

*Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
IZES – Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme
Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie
| 31. Januar 2018*

Teilbericht 4 **des Forschungsprojekts** **TF_Energiewende –** **Entscheidungsunterstützung** **für die staatliche Förderung** **anwendungsnaher** **Forschungsvorhaben –** **Teil A: Anforderungen**

Teilprojekt A im Rahmen des strategischen
BMW i – Leitprojekts „Trends für die
Energieforschung“

Dr. Simon Hirzel

Dr. Tim Hettesheimer

(Fraunhofer-Institut für System- und
Innovationsforschung ISI)

Disclaimer:

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 03ET4036A-C durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts liegt bei den Autoren.

Bitte den Bericht folgendermaßen zitieren:

Hirzel, S.; Hettesheimer, T. (2018): Technologien für die Energiewende. Teilbericht 4 (Entscheidungsunterstützung für die staatliche Förderung anwendungsnaher Forschungsvorhaben – Teil A: Anforderungen) an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Wuppertal Institut, Fraunhofer ISI, IZES: Wuppertal, Karlsruhe, Saarbrücken.

Kontakt:

Dr. Simon Hirzel
Tel.: +49 721 / 6809 – 405
Fax: +49 721 / 6809 – 272
E-Mail: simon.hirzel@isi.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	6
1 Einführung	7
1.1 Hintergrund	7
1.2 Problemstellung	8
1.3 Zielsetzung	10
1.4 Gesamtansatz zur Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungssystems	11
2 Rahmenbedingungen für Förderentscheidungen	13
2.1 Förderrechtlicher Rahmen für staatliche Förderentscheidungen	13
2.2 Organisatorischer Rahmen für die Begleitung von Fördervorhaben	17
3 Instrumente und Bewertungskonzepte im Kontext der Energieforschungsförderung	20
3.1 Technologischer Reifegrad	20
3.2 Innovationsbiographien	22
3.3 Ansätze zur programmatischen Ausgestaltung der Energieforschungsförderung	23
3.3.1 Ansatz im Förderschwerpunkt „Eduar&D“	23
3.3.2 Ansatz des Projekts „Energietechnologien 2050“	24
3.3.3 Ansatz des Projekts „Technologien für die Energiewende“	26
3.3.4 Zwischenfazit	28
3.4 Ansätze zur operativen Bewertung von Anträgen im Bereich der Energieforschungsförderung	28
3.4.1 Europäisches Rahmenprogramm Horizont 2020	29
3.4.2 Demonstrationsprojekte im Rahmen des EU ETS	31
3.4.3 Österreichische Energieforschungsförderung	32
3.4.4 Dänisches Energietechnologisches Entwicklungs- und Demonstrationsprogramm	34
3.4.5 US-amerikanische Förderung durch die ARPA-E	36
3.4.6 Antragsbewertung durch Risikokapitalgeber am Beispiel KIC InnoEnergy SE	38
3.4.7 Zwischenfazit	40
4 Schlussfolgerungen zu den Anforderungen an ein System zur Entscheidungsunterstützung	41
5 Bestimmung eines methodischen Ansatzes für die Entscheidungsunterstützung	44
5.1 Theoretische Grundlagen multikriterieller Verfahren der Entscheidungsunterstützung	44
5.1.1 Nutzentheoretische Verfahren	46
5.1.2 Prävalenzverfahren	47
5.2 Diskussion der Rahmenbedingungen und Anforderungen mit Blick auf die Methodenwahl	48
5.3 Methodenwahl für die Entscheidungsunterstützung	51
6 Abschließende Bemerkungen zur Konzipierung und Anwendung des Entscheidungsunterstützungssystems	54
7 Literatur	55

Abkürzungsverzeichnis

AEUV	Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union
ARPA-E	Advanced Research Projects Agency –Energy
AGVO	Allgemeine Gruppenfreistellungsverordnung
AHP	Analytischer Hierarchie Prozess
BHO	Bundeshaushaltsordnung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
CSA	Coordination and Support Action
d.h.	das heißt
EduaR&D	Energie-Daten und Analyse R&D
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EIT	European Institute of Innovation and Technology
ELECTRE	Elimination Et Choix Traduisant la Réalité
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
EU ETS	EU Emissions Trading System
EWR	Europäische Wirtschaftsraum
F&E	Forschung und Entwicklung
FFG	Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft
HGrG	Haushaltsgrundsätze-gesetz
IA	Innovation Action
KIC	Knowledge and Innovation Communities
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
MADM	Mult-Attribute Decision Making
MCDA	Multi-Criteria Decision Aid
Mio.	Millionen
MODM	Multi-Objective Decision Making
NASA	National Aeronautics and Space Administration
o.ä.	oder ähnlich
PROMETHEE	Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations
RIA	Research and Innovation Action
TRL	Technology Readiness Level
VV-BHO	Allgemeine Verwaltungsvorschriften zur Bundeshaushaltsordnung
z.B.	zum Beispiel

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Technologische Reifegrade zur Bewertung von Energietechnologien -----	21
Tabelle 2	Determinanten und Erkenntnisse zu Diffusionsprozessen -----	24
Tabelle 3	Übersicht und Zielsetzung der genutzten Kriterien -----	25
Tabelle 4	Übersicht und Zielsetzung der genutzten Kriterien -----	27
Tabelle 5	Auszug der Bewertungstabelle für Anträge in Horizont 2020 -----	30
Tabelle 6	Interpretation der Punktwerte in Horizont 2020 -----	31
Tabelle 7	Anforderungen an den Wissensaustausch für Demonstrationsprojekte gemäß Anhang II des Kommissionsbeschlusses vom 3. November 2010 über Kriterien und Maßnahmen für die Finanzierung von kommerziellen Demonstrationsprojekten im Rahmen des Handels von Treibhausgasemissionszertifikaten (eigene Spaltenbeschriftung) -----	32
Tabelle 8	Bewertungskriterien, Schwellenwerte und Maximalpunkte für Einzelprojekte der Industriellen Forschung gemäß FFG (2016), gekürzt um Fußnote zu Kriterium 1.4 -----	33
Tabelle 9	Bewertungskriterien im dänischen EUDP-Programm (eigene Zusammenfassung sowie Übersetzung) -----	35
Tabelle 10	Bewertungskriterien im US-amerikanischen ARPA-E am Beispiel des Förderaufrufs zum Thema „Facsimile Appearance To Create Energy Savings (FACES)“ (eigene Übersetzung mit Kürzungen) -----	37
Tabelle 11	Weitere Bewertungskriterien im US-amerikanischen ARPA-E am Beispiel des Förderaufrufs zum Thema „Facsimile Appearance To Create Energy Savings (FACES)“ (eigene Übersetzung mit Kürzungen) -----	38
Tabelle 12	Bewertungskriterien gemäß KIC InnoEnergy -----	40
Tabelle 13	Übersicht binärer Präferenzrelationen -----	52
Tabelle 14	Systematische Auswahl einer MADM-Methode -----	53

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Schema des Technikzyklus-Modells-----	9
Abbildung 2	Entwurf des Verfahrensablaufs eines Entscheidungsunterstützungssystems -----	11
Abbildung 3	Übersicht des Vorgehens im Gesamtablauf -----	12
Abbildung 4	Ablauf eines erfolgreichen Projektantrags aus administrativer Sicht -----	18
Abbildung 5	Schematisches Vorgehen zur Erstellung einer Innovationsbiographie -----	22
Abbildung 6	Einteilung von MADM-Methoden nach Art der Information -----	45
Abbildung 7	Anforderungen an ein Bewertungsverfahren illustriert anhand eines morphologischen Kastens -----	48

1 Einführung

1.1 Hintergrund

Die Entwicklung wettbewerbsfähiger, effizienter und umweltfreundlicher Energietechnologien durch die Förderung der Energieforschung ist ein strategisches Element der Energiepolitik. Dadurch soll ein zuverlässiges und wettbewerbsfähiges Energiesystem erreicht werden, mit dem sich die langfristigen energie- und klimapolitischen Ziele erreichen lassen (BMWi 2016). In Deutschland geben seit den 1970er Jahren Energieforschungsprogramme den Rahmen und die Grundzüge der Energieforschungspolitik vor und bilden dadurch die Grundlage für Förderentscheidungen im Rahmen der Energieforschung.

Die derzeitige programmatische Ausrichtung der Energieforschungspolitik wird durch das 6. Energieforschungsprogramm von 2011 unter Federführung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie festgelegt. Dort werden als die drei Zielsetzungen des Programms folgende Punkte genannt (BMWi 2011):

- 1 | **Beitrag leisten zur Erfüllung der energiewirtschaftlichen und klimapolitischen Vorgaben der Bundesregierung:** Demnach sollen durch die Förderpolitik prioritär Bereiche und Technologien gefördert werden, die eine Verbesserung der Energieeffizienz und des Ausbaus der erneuerbaren Energien bedingen. Hierbei wird es insbesondere als Aufgabe gesehen, Technologien *kostengünstiger* zu machen, um dadurch eine schnellere *Marktdurchdringung* zu ermöglichen, wobei auch die Umwelt- und Naturverträglichkeit hervorgehoben werden.
- 2 | **Ausbau der Führungsposition deutscher Unternehmen im Bereich moderner Energietechnologien:** Hierbei wird die Bedeutung der Weltmärkte zur *Flankierung* der internationalen Klimaschutzpolitik sowie der Sicherung von *Wachstum* und *Beschäftigung* in Deutschland hervorgehoben.
- 3 | **Sicherung und Erweiterung technologischer Optionen:** Hierbei soll durch eine technologieoffene und -breite Förderpolitik die *Vielfalt* technologischer Optionen und die Flexibilität der Energieversorgung sichergestellt werden.

Die Rolle des Staates wird primär in der Sicherstellung von Ausbildung und Grundlagenforschung sowie in der Schaffung der Rahmenbedingungen gesehen, um technischen Fortschritt und Innovationen zu sichern. Demgegenüber obliegen Forschung und Entwicklung primär der Wirtschaft. Allerdings gelten beim Vorliegen bestimmter Marktdefizite von diesem Grundverständnis verschiedene Ausnahmen (BMWi 2011)¹:

¹ Vgl. weitergehend auch Abschnitt 4 der Mitteilung der Kommission zum Unionsrahmen für staatliche Beihilfen zur Förderung von Forschung, Entwicklung und Innovation (2014/C 198/01).

- **Langfristige Horizonte:** Lange, teilweise weit über betriebswirtschaftliche Planungshorizonte hinausreichende *Zeithorizonte* für energietechnische Entwicklungen bis zur kommerziellen Nutzung
- **Risiken:** Bedeutende technische und ökonomische *Risiken* für die Erforschung und Entwicklung von Energietechnologien, die vom Markt nicht abgedeckt werden können
- **Strategische Relevanz:** *Strategische Bedeutung* von Energie für Wirtschaft, Umwelt, Gesellschaft

Neben der institutionellen Förderung unterstützt der Staat im Rahmen der Projektförderung demgemäß Universitäten, Forschungsinstitute und Unternehmen durch Zuwendungen für Entwicklungsvorhaben, die am Markt in absehbarer Zeit nicht selbstständig entwickelt werden. Typischerweise wird die Projektförderung als Verbundforschung umgesetzt, bei der mehrere Antragssteller gemeinsam vorwettbewerbliche Fragestellungen zur Verbesserung oder Neuentwicklung von Energietechnologien bearbeiten. Entsprechende Vorhaben müssen in der Regel in Deutschland umgesetzt und verwertet werden (BMW i 2011).

Die im Rahmen des Energieforschungsprogramms eingesetzten Mittel des Bundes sind von rund 400 Millionen Euro im Jahr 2006 auf rund 863 Million Euro im Jahr 2015 angestiegen und haben sich dadurch mehr als verdoppelt. Knapp zwei Drittel (65 %) der Mittel entfallen davon auf die Projektförderung. Im Jahr 2015 wurden damit mehr als 1.200 Forschungsprojekte neu bewilligt (BMW i 2016).

1.2 Problemstellung

Der Förderung anwendungsnahe Projekte kommt vor dem Hintergrund der energie- und klimapolitischen Zielsetzungen eine besondere Bedeutung zu, um in der Grundlagenforschung entwickelte Techniken und Konzepte erfolgreich und frühzeitig in den Markt zu bringen. Staatliche Interventionen können einerseits die Erforschung bestimmter technologischer Entwicklungen überhaupt erst ermöglichen, und andererseits können sie die Überwindung von Entwicklungsschwierigkeiten begünstigen.

Zur Veranschaulichung dieses Sachverhalts kann das 6-Phasen-Technikzyklusmodell (Meyer-Krahmer 2004) herangezogen werden. Dabei handelt es sich um eine dreidimensionale Darstellung, die das Aktivitätsniveau, die Breite und den Zeitablauf der Forschungsaktivitäten veranschaulicht (Abbildung 1). Sechs Phasen werden unterschieden: Nach einer Entdeckung (Phase 1) werden dadurch denkbare neue Lösungsansätze auf andere Fragestellungen übertragen und auf breiter Front optimistisch erforscht (Phase 2). Im Zeitablauf erweisen sich einige der erforschten Optionen als wenig realisierbar, was einen Rückgang des Aktivitätsniveaus (Phase 3) nach sich zieht. Infolge dessen führen nur Akteure mit dem größten Durchhaltevermögen oder radikalen neuen Lösungen die Forschung in neu orientierter Form fort (Phase 4). Die von Ihnen erzielten Durchbrüche führen danach wieder zu einer neuen Phase des Aufstiegs, in dem die realisierten Lösungen den Markt prägen (Phase 5). Im Anschluss daran werden durch Skaleneffekte die Einsatzgebiete breiter und neue Anwendungsfelder möglich (Phase 6).

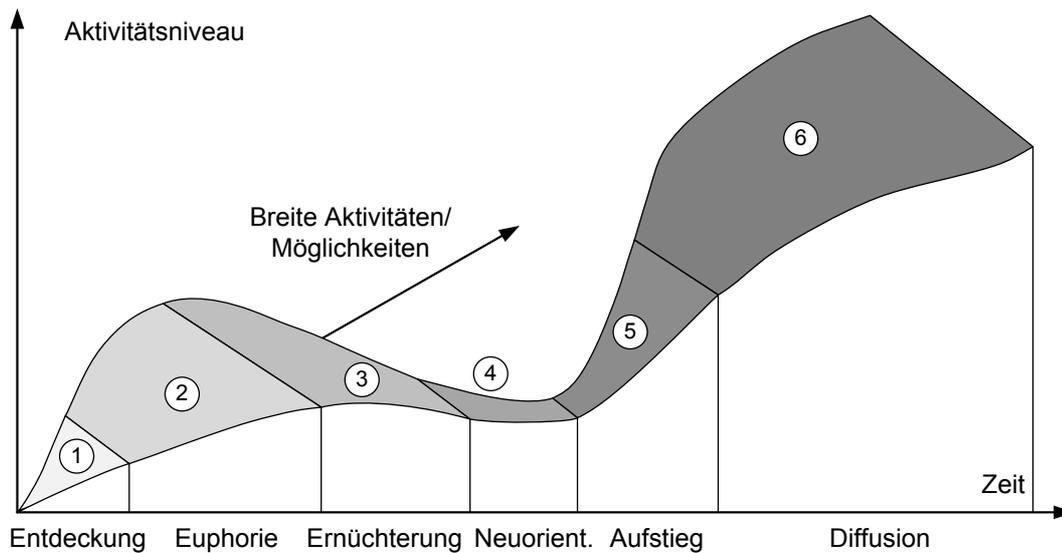


Abbildung 1 Schema des Technikzyklus-Modells

Quelle: Mit Anpassungen nach Meyer-Krahmer (2004)

Mit Blick auf einen erfolgreichen und raschen Transfer von anwendungsnahen Forschungsergebnissen ist es dabei von Interesse, insbesondere in der Phase der Neuorientierung eine Beibehaltung aussichtsreicher Forschungsarbeiten und in der Phase des Aufstiegs eine rasche Umsetzung zu begünstigen. Staatlichem Engagement kann ein hohes Maß an Effektivität zugeschrieben werden, wenn bestehende Lücken zwischen Innovation und Marktanwendung geschlossen werden können und wenn sich dadurch Multiplikatoreffekte erreichen lassen, etwa durch eine Öffnung oder starke Positionierung in einem Zukunftsmarkt.

Allerdings stellen sich im Rahmen einer möglichen Förderung anwendungsnaher Forschungsvorhaben mehrere Herausforderungen:

- **Vielfältige Fördermöglichkeiten:** Generell bietet sich durch die Vielzahl an Forschungsaktivitäten im Bereich der Grundlagenforschung eine hohe Zahl interessanter Fördermöglichkeiten für den Transfer in die Anwendung. Die Herausforderung besteht darin, angesichts limitierter Fördermittel die Vorhaben auszuwählen, die ohne staatliche Unterstützung kaum zeitnah und erfolgreich am Markt bestehen können.
- **Hoher Mittelbedarf anwendungsnaher Projekte:** Anwendungsnahe Projekte zeichnen sich in der Regel besonders dadurch aus, dass sie im Vergleich zu Projekten aus dem Bereich der Grundlagenforschung besonders viele Mittel benötigen, da die entwickelten Verfahren und Konzepte im größeren Maßstab oder in der Breite umgesetzt werden müssen. Daher ist eine Beschränkung auf besonders aussichtsreiche Projekte vonnöten.
- **Höherer Transparenzbedarf:** Bei der Bewertung anwendungsnaher Projekte ist es aufgrund ihres tendenziell größeren Umfangs umso wichtiger, möglichst objektive, transparente und nachvollziehbare Entscheidungen bei der Bewertung der Projekte zu fällen. Dies gilt auch angesichts der in den letzten Jahren steigenden Fördervolumina und Förderzahlen.

- **Abhängigkeit vom Marktumfeld:** Je weiter eine Technik in Richtung einer kommerziellen Verwertung entwickelt ist, desto stärker ist der Einfluss des Marktes darauf, ob die am Anfang stehende Erfindung zu einer erfolgreichen Innovation wird. Und desto wichtiger ist es, die Rahmenbedingungen auf dem Markt bei der Förderentscheidung mit einzubeziehen.
- **Festlegung des Förderumfangs:** Eng mit der Marktsituation verbunden stellt sich weiterhin die Frage nach dem angemessenen Förderumfang. Die Förderung muss einerseits so hoch sein, um mit Blick auf den erfolgreichen Technikzyklus die entsprechende Wirkung zu entfalten. Sie sollte allerdings im Sinne eines wirtschaftlichen Mitteleinsatzes auch möglichst sparsam ausfallen, und sie muss konform mit dem Rechtsrahmen erfolgen.

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

1.3 Zielsetzung

Vor diesem Hintergrund ist es ein Ziel im Rahmen des Forschungsprojekts *Technologien für die Energiewende* (kurz: TF_Energiewende), einen operativ nutzbaren Ansatz zur Entscheidungsunterstützung für staatliche Förderentscheidungen zu anwendungsnahen Forschungsmaßnahmen zu entwickeln. Durch diesen Ansatz sollen Förderentscheidungen für derartige Maßnahmen methodisch gestützt einfacher und transparenter getroffen werden können.

Bei Entscheidungen dieser Art sind unterschiedliche Aspekte zu berücksichtigen, beispielsweise die inhaltliche und formale Qualität eines Vorhabens, Fähigkeiten und Expertise des Antragsstellers, das jeweilige Marktumfeld und die Förderlandschaft. Um zu einer fundierten Entscheidung zu gelangen, sind diese Aspekte zusammenzuführen und gegeneinander abzuwägen. Aus methodischer Sicht wurde in den vergangenen Jahrzehnten eine große Vielfalt unterschiedlicher Verfahren für derartige multikriterielle Problemstellungen entwickelt, die Entscheidungsträger bei der praktischen Bewertung von Entscheidungsprozessen unterstützen sollen.

Das vorliegende Dokument hat zum Ziel, methodische Anforderungen an eine solche Bewertungsmethodik zusammenzustellen und Schlussfolgerungen hinsichtlich der Ausgestaltung der Methodik zu formulieren. Zudem soll auf dieser Grundlage unter der Vielzahl möglicher Ansätze eine aussichtsreiche Bewertungsmethodik für ein Entscheidungsunterstützungssystem ausgewählt werden.

Dazu werden im Folgenden zunächst die Rahmenbedingungen für Förderentscheidungen aus rechtlicher und organisatorischer Perspektive dargestellt. Dem folgt eine Zusammenstellung verschiedener Ansätze aus dem Bereich der Energieforschungsförderung, die dort für die programmatische Ausrichtung und die operative Bewertung von Anträgen vorgeschlagen wurden oder eingesetzt werden. Auf dieser Grundlage werden Schlussfolgerungen formuliert, und im abschließenden Abschnitt wird ein multikriterielles Verfahren der Entscheidungsunterstützung gewählt, das den An-

forderungen aus den Rahmenbedingungen gerecht wird und passfähig zu bestehenden Bewertungsansätzen ist.

Als separates Dokument wird darauf aufbauend ein Leitfaden (Teil B dieses Teilberichts) vorgeschlagen, der eine praxisorientierte operative Hilfestellung für die Durchführung einer Bewertung von anwendungsnahen Forschungsanträgen ermöglichen soll.

1.4 Gesamtansatz zur Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungssystems

Bereits während der Antragsphase des Forschungsprojekts wurde ein erster Entwurf für ein System zur Entscheidungsunterstützung entwickelt (Abbildung 2). Dieser soll im Rahmen der weiteren Ausarbeitung für die Betrachtung von Anträgen zu Demonstrations- und Modellvorhaben konkretisiert werden.

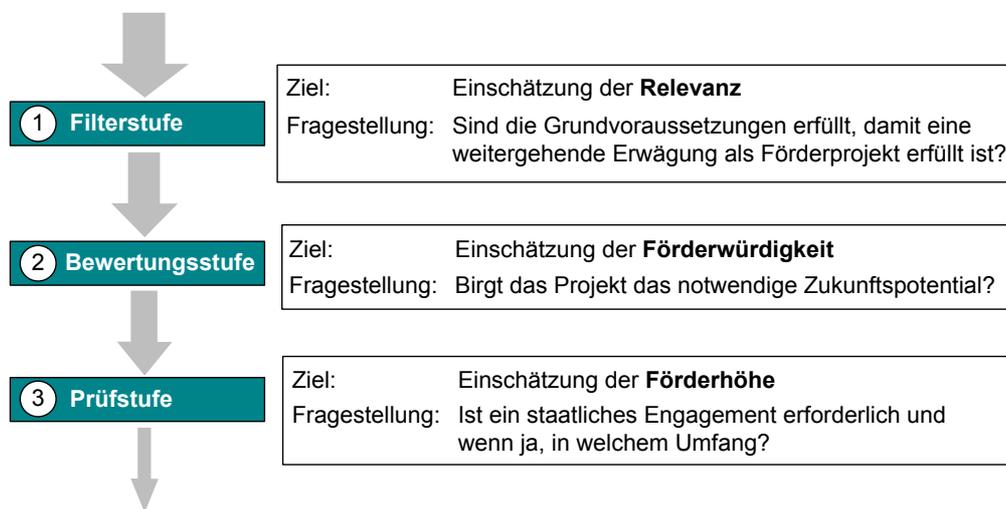


Abbildung 2 Entwurf des Verfahrensablaufs eines Entscheidungsunterstützungssystems

Quelle: Eigene Darstellung

Der Ansatz umfasst mehrere Analysestufen, wobei in jeder Stufe Anträge von einer Förderung ausgeschlossen werden können. Die Stufen lassen sich im Überblick wie folgt kurz charakterisieren:

- **Filterstufe:** In der Filterstufe geht es primär um die Definition und Spezifikation von Kriterien, die zwingend für eine weitergehende Erwägung als Demonstrations- respektive Modellvorhaben erfüllt sein müssen. Primär werden diese mit einer einfachen „Ja/Nein“-Abfrage untersucht; ein „Nein“ gilt dabei als ein Ausschlusskriterium für den Antrag.
- **Bewertungsstufe:** In der Bewertungsstufe geht es darum, eine zusammenfassende Einschätzung bezüglich der Förderwürdigkeit des vorgeschlagenen Vorhabens anhand verschiedenster Aspekte zu erreichen.
- **Prüfstufe:** In der Prüfstufe wird schließlich hinterfragt, ob ein staatliches Engagement zwingend notwendig ist oder ob bzw. inwieweit seitens der Antragssteller eine Bereitschaft bestünde, aufgrund der erwarteten Situation bei Markt und Umfeld auch selbstständig in die Umsetzung zu gehen.

Die konkrete Ausgestaltung dieses generellen Ansatzes erfolgte entlang mehrerer Arbeitsschritte. Sie umfasste als Ausgangspunkt zunächst die Zusammenstellung der in diesem Dokument dargestellten Anforderungen an das Bewertungskonzept bzw. Entscheidungsunterstützungssystem. Dem folgte die Konkretisierung einer Methodik in Verbindung mit einem dafür notwendigen Kriteriensatz und zugehörigen Operationalisierungen. Um die Anwendbarkeit des Ansatzes sicherzustellen, wurde er im Anschluss exemplarisch auf Fallbeispiele angewendet und dann, wo aufgrund der Ergebnisse dieser Anwendung notwendig, überarbeitet. Der daraus resultierende, praxisorientierte Leitfaden ist Teil B dieses Teilberichts zu entnehmen.

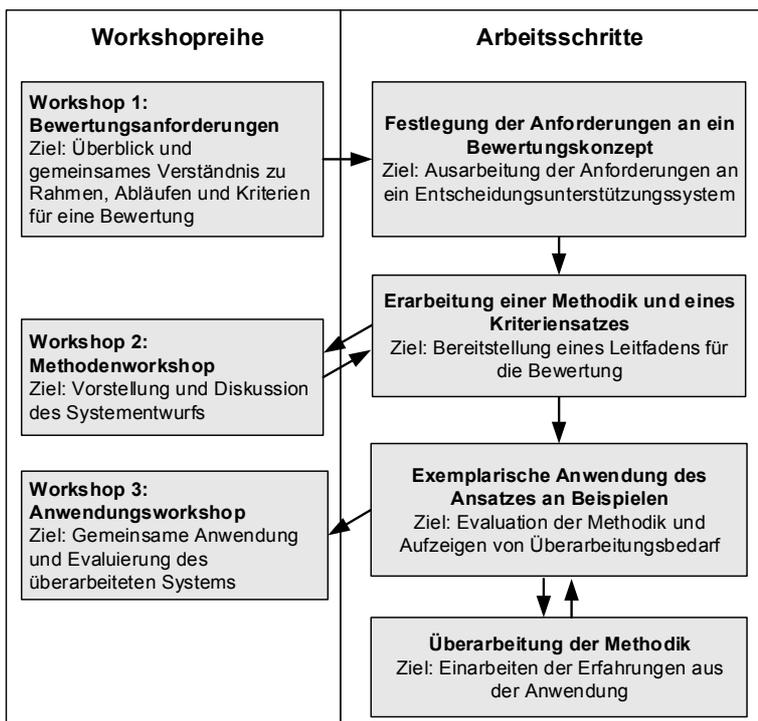


Abbildung 3 Übersicht des Vorgehens im Gesamtablauf

Quelle: Eigene Darstellung

Um sicherzustellen, dass die entwickelten Ansätze praxistauglich sind, wurde parallel eine dreiteilige Workshopreihe durchgeführt. Diese umfasste im ersten Workshop eine Diskussion der Anforderungen an die Bewertung, im zweiten Workshop die Vorstellung und Durchsicht des methodischen Entwurfs und im abschließenden dritten Workshop die Validierung des Ansatzes (Abbildung 3).

2 Rahmenbedingungen für Förderentscheidungen

Als wesentliche Grundlage für einen Ansatz der Entscheidungsunterstützung wird hier zunächst auf die Rahmenbedingungen für Förderentscheidungen eingegangen. Dabei werden im Folgenden zwei Bereiche skizziert: Einerseits legt insbesondere das europäische Beihilferecht wesentliche Rahmenbedingungen für die operative Ausgestaltung einer Bewertungsmethodik fest. Andererseits ist eine Betrachtung des organisatorischen Rahmens für die Entwicklung einer entsprechenden Methodik unerlässlich, da er unmittelbaren Einfluss auf die Wahl der Bewertungsmethode hat.

2.1 Förderrechtlicher Rahmen für staatliche Förderentscheidungen

Der rechtliche Rahmen spielt für die vorliegenden Zwecke insbesondere in Hinblick auf die Kategorisierung von Forschungsvorhaben und für die Ermittlung der (maximal zulässigen) Förderhöhe eine wichtige Rolle. Bei dieser Betrachtung sind sowohl nationale als auch europarechtliche Vorgaben maßgeblich.

Für die Diskussion der rechtlichen Rahmenbedingungen werden dabei drei Prämissen getroffen:

- 1 | Beihilfen für die Vorhaben sollen im Sinne eines Anschlusses an bestehende Fördermodalitäten im Bereich der Energieforschungsförderung in Form eines Zuschusses (nicht Kredite, Garantien, rückzahlbare Zuschüsse o.ä.) gewährt werden.
- 2 | Im Sinne eines anwendungsnahen Forschungsvorhabens beinhalten die Vorhaben weiterhin Forschungs- und Entwicklungsanteile, d.h. es handelt sich nicht um reine Anwendungs- oder Umsetzungsvorhaben.
- 3 | Anmeldeverfahren für Beihilfen sollen vermieden werden, d.h. sie sollen im Sinne des europäischen Rechts keiner Erfordernis einer Anmeldung unterliegen.

Aus nationaler Sicht sind mit Blick auf die Gewährung von Beihilfen insbesondere die Prinzipien der Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit zu nennen. Diese sind für die Verwendung öffentlicher Mittel gemäß Haushaltsgrundsätzegesetz (§6 HGrG) und Bundeshaushaltsordnung (§7 BHO) grundlegend. Die allgemeinen Verwaltungsvorschriften zur Bundeshaushaltsordnung (VV-BHO) legen dabei fest, dass das günstigste Verhältnis zwischen dem verfolgten Zweck und den eingesetzten Ressourcen anzustreben ist. Mit Blick auf Zuwendungen (auch §23, 44, BHO) ist der *wirtschaftliche* und *sparsame* Einsatz öffentlicher Mittel unter Abwägung der *technisch-wirtschaftlichen Risiken* sowie die *strategische Relevanz* des Antrags sicherzustellen (BMWi 2011). Die Bemessungsgrundlage für eine Förderung sind bei Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft die Projektkosten einschließlich der Gemeinkosten, bei Antragsstellern aus öffentlichen Einrichtungen sind es die Projektausgaben.

Über die genannten Vorgaben hinaus existieren auf nationaler Ebene weitere Richtlinien, Verwaltungsvorschriften und Arbeitshilfen, die weitergehende Festlegungen zur öffentlichen Zuwendung treffen, hier aber nicht weitergehend betrachtet werden.

Neben dem nationalen Recht wird die Gewährung einer Förderung insbesondere durch das europäische Beihilferecht geprägt. Die Artikel 107 bis 109 des Vertrags über die Arbeitsweise der europäischen Union (AEUV) setzen den generellen Rah-

men für die Gewährung staatlicher Beihilfen. Beihilfen des Staates, die bestimmte Unternehmen oder Produktionszweige begünstigen und damit den Wettbewerb zu verfälschen drohen oder diesen verfälschen, sind gemäß Artikel 107 AEUV generell untersagt, allerdings sind unter bestimmten Bedingungen staatliche Beihilfen möglich. Artikel 108 regelt verfahrenstechnische Grundsätze zur Überprüfung und Durchsetzung der Beihilfepraxis und zum Anmeldungs- und Genehmigungsverfahren von Beihilfen bei der Europäischen Kommission; Artikel 109 legt fest, wie Durchführungsverordnungen zu den vorherigen Artikeln zu erlassen sind und welche Arten von Beihilfen von der Anmeldung und Genehmigung freigestellt sind.

Freistellungen von der Anmeldepflicht für Beihilfen werden insbesondere durch mehrere De-minimis-Verordnungen und die Allgemeine Gruppenfreistellungsverordnung (AGVO) geregelt.

Bei De-minimis-Beihilfen handelt es sich um Beihilfen, denen aufgrund ihrer geringen Höhe kein relevanter Einfluss auf den Wettbewerb in der EU zugesprochen wird. Geregelt werden allgemeine De-minimis-Beihilfen durch die Verordnung 1407/2013; für spezielle Anwendungsbereiche wie Landwirtschaft, Fischerei und Dienstleistungen von allgemeinem Interesse sind weitere Verordnungen relevant. Gemäß Artikel 3 der Freistellungsverordnung darf ein Mitgliedstaat einem Unternehmen gemäß Artikel 2 innerhalb von drei Steuerjahren im Allgemeinen Beihilfen bis maximal 200 000 Euro gewähren. Dabei können mehrere Einzelbeihilfen kumuliert werden, solange die Schwellenwerte eingehalten werden (Artikel 5).

Relevantere als die De-minimis-Beihilfen erscheinen in dieser Betrachtung – aufgrund der weitaus höheren Schwellen – die Regelungen zu den freigestellten Beihilfen durch die Allgemeine Gruppenfreistellungsverordnung (AGVO). Die Verordnung setzt sich aus drei Kapiteln zusammen:

- 1 | Gemeinsame Bestimmungen (Kapitel I)
- 2 | Monitoring (Kapitel II)
- 3 | Besondere Bestimmungen für einzelne Beihilfegruppen (Kapitel III)

Die AGVO unterscheidet in Artikel 1 verschiedene Beihilfegruppen. Gemäß Artikel 3 müssen die jeweiligen Gruppen für eine Freistellung sowohl die Vorgaben von Kapitel I als auch die in Kapitel III genannten Voraussetzungen für die jeweilige Gruppe erfüllen. Unter Aufgriff der Prämisse, dass im vorliegenden Fall generell Vorhaben betrachtet werden, die einen Forschungs- und Entwicklungsanteil haben, beziehen sich die nachfolgenden Ausführungen auf „Beihilfen für Forschung und Entwicklung und Innovation“ (Abschnitt 4).

In Artikel 2 der AGVO werden verschiedene Definitionen festgelegt, die für die Entwicklung der Entscheidungsunterstützung, insbesondere mit Blick auf die Festlegung begrifflicher Definitionen, von besonderer Relevanz sind. Gemäß der AGVO werden mehrere Arten von Forschungsaktivitäten unterschieden, die die erreichbaren Beihilfeintensitäten mitbestimmen: Grundlagenforschung, industrielle Forschung, experimentelle Entwicklung sowie Durchführbarkeitsstudien. Box 1 gibt Definitionen der Begriffe laut Richtlinientext.

Box 1: Zentrale Begrifflichkeiten gemäß Artikel 2 AGVO (eigene Hervorhebungen)

- **„Grundlagenforschung“:** experimentelle oder theoretische Arbeiten, die in erster Linie dem Erwerb neuen Grundlagenwissens *ohne erkennbare direkte kommerzielle Anwendungsmöglichkeiten* dienen;
- **„Industrielle Forschung“:** planmäßiges Forschen oder kritisches Erforschen zur Gewinnung *neuer* Kenntnisse und Fertigkeiten mit dem Ziel, neue Produkte, Verfahren oder Dienstleistungen *zu entwickeln* oder *wesentliche Verbesserungen* bei bestehenden Produkten, Verfahren oder Dienstleistungen herbeizuführen. Hierzu zählen auch die *Entwicklung von Teilen komplexer Systeme* und unter Umständen auch der Bau von *Prototypen in einer Laborumgebung* oder in einer Umgebung mit simulierten Schnittstellen zu bestehenden Systemen wie auch von *Pilotlinien*, wenn dies für die industrielle Forschung und insbesondere die *Validierung von technologischen Grundlagen* notwendig ist;
- **„Experimentelle Entwicklung“:** Erwerb, Kombination, Gestaltung und Nutzung *vorhandener wissenschaftlicher, technischer, wirtschaftlicher und sonstiger einschlägiger Kenntnisse und Fertigkeiten* mit dem Ziel, neue oder verbesserte Produkte, Verfahren oder Dienstleistungen zu entwickeln. Dazu zählen zum Beispiel auch Tätigkeiten zur Konzeption, Planung und Dokumentation neuer Produkte, Verfahren und Dienstleistungen. Die experimentelle Entwicklung kann die Entwicklung von Prototypen, Demonstrationsmaßnahmen, Pilotprojekte sowie die Erprobung und Validierung neuer oder verbesserter Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in einem für die realen Einsatzbedingungen repräsentativen Umfeld umfassen, wenn das Hauptziel dieser Maßnahmen darin besteht, im Wesentlichen noch nicht feststehende Produkte, Verfahren oder Dienstleistungen weiter zu verbessern. Die experimentelle Entwicklung kann die Entwicklung von kommerziell nutzbaren Prototypen und Pilotprojekten einschließen, wenn es sich dabei zwangsläufig um das kommerzielle Endprodukt handelt und dessen Herstellung allein für Demonstrations- und Validierungszwecke zu teuer wäre. Die experimentelle Entwicklung umfasst *keine routinemäßigen oder regelmäßigen Änderungen* an bestehenden Produkten, Produktionslinien, Produktionsverfahren, Dienstleistungen oder anderen laufenden betrieblichen Prozessen, selbst wenn diese Änderungen Verbesserungen darstellen sollten;
- **„Durchführbarkeitsstudie“:** Bewertung und Analyse des *Potenzials eines Vorhabens* mit dem Ziel, die Entscheidungsfindung durch objektive und rationale Darlegung seiner Stärken und Schwächen sowie der mit ihm verbundenen Möglichkeiten und Gefahren zu erleichtern und festzustellen, welche Ressourcen für seine Durchführung erforderlich wären und welche Erfolgsaussichten das Vorhaben hätte;

Gemäß Artikel 4 werden Anmeldeschwellenwerte für die Höhe der Beihilfen definiert. Werden diese Schwellen überschritten, gelten die Regelungen der AGVO nicht. Die Schwellenwerte für Forschungs- und Entwicklungsbeihilfen belaufen sich abhängig vom überwiegend betroffenen Bereich auf folgende Beträge:

- Grundlagenforschung: 40 Mio. Euro pro Unternehmen und Vorhaben, wenn mehr als die Hälfte der beihilfefähigen Kosten auf Tätigkeiten in der Grundlagenforschung entfällt
- Industrielle Forschung: 20 Mio. Euro pro Unternehmen und Vorhaben, wenn mehr als die Hälfte der beihilfefähigen Kosten auf Tätigkeiten in der industriellen Forschung oder auf Tätigkeiten in der industriellen und Grundlagenforschung entfällt
- Experimentelle Entwicklungen: 15 Mio. Euro pro Unternehmen und Vorhaben, wenn mehr als die Hälfte der beihilfefähigen Kosten auf Tätigkeiten in der experimentellen Entwicklung entfällt
- Durchführbarkeitsstudien: 7,5 Mio. Euro pro Studie

Hinweise zur Ermittlung der Beihilfeintensität und der beihilfefähigen Kosten gibt Artikel 7. Demgemäß sind als Kosten die Beträge vor Abzug von Steuern und sonstigen Abgaben heranzuziehen und ihre Höhe gegebenenfalls auf den Gewährungszeitpunkt zu beziehen. Artikel 8 trifft Regelungen zur Kumulierung von Beihilfen, Arti-

kel 9 bezieht sich auf die Veröffentlichung von Informationen über Beihilfen. Artikel 5 legt darüber hinaus Vorgaben zur Transparenz der Beihilfe fest und Artikel 6 setzt voraus, dass Beihilfen einen Anreizeffekt entfalten. Dies wird darin konkretisiert, dass der Beihilfeempfänger vor Beginn der Arbeiten einen schriftlichen Beihilfeantrag gestellt haben muss und einen Satz formaler Mindestangaben übermittelt.

Spezielle Vorgaben für Beihilfen für den hier betrachteten Bereich „Forschung und Entwicklung und Innovation“ werden in Abschnitt 4 von Kapitel III der AGVO durch die Artikel 25 bis 30 festgelegt. Von besonderer Relevanz für die Festlegung einer prozentualen Obergrenze des Beihilfeanteils ist Artikel 25.

Absatz 2 von Artikel 25 gibt vor, dass der geförderte Teil eines Forschungs- und Entwicklungsvorhabens vollständig einer oder mehreren der Kategorien „Grundlagenforschung“, „Industrielle Forschung“, „Experimentelle Entwicklung“ und „Durchführbarkeitsstudien“ zuordenbar sein muss. Absatz 3 regelt, dass die beihilfefähigen Kosten einer dieser Kategorien zugerechnet werden müssen. Als beihilfefähige Kosten werden dabei, soweit sie für das Vorhaben eingesetzt bzw. genutzt werden, folgende Kategorien genannt:²

- Personalkosten: Kosten für Forscher, Techniker und sonstiges Personal,
- Kosten für Instrumente und Ausrüstung,
- Kosten für Gebäude und Grundstücke,
- Kosten für Auftragsforschung, Wissen, Patente, Beratung und gleichwertige Dienstleistungen, die ausschließlich für das Vorhaben genutzt werden,
- zusätzliche Gemeinkosten und sonstige Betriebskosten, die unmittelbar durch das Vorhaben entstehen.

Grundsätzlich gelten dabei gemäß Absatz 4 folgende Höchstsätze pro Beihilfeempfänger für die Beihilfeintensität der beihilfefähigen Kosten:

- Grundlagenforschung: 100 %
- Industrielle Forschung: 50 %
- Experimentelle Entwicklung: 25 %

Die Beihilfeintensitäten für die industrielle Forschung und die experimentelle Forschung können maximal bis 80 % erhöht werden, wenn bestimmte Arten von Unternehmen betroffen oder andere Bedingungen erfüllt sind.

Die weiteren Inhalte des entsprechenden Abschnitts betreffen Investitionsbeihilfen für Forschungsinfrastrukturen (Artikel 26), Beihilfen für Innovationscluster (Artikel 27), Innovationsbeihilfen (Artikel 28), Beihilfen für Prozess- und Organisationsinnovationen (Artikel 29) sowie F&E-Beihilfen für Fischerei und Aquakultur (Artikel 30). Sie erscheinen für die vorliegende Betrachtung anwendungsnaher Demonstrationsprojekte nicht relevant.

² Für anteilige Nutzungen von Instrumenten und Ausrüstung, Gebäuden und Grundstücken gelten weitere Einschränkungen.

2.2 Organisatorischer Rahmen für die Begleitung von Fördervorhaben

Neben dem rechtlichen Rahmen spielen bestehende Strukturen und Vorgehensweisen bei der Auswahl von Fördervorhaben eine wichtige Rolle, um ein mit dem derzeitigen Vorgehen passfähiges Konzept für die Auswahl anwendungsnaher Forschungsvorhaben vorzuschlagen.

Generell liegen zu Projektauswahl und -bewertung in Förderinstitutionen nur in relativ begrenztem Umfang zuverlässige Informationen vor. Eine eingehendere Analyse bestehender Prozesse wurde aus einem Zusammenschluss von rund 30 Organisationen aus 28 Europäischen Staaten (*TAFTIE - The European Network of Innovation Agencies*) heraus veröffentlicht. Die daran beteiligten Agenturen sind mit der Umsetzung nationaler Technologieprogramme betraut und arbeiten unter anderem durch zeitlich begrenzte Arbeitsgruppen zusammen.

Zur Verbesserung der Bewertung von Projektanträgen wurde eine entsprechende Arbeitsgruppe (*Task Force SELECT*) etabliert (Biegelbauer et al. 2016). Ihr Ziel war es, einen Überblick unterschiedlicher Auswahlverfahren zu schaffen, diese strukturiert einander gegenüber zu stellen und Vorgehensweisen und Empfehlungen für die Antragsauswahl unter Ausweisung der spezifischen Vor- und Nachteile sowie Grenzen der Verfahren zu formulieren.

Bei dieser Betrachtung über die Institutionen hinweg wurde deutlich, dass die Innovationsagenturen ihre Bewertungsprozesse sehr unterschiedlich ausgestalten können und dabei unterschiedliche Aspekte abwägen müssen. So lassen sich Ausschreibungen als terminierte oder offene Aufrufe gestalten, wodurch entweder nacheinander einzelne Anträge oder zu bestimmten Terminen Antragsbündel vorliegen. Ferner können bei einer Bewertung mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen interne oder externe Gutachter eingebunden werden. Gleichzeitig müssen die Organisationen Abwägungen zwischen Effizienz und Effektivität treffen, da beispielsweise die Einbindung mehrerer oder teurerer Experten einerseits eine höhere Zuverlässigkeit bietet, andererseits aber auch mehr Aufwand bedeutet. Ferner gehen in die Auswahl auch Überlegungen dazu ein, inwieweit Standard-Entwicklungen oder auch radikale Ansätze gefördert werden sollen und inwieweit die Projekte an sich oder als Teil eines Gesamtsystems oder Portfolios gesehen werden können. Eine wesentliche Schlussfolgerung der Arbeitsgruppe bestand darin, dass es angesichts der Unterschiede in ihren regulatorischen, monetären, funktionellen und führungsbezogenen Ansätzen keinen allgemeingültigen besten Ansatz für Auswahlprozesse gibt. Vielmehr wurde eine Reihe von Empfehlungen zu bewährten Vorgehensweisen formuliert und für Prozesse, Gutachter, Kriterien und Gesamtbewertung eine Reihe von Kernfragen aufgeworfen, und es wurden Beispiele aus den beteiligten Agenturen dargestellt (Biegelbauer et al. 2016).

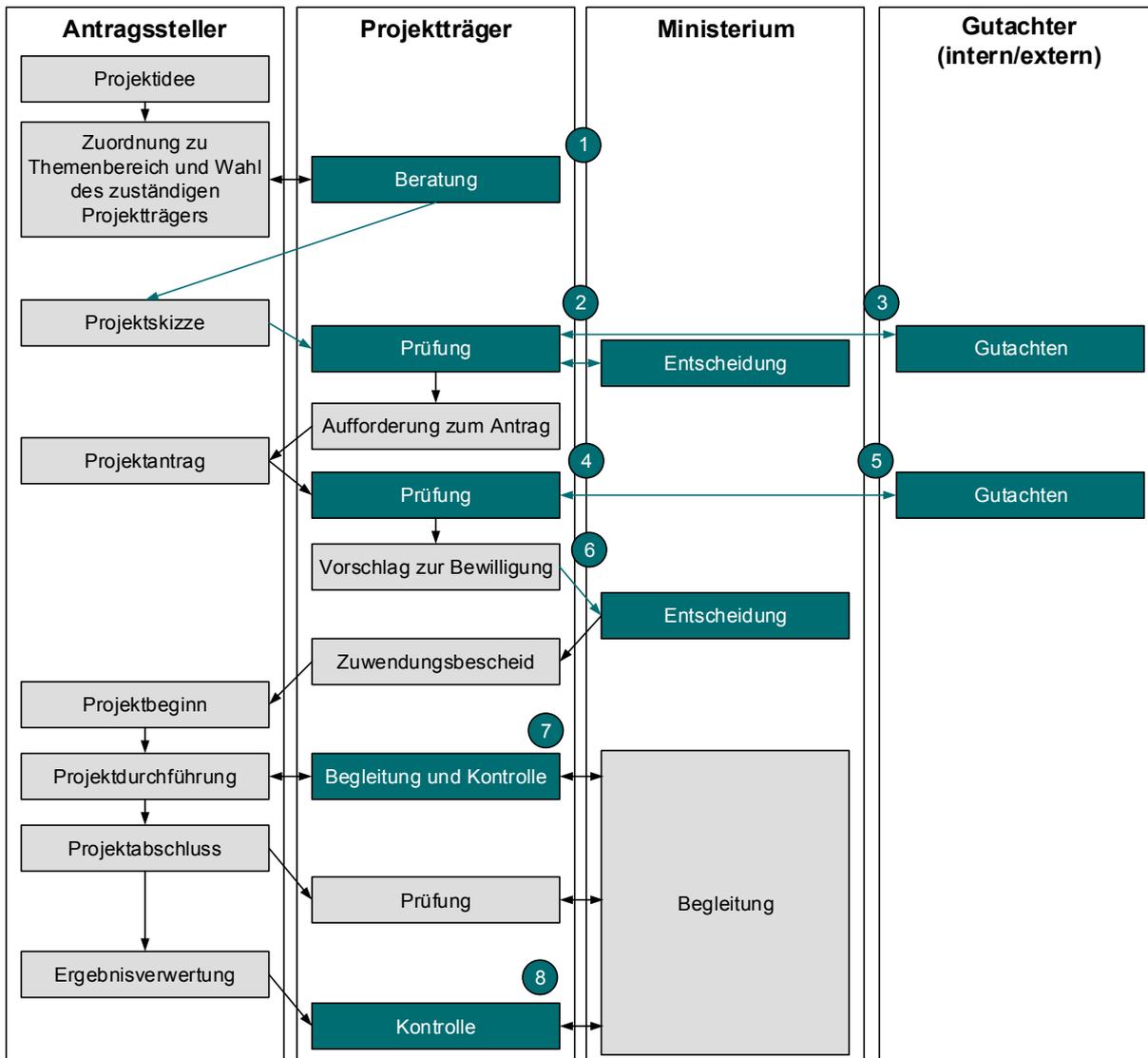


Abbildung 4 Ablauf eines erfolgreichen Projektantrags aus administrativer Sicht

Quelle: Eigene Darstellung orientiert an BMWi (2011)

Speziell mit Blick auf Deutschland obliegt die Organisation der Forschungsförderung durch Projekte in Deutschland den Ministerien. Die operative Umsetzung des Energieforschungsprogramms wird durch dafür beauftragte Projektträger vorgenommen. Die Rolle der Projektträger besteht in der Begleitung von Fördervorhaben beginnend beim Erstkontakt des Antragsstellers bis hin zur Verwertung der Projektergebnisse. Entscheidungen über Zuwendungen werden vom Projektträger im Rahmen der verfügbaren Haushaltsmittel vorbereitet. Die endgültige Förderentscheidung trifft das Ministerium. Bei der Bewertung werden vom Projektträger generell Innovationsgehalt, fachliche Kompetenz und Bonität der Antragssteller sowie der Beitrag des Vorhabens zur den förderpolitischen Zielen bewertet (BMWi 2011).

Abbildung 4 zeigt den generellen Ablauf eines erfolgreichen Förderantrags aus administrativer Sicht. Neben Antragssteller und Projektträger sind hier das Ministerium und, je nach Ausgestaltung, Gutachter in den Prozess eingebunden. Generell ist hier zu beachten, dass die spezifischen Rahmenbedingungen der Förderung dabei

abhängig von ressortspezifischen Vorgaben durch Förderrichtlinien bzw. –bekanntmachungen variieren. In der Abbildung wird von einem zweistufigen Verfahren ausgegangen, bei dem zunächst eine Projektskizze und danach ein Projektantrag gestellt werden.

Um die Anforderungen an die Entscheidungsunterstützung näher zu untersuchen, bietet sich eine Betrachtung an, wo dieses innerhalb des Gesamtablaufs prinzipiell in welcher Form zum Einsatz kommen könnte. Die in Abbildung 4 farblich hinterlegten Bereiche zeigen Teilprozesse im Gesamtablauf, bei denen ein Ansatz zur Entscheidungsunterstützung unmittelbar oder mittelbar relevant sein kann. Im Folgenden sind die in der Abbildung nummerierten Schritte kurz näher erläutert:

- 1 | Im Beratungsprozess des Antragsstellers durch den Projektträger können Informationen aus dem Bewertungsschema als Hilfestellung genutzt werden, um den Antragssteller auf Punkte hinzuweisen, die für einen erfolgreichen Antragsverlauf besonders wichtig sind.
- 2 | Ein zentraler Aspekt des Entscheidungsunterstützungssystems ist es, bei der Auswahl von Fördervorhaben eine Hilfestellung zu bieten. Entsprechend kann es bei der Prüfung einer Antragsskizze in gegebenenfalls vereinfacht angewendeter Form zum Einsatz kommen.
- 3 | Falls Gutachten durch Dritte eingeholt werden, können Auszüge aus dem Bewertungsansatz (z.B. bestimmte Teilaspekte bzw. Kriterien) genutzt werden, um die Gutachter auf besonders zu prüfende Aspekte hinzuweisen und helfen, das vorhandene vom nicht vorhandenen Wissen zu trennen.
- 4 | Bei der Prüfung eines Vollantrags in einem zweistufigen Verfahren kann das System in eingehenderer Form als bei der Prüfung der Skizze verwendet werden.
- 5 | Analoges gilt beim Rückgriff auf externe Gutachter. Diese können gegebenenfalls ihr Gutachten anhand der im System genannten Aspekte und Kriterien ausrichten.
- 6 | Nachdem vorläufige Vorschläge für die Bewilligung durch den Projektträger formuliert wurden, kann der entwickelte Ansatz dazu herangezogen werden, die entsprechenden Bewertungsvorschläge zu dokumentieren und damit helfen, die Entscheidungsvorbereitung als Kommunikationsmittel transparenter und langfristig nachvollziehbarer zu gestalten.
- 7 | Darüber hinaus könnten die im Rahmen des Ansatzes erfassten Informationen gegebenenfalls herangezogen werden, um begleitend zum Vorhaben die Zielerreichung zu überprüfen.
- 8 | Analoges gilt für eine abschließende Kontrolle der Vorhabensziele. Dabei kann der Ansatz gegebenenfalls auch herangezogen werden, um aus einer Ex-Post-Perspektive von abgeschlossenen Vorhaben Hinweise zu erhalten, die bei der Beratung künftiger Vorhaben dazu führen könnten, dass bestimmte Ziele des Vorhabens zuverlässiger erreicht werden.

Die genannten Aspekte verdeutlichen, dass der zu entwickelnde Ansatz sowohl als Arbeitshilfe zur Durchführung einzelner Prozessschritte als auch dem strukturierten Transfer von Wissen zwischen den Akteuren dienen kann.

3 Instrumente und Bewertungskonzepte im Kontext der Energieforschungsförderung

Nachdem im vorangehenden Abschnitt die rechtlichen und organisatorischen Rahmenbedingungen dargestellt wurden, werden in diesem Abschnitt nun einerseits ausgewählte Instrumente und andererseits Analysekonzepte aus der Praxis betrachtet, die im Zusammenhang mit der Energieforschungsförderung genutzt werden.

Als Instrument wird dabei aufgrund seiner Verbreitung und Relevanz für die Energieforschung der technologische Reifegrad im Überblick dargestellt. Daneben wird auf das Konzept der Innovationsbiographien eingegangen. Im Anschluss daran werden ausgewählte programmatisch ausgerichtete Ansätze zur strategischen Ausgestaltung der Energieforschungsförderung sowie operativ ausgerichtete Ansätze zur Bewertung konkreter Forschungsvorhaben dargestellt.

Ziel dieser Betrachtung ist es, einen Einblick in die Ausgestaltung derzeit genutzter Bewertungsschemata zu erlangen, wobei hier insbesondere das methodische Vorgehen und die jeweils genutzten Kriterien von Interesse sind.

3.1 Technologischer Reifegrad

Der technologische Reifegrad ist ein Konzept zur Erfassung und Darstellung des Entwicklungsstands einer Technologie anhand einer qualitativen Skala. Die Idee der Reifegrade basiert auf der Überlegung, dass die Technologieentwicklung eine Abfolge von aufeinander aufbauenden Entwicklungsstufen ist, wobei eine nachfolgende Stufe den erfolgreichen Abschluss der vorangehenden Entwicklungsstufe voraussetzt.

Ursprünglich stammt das Konzept der technologischen Reife aus dem Raumfahrt: In den späten 1970er Jahren entwickelte die NASA die sogenannten „Technology Readiness Levels“ (TRL) als systematischen Ansatz, um die Reife von Technologien bewerten zu können und um eine konsistente Vergleichsbasis für unterschiedliche Arten von Technologien zu schaffen. Die ersten Fassungen der TRL basierten auf sechs bzw. sieben Technologiestufen, die jeweils durch einen einzeiligen Text beschrieben wurden. Ende der 1980er Jahre wurde die Klassifizierung auf die heute verbreitete Gruppierung mit neun Stufen erweitert; im Verlauf der 1990er Jahre wurde darüber hinaus die Beschreibung der Stufen erweitert (Mankins 2009). Im Verlauf des folgenden Jahrzehnts kam es zu einer breiteren Anwendung des Konzepts auch außerhalb der Luft- und Raumfahrt, beispielsweise für Verteidigung oder Produktion. Dies ging einher mit einer Anpassung der ursprünglich rein technisch ausgerichteten Beschreibungen (Engel et al. 2012), beispielsweise, indem spezifische Bezüge zu Luft- und Raumfahrt aus den Beschreibungen getilgt wurden. Gleichsam wurde in den vergangenen Jahren auf die Notwendigkeit einer Ausweitung der Klassifizierung auch für den ursprünglichen Anwendungsbereich hingewiesen (Straub 2015).

Im Zuge der Verbreitung der TRL-Stufen haben sie auch Einzug in den Bereich der Energieforschung gehalten. Im Kontext der Forschungsförderung lässt sich beispielsweise eine angepasste Fassung der TRL-Stufen dem Anhang des Arbeitsprogramms des EU-Rahmenprogramms für Forschung und Innovation „Horizont 2020“ entnehmen. Die TRL-Klassifizierung wird insbesondere dazu verwendet, um Programmteilnehmern gezielt Vorgaben hinsichtlich der Einhaltung bestimmter Ent-

wicklungsstufen für den Beginn oder das Ende der Projektlaufzeit zu machen (BMWi 2016a).

Auch im Rahmen des hier zugrunde liegenden Vorhabens werden die TRL-Stufen beispielsweise zur Feinklassifizierung der Energietechnologien im Rahmen der Technologieanalyse (Viebahn et al. 2017) eingesetzt (Tabelle 1).

Tabelle 1 Technologische Reifegrade zur Bewertung von Energietechnologien

Grobklassifizierung	Feinklassifizierung
Grundlagenforschung	TRL 1 - Grundlegende Prinzipien beobachtet und beschrieben, potentielle Anwendungen denkbar
Technologie-Entwicklung	TRL 2 - Beschreibung eines Technologiekonzepts und/oder einer Anwendung
	TRL 3 - Grundsätzlicher Funktionsnachweis einzelner Elemente einer Anwendung/Technologie
	TRL 4 - Grundsätzlicher Funktionsnachweis Technologie/Anwendung im Labor
Demonstration	TRL 5 - Funktionsnachweis in anwendungsrelevanter Umgebung
	TRL 6 - Verifikation mittels Demonstrator in anwendungsrelevanter Umgebung
	TRL 7 - Prototypentest in Betriebsumgebung
Kommerzialisierung	TRL 8 - Qualifiziertes System mit Nachweis der Funktionstüchtigkeit in Betriebsumgebung
	TRL 9 - Erfolgreicher kommerzieller Systemeinsatz

Quelle: Viebahn et al. (2017)

Die Verwendung von TRLs unterliegt Einschränkungen, wenn sie als generelle Indikatoren zur Darstellung des technologischen Fortschritts aufgefasst werden sollen. So wird beispielsweise bei der Nutzung von TRL darauf hingewiesen, dass beim Zusammenspiel von mehreren Eigenschaften einer Technologie schwierig nachzuvollziehen ist, welche der Eigenschaften in welchem Ausmaß zur Klassifizierung beiträgt und insbesondere, welche entwicklungskritisch und nicht substituierbar sind. Gleichsam wird die statische Beibehaltung eines Entwicklungsstandes vorausgesetzt, d. h. der Ausschluss der Möglichkeit, dass eine Technologie im Verlauf in ihrer Entwicklung zurückfallen kann, z. B. beim veralten von Software (Hicks et al. 2009).

Die Verwendung der TRLs stellt ein Hilfsmittel dar, dass derzeit bei der Begutachtung von Forschungsvorhaben beispielsweise durch den Projektträger Jülich angewendet wird. Aus den Gesprächen des ersten Workshops und Vorgesprächen ging hervor, dass die praktische Anwendung der TRL nicht unproblematisch ist, da eine Zuordnung zu Einzelstufen häufig Interpretationsspielraum lässt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Stufen nur in begrenztem Umfang für die Zwecke der Energieforschungsförderung konkretisiert sind. Mit Blick auf die marktnahen Entwicklungsstufen 7 bis 9 wurde weiterhin darauf hingewiesen, dass sie aufgrund ihres Ursprungs in der Luft- und Raumfahrt nur eingeschränkt für die Bewertung innovativer Anwendungen von Energietechnologien geeignet sind. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass sich bei einer anwendungsnahen Nutzung von Energietechnologien die konkreten Rahmenbedingungen häufig nicht auf rein technologische Entwicklungsaspekte beschränken lassen. So scheinen mindestens drei Gründe für Unterschiede zu sprechen:

- 1 | **Autarkie:** Anwendungen von Energietechnologien sind im Vergleich zum klassischen Anwendungsbereich der TRL (u.a. Raumfahrzeuge) weniger abgeschlossene Systeme, da gerade künftige Energiesysteme eine aktive Einbindung der neuen Technologien in bestehende (Energie-)Systeme erfordern.
- 2 | **Marktumfeld:** Es liegt nahe, dass die Nutzer bzw. Betreiber von Luft- und Raumfahrzeugen im Vergleich zu potentiellen Anwendern energietechnologischer Lösungen ein engeres Marktsegment darstellen.
- 3 | **Akzeptanzfragestellungen:** Weiterhin sind Fragestellungen zur Akzeptanz ausgewählter energietechnologischer Betrachtungen andere als bei „mobilen Anwendungen“ wie Luft- und Raumfahrzeugen.

Dennoch bieten die TRL-Stufen einen Orientierungsrahmen, der in zahlreichen Zusammenhängen genutzt wird. Mit Blick auf eine Entscheidungsunterstützung bietet es sich daher an, die vorliegende Klassifizierung grundsätzlich weiter zu verwenden, allerdings so zu konkretisieren, dass ihre Handhabung einfacher und einheitlicher wird. Entsprechendes sollte ein Entscheidungsunterstützungssystem leisten; insbesondere, wenn es um die Abgrenzung der innovativen Bestandteile eines Forschungsvorhabens geht.

3.2 Innovationsbiographien

In der Regel lässt sich das Ergebnis einer Innovation klar bestimmen. Es kann beispielsweise als physisches Produkt oder als Patent vorliegen. Im Gegensatz hierzu ist jedoch der Weg dahin deutlich weniger transparent, insbesondere welche Aktivitäten den Innovationsprozess umfassen. Die Verwendung der Methode der Innovationsbiographien ermöglicht es, den Entstehungsprozess einer Innovation zu rekapitulieren. Dabei wird insbesondere ihrem prozesshaften und vernetzten Charakter Rechnung getragen. Somit bieten Innovationsbiographien eine ergänzende Perspektive bei der Analyse von Innovationen (Butzin 2009; Butzin & Rehfeld 2008).

Das übergeordnete Ziel, das mit der Erstellung von Innovationsbiographien verfolgt wird, liegt darin, Hemmnisse und Treiber für eine Innovation erkennbar zu machen, charakteristische Muster zu entdecken und dabei die Rolle von Akteuren und Akteursgruppen zu identifizieren. Der Innovationsprozess wird hierzu von seinen Anfängen bis zum Markteintritt analysiert. Auf dieser Basis lassen sich ebenfalls, unter Berücksichtigung des spezifischen Charakters einer Innovation, Handlungsempfehlungen für die Innovationsförderung formulieren (Bruns et al. 2009; Butzin 2009; Butzin & Rehfeld 2008).

Nachdem eine zu analysierende Innovation definiert wurde, erfolgt die Erstellung einer Innovationsbiographie in drei Schritten (Abbildung 5).

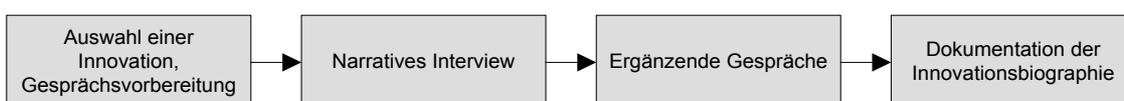


Abbildung 5 Schematisches Vorgehen zur Erstellung einer Innovationsbiographie

Quelle: Butzin & Rehfeld (2008)

Den Ausgangspunkt bilden narrative Interviews, bei denen der Interviewpartner den Innovationsprozess aus seiner Perspektive schildert. Der Fokus liegt hierbei auf der Beschreibung der Wissensströme, also der Interaktion zwischen internen und externen Akteuren. Die Betrachtung entspricht somit einer egozentrischen Netzwerkanalyse, also einer Betrachtung des Beziehungsgeflechts aus der Sicht eines einzelnen Knotens. Aus dieser Perspektive heraus folgt dann der zweite Schritt, bei dem weitere Schlüsselpersonen identifiziert werden. Mit diesen Akteuren werden anschließend ebenfalls narrative Interviews durchgeführt, die eine ergänzende Sicht auf den Innovationsprozess ermöglichen. Durch dieses Vorgehen kann der Entwicklung der Wissensströme gefolgt werden und zudem ein Verständnis über die Interaktion zwischen den beteiligten Akteuren erlangen. Letztlich lässt sich im dritten Schritt auf Basis dieser Erkenntnisse die Dokumentation des Innovationsprozesses vornehmen und gegebenenfalls kann die Visualisierung anhand einer Wissenskarte erfolgen (Butzin 2009; Butzin & Rehfeld 2008).

Mit Blick auf Forschungsvorhaben bieten die Innovationsbiographien eine Möglichkeit, etwas über die Historie von Vorhaben und involvierte Akteure zu erfahren und dieses Wissen bei der Bewertung neuer Anträge zu berücksichtigen bzw. durch vorherige Entscheidungen und deren Wirkung zu lernen.

3.3 Ansätze zur programmatischen Ausgestaltung der Energieforschungsförderung

Im Folgenden werden ausgewählte Ansätze dargestellt, die sich mit der Ausrichtung von Energieforschungsprogrammen in Deutschland befassen. Auch wenn diese Ansätze mit der langfristigen Gestaltung von Förderschwerpunkten eine gänzlich andere Zielsetzung verfolgen als Ansätze zur Entscheidungsunterstützung bei der Auswahl von Anträgen, so können dort herangezogene Kriterien dennoch informativ für die Auswahl einzelner Forschungsvorhaben sein.

3.3.1 Ansatz im Förderschwerpunkt „EduaR&D“

Beim Vorhaben *Entscheidungskriterien für effiziente F&E-Förderstrategien – Innovations-ökonomische Grundlagen und praktische Anwendungen für neue Energietechnologien* handelte es sich um ein durch das Wirtschaftsministerium gefördertes Vorhaben als Teil der Forschungsinitiative EduaR&D (Energie-Daten und Analyse R&D). Ziel des Förderschwerpunktes war es, die Förderung der Energieforschung durch systematische Analysen wissenschaftlich zu unterstützen und die Systemanalyse als Instrument der Politikberatung zu stärken. Im Rahmen der Initiative wurden mehrere Forschungsprojekte durchgeführt (Radgen et al. 2006).

Das Vorhaben *Entscheidungskriterien für effiziente F&E-Förderstrategien* (Vögele et al. 2007) wurde durch das Institut für Energieforschung – Systemforschung und Technologische Entwicklung am Forschungszentrum Jülich sowie das Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung durchgeführt. Ziel des Vorhabens war eine Untersuchung der Fragestellung, ob aus theoretischen Ansätzen der Innovationsökonomik Rückschlüsse auf die Prioritätensetzung zukünftiger Technologieförderung möglich sind.

Im Gegensatz zu der hier im Schwerpunkt betrachteten Problemstellung der operativen Bewertung von Forschungshaben liegt der Fokus des Vorhabens, wie auch der übrigen Vorhaben in diesem Unterabschnitt, auf der strategisch-programmatischen Entscheidungsunterstützung bei der Zuweisung von Fördermitteln bzw. Auswahl von F&E-Schwerpunkten.

Die Ergebnisse des Vorhabens zeigen, dass die dort betrachteten innovationsökonomischen Ansätze nur eingeschränkt bzw. nicht auf verschiedene Produkte, Markt- oder Akteurskonstellationen generell übertragbar sind. Allerdings wurden aus den Ansätzen verschiedene Kriterien abgeleitet, die den Diffusionsprozess maßgeblich steuern sollen. Diese Kriterien wurden in einem Katalog zusammengestellt und per ex-post Analyse auf die Bereiche Kraftwerkstechnik und Heizwärmeerzeuger sowie ex-ante auf Beispiele aus dem Bereich CO₂-arme bzw. -freie fossile Kraftwerke angewendet. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die aufgeführten generellen Determinanten.

Tabelle 2 Determinanten und Erkenntnisse zu Diffusionsprozessen

Determinante	Erkenntnisse
Risiko und Unsicherheit	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Unsicherheit bezüglich verschiedener relevanter Faktoren (Charakteristiken der Innovation, Profitabilität) durch Lernprozesse reduzierbar ▪ Reduzierung von Unsicherheit und Risiko stimuliert Diffusion
Profitabilität	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Profitabilität häufig entscheidende Einflussgröße auf Diffusionsgeschwindigkeit ▪ Nutzen und Kosten der Innovation bestimmen Profitabilität
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zeitlicher Verlauf von Anschaffungs- bzw. Einführungskosten zentrale Determinante ▪ Erwartende künftige Kostensenkungen und Qualitätsverbesserungen ergeben Anreiz zum Abwarten
Informationsbeschaffung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Strategische Entscheidung eines Nutzers beeinflusst durch Zusammenspiel von Anschaffungskosten und Kosten der Informationsbeschaffung
Komplementarität und Substitution	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Komplemente oder partielle Substitute erhöhen Wahrscheinlichkeit der Einführung einer Innovation ▪ Komplementäre Inputs und ihre Preisentwicklung können Diffusion beeinflussen ▪ Interaktion aus Nachfrage und Innovation ist selbstverstärkender Diffusionsprozess
Netzwerkeffekte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nutzen kann von Zahl der übrigen Nutzer abhängen
Marktstruktur	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Marktstruktur hat wesentlichen Einfluss auf Diffusionspfad
Nutzer	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erwartungen der Nutzer haben wichtigen Einfluss

Quelle: Vögele et al. (2007) mit eigenen Überarbeitungen

3.3.2 Ansatz des Projekts „Energietechnologien 2050“

Das Vorhaben *Energietechnologien 2050 – Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung* (Wietschel et al. 2010) wurde 2008 initiiert. Das Ziel des Vorhabens war es, neue Akzente bei bereits bestehenden Themen in Forschung und Entwicklung (F&E) zu setzen sowie gegebenenfalls neue F&E-Themen aus der Perspektive einer öffentlichen Förderung zu identifizieren. Dabei soll das Vorhaben einen Beitrag zur forschungspolitischen Ausrichtung leisten und Prioritäten für die nichtnukleare Energieforschung der kommenden Jahre setzen. Es diente damit der Vorbereitung des 6. Energieforschungsprogramms und wurde von einem Konsortium aus Vertretern wissenschaftlicher Institute und Industrieunternehmen erstellt.

Tabelle 3 Übersicht und Zielsetzung der genutzten Kriterien

Kriterium	Zielsetzung
1: Forschungs- und Entwicklungsrisiken	Da diese u. a. abhängig von der technologischen Reife sind, werden die Technologien zunächst ihrem aktuellen Entwicklungsstand zugeordnet. Je weiter fortgeschritten das Entwicklungsstadium der Technologie ist, desto geringer wird das technologische Risiko eingeschätzt. Des Weiteren werden die technischen und wirtschaftlichen F&E-Risiken in Abhängigkeit von den Szenarien auf Basis einer qualitativen Skala (sehr gering bis sehr hoch) eingestuft.
2: Versorgungssicherheit und Preisrisiken	Der Beitrag einer Technologie zur Versorgungssicherheit hängt zum einen von technologiespezifischen Merkmalen ab und zum anderen von Risiken in Zusammenhang mit den Energieträgern und sonstigen Rohstoffen, die zum Bau und Betrieb einer Anlage benötigt werden. Um die technologiebezogenen Risiken im Hinblick auf die Versorgungssicherheit zu bewerten, wird als Indikator die Verfügbarkeit in Stunden pro Jahr zugrunde gelegt. Technologieexogene Risiken in Zusammenhang mit den Preisen und der Verfügbarkeit der für den Bau und Betrieb der Technologien benötigten (fossilen) Primärenergieträger und sonstiger als kritisch einzustufender Rohstoffe werden auf Basis mehrerer Indikatoren eingestuft. Diese beziehen Schwankungen der Preise in der Vergangenheit, die statische Reichweite der Ressourcenverknappung, den aktuellen Nettoimportwert für Deutschland, die Verteilung der Ressourcen auf unterschiedliche Länder sowie politische Risiken in den Förderländern ein
3: Vorlaufzeiten	Die Dauer bis zur Inbetriebnahme der ersten kommerziellen Anlage wird geschätzt, zum einen unter der Annahme, dass keine Unterstützung durch Fördermechanismen (EEG, Kohlesubventionen etc.) erfolgt, und zum anderen unter Annahme aktueller Förderbedingungen.
4: Potenziale	Die Abschätzung der realisierbaren Marktpenetration erfolgt unter der optimistischen Annahme vorteilhafter Rahmenbedingungen (d. h. keine regulatorischen oder politischen Hemmnisse bzw. gute Ausgestaltung der Förderung z. B. bei erneuerbaren Energien) und unter Einbezug eines realisierbaren Marktwachstums
5: Abhängigkeit von Infrastrukturen	An dieser Stelle wird die Abhängigkeit von Infrastrukturen eingestuft, die z.B. mit der Verteilung des erzeugten Stroms bzw. Wärme zusammenhängen und unbedingt erforderlich sind. Es wird unterschieden, ob die Nutzung der Technologie unabhängig von Infrastrukturen möglich ist, ob bestehende Infrastrukturen genutzt oder ausgebaut oder ob neue Infrastrukturen errichtet werden müssen.
6: Kosteneffizienz	Um die energiewirtschaftlichen Vorteile einer Technologie zu bewerten, ist die Einschätzung der Kostenersparnisse im Vergleich zur Referenztechnologie erforderlich. Dabei werden sowohl Brennstoffkosten als auch Investitionen und Betriebskosten (Instandhaltung und Wartung etc.) vor dem Hintergrund unterschiedlicher Zeithorizonte und Szenarien berücksichtigt.
7: Pfadabhängigkeit und Reaktionsfähigkeit	Mit diesem Kriterium soll erfasst werden, inwieweit durch den Einsatz der Technologie Strukturen in der Energieversorgung kurz-, mittel- oder langfristig festgelegt werden. Dazu dienen als Indikatoren zum einen die heute übliche ökonomische Nutzungsdauer der Technologie und zum anderen die spezifischen Investitionen (z. B. €/kW) in Abhängigkeit vom Zeithorizont. Weiterhin sind technische Planungs- und Bauzeiten von Bedeutung. Die Planungszeit bezeichnet den Zeitraum von der konkreten Beschlussfassung der Aufnahme des Projektes bis zur Einrichtung der Baustelle. Unter der Bauzeit ist der Zeitraum von der Einrichtung der Baustelle bis zur Inbetriebnahme der Anlage zu verstehen.
8: Beitrag zur Energieeffizienz	Der Beitrag zur Energieeffizienz wird auf Basis der vermiedenen Energieverluste (bezogen auf Primärenergie) je Technologie im Vergleich zur Referenz bewertet. Dabei werden unterschiedliche Zeitpunkte und Szenarien berücksichtigt.
9: Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz	Analog zum Vorgehen bei der Bewertung der vermiedenen Energieverluste wird das Potenzial zur Vermeidung insbesondere klimaschädlicher Gase vor dem Hintergrund unterschiedlicher Szenarien und Zeithorizonte berechnet. Dabei werden mit Hilfe von Zuschlagsfaktoren auch Emissionen vorgelagerter Ketten berücksichtigt, soweit diese mehr als 10 % der Gesamtemissionen ausmachen.
10: Inländische Wertschöpfung.	Zur Bewertung der inländischen Wertschöpfung wird die aktuelle Wettbewerbssituation Deutschlands im Vergleich zu anderen Ländern bewertet. Dies geschieht auf Basis der Abschätzung des inländischen Wertschöpfungspotenzials im Hinblick auf unterschiedliche Zeithorizonte.

Quelle: Wietschel et al. (2010)

Auf Basis unterschiedlicher Zukunftsszenarien wurden mögliche energiewirtschaftlich und umweltpolitisch relevante Entwicklungen für Deutschland bis zum Jahr 2050 abgeleitet. Die behandelten Themenbereiche umfassten dabei folgende Berei-

che: Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) und Haushalten, erneuerbare Energien, Energiespeicher, fossil basierte Energieumwandlung, Stromnetze, Wasserstoff, stationäre Brennstoffzellen und die Methanolwirtschaft.

Die verwendete Bewertungsmethode basierte dabei auf Analysemethoden, die bereits in den Projekten ESTIR (Ragwitz et al. 2005) und EduaR&D (Bradke et al. 2007) entwickelt und angewendet wurden.

Das Ziel der Bewertung bestand darin, Technologiefelder zu identifizieren, die einen wesentlichen Beitrag zur erfolgreichen Anpassung des Energiesystems an zukünftige Anforderungen leisten konnten, und zwar insbesondere im Hinblick auf die übergeordneten politischen Zielsetzungen Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit sowie Umwelt- und Klimaschutz. Es sollte somit festgestellt werden, welche Technologiefelder besonders förderwürdig waren und welche eher weniger. Es wurde dabei jedoch keine Rangfolge von einzelnen Technologiefeldern angestrebt, sondern die Ermöglichung gut begründeter Auswahlentscheidungen.

Für eine Entscheidung im Rahmen der Forschungsförderung war dabei zunächst ausschlaggebend, inwieweit eine öffentliche Förderung überhaupt notwendig oder sinnvoll war. Bevor einzelne Technologiefelder detaillierter analysiert wurden, wurde daher zunächst untersucht, ob eine öffentliche Forschungsförderung gerechtfertigt war. Im 5. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung (BMWi 2005) heißt es: „Aufgabe der Energieforschungspolitik ist es, diese Bemühungen der Wirtschaft zu flankieren und F&E in den Fällen zu unterstützen, in denen die Wirtschaft wegen langer Vorlaufzeiten oder hoher technischer bzw. wirtschaftlicher Risiken nicht selbst in dem erforderlichen Umfang investieren kann.“ Davon ausgehend wurde die Relevanz öffentlicher Förderung anhand der in Tabelle 3 genannten Kriterien überprüft.

Für die Bewertung von Forschungsvorhaben bietet das Kriterienraster insbesondere von seiner artverwandten Zielsetzung her die Möglichkeit, auf den formulierten Kriterien, dem Vorgehen und den gewonnenen Erkenntnissen weiter aufzubauen.

3.3.3 Ansatz des Projekts „Technologien für die Energiewende“

Das Forschungsvorhaben *TF_Energiewende* wird im Rahmen der Förderbekanntmachung *Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung* im Förderschwerpunkt 3.14 *En:SYS – Systemanalyse für die Energieforschung* (Viebahn et al. 2017) gefördert.

Im Rahmen des Vorhabens wird eine systematische und umfassende multikriterielle Analyse und Bewertung der für die Energiewende relevanten Technologien durchgeführt. Dabei werden insbesondere der Innovations- und Entwicklungsgrad Deutschlands im internationalen Kontext eingeordnet und die damit verbundenen industriepolitischen Potenziale abgeleitet sowie Innovationslücken aufgezeigt.

Tabelle 4 Übersicht und Zielsetzung der genutzten Kriterien

Kriterium	Zielsetzung
1: Vorlaufzeiten	Da der Nachweis langer Vorlaufzeiten eine der Grundvoraussetzungen für eine öffentliche Förderung ist, ist dieses Kriterium zentral für die Bewertung hinsichtlich des Förderbedarfs.
2: Forschungs- und Entwicklungsrisiken	Da der Nachweis hoher technologischer und ökonomischer Risiken von F&E eine der Grundvoraussetzungen für eine öffentliche Förderung sind, ist dieses Kriterium zentral für die Bewertung hinsichtlich des Förderbedarfs. Hinsichtlich der möglichen mittel- bis langfristigen Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen ist es zudem vor dem Hintergrund der Rohstoffstrategie Deutschlands wichtig, Risiken aus mangelnder derzeitiger Rezyklierbarkeit oder mangelnder Substitutionsmöglichkeiten zu betrachten.
3: Marktpotentiale	Es wird die Gesamtheit der möglichen Absatzmenge bestimmt und liefert die Grundlage zur Einschätzung künftiger Absatzmengen im In- und Ausland.
4: Beitrag zu Klimazielen und weiteren Emissionsminderungszielen	Mit diesem Kriterium soll bewertet werden, welchen Beitrag das Technologiefeld zur Erreichung der aktuellen klimapolitischen Ziele in Deutschland liefern kann.
5: Beitrag zur Energie- und Ressourceneffizienz	Mit diesem Kriterium soll bewertet werden, welchen Beitrag das Technologiefeld zur Erreichung der aktuellen Energieeffizienzziele und gegebenenfalls der Ressourceneffizienzziele in Deutschland betragen kann.
6: Kosteneffizienz	Mit diesem Kriterium soll die Wirtschaftlichkeit des Technologiefeldes bewertet werden.
7: Inländische Wertschöpfung	Mit diesem Kriterium soll angegeben werden, welchen Beitrag der nationale und/oder internationale Ausbau des betrachteten Technologiefeldes zur inländischen Wertschöpfung leisten kann (Indikator für inländische wirtschaftliche Relevanz).
8: Stand und Trends von Forschung und Entwicklung im internationalen Vergleich	Mit diesem Kriterium soll erfasst werden, wie Deutschland industrieseitig im Vergleich zu anderen Ländern aufgestellt ist und wie sich die hiesige F&E-Landschaft von der anderer Länder unterscheidet.
9: Gesellschaftliche Akzeptanz	Das Kriterium hilft einzuschätzen, wie stark mit Unterstützung oder Konflikten bei einem weiteren Ausbau zu rechnen ist, so dass Bedarf für flankierende Maßnahmen bei besonders konflikthafter Technologien identifiziert werden kann.
10: Unternehmerisch-technische Pfadabhängigkeit und Reaktionsfähigkeit	Mit diesem Kriterium sollen Pfadabhängigkeiten und Reaktionsfähigkeit gemessen werden (wie sehr legt man sich längerfristig mit diesem Technologiefeld fest und kann nicht mehr flexibel reagieren?).
11: Abhängigkeit von Infrastruktur	Mit Hilfe des Kriteriums soll abgeschätzt werden, wie groß die Auswirkungen und Wechselwirkungen des Einsatzes bestimmter Technologien auf und mit anderen Systemen bzw. Teilsystemen sind und welcher Aufwand zur Anpassung der Systeme, die in Wechselwirkung mit der untersuchten Technologie stehen, betrieben werden muss. Auf diese Weise soll gewährleistet werden, dass Risiken und Trade-offs, die von der Technologie bzw. dem umgebenden System ausgehen, erkannt werden und aus Gesamt-Perspektive berücksichtigt werden können.
12: Systemkompatibilität	Mit Hilfe des Kriteriums soll abgeschätzt werden, wie groß die Auswirkungen und Wechselwirkungen des Einsatzes bestimmter Technologien auf und mit anderen Systemen bzw. Teilsystemen sind und welcher Aufwand zur Anpassung der Systeme, die in Wechselwirkung mit der untersuchten Technologie stehen, betrieben werden muss. Auf diese Weise soll gewährleistet werden, dass Risiken und Trade-offs, die von der Technologie bzw. dem umgebenden System ausgehen, erkannt werden und aus Gesamt-Perspektive berücksichtigt werden können.

Quelle: Viebahn et al. (2017)

Zur Untersuchung der Energietechnologien wird ein Kriterienraster zur multikriteriellen Analyse entwickelt. Hierzu erfolgt eine Anknüpfung des Vorhabens an die genannte Studie *Energietechnologien 2050*. Ergänzend zu diesem Vorhaben werden weitere wichtige Aspekte ergänzt. Die Notwendigkeit dafür ergibt sich aus mehreren Gründen: Erstens aufgrund der mit der Zielsetzung der Energiewende verbundenen höheren Komplexität im Energiesystem, zweitens durch das deutlich höhere Maß an Wechselwirkungen im System und drittens aufgrund der zunehmenden internationa-

len Konkurrenz für Erforschung, Entwicklung und Anwendung von Technologien, die für die Energiewende relevant sind. Die zur Bewertung der Technologien herangezogenen Kriterien sind in Tabelle 4 aufgelistet.

Die Ergebnisse des Vorhabens stellen aufgrund der thematischen Ausrichtung und ihrer Aktualität einen Beitrag zur Weiterentwicklung der Energieforschungspolitik dar, fördern damit maßgeblich das Treffen relevanter Richtungsentscheidungen und stellen für unterschiedlichste Akteure wichtiges Orientierungswissen bereit.

3.3.4 Zwischenfazit

Ein Vergleich der drei dargestellten programmatischen Ansätze untereinander zeigt die evolutionäre Entwicklung des Kriteriensatzes. Als Ausgangspunkt können dabei die Arbeiten aus *EduaR&D* gesehen werden. Die dort definierten Kriterien wurden im Projekt *Energietechnologien 2050* wieder aufgegriffen und weiter verfeinert bzw. den aktuellen Entwicklungen und Anforderungen angepasst. Die Kriterien für das Projekt *Technologien für die Energiewende* wurden indes nochmals speziell vor dem Hintergrund des Beitrags zur Energiewende erweitert und angepasst. Dabei kommt etwa den Auswirkungen und Wechselwirkungen durch den Einsatz bestimmter Technologien auf das System eine wichtigere Rolle zu. Selbiges gilt für die internationale Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen und Forschungseinrichtungen. Hierzu wird zusätzlich betrachtet, wie die internationale Konkurrenz in Erforschung, Entwicklung und Anwendung von für die Energiewende relevanten Technologien aufgestellt ist.

3.4 Ansätze zur operativen Bewertung von Anträgen im Bereich der Energieforschungsförderung

Neben den dargestellten strategisch-programmatisch ausgerichteten Veröffentlichungen gibt zahlreiche Ansätze, die sich mit der Bewertung einzelner Fördervorhaben im Energieforschungsbereich auseinandersetzen. Diese Ansätze variieren stark sowohl in ihren Abdeckungsbereichen (inhaltliche Breite) als auch mit Blick auf die Detaillierung der Bewertung. Einschränkend ist anzumerken, dass bei den hier betrachteten Ansätzen ausschließlich auf veröffentlichte Informationen zurückgegriffen wird. Möglicherweise werden ergänzend auch detailliertere, nicht veröffentlichte Festlegungen getroffen. Darüber hinaus ist festzuhalten, dass die jeweilige konkrete Bewertung in der Regel von Spezifika der Anwendungsgebiete abhängt, die in den einzelnen Förderaufrufen näher dargelegt sind.

Im Folgenden werden verschiedene Bewertungsansätze mit Blick auf die jeweils betrachtete Art der Vorhaben, die methodische Ausgestaltung des Ansatzes sowie hinsichtlich der genutzten Kriterien dargestellt. Um an dieser Stelle einen möglichst breiten Einblick in unterschiedliche Bewertungsraster zu erlangen, werden exemplarisch Ansätze aus sechs verschiedenen Kontexten skizziert. Sie umfassen:

- 1 | Europäisches Rahmenprogramm Horizont 2020
- 2 | NER 300-Programm im Rahmen des europäischen Emissionshandels
- 3 | Ansatz der österreichischen Energieforschungsförderung
- 4 | Ansatz des dänischen energietechnologischen Programms
- 5 | Ansatz der US-amerikanischen ARPA-E
- 6 | Ansatz der KIC InnoEnergy SE

3.4.1 Europäisches Rahmenprogramm Horizont 2020

Horizont 2020 ist das für den Zeitraum 2014 bis 2020 festgelegte Rahmenprogramm der EU für Forschung und Innovation. Das Rahmenprogramm untergliedert sich in die drei Schwerpunktbereiche *Wissenschaftsexzellenz*, *Führende Rolle der Industrie* und *Gesellschaftliche Herausforderungen* sowie vier weitere Teilbereiche. Der insbesondere energiebezogene Förderschwerpunkt *Secure, clean and efficient energy* ist dem Bereich *Gesellschaftliche Herausforderungen* zugeordnet.

Innerhalb des Rahmenprogramms werden unterschiedliche Arten von Maßnahmen unterschieden, die sich in den Zielsetzungen aber auch mit Blick auf andere Vorgaben (z. B. Zusammensetzung des Konsortiums) unterscheiden (vgl. Europäische Kommission 2016). Die Bewertung von Anträgen variiert in Horizont 2020 in Abhängigkeit von der Fördermaßnahme (Europäische Kommission 2016a: Anhang H). Für den in der vorliegenden Betrachtung relevanten „Energiebereich“ sind als Maßnahmen primär *Research and Innovation Action (RIA)*, *Innovation Action (IA)* sowie *Coordination and Support Action (CSA)* relevant.

Als übergeordnete Bewertungskriterien für Anträge im Rahmen von Horizont 2020 werden die Kriterien „Exzellenz“, „Wirkung“ und „Qualität und Effizienz der Durchführung“ festgelegt (Verordnung 1290/2013, Artikel 15). Die Ausgestaltung dieser Kriterien gibt Tabelle 5 wieder. Details zu den Kriterien, ihren Gewichtungen und Schwellenwerten werden im jeweiligen Arbeitsprogramm festgelegt und sind von der Art der Maßnahme abhängig.

Falls es nicht im jeweiligen Förderaufruf anders benannt wird, gelten für einstufige Einreichungen folgende Vorgaben:

- Eine Bepunktung wird auf dem Niveau der Kriterien, nicht auf Niveau der Einzelaspekte, vorgenommen.
- Maximal können für ein einzelnes Kriterium 5 Punkte erzielt werden.
- Minimal müssen für jedes Kriterium 3 Punkte erreicht werden.
- In Summe muss ein Antrag mindestens einen Wert von 10 Punkten erreichen.

Eine Interpretation der Punktwerte ist Tabelle 6 zu entnehmen. Bei Punktgleichheit von Anträgen wird, insofern nötig, eine Prioritätsrangfolge für Anträge mit gleichen Punktzahlen erstellt. Dazu werden in absteigender Rangfolge weitere Aspekte für die Bewertung hinzugezogen. Weitere Details können Anhang H der Richtlinie entnommen werden.

Tabelle 5 Auszug der Bewertungstabelle für Anträge in Horizont 2020

Kriterium	Exzellenz	Wirkung	Qualität und Effizienz der Implementierung
Gewichtung Punkte	Je Kriterium: 1 Gewichtungspunkt (Gleichgewichtung)		
Schwelle	Je Kriterium: 0 bis 5 Bewertungspunkte In Summe: mindestens 3 Bewertungspunkte		
Alle Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Klarheit und Relevanz der Ziele; ▪ Stichhaltigkeit des Konzepts und Glaubwürdigkeit der vorgeschlagenen Methodik; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausmaß, indem die Projektergebnisse zu den erwarteten Wirkungen des jeweiligen Themas des Arbeitsprogramms beitragen; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Qualität und Effektivität des Arbeitsplans einschließlich des Grades mit dem die Ressourcen für die Arbeitspakete ihren jeweiligen Zielen angemessen sind; ▪ Angemessenheit der Managementstrukturen und -abläufe einschließlich Risiko- und Innovationsmanagement; ▪ Komplementarität des Konsortiums und Ausmaße indem das Konsortium als solches die notwendige Expertise bereitstellt; ▪ Angemessenheit der zugewiesenen Aufgaben sodass alle Teilnehmer eine valide Rolle und über adäquate Ressourcen zur Erfüllung dieser Rolle verfügen.
RIA & IA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausmaß, indem die vorgeschlagenen Arten über den Stand der Wissenschaft hinausgehen und innovationspotentiale demonstrieren (z.B. bahnbrechende Ziele, neue Konzepte und Ansätze, neue Produkte, Dienstleistungen oder Geschäfts- und Organisationsmodelle) ▪ Angemessene Berücksichtigung interdisziplinärer Ansätze und, soweit relevant, die Nutzung des Wissens von Stakeholdern. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Substantielle, nicht im Arbeitsprogramm genannte Wirkungen, die die Innovationskapazitäten ausbauen würden, neue Marktchancen eröffnen, Wettbewerbsfähigkeit und Wachstum von Unternehmen stärken, Herausforderungen mit Blick auf Klimawandel und Umwelt stärken oder die andere wichtige Vorteile für die Gesellschaft mit sich bringen; ▪ Qualität der Maßnahmen mit Blick auf: <ul style="list-style-type: none"> - Verwertung und Verbreitung von Projektergebnissen (einschließlich des Managements von geistigem Eigentum) und dem Management von Forschungsdaten soweit relevant. - Kommunikation der Projektaktivitäten an unterschiedliche Zielgruppen 	
CSA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Qualität der vorgeschlagenen Koordinations- und/oder Unterstützungsmaßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Qualität der Maßnahmen mit Blick auf: <ul style="list-style-type: none"> - Verwertung und Verbreitung von Projektergebnissen (einschließlich des Managements von geistigem Eigentum) und dem Management von Forschungsdaten soweit relevant. - Kommunikation der Projektaktivitäten an unterschiedliche Zielgruppen 	

Quelle: Eigene Übersetzung der Beschreibungen gemäß Europäische Kommission (2016a) mit geringfügigen Kürzungen; Ergänzung von Gewichtungen und Schwellenwerten gemäß Europäische Kommission (2014). Die zur Evaluierung letztlich genutzte Schemata sind den Ausführungen gemäß generell ähnlich, können aber in Detailgrad und Layout abweichen

Tabelle 6 Interpretation der Punktwerte in Horizont 2020

#	Interpretation
0	Das Kriterium wird durch den Antrag nicht adressiert oder kann aufgrund fehlender oder unvollständiger Informationen nicht bewertet werden.
1	Schlecht. Das Kriterium wird unangemessen behandelt oder es bestehen schwerwiegende inhärente Schwächen.
2	Ausreichend. Der Antrag behandelt das Kriterium in der Breite, aber es bestehen keine wesentlichen Schwächen.
3	Gut. Der Antrag behandelt das Kriterium gut, aber eine Reihe Mängel liegt vor.
4	Sehr gut. Der Antrag behandelt das Kriterium sehr gut, aber eine kleine Anzahl Mängel liegt vor.
5	Exzellent. Der Antrag behandelt alle Aspekte des Kriteriums erfolgreich. Etwaige Mängel sind von minderer Relevanz.

Quelle: Eigene Übersetzung nach Europäische Kommission (2016a)

3.4.2 Demonstrationsprojekte im Rahmen des EU ETS

Im Rahmen des Europäischen Emissionshandelssystems (EU ETS) wird auf der Grundlage von Artikel 10a(8) der Richtlinie 2003/87/EG, geändert durch Richtlinie 2009/29/EG, vorgesehen, bis zu 300 Millionen Emissionszertifikate zur Verfügung zu stellen, um bis zu 12 kommerzielle Demonstrationsprojekte für die Kohlendioxidabscheidung und Speicherung sowie für innovative Technologien für erneuerbare Energien zu fördern (NER 300). Gemäß der Richtlinie sollen diese Projekte auf der Grundlage objektiver und transparenter Kriterien ausgewählt werden und eine Verpflichtung zum Wissensaustausch einschließen. In einem Beschluss der Europäischen Kommission vom 3. November 2010 werden diese Kriterien und zugehörige Maßnahmen für die Finanzierung derartiger Projekte konkretisiert.

Als Förderkriterien werden im Beschluss im Wesentlichen Projektkategorien auf Basis technischer Eigenschaften definiert (Artikel 6 zu Förderkriterien in Verbindung mit Anhang I des Beschlusses), die erfüllt werden müssen und die speziell auf den Förderbereich bezogen sind (z.B. für Demonstrationsprojekte aus dem Bereich erneuerbarer Energien im Unterbereich Bioenergie: „Umwandlung von Lignozellulose zu festen, flüssigen oder schlammförmigen Bioenergieträgern (Zwischenprodukt) mittels Röstung mit einer Kapazität von 40 kt/J des Endprodukts“). Dabei handelt es sich im Sinne der vorliegenden Betrachtung um formale Voraussetzungen an die vorgeschlagenen Projekte, nicht um Bewertungskriterien zur Auswahl der Projekte. Die Projektauswahl an sich wird an anderer Stelle beschrieben (Artikel 8). Sie basiert im Kern auf einer Ermittlung spezifischer Kosten für die Projekte, die unter Berücksichtigung weiterer Randbedingungen (z.B. Vorgaben hinsichtlich Mindestzahl von Projekten in bestimmten Kategorien) zur Projektauswahl herangezogen werden.

Von stärkerem Interesse für die vorliegende Betrachtung ist eine Verpflichtung zum Wissensaustausch, da sie Hinweise darauf gibt, welche Informationspflichten mit einem Demonstrationsprojekt einhergehen können. Gemäß des Beschlusses (Artikel 12) werden Projektbetreiber, Konsortiumsmitglieder, Lieferanten und Unterauftragnehmer verpflichtet, unter den gemäß Anhang II genannten Gesichtspunkten einen Wissensaustausch sicherzustellen. Tabelle 7 gibt einen Überblick über die genannten

Anforderungen. Weitergehende Details zu den genannten Aspekten sind in den Anforderungen zur Einreichung von Vorschlägen vorgesehen.³

Tabelle 7 Anforderungen an den Wissensaustausch für Demonstrationsprojekte gemäß Anhang II des Kommissionsbeschlusses vom 3. November 2010 über Kriterien und Maßnahmen für die Finanzierung von kommerziellen Demonstrationsprojekten im Rahmen des Handels von Treibhausgasemissionszertifikaten (eigene Spaltenbeschriftung)

Bereich	Aspekt
A. Technische Umsetzung und Leistung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zuverlässigkeit, ▪ abgeschiedenes CO₂, ▪ die Leistung auf verschiedenen Ebenen, einschließlich der Unterschiede zwischen der erwarteten und der tatsächlichen Leistung, ▪ Steigerung der Nachfrage nach Brennstoffen, Strom, Wärme und Kühlung, ▪ wichtigste Vorleistungen und Ergebnisse, Gestaltung, ▪ ermittelte künftige Forschungs- und Entwicklungsfragen.
B. Kosten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kapital- und Betriebskosten, ▪ Gesamtkosten und Kosten je Leistungseinheit (gespeicherte Tonne CO₂, erzeugte saubere MWh).
C. Projektverwaltung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rechtsvorschriften/Genehmigungen, ▪ Umgang mit den Beteiligten, einschließlich staatlichen Stellen, ▪ Planung, ▪ Projektorganisation.
D. Umweltverträglichkeit	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wirksamkeit: Verringerung der CO₂-Emissionen je Einheit Energie, ▪ sonstige Umweltschutzaspekte bei störungsfreiem Betrieb.
E. Gesundheit und Sicherheit	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zwischenfälle und Beinaheunfälle (gestörter Betrieb), ▪ Überwachungs- und Lösungssysteme zur Verfolgung der Sicherheit, ▪ Gesundheitsaspekte bei störungsfreiem Betrieb.
F. Leistungsfähigkeit der CCS-Lagerstätte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modelle und Simulationen (Entwicklung der CO₂-Fahne - Druckfront), ▪ Ergebnisse des Vergleichs historischer Daten und Anpassungen (Überprüfung: normal innerhalb einer Abweichungsspanne oder erhebliche Unregelmäßigkeiten, die ein Eingreifen erfordern), ▪ Verhalten der durch die CO₂-Injektion verdrängten Sole.

3.4.3 Österreichische Energieforschungsförderung

Die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) hat verschiedene Leitfäden herausgegeben, die Antragssteller im Vorfeld der Einreichung eines Fördervorhabens unterstützen können. Entsprechende Dokumente sind u.a. für Einzelprojekte der industriellen Forschung, kooperative F&E-Projekte, Leitprojekte und Sondierungsprojekte verfügbar. Dort werden Grundlagen und Abläufe in Bezug auf die Einreichung, Bewertung und administrative Umsetzung von Fördervorhaben dargestellt.

³ Weitere Details zur spezifischen Ausgestaltung können Anhang 3 der Kommissionsentscheidung vom 8.7.2014 zum zweiten Aufruf für Anträge unter dem NER 300-Programm entnommen werden, siehe: https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/lowcarbon/ner300/docs/c_2014_4493_annex_en.pdf (Stand: 23.01.2017).

Tabelle 8 Bewertungskriterien, Schwellenwerte und Maximalpunkte für Einzelprojekte der Industriellen Forschung gemäß FFG (2016), gekürzt um Fußnote zu Kriterium 1.4

	Kriterien bzw. Unterkriterium	Min	Max
1	Qualität des Vorhabens	18	30
1.1	In welcher Qualität werden der Stand der Technik / Stand des Wissens und / oder am Markt verfügbare Produkte und Dienstleistungen dargestellt und wie plausibel werden diese bewertet?		6
1.2	Wie hoch ist der Innovationsgehalt des Vorhabens über den Stand der Technik / Stand des Wissens und / oder verfügbare Produkte und Dienstleistungen hinaus und das damit verbundene Risiko zu bewerten?		13,5
1.3	Wie ist die Qualität der Planung in Bezug auf folgende Kriterien? <ul style="list-style-type: none"> ▪ Nachvollziehbare Struktur der Arbeitspakete ▪ Nachvollziehbare Darstellung der Kosten ▪ Nachvollziehbare und dem Arbeitsumfang entsprechende Beschreibung der Arbeitspakete ▪ Angemessenes Verhältnis von Kosten zu geplanten Leistungen ▪ Angemessene Dimensionierung des Projektmanagements ▪ Vorkehrungen zum Risikomanagement ▪ Realistische Umsetzbarkeit der Planung (Laufzeit, Fristen, Meilensteine, Ergebnisse) 		6
1.4	Wenn sich das Vorhaben auf Personen bezieht: Inwieweit wurden bei der Planung genderspezifische Themen berücksichtigt? <ul style="list-style-type: none"> ▪ Qualität der Analyse der genderspezifischen Themen ▪ Berücksichtigung im methodischen Ansatz des Vorhabens 		4,5
2	Eignung der Förderungswerber/Projektbeteiligten	12	20
2.1	Verfügt der Förderungswerber über die wissenschaftlichen, technischen, ökonomischen und managementbezogenen Kompetenzen, um die Projektziele zu erreichen?		8,5
2.2	In welchem Ausmaß hat der Förderungswerber die erforderlichen Qualifikationen und Ressourcen, um eine erfolgreiche Umsetzung des Projekts sicherzustellen?		8
2.3	Wurde bei der Zusammenstellung des Projektteams darauf geachtet, die branchenüblichen Verhältnisse der Geschlechter (Gender) mit dem Ziel einer Ausgewogenheit zu verbessern?		3,5
3	Nutzen und Verwertung	18	30
3.1	Wie hoch ist der Nutzen für die Anwender der Projektergebnisse und das Verwertungspotenzial? Folgende Dimensionen sind relevant: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Wissenszuwachs im relevanten wissenschaftlich-technischen Adressatenkreis ▪ Angaben zur Nutzenkommunikation an die relevante Zielgruppe sind vorhanden und nachvollziehbar ▪ Nutzen, Vorteile bzw. USP sind qualitativ und quantitativ beschrieben und plausibel 		11
3.2	Wie groß ist die Wirkung bzw. die strategische Bedeutung der Projektergebnisse auf den Förderungswerber? Zum Beispiel durch: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Eine nachhaltige Aufstockung der F&E Kapazitäten ▪ Absicherung bzw. Ausbau des F&E-Standortes ▪ Erweiterung der bisherigen F&E-Aktivitäten auf neue Anwendungsgebiete ▪ Aufbau von F&E Plattformen ▪ Erschließung neuer Geschäftsfelder etc. 		9
3.3	Wie vollständig und nachvollziehbar ist die Verwertungsstrategie anhand folgender Kriterien? <ul style="list-style-type: none"> ▪ Qualität der Verwertungs- und Disseminationsstrategie für die wissenschaftlichen Ergebnisse ▪ Qualität der Verwertungsstrategie für die ökonomisch relevanten Ergebnisse ▪ Wenn Personen von der Ergebnisverwertung des Vorhabens betroffen sind: Qualität der Berücksichtigung von genderspezifischen Themenstellungen zur Ausschöpfung des ökonomischen Potenzials ▪ Angemessene Schutzstrategie bzw. Strategie zum faktischen Vorsprung gegenüber dem Wettbewerb ▪ Verwertungskompetenz – eigene oder über bestehende Kontakte und Kooperationen in Bezug auf <ul style="list-style-type: none"> - die Dissemination und Verwertung der Projektergebnisse 		10
4	Relevanz des Vorhabens für die Ausschreibung	12	20
4.1	In welchem Ausmaß trifft das Vorhaben die Ausschreibungsschwerpunkte?	>0	8
4.2	In welchem Ausmaß trägt das Vorhaben zur Erreichung der Ausschreibungsziele bei?	>0	8
4.3	In welchem Ausmaß verändert die Förderung das Vorhaben in einer oder mehreren der folgenden Dimensionen positiv? <ul style="list-style-type: none"> ▪ Durchführbarkeit: Erst die Förderung macht das Vorhaben möglich ▪ Beschleunigung: Die Förderung beschleunigt die Umsetzung ▪ Umfang: Die Förderung vergrößert das Projekt ▪ Reichweite: Die Förderung macht das Projekt ambitionierter durch: <ul style="list-style-type: none"> - Radikaleren Innovationsansatz - Höheres Risiko - Neue oder weiterreichende Kooperationen - Langfristigere strategische Ausrichtung 	>0	4

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf den Leitfaden zu „Einzelprojekten der Industriellen Förderung“ (FFG 2016). Für entsprechende Projekte wird eine Laufzeit von 3 Jahren und eine Förderhöhe zwischen 100.000 und 1 Mio. Euro vorgesehen.

Im Leitfaden werden vergleichsweise detaillierte Angaben zum Aufbau der Bewertung, den zugrunde gelegten Kriterien und ihrem Einfluss auf die Gesamtbewertung gegeben. Grundlegend basiert die Bewertung auf vier Kriterien:

- 1 | Qualität des Vorhabens
- 2 | Eignung der Förderungswerber / Projektbeteiligten
- 3 | Nutzen und Verwertung
- 4 | Relevanz des Vorhabens für die Ausschreibung

Jedem Kriterium werden in einem Bewertungsprozess Punkte zugewiesen. Dabei ist für jedes Kriterium eine Maximalpunktzahl definiert sowie einen Schwellenwert in Form einer Mindestzahl an Punktwerten, die erreicht werden müssen. Dieser Schwellenwert beträgt dabei 60 % der Maximalpunkte für jedes Kriterium. Jedes Kriterium wird weiterhin in Unterkriterien untergliedert, für die jeweils wiederum Maximalwerte gelten. Auf der Ebene der Unterkriterien ist kein Schwellenwert definiert. Falls aber für das vierte Kriterium „Relevanz“ in einem Unterkriterium ein Punktwert von Null erreicht wird, führt dies zum Ausschluss des Vorhabens von der Förderung (Tabelle 8).

3.4.4 Dänisches Energietechnologisches Entwicklungs- und Demonstrationsprogramm

Das dänische energietechnologische Entwicklungs- und Demonstrationsprogramm⁴ ist ein öffentliches Förderprogramm für neue Energietechnologien, die einen Beitrag zur Erreichung der dänischen Energie- und Klimaziele leisten. Das Fördervolumen beträgt in 2015 rund 430 Mio. dänische Kronen (ca. 57 Millionen Euro) und 2016 rund 188 Mio. Kronen (ENS 2017). Im Zentrum des Programms stehen dabei die Entwicklung und Demonstration neuer Technologien. Dabei adressiert das Programm sowohl stärker forschungslastige Entwicklungsprojekte, insofern diese eine Voraussetzung oder Unterstützung für Entwicklungs- und Demonstrationsprojekte sind, als auch Vorhaben, die im Schwerpunkt auf Entwicklung und Demonstration an sich zielen.

Zur Bewertung von Anträgen in diesem Förderprogramm werden im Förderaufruf des Jahres 2012 Kriterien aus verschiedenen Bereichen genannt (ENS 2017, Tabelle 9):

- 1 | Energiebezogene und technische Perspektive: In diesem Kontext wird darauf hingewiesen, dass insbesondere Projekte gefördert werden sollen, die in den Markt hineinreichen und für deren Umsetzung mehrere technologische Entwicklungsstufen überschritten werden müssen, die häufig durch einen breiteren und umfassenderen Akteurskreis, ein größeres Budget und eine längere Dauer gekennzeichnet sind.

⁴ <https://ens.dk/ansvarsomraader/forskning-udvikling/eudp>

- 2 | **Wirtschaftliche Perspektive:** Bei der Bewertung von Entwicklungs- und Demonstrationsprojekten wird der Fokus auf konkrete Pläne zur Vermarktung der entwickelten Technologien und Produkte gelegt.
- 3 | **Organisation, Zusammenarbeit und Wissensaustausch:** In diesem Bereich liegt der Schwerpunkt auf der Gesamtorganisation und dem Wissenstransfer aus dem Projekt.
- 4 | **Eigenanteil und Anreizwirkung:** Hierbei soll sichergestellt werden, dass die Projektteilnehmer einen Eigenanteil erbringen, möglichst ein Minimum von 50%, allerdings abhängig vom Teilnehmerkreis und von der Marktnähe.

Tabelle 9 Bewertungskriterien im dänischen EUDP-Programm (eigene Zusammenfassung sowie Übersetzung)

Bereich	Aspekt
Energiebezogene und technische Perspektive	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Relevanz und Potential des Projekts für die Erreichung der Programmziele ▪ Durchführung einer im Vergleich zu existierenden Ansätzen innovativen technologischen Lösung ▪ Beitrag zu strategischen Zielen ▪ Abgrenzung und technische Umsetzbarkeit ▪ Übertragbarkeit und Skalierbarkeit der Lösungen
Wirtschaftliche Perspektive	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kundenorientierung und Abdeckung eines Bedarfs am Markt ▪ Ökonomisches Wachstumspotential und Aussicht auf ein konkurrenzfähiges Produkt ▪ Patentierbarkeit des technologischen Inhalts ▪ Einbeziehung privatwirtschaftlicher Unternehmen, die die Projektergebnisse kommerziell verwerten ▪ Beitrag zur Schaffung einer Grundlage für neue Arbeitsplätze in Dänemark ▪ Aussicht auf einen Export in globale Wachstumsmärkte ▪ Plausible Bewertung der kommerziellen Perspektiven im Antrag
Organisation, Zusammenarbeit und Wissensaustausch	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rückgriff auf forschungsorientierte, industrielle und anwendungsorientierte Kompetenzen ▪ Einbindung von Kompetenzen zur kommerziellen Verwertung, ggf. auch durch Beratungsleistungen ▪ Fähigkeit der Projektteilnehmer, vorhandene Potentiale zu erschließen ▪ Einbindung mehrerer Unternehmen und Institutionen und Abdeckung relevanter Teile der Wertschöpfungskette ▪ Beitrag des Projekt zum Wissensaustausch und zur Entwicklung des fachlichen Umfelds im Technologiefeld, z. B. durch einen klaren Verwertungsplan für Projektergebnisse
Eigenanteil und Anreizwirkung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sicherstellung eines wesentlichen Eigenfinanzierungsbeitrags ▪ Plausibilität der Anreizwirkung der Förderung, indem der Empfänger Höhe, Umfang oder Geschwindigkeit seines Einsatz im Vergleich zu einer Situation ohne Förderung verbessert

Neben den genannten Bereichen wird darüber hinaus speziell für Projekte mit Forschungsschwerpunkt darauf verwiesen, dass diese aus wissenschaftlicher Perspektive unterstützungswürdig sein müssen, was beispielsweise durch eine Sicherstellung von Promotionen nachgewiesen werden kann. Des Weiteren werden für den Bereich wie internationale Zusammenarbeit spezielle Hinweise gegeben. Ein formelles Vorgehen zur Berücksichtigung und Zusammenführung der verschiedenen Aspekte wird nicht dargelegt. Allerdings wird im Zusammenhang mit der „Wirtschaftlichen Perspektive“ aufgezeigt, dass diese einen entscheidenden Einfluss bei der Bewertung von Entwicklungs- und Demonstrationsprojekten hat. Demgegenüber ist diese bei im Schwerpunkt forschungsbezogenen Arbeiten minder wichtig, sie bleibt jedoch ein entscheidungsrelevantes Kriterium.

3.4.5 US-amerikanische Förderung durch die ARPA