Photovoltaik (neue Professur im Rahmen des EnCN); • Energieeffiziente Produktionstechnik (neue Juniorprofessur im Rahmen des EnCN); • Optimierung von Energiesystemen (neue Juniorprofessur im Rahmen des EnCN)
--	---

	<p>In indirekt relevanten Arbeitsfeldern forschen 40 Lehrstühle und das Institut für Wirtschaftswissenschaft; ferner gibt es insgesamt sieben Studiengänge mit entsprechenden Komponenten</p>
<p>Ludwig- Maximilians- Universität München (LMU)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Schwerpunkt des NIM-Exzellenzclusters in der Bearbeitung von Nanosystemen, die zur Energiekonversion verwendet werden (Exzitonische Photovoltaik, Treibstoff aus Licht: Photokatalyse): LS Prof. Feldmann, Prof. Schmitt-Mende, Dr. da Como, Dr. Jäckel LS Prof. Bein 2. Biotechnologische Strategien zur effizienten Umwandlung von Zellulose in handhabbare chem. Energie (Treibstoff): LS Prof. Gaub 3. Neu: Errichtung des neuen Lehrstuhls „Nanomaterialien und Energiekonversion“ im Zuge Schwerpunktsetzung des NIM-Clusters auf regenerative Energieumwandlung 4. Ergänzend: LMU prädestiniert auch für außerhalb der Naturwissenschaften liegende Fragestellungen (z.B. VwL, LS Frau Prof. Pittel, zugleich ifolInstitut)
<p>Technische Universität München (TUM)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Projekt „KW 21“: Im Rahmen des Projektes wird ein Modell für die Integration von Speichern zur Optimierung der Energiedienstleistung entwickelt. Durch eine Simulation wird untersucht, inwieweit die Energiedienstleistung durch eine Entkopplung von Stromerzeugung und Verbrauch mittels Speicher und einer Flexibilisierung der Last optimiert werden kann. (LS für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik, Prof. Hamacher) 2. Forschungsschwerpunkte „Fortschrittliche Kraftwerkstechnik“ (Dampfkraftwerke, Gas- und Dampfturbinenkraftwerke, CO₂-freie Kraftwerksprozesse (Sauerstoffverbrennung, IGCC) und „Umwandlung fester Brennstoffe“ (Kohle, & Biomasse): Verbrennung, Mitverbrennung, Vergasung, Emissionen, Ascheverhalten, Korrosion, Verschmutzung, Verschlackung (LS Energiesysteme, Prof. Spliethoff) 3. Direkt-Methanol-Brennstoffzelle (DMFC), Elektrokatalyse, Direktkohlenstoff-Brennstoffzelle (Potential einer Direktverstromung von Kohlenstoff in Brennstoffzellen) LS für technische Physik, Prof. Stimming 4. Ausbau der Nutzung von Erneuerbaren Energien; Elektromobilität zur Reduktion von Ölverbrauch und CO₂ Emissionen im Transportsektor; Erforschung und Entwicklung von Technologien zur Steigerung der Energieeffizienz bei der Bereitstellung und dem Transport von Energie; sinnvolle und effiziente Nutzung von Energie besonders im Gebäudebereich (Munich School of Engineering, Forschungsbereich TUM•Energy, ein breit aufgestelltes, durchstrukturiertes Forschungsnetzwerk) 5. sustainable energy technologies in general: SSEEIT – a European Strategic Partnership for Sustainable Energy Education, Innovation and Technology (Ansprechpartner an der TUM: Prof. Hamacher)

	<p>6. dto: European Graduate School on Sustainable Energy Technology (an der TUM: mehrere Lehrstühle aus mehreren Fakultäten)</p> <p>7. Solartechnik: LS Thermodynamik, Prof. Sattelmayer</p> <p>8. Technologie nachwachsender Rohstoffe (Ethanol/Methanol, Biogas/Methan, Wasserstoff) LS Rohstoff- und Energietechnologie (Prof. Faulstich)</p> <p>9. Wissenschaftszentrum Weihenstephan (WZW) Bereich Pflanzenforschung / Landwirtschaft / Agrarmanagement</p> <p>10. Batterietechnik (Modellbildung von Einzelzellen; Modelle für Batteriesysteme; Modelle für verschaltete Batterien inklusive statistischer Betrachtungen; Untersuchungen und Modellbildung zur Lebensdauer von Batterien; Batteriemangement mit Messtechnik und Schnittstellen zur Integration; Thermisches Batteriemangement; Management für die Sicherheit von großen Batteriesystemen; Weiterentwickelte Methoden der Batteriezustandsbestimmung; Neuartige Lademethoden und Schnellladeverfahren; Optimierung von Betriebsstrategien zur Erzielung geringer Kosten, langer Lebensdauern und hoher Wirkungsgrade): LS Elektrische Energiespeichertechnik, Prof. Jossen</p> <p>11. Batterietechnik, Brennstoffzellen, Energiespeicher: LS Technische Elektrochemie, Prof. Dr. Hubert A. Gasteiger</p> <p>12. Einführung von Elektromobilität in einer tropischen Megacity (Singapur): Projekt TUM CREATE (Dr.-Ing. Stephan Schickram)</p> <p>13. Elektromobilität in der Massenanwendung: Pilotprojekt „MUTE“ (Dipl.-Ing. Robert Pietsch, Wissenschaftszentrum Elektromobilität)</p> <p>Nach Angaben der Hochschule bündelt die TUM unter der Dachmarke TUM•Energy alle Forschungsaktivitäten in der Energieforschung; fachlich relevant sind dabei rd. 100 Professuren aus 10 Fakultäten.</p>
<p>Universität Regensburg</p>	<p>einschlägige Arbeitsfelder an der Fakultät für Chemie und Pharmazie (Ansprechpartner, soweit nicht anders angegeben: Prof. Burkhard König, Institut für Organische Chemie):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Chemische Photokatalyse (Ziel: Nutzung sichtbaren Lichts als Energiequelle für chemische Reaktionen), DFG-GRK 1626 2. Chemische und enzymatische Umwandlung von nachwachsenden, nichtessbaren Rohstoffen in Feinchemikalien: 3. Organische Leuchtdioden: Leuchtdioden (LEDs) und organische Leuchtdioden (OLEDs) wandeln elektrische Energie hocheffizient ohne Wärmeverluste in Licht um (Prof. Dr. Hartmut Yersin, Institut für Physikalische Chemie) 4. Optische Sensorik und Photodynamik 5. Vermittlung energieeffizienter Rohstoffnutzung an die zukünftigen Generationen von Lehrern, Technikern und Wissenschaftlern

	<p>Arbeitsfelder in benachbarten Fakultäten:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Energieeffizienz in Gebäuden (Prof. Dr. Sven Bienert, Institut für Immobilienwirtschaft, Kompetenzzentrum für Nachhaltigkeit in der Immobilienwirtschaft) 2. Entwicklung energieeffizienter Hochleistungsrechner (Prof. Dr. Andreas Schäfer, Institut für Theoretische Physik)
<p>Universität Würzburg</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dünnschicht-Photovoltaik <ul style="list-style-type: none"> - Anorganische Photovoltaik (CIGS) Lehrstuhl für Experimentelle Physik VII (Prof. Friedrich Reinert, PD Dr. Achim Schöll). 2. Photovoltaik der dritten Generation <ul style="list-style-type: none"> - Quantenpunkt-Photovoltaik Mikrostrukturlabor (Prof. Martin Kamp, Prof. Alfred Forchel) - Organische, molekulare und hybride Photovoltaik Lehrstuhl für Experimentelle Physik VI (Energieforschung) (Prof. Vladimir Dyakonov, Prof. Jens Pflaum, PD Dr. Carsten Deibel) - Synthese von Funktionsmaterialien für organische PV und Elektronik Institut für Organische Chemie: Lehrstuhl für Organische Chemie II (Prof. Frank Würthner), Lehrstuhl für Physikalische Organische Chemie (Prof. Christoph Lambert) - Theoretische Aspekte organischer PV (Steuerung elektronischer Eigenschaften pi-konjugierter Systeme) Institut für Physikalische und Theoretische Chemie: Arbeitsgruppe Theoretische Chemie (Prof. Bernd Engels) 3. Nanostrukturen für thermoelektrische Anwendungen Lehrstuhl für Experimentelle Physik III (Prof. Laurence Molenkamp, Prof. Hartmut Buhmann) 4. Elektrochemische Speicher <ul style="list-style-type: none"> - Doppelschichtkondensatoren (Supercaps) Lehrstuhl für Experimentelle Physik VI (Energieforschung) (Prof. Jens Pflaum) <p>Mittelbar relevante Gebiete:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elektrochrome Fenstern für Anwendungen im Klimamanagement für Gebäude: Lehrstuhl für Chemische Technologie der Materialsynthese, Fakultät für Chemie und Pharmazie (Prof. Gerhard Sextl, Prof. Dirk Kurth) • Forschung zu Kohlenwasserstoffradikalen und -carbenen, die für die Chemie in Flammen und Verbrennungsmotoren von Bedeutung sind, Verbrennung von Biokraftstoffen: Arbeitsgruppe Physikalische Chemie, Institut für Physikalische und Theoretische Chemie, Fakultät für Chemie und Pharmazie (Prof. Ingo Fischer) • zeitaufgelöste Spektroskopie natürlicher und künstlicher Lichtsammelsysteme: Lehrstühle für Physikalische Chemie I und II, Institut für Physikalische und Theoretische Chemie, Fakultät für Chemie und Pharmazie (Prof. Tobias Brixner, Prof. Volker Engel, Prof. Tobias Hertel)

	<ul style="list-style-type: none">• Forschung zu Biokraftstoff, Bioenergie sowie Nutzung nachwachsender Rohstoffe: Institut für Organische Chemie, Fakultät für Chemie und Pharmazie (Arbeitsgruppe Prof. Jürgen Seibel)• Forschungsstelle Umweltenergierecht, Juristische Fakultät (Dr. Thorsten Müller) <p>Smart Micro-Grids, Telematik: Lehrstuhl für Informatik VII, Fakultät für Mathematik und Informatik (Prof. Dr. Klaus Schilling)</p>
--	--

Kompetenzatlas Energieforschung und -technologie

2. Staatliche Hochschulen für angewandte Wissenschaften (HAW) in Bayern

staatliche HAW	Forschungsaktivitäten im Bereich Erneuerbare Energien/Perspektive/ Thematischer Schwerpunkt
Amberg-Weiden	Rationelle Energiewandlung Prof. Dr. Markus Brautsch, Prof. Dr. Peter Kurzweil Dezentrale Energieversorgung
Ansbach	Speicherentwicklung Prof. Dr. Jörg Kapischke Speicherentwicklung - Wasserstofftechnologie
Aschaffenburg	Energieeffizienz – Teilaspekt im TTZ ZEWIS Prof. Dr. Johannes Teigelkötter
Augsburg	Energieversorgungsnetze Prof. Dr.-Ing. Michael Finkel Energieeffizientes Design Prof. Georg Sahner, Prof. Dr. Runa Tabea Hellwig Energieeffizienz-Bauwesen
Coburg	Energiespeicherung Prof. Dr. Gerhard Lindner Energieeffizienz in Gebäuden, Energiespeicherung in Akkus Prof. Dr. Friedemann Zeitler
Deggendorf	Leistungselektronik für regenerative Energien Prof. Dr. Günter Keller, Prof. Dr. Peter Sperber Projekt „E-Wald“
Hof incl. Münchberg	Wasser als Energiespeicher Prof. Dr. Valentin Plenk Raumklimatisierung Prof. Dr. Willi Darr
Ingolstadt	Energiesystemtechnik (Solartechnik, Bioenergie-technik) Prof. Dr. Wilfried Zörner Weiterentwicklung Energiesystemtechnik Wissenschaftliche Begleitung des Projekts „ecoQuartier“
Kempten	Elektromobilität mit den Schwerpunkten Batteriemangement, Batterielebensdauer und induktive Ladestationen Leistungselektronik für erneuerbare Energien Prof. Dr. Andreas Rupp

Landshut	<p>Batterietechnologien, Dezentrale Energieversorgung im TTZ Ruhstorf Dezentrale Energieversorgung, Ressourceneffizienz</p> <p>Prof. Dr. Helmuth Gesch Prof. Dr. Josef Hofmann</p>
München	<p>Solar und Mittelspannung Prof. Dr. Heinz Huber, Prof. Dr. Gerd Becker Solarenergie</p>
Nürnberg	<p>Energiecampus Nürnberg Sensorik für mechanisch belastete Bauteile in Energieanlagen, Dezentrale Energieversorgung Prof. Dr. Armin Dietz, Prof. Dr. Wolfgang Krcmar</p> <p>Leistungselektronische Lastnachbildung Prof. Dr. Norbert Graß Leistungselektronische Systeme</p>
Regensburg	<p>Ausgeglichene Spannungsverteilung in Niederspannungsnetz, Sicherheit in E-Fahrzeugen Prof. Dr. Manfred Bruckmann, Prof. Dr. Thomas Waas, Prof. Dr. Markus Kucera Intelligente Niederspannungsnetze, Sicherheit in E-Fahrzeugen</p>
Rosenheim	<p>Energie – Bau – Holz Prof. Dr. Harald Krause, Prof. Mathias Wambsgaß, Prof. Dr. Franz Feldmeier, Prof. Peter Karlinger „Plusenergiehaus“</p>
Weihenstephan / Triesdorf	<p>Solarunterstützte Wärmepumpenheizung Prof. Dr. Andreas Ratka</p> <p>Schnellwachsende Baumarten Prof. Dr. Peter Zerle, Prof. Dr. Stefan Wittkopf Bioenergie</p> <p>Verwertung Biogas Prof. Dr. Heidrun Rosenthal, Prof. Dr. Klaus Menrad</p> <p>Bereich Pflanzenforschung / Landwirtschaft / Agrarmanagement</p>
Würzburg-Schweinfurt	<p>Gleichstromtechnik für Energieversorgung Prof. Dr. Andreas Küchler</p> <p>Energieübertragung Elektromobilität (TTZ EMO Bad Neustadt) Prof. Dr. Bernhard Arndt</p>

Kompetenzatlas Energieforschung und -technologie

3. Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen in Bayern

Forschungseinrichtungen	Forschungsaktivitäten im Bereich Erneuerbare Energien/ Künftige Energieformen
I. außerhochschulische Forschungseinrichtungen	
1. Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP)	<p>Das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) in Garching und Greifswald erforscht die Grundlagen für ein Fusionskraftwerk. Ähnlich wie die Sonne soll es Energie aus der Verschmelzung von leichten Atomkernen gewinnen. Mit rund 1100 Mitarbeitern ist das IPP eines der größten Zentren für Fusionsforschung in Europa.</p> <p>Das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik ist ein Institut der Max-Planck-Gesellschaft. Es ist dem Europäischen Fusionsprogramm und der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren assoziiert.</p>
2. Energie Campus Nürnberg	<p>Durch den „Energie Campus Nürnberg“ werden die in Industrie und Wissenschaft bestehenden Kompetenzen am Standort Nürnberg systematisch ausgebaut und eine Technologieführerschaft in Bayern und Deutschland auf ausgewählten Gebieten der Energieforschung erarbeitet. Beteiligte Partner sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), • Georg-Simon-Ohm-Hochschule Nürnberg, • Fraunhofer-Institute für Integrierte Schaltungen (IIS) und für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB), • Bayerisches Zentrum für angewandte Energieforschung (ZAE Bayern). <p>Aufbauend auf den Stärken der beteiligten Institutionen und der Region werden sich die Partner auf drei wesentliche Themenfelder der Energieforschung fokussieren:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Materialforschung für Energiegewinnung (Solarenergie) und Energietransport • Leistungselektronik und Informationstechnik für elektrische Netze (Smart Grids) • Energieeffiziente Nutzung durch neue Materialien, Prozesse und Elektronik sowie in der Gebäudetechnik <p>Als Querschnittsthemen wurden Modellierung und Simulation von Energiesystemen, Design und Untersuchung der Akzeptanz neuer Energietechnologien definiert. Eine enge Kooperation mit Unternehmen, insbesondere aus der Region, soll beim EnCN gewährleistet werden.</p>
3. Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe	<p>Im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe in Straubing hat die Bayerische Staatsregierung die Aktivitäten rund um die Nachwachsenden Rohstoffe gebündelt. Unter einem Dach arbeiten hier die drei Institutionen Wissenschaftszentrum Straubing (WZS), Technologie- und Förderzentrum (TFZ) und C.A.R.M.E.N. e.V. zusammen</p> <p>Das Wissenschaftszentrum Straubing besteht derzeit aus fünf bayerischen Hochschulen (Technische Universität München, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Universität Regensburg, Hochschule Deggendorf, Hochschule Regensburg) und bearbeitet zahlreiche Forschungsprojekte. Diese</p>

	<p>beschäftigen sich sowohl mit der stofflichen Nutzung als auch der energetischen Verwertung von Nachwachsenden Rohstoffen.</p> <p>Das Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ) ist eine direkt dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten zugeordnete Institution. Aufgabe des Technologie- und Förderzentrums ist es, die Bereitstellung und Nutzung von Energieträgern und Rohstoffen aus Erntegütern und Reststoffen aus der Land- und Forstwirtschaft (Nachwachsende Rohstoffe) durch anwendungsorientierte Forschung, Technologie- und Wissenstransfer sowie durch die staatliche Förderung von Projekten voranzubringen.</p> <p>C.A.R.M.E.N., das Centrale- Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk e.V., wurde am 6. Juli 1992 in Rimpar bei Würzburg durch den Freistaat Bayern gegründet und war bis 2000 als bayerische Koordinierungsstelle für Nachwachsende Rohstoffe in Rimpar tätig. Dem Verein obliegt die Koordination einer zielgerichteten interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen Staat, Wissenschaft, Landwirtschaft und Wirtschaft.</p>
<p>II. Fraunhofer Gesellschaft</p>	<p>Angewandte Energieforschung und Technologieentwicklung gehört zu den zentralen Zukunftsthemen der Fraunhofer Gesellschaft. Die bayerischen Einrichtungen der Fraunhofer-Gesellschaft betreiben u.a. intensiv anwendungsbezogene Forschung auf den Themengebieten Energieeffizienz und elektrochemische Speicher.</p>
<p>1. Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen, Erlangen (IIS)</p>	<p>Das IIS nutzt seine Kompetenzen in der Mikroelektronik sowie der Kommunikations- und Informationstechnik für verschiedenste Aufgabenstellungen im Bereich der Energietechnik. Im Rahmen der Energieforschung werden intelligente Komponenten für Messen, Steuern, Regeln mit dem Schwerpunkt Strommessung, Kommunikationsplattformen für Energie- und Batteriemangement oder auch intelligente Netzteile entwickelt. Damit wird der Energiefluss zwischen Erzeugern, Speichern und Verbrauchern optimiert und der Verbrauch soweit möglich an die verfügbare Energiemenge angepasst. Darüber hinaus ist das IIS mit dem Themenschwerpunkt „NET – intelligente elektrische Netze“ am Energie-Campus Nürnberg (EnCN) beteiligt.</p>
<p>2. Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementechnologie, Erlangen (IISB)</p>	<p>Das Arbeitsgebiet des Fraunhofer-IISB in Erlangen umfasst alle Felder der Leistungselektronik; Schwerpunkte liegen bei der Integration von Leistungselektronik, Mikroelektronik, Sensorik und Mechanik, sowie bei Technologien zur Steigerung von Wirkungsgrad und Leistungsdichte. In diesem Bereich ist das IISB europaweit eine der führenden Forschungseinrichtungen. Außerdem ist das Fraunhofer IISB international anerkannt im Bereich der Materialentwicklung für die leistungsfähige Mikro- und Nanoelektronik und effiziente Photovoltaik.</p> <p>Das IISB betreibt den Innovationscluster "Elektronik für nachhaltige Energienutzung" mit dem Ziel, die vorhandenen Forschungs- und Entwicklungspotentiale zum effizienten Einsatz elektrischer Energie zu bündeln sowie als Innovationstreiber und Transfer-Schnittstelle zwischen den Partnern von der Universität bis zur Industrie zu wirken.</p> <p>Darüber hinaus ist das IISB mit mehreren größeren Projekten zu diesen Themenbereichen am Energie-Campus Nürnberg (EnCN) beteiligt.</p>

<p>3. Fraunhofer-Institut für Silicatforschung Würzburg, (ISC)</p>	<p>Das Fraunhofer ISC entwickelt innovative nichtmetallische Werkstoffe für Produkte der Zukunft für die Megathemen Energie, Umwelt und Gesundheit. Auf dem Gebieten der Energiespeichertechnik forscht das Institut an Werkstoffen für Hochleistungsspeicher und entwickelt elektrochemische Prozesse und Verfahren zur Energiespeicherung. Das ISC ist an führender Stelle in der Koordination von BMBF-finanzierten Projekten zur Energiespeicherung vertreten.</p> <p>Am ISC wird das im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungszentrums Elektromobilität gegründete Zentrum für Angewandte Elektrochemie verstärkt an Lösungen zur Energiespeicherung arbeiten.</p> <p>Des Weiteren arbeitet das Institut an der Optimierung von Hochtemperaturprozessen, entwickelt energieoptimierte Aktoren und Sensoren sowie Werkstoffe und Verfahren zur effizienten Wandlung von Bewegungsenergie in elektrische Energie (Micro Energy Harvesting). Als weiteres Thema werden von der Projektgruppe für Keramische Verbundwerkstoffe in Bayreuth keramische Faserverbundwerkstoffe für den Einsatz in Hochtemperaturanwendungen zur Steigerung der Energieeffizienz von Verbrennungsvorgängen entwickelt. Das Ausbaukonzept für diese Projektgruppe sieht die Erweiterung des Themenspektrums auf polymere und metallische Hochtemperaturwerkstoffe vor.</p> <p>Die neu gegründete Projektgruppe Wertstoff-Recycling und Werkstoff-Substitution IWKS in Alzenau hat die Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz in industriellen Prozessen zum Ziel. Unter anderem soll durch ein recyclinggerechtes Design die direkte Wiederverwendung von Bauteilen, darunter auch von Batterien verstärkt möglich werden</p>
<p>4. Fraunhofer-Institut für Systeme der Kommunikationstechnik, München (ESK)</p>	<p>Die Fraunhofer ESK verfügt über Expertise für weite Bereiche der IuK, von Übertragungstechnik über Protokolle und Systeme bis zu intelligenten Anwendungen. Im Bereich der Energieforschung ist das Fraunhofer ESK auf den Feldern der Smart Grids/Smart Metering und Elektromobilität tätig. In den Bereichen Smart Grids/Smart Metering sowie Zugangstechnologien oder der drahtlosen Übertragung im Industrieumfeld wurden bereits mehrere Projekte zu energieeffizienten MAC-Verfahren, die mit Wake-On-Radio, die Batterielebensdauer verlängern, abgeschlossen werden. Des Weiteren werden an der ESK energieeffiziente Betriebsstrategien für Elektrofahrzeuge (Verbundprojekt Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität FSEM) erforscht.</p>
<p>5. Fraunhofer-Institut für Sichere Informations-Netze, München (SIT)</p>	<p>Fraunhofer SIT beschäftigt sich mit allen Fragen der IT-Sicherheit darunter auch im Kontext sicherer Energieinformationsnetze. Mit der Dezentralisierung der Stromerzeugung und der Einbindung erneuerbarer Energiequellen muss die Datenerhebung und das Energie-Management zur Steuerung der Energieeinspeisung und -entnahme manipulationssicher und verlässlich sein.</p>

6. Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung, Freising (IVV)	<p>Das IVV beschäftigt sich im Geschäftsfeld Biogene Rohstoffe u. a. mit der energetischen Verwertung von Roh- und Reststoffen der Agrar- und Lebensmittelindustrie. In dem Geschäftsfeld Funktionsmaterialien entwickelt das Fraunhofer IVV Polymerfolien mit sehr hohen Barriereeigenschaften in zahlreichen Varianten, die u. a. in Dämmmaterialien zur Energieeinsparung oder als flexible Folien in der Photovoltaik eingesetzt werden.</p>
7. Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Institutsteil Holzkirchen	<p>Das Fraunhofer IPB beschäftigt sich mit der kontinuierlichen Verbesserung der Nachhaltigkeit von Gebäuden, Bausystemen und Bautechniken. Das geht weit über die reine Einsparung von Energie hinaus. Ziel ist es vor allem, die Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden, bei gleichzeitiger Beibehaltung oder sogar Steigerung der Behaglichkeit und Komfortansprüche. Das schließt selbstverständlich auch Maßnahmen zur Energieeinsparung mit ein.</p>
8. Forschungs- u. Entwicklungszentrum Elektromobilität in Garching (Fraunhofer ICT) u. Würzburg (Fraunhofer ISC)	<p>Innerhalb des „Forschungs- und Entwicklungszentrums Elektromobilität“ werden die Projektgruppe „Elektrochemische Speicher“ des Fraunhofer ICT in Garching und das „Zentrum für Angewandte Elektrochemie“ des Fraunhofer ISC in Würzburg in enger Abstimmung an Lösungen in der Energiespeicherung und -wandlung und an der Verbesserung der Energiespeichertechnik zusammenarbeiten. Der Fokus liegt insbesondere in der Weiterentwicklung der elektrischen Speichertechnologie und Entwicklung neuer Lösungsansätze für eine längere Lebensdauer und höhere Sicherheit der Batterien.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fraunhofer-Projektgruppe „Elektrische Speichertechnologie“ des Fraunhofer-Instituts für Chemische Technologie ICT mit Sitz in Garching: Hier liegen die Schwerpunkte auf Lithiummetallbatterien und der Auslegung von Speichersystemen durch Aufbau von Modulen und Batterien aus Einzelzellen. • Fraunhofer Zentrum für Angewandte Elektrochemie am Fraunhofer-Institut für Silicatforschung in Würzburg: Hier werden Werkstoffe und Verfahren für leistungsfähigere und sichere Komponenten von Li-Ionen-Batterien entwickelt, die Leistungs- und Energiedichte von Ni-Metallhydrid-Batterien verbessert, die Energiespeicherkapazität von Doppelschichtkondensatoren gesteigert und neue Entwicklungen im Bereich Na-basierter Batteriesysteme voran getrieben.
9. Projektgruppe des Fraunhofer-Instituts für Grenzflächen- u. Bioverfahrenstechnik (IGB), Straubing	<p>Ziel der Projektgruppe BioCat des Fraunhofer IGB in Straubing ist die Entwicklung einer neuen Technologieplattform für eine nachhaltige Rohstoff- und Energieversorgung auf Basis nachwachsender Rohstoffe. <u>Themenfeld: 2)</u></p>
10. Projektgruppe d. Fraunhofer-Instituts für Werkzeugmaschinen u. Umformtechnik IWU in Augsburg „Ressourceneffiziente mechatronische Verarbeitungsmaschinen	<p>Die industrielle Produktion verbraucht etwa ein Drittel des Gesamtbedarfes an elektrischem Strom in Bayern. Ziel der Projektgruppe ist es, unter den Aspekten der Ressourcen- und Energieeffizienz sowie Umweltverträglichkeit neue Produktionstechnologien, Strukturen und Prozesse zu entwickeln sowie die produktionstechnischen Grundlagen insb. für die Herstellung und Montage der CFK-Komponenten und -Produkte zu erarbeiten.</p>

11. Fraunhofer-Einrichtung für Modulare Festkörper-Technologien (EMFT), München	Die Fraunhofer-EMFT betreibt Forschung und Entwicklung in den Bereichen Polytro-nische Systeme, Mikromechanik, Aktorik und Fluidik, Si-Technologie und Vertikale Systemintegration sowie Nano-Materialien und Bauelemente und verfolgt dabei das Ziel, die neuesten Entwicklungen rasch und effizient in Demonstratoren, anwendbare Verfahren sowie Dienstleistungen umzusetzen und diese für die Industrie nutzbar zu machen.
<u>III. Weitere Einrichtungen der angewandten Forschung und Technologieentwicklung im Energiebereich</u>	
1. Bayer. Zentrum für angewandte Energieforschung (ZAE Bayern)	Das Bayerische Zentrum für angewandte Energieforschung betreibt an den Standorten Würzburg (Hauptsitz), Erlangen und Garching seit 1991 angewandte Energieforschung. Die Hauptforschungsschwerpunkte des ZAE Bayern sind der verstärkte Einsatz von Erneuerbaren Energien und die Steigerung der Energieeffizienz. Das ZAE Bayern leistet mit seinen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten u.a. auf den Gebieten Photovoltaik, Energiespeicherung, Energieoptimierte Gebäude und Energieeffiziente Prozesse wichtige Beiträge im internationalen Maßstab zur Lösung der Energieprobleme.
2. ATZ Entwicklungszentrum in Sulzbach-Rosenberg	Das ATZ entwickelt wirtschaftsnahe Konzepte und Verfahren zur Bereitstellung und zum Einsatz von Energie, Rohstoffen und Materialien. Der Themenbereich Energie umfasst u.a. "energetische Optimierung komplexer Verfahrensabläufe in Kläranlagen", "Steigerung der Energieeffizienz von Speichern, Verteilungssystemen und Feuerungsanlagen" sowie "Biogastechnik".
3. Süddeutsches Kunststoffzentrum, Würzburg	Das SKZ beschäftigt sich mit der Forschung und Entwicklung im Kunststoffsektor und deckt die Themenschwerpunkte von Materialien über Produktionsprozesse und Bauteileigenschaften bis hin zur Bewertung von Prozessen und Produkten unter ökonomischen und ökologischen Aspekten ab.
4. fortiss GmbH, Garching	Die fortiss GmbH ist ein Forschungsinstitut für Software- und Systems Engineering mit dem Schwerpunkt auf eingebettete und vernetzte softwareintensive Systeme. Das An-Institut hat einen starken Industriebezug, u.a. Energietechnik, Automobilindustrie und Luftfahrt.
5. Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. München	Die Tätigkeitsbereiche der FfE umfassen Mobilität / Elektromobilität, Optimierung von industriellen Anlagen und Prozessen, die Analyse und Prognose der Energieversorgung Deutschlands, Speicher & Netze, Ressourcen & Klimaschutz sowie Energieeinsparung bei Gebäuden und Geräten.
6. bifa Umweltinstitut GmbH Augsburg	Die bifa Umweltinstitut GmbH befasst sich einerseits mit der Umsetzung von FuE Ergebnissen in die wirtschaftliche Praxis u. A. durch die Entwicklung konkreter Prozess und Verfahren. Den inhaltlichen Schwerpunkt bilden Recycling- und Aufbereitungsprozesse aber auch die Prozessoptimierung im Hinblick auf Energie- und Ressourceneffizienz. Daneben werden strategische Fragestellungen (Life Cycle Analysis) und Fragen der Technikakzeptanz bearbeitet. Zu diesem Zweck beschäftigt bifa auch Sozialwissenschaftler und Psychologen.
7. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)	Die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) ist das Wissens- und Dienstleistungszentrum für die Landwirtschaft in Bayern. Die anwendungsorientierte Forschung der LfL greift Fragestellungen aus der Praxis auf und stellt den landwirtschaftlichen Unternehmen auf verschiedenen Wegen anwendbare Lösungen zur Verfügung. Dieses Expertenwissen fließt auch in die Ausbildungsangebote der LfL ein und bereitet junge Menschen auf ihren Beruf vor. Der Hoheits- und Fördervollzug sowie die Beratung runden das Angebot ab und machen die LfL zu einem wichtigen Partner der bayerischen Land- und Ernährungswirtschaft.

Kompetenzatlas Energieforschung und -technologie

4. Bayerische Unternehmen im Bereich Energie (Auswahl)

Themenfelder	Unternehmen mit Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Bereich Energie/
1. Regenerative Energiebereitstellung / Effizienz konventioneller Bereitstellung erhöhen	<ul style="list-style-type: none"> • Siemens, Hersteller von effizienten Solarwechselrichtern für die Photovoltaik • Osram (Regensburg) Solargläser für solarthermische und photovoltaische Anlagen • Wacker Chemie, Herstellung von Solarsilizium für Solarzellen • Steca (Memmingen) Hersteller von Solarwechselrichtern für die Photovoltaik • Phoenix Solar (Sulzemoos) Herstellung von Photovoltaikmodulen • Solar Millennium (Erlangen) Solarthermie • Flabeg (Nürnberg) Solarthermie • Schott Solar (Alzenau, Mitterteich) Solarthermie, Photovoltaik Dünnschicht • IBC Solar (Bad Staffelstein), Solaranlagenhersteller • Schaeffler (Herzogenaurach) Zulieferer von Lagern für Windkraftanlagen • Bosch AG (Nürnberg) Getriebe für Windkraftanlagen • Renk (Augsburg) Getriebe für Windkraftanlagen • Ossberger Energiesysteme Turbinen für Kleinwasserkraftwerke • Vissmann / Schmack Biogas, Biogasanlagen • HSE Energieanlagen, Biomasse • Wolf, innovative Heizsysteme
2. Effiziente Energieanwendung	<ul style="list-style-type: none"> • Siemens A&D (Erlangen, Nürnberg) Zulieferer von energieeffizienten, drehzahlgeregelten elektrischen Antrieben für die Automatisierungstechnik • Osram (Regensburg) Hersteller energieeffizienter Beleuchtungstechnik • Infineon Technologies (Neubiberg/München, Regensburg) Weltmarktführer für Leistungshalbleiter und –module • Semikron (Nürnberg) Einer der weltweit führenden Leistungshalbleiterhersteller • Curamikelectronics (Eschenbach) Markt- und Technologieführer für keramische Leiterplatten • Continental Automotive (Nürnberg, Regensburg) Automobil-Zulieferer für leistungselektronische Aggregate

	<ul style="list-style-type: none"> • Liebherr Elektronik (Lindau) Leistungselektronische Aggregate für die Luftfahrt sowie für mobile Arbeitsmaschinen • FG Elektronik (Rückersdorf) Intelligente, energieeffiziente Stromversorgungen z.B. für Industrieanwendungen und Medizintechnik
3. Technologie zur Speicherung von Energie	<ul style="list-style-type: none"> • Süd-Chemie AG (München) Elektroden für Elektrische Energiespeicher • Wacker (München) Elektroden für Elektrische Energiespeicher; Grundmaterial für Solarzellen • SGL Carbon (Meitingen) Elektroden für Elektrische Energiespeicher • Saft Batterien, Batterieherstellung, Stationäre Speicher im MW Bereich • MOLL GmbH + Co.KG Angerstrasse 50 - 96231 Bad Staffelstein, (Batterieherstellung: stationäre Speicher im MW Bereich sowie Speicher für stand-alone (off-grid) Lösungen)
4. Innovationen für Netze und Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> • Siemens Energy (Erlangen) Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ) zur verlustarmen Energieübertragung über weite Strecken • Eon (München) Smart metering • Nokia Siemens Networks (München) Abrechnungssysteme • a-Eberle, Regelung für Ortsnetztransformatoren

Kompetenzatlas Energieforschung und -technologie
5. Studiengänge an den staatlichen Hochschulen in Bayern;
hier: Spezifische Studiengänge für Erneuerbare Energien

Hochschule	Bezeichnung Studiengang
HAW Amberg- Weiden	Erneuerbare Energien
HAW Ansbach	Energie- und Umweltsystemtechnik
	Energiemanagement und Energietechnik (Kooperationsstudiengang mit HAW Nürnberg und HAW Weihenstephan-Triesdorf)
HAW Aschaffenburg	Erneuerbare Energien und Energiemanagement
HAW Augsburg	Energieeffizientes Planen und Bauen
	Energie Effizienz Design
HAW Coburg	Energieeffizientes Gebäudedesign
HAW Deggendorf	Ressourcen- und Umweltmanagement
HAW Hof	Umweltingenieurwesen
Ingolstadt	Technik Erneuerbarer Energien
HAW Kempten	Energie- und Umwelttechnik
HAW Landshut	Energiewirtschaft und -technik
HAW München	Regenerative Energien - Energietechnik
HAW Nürnberg	Energieprozesstechnik
HAW Regensburg	Elektromobilität und Energienetze
	Regenerative Energien und Energieeffizienz
	Gebäudeklimatik
HAW Rosenheim	Energie- und Gebäudetechnologie seit WS 2010/11
HAW Weihenstephan-Triesdorf	Technologie Erneuerbarer Energien
	Management Erneuerbarer Energien
	Nachwachsende Rohstoffe
Universität Bayreuth	Energy Science and Technology
Universität Erlangen-Nürnberg (FAU)	Energietechnik
	Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologie
TU München (TUM)	ClimaDesign (berufsbegleitend absolvierbar)
	Energieeffizientes und nachhaltiges Bauen
	Energie- und Prozesstechnik
	Nachwachsende Rohstoffe
	Power Engineering

Kompetenzatlas Energieforschung und -technologie

6. Studiengänge an den staatlichen Hochschulen in Bayern;

hier: **Übersicht weitere Studiengänge im Energie-Bereich (Energiebezug tw. in gesonderten Modulen, tw. integriert in einschlägigen Bezugswissenschaften)**

Hochschule	Bezeichnung Studiengang	Bezüge zu Erneuerbaren Energien, Energieeffizienz und Energieeinsparung
HAW Amberg-Weiden	Umwelttechnik	Produktionsintegrierter Umweltschutz; Biogastechnik; Energie aus Abfällen; Wahlfach: Energiemanagement in Gebäuden; Elektromobilität
	Maschinenbau	Abwärmenutzung, Drucklufttechnik; Leichtbau; Elektromobilität
	Umwelttechnologie	Energieeffizienz im Allgemeinen
	Wirtschaftsingenieurwesen	Vertiefungsrichtung: Umwelt- und Energietechnik mit 6 unterschiedlichen Vorlesungen
	Elektro- und Informationstechnik	Modul: Leistungselektronik für regenerative Energiequellen (Energieeffizienz)
HAW Ansbach	Ressortjournalismus	Energie und Umwelt
	Wirtschaftsingenieurwesen	Energietechnik
HAW Augsburg	Bauingenieurwesen	Energieeffizienz, Energieeinsparung
	Allgemeiner Ingenieurbau	Energieeffizienz, Energieeinsparung
	Architektur	Energieeffizienz, Energieeinsparung
	Maschinenbau	Energieeffizienz, Energieeinsparung
	Leichtbau und Faserverbundtechnologie	Energieeffizienz, Energieeinsparung
	Umwelt- und Verfahrenstechnik	Erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Energieeinsparung
	Umwelt- und Verfahrenstechnik	Erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Energieeinsparung
	Elektrotechnik	Erneuerbare Energien, Energieeinsparung
	Mechatronik	Erneuerbare Energien, Energieeinsparung

HAW Coburg	Architektur	Energieeffizientes Bauen
	Bauingenieurwesen	Energieeffizientes Bauen
	Elektrotechnik	Regenerative Energien (z.B. Solarenergie, Brennstoffzellentechnologie), Energiemanagement, Speichertechnologie
	Physikalische Technik	Kraftstoffdesign, Nachwachsende Rohstoffe, Speichertechnologie
HAW Deggendorf	Elektro- und Informationstechnik	Energie- und Anlagentechnik
	Maschinenbau	Energietechnik und -handel
HAW Ingolstadt	Fahrzeugtechnik	Studienschwerpunkt Triebstrang und Fahrwerk u.a. mit den Fächern Antriebstechnik, Hybridantrieb
	Mechatronik	Studienschwerpunkt Fahrzeugmechatronik
HAW Kempten	Elektro- und Informationstechnik	Energietechnische Systeme
	Maschinenbau	Umwelt- u. Energietechnik
HAW Landshut	Wirtschaftsingenieurwesen	Energiewirtschaft, Energieversorgung in der Gebäudetechnik
	Elektro- und Informationstechnik	Grundlagen Energietechnik, Energieversorgung in der Gebäudetechnik
	Wirtschaftsingenieurwesen	Strom- und Gaswirtschaft, Energie- und Umwelttechnik
	Maschinenbau	Grundlagen Energietechnik, Solartechnologie Energie aus Wind, Wasser und Boden Umwelttechnik und Klimaschutz Energiewirtschaft
	Automobil- und Nutzfahrzeugtechnik	Grundlagen Energietechnik Neuartige Antriebe
HAW München	Architektur	Module Ökologie I und II (Klimadesign)
	Bauingenieurwesen	Modul Bauphysik (u.a. Prinzipien des energiesparenden Bauens)

	Bauingenieurwesen	Wahlpflichtmodul Energieeffizientes Bauen und Sanieren
	Maschinenbau	Studienschwerpunkt Energietechnik; Schwerpunktfach Regenerative Energien
	Versorgungs- und Gebäudetechnik	Modul Regenerative Energien
	Gebäudetechnik	Modul Energiegerechtes Bauen und Energiekonzepte; Modul Projekt Energieeffizienz, Regenerative Energien
	Wirtschaftsingenieurwesen	Modul Nachwachsende Rohstoffe
HAW Nürnberg	Architektur (Bachelor)	Grundlagen des energiegerechten Bauens
	Architektur (Master)	Energiegerechtes Planen und Bauen im Städtebau und Projekt
	Chemieingenieurwesen und Verfahrenstechnik	Energie- und Umweltverfahrenstechnik
	Elektrotechnik und Informationstechnik	Elektrische Energietechnik
	Elektronische und Mechatronische Systeme	Elektrische Energietechnik
	Facility Management	Energietechnik
	Maschinenbau	Energietechnik
	Verfahrenstechnik	Energieverfahrenstechnik
	Versorgungstechnik	Energietechnik
HAW Regensburg	Elektro- und Informationstechnik	Schwerpunkt Energietechnik
	Maschinenbau	Schwerpunkt Energietechnik
HAW Rosenheim	Weiterbildungsstudiengang /Green Building Technology (Bildungsexport Malaysia)	Energieeffizienz Gebäude
	Weiterbildungsstudiengang / Fenster u. Fassade	Energieeffizienz Gebäude
	Weiterbildungsmodule Energietechnik (Fenster und Fassade)	Energieeffizienz Gebäude

	Weiterbildungsstudiengang / Holzbau f. Architekten mit dem Schwerpunkt, Energieeffizientes Bauen	Energieeffizienz Gebäude
	Produktionstechnik	Modul Energietechnik in der Produktion
	Wirtschaftsingenieurwesen	Modul Energiewirtschaft
	Holztechnik	Modul Energietechnik in der Produktion
	Holzbau	Modul Energetisches Bauen
	Innenausbau	Modul Energetisches Bauen
HAW Weihenstephan- Triesdorf	Forstingenieurwesen	Produktion und Verwendung von Holz
	Umweltsicherung	Erneuerbare Energien
HAW Würzburg- Schweinfurt	Elektrotechnik	Studienschwerpunkt Elektrische Energietechnik mit den Modulen Technik regenerativer Energien, Elektroenergiesysteme und Energiemanagement, Elektromobilität u.a.
	Maschinenbau	Studienschwerpunkt Energie- u. Umwelttechnik, mit den Modulen Angewandte Energietechnik, Erneuerbare Energiesysteme, u.a. Elektromobilität im Schwerpunkt Fahrzeugtechnik
	Maschinenbau/Dualer Studiengang	Studienschwerpunkt Energie- u. Umwelttechnik, mit den Modulen Angewandte Energietechnik, Erneuerbare Energiesysteme, u.a. Elektromobilität im Schwerpunkt Fahrzeugtechnik
	Elektro- und Informationstechnik	Technik regenerativer Energien, Energietechnik, Energieforschung, Elektromobilität
Universität Augsburg	Wirtschaftsinformatik	Nachhaltiges Ressourcenmanagement, Wertschöpfungsorientiertes Ressourcenmanagement und Regenerative Energiesysteme: Analyse und Bewertung

	Finanz- und Informationsmanagement	Materials Ressource Management and Green Information Systems als Pflichtveranstaltung; Vertiefungsrichtung Ressourcenmanagement
	Materialwissenschaften	Energiesysteme der Zukunft / Physikalische Grundlagen der Energieversorgung (im Rahmen von Seminaren)
	Physik	Energiesysteme der Zukunft / Physikalische Grundlagen der Energieversorgung (im Rahmen von Seminaren)
	Geographie	Fragen der räumlichen Auswirkungen Erneuerbarer Energien, planerische Aspekte, räumliche Optimierung von Energiegewinnung und -verteilung
Universität Bayreuth	Umwelt- und Bioingenieurwissenschaft	Energietechnik, Umweltwissenschaft
	Engineering Science	Schwerpunktstudium Energie- und Umwelttechnik wählbar
	Automotive Components Engineering and Mechatronics	Alternative Energiekonzepte
	Wirtschaftsingenieurwesen	Spezialisierung im Ingenieurwissenschaftlichen Bereich ist "Energie- und Umwelttechnik"
	Berufliche Bildung Fachrichtung Metalltechnik	im Wahlbereich: regenerative Energien
	Biodiversität und Ökologie	Modul: Schnellwachsende Pflanzen - Produktion von Biomasse zur Energiegewinnung
Universität Erlangen-Nürnberg (FAU)	Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik	Elektrische Energie- u. Antriebstechnik
	Chemie- und Bioingenieurwesen	Anlagensicherheit, Wärme- und Stoffübertragung, Thermofluidynamik, Strömungsmechanik

	Chemie	Energiespeicherung, Solarenergie
	Molecular (Nano-)Science	Energiespeicherung, Solarenergie
	Physik	Physikalische Grundlagen von Energieumwandlung, -speicherung und -transport
	Lehramt Physik	Kompetenz für die Behandlung des Themas in den Schulen
	Life Science Engineering	Einführung in die Thermofluidodynamik
	Life Science Engineering	Wärme- und Kraftwerkstechnik, Wärme- und Stoffübertragung
Ludwig-Maximilians-Universität (LMU)	Chemie	Bezüge zu Erneuerbaren Energien in der Veranstaltung "Principles and Applications of Electrochemistry"
	Advanced Materials Science (Fakultät für Chemie und Pharmazie)	Bezüge zur Energiegewinnung und -konversion, z.B. in der Veranstaltung "Nanostructured Materials"
	Physik	Physikalische und biophysikalische Grundlagen der regenerativen Energieproduktion
TU München (TUM)	Architektur	Schwerpunkt: Nachhaltiges Bauen / Sustainable Architecture
	Bauingenieurwesen	Energieeffiziente Gebäude, Verkehrsplanung und Bauweisen, ressourcenschonender Einsatz von Baustoffen, Ingenieurmethoden mit Bezug zum Bau von Anlagen zur Energieerzeugung (Wind, Wasser, Solar)
	Energie- und Prozesstechnik	Umweltverträgliche Energiesysteme
	Energie- und Prozesstechnik	Umweltverträgliche Energiesysteme
	Luft- und Raumfahrt	Umweltverträgliche Energiesysteme
	Maschinenbau und Management	Umweltverträgliche Energiesysteme
	Fahrzeug- und Motorentechnik	Elektromobilität Energietechnik
	Maschinenwesen	Elektromobilität, Energietechnik, Umweltverträgliche Energiesysteme

	Elektrotechnik und Informationstechnik	Elektromobilität (z.B. eCARus), Energietechnik (z.B. Offshore-Windparks), Grundlagen regenerativer Energien (z.B. Netzplanung) Energieeffiziente Systeme (z.B. LEDs)
	Elektrotechnik und Informations-technik	Elektromobilität (z.B. TUfast), Energietechnik (z.B. Energiespeicher), Regenerative Energien (z.B. Auswirkung dezentraler Erzeugung) Energieeffiziente Systeme (z.B. Schaltungsdesign)
	Communications Engineering	Energy Efficient Systems (e.g. Circuits, Communication Devices)
	Technologie- und Managementorientierte Betriebswirtschaftslehre	Module "Nutzung regenerativer Energien" und "Photovoltaische Inselsysteme" in dem ingenieur- bzw. naturwissenschaftlichen Fach Elektro- und Informationstechnik (Lehrimport aus der Fakultät EI)
	Technologie und Biotechnologie der Lebensmittel (Bachelor)	Technische Thermodynamik, Energieversorgung technischer Prozesse, Thermische Verfahrenstechnik
	Technologie und Biotechnologie der Lebensmittel (Master)	Abfallwirtschaft, Energetische Biomassenutzung, Energetische Optimierung thermischer Prozesse, Energiemonitoring, Luftreinhaltung, Regenerative Energien, neue Energietechnologien, Regenerative Energien, neue Energietechnologien

Brauwesen und Getränketechnologie (Bachelor)	Technische Thermodynamik, Energieversorgung technischer Prozesse, Thermische Verfahrenstechnik
Brauwesen und Getränketechnologie (Master)	Abfallwirtschaft, Energetische Biomassenutzung, Energetische Optimierung thermischer Prozesse, Energiemonitoring, Luftreinhaltung, Regenerative Energien, neue Energietechnologien, Regenerative Energien, neue Energietechnologien
Bioprosesstechnik	Technische Thermodynamik, Energieversorgung technischer Prozesse, Thermische Verfahrenstechnik
Pharmazeutische Bioprosesstechnik	Abfallwirtschaft, Energetische Biomassenutzung, Energetische Optimierung thermischer Prozesse, Energiemonitoring, Luftreinhaltung, Regenerative Energien, neue Energietechnologien, Regenerative Energien, neue Energietechnologien
Landschaftsarchitektur und Landschaftsplanung	Erneuerbare Energien in der Landschaftsentwicklung - Projektthemen
Landschaftsarchitektur	Landschaftsästhetik und Erneuerbare Energien
Landschaftsplanung, Ökologie und Naturschutz	Erneuerbare Energien in der Landschaftsentwicklung - Projektthemen
Umweltplanung und Ingenieurökologie	Erneuerbare Energien - Vertiefungsmöglichkeit über Kernfächer
Sustainable Ressource Management	Waste management
Forstwissenschaft und Ressourcenmanagement	Technologie und Verwertungslinien von sonstigen biogenen Rohstoffen, Energieholzplantagen
Forst- und Holzwissenschaft	Verfahren der stofflichen und energetischen Verwertung, Plantagentechnologie (KUP)

Universität Passau	Geographie	Nachwachsende Rohstoffe für Energieversorgung
	ICBS	Gesellschaftliche Fragestellungen zur Energieversorgung
	Governance and Public Policy	Energieversorgung aus politikwissenschaftlicher Sicht
	Internet Computing	Energieeffizienz in Kommunikations- und Informationssystemen
	Informatik	Energieeffizienz in Kommunikations- und Informationssystemen
	IT-Sicherheit	Energieeffizienz in Kommunikations- und Informationssystemen
	Informatik	Energieeffizienz in Kommunikations- und Informationssystemen
Universität Regensburg	Chemie	Nachhaltige Chemie
Universität Würzburg	Technologie der Funktionswerkstoffe	Materialien zur Energiegewinnung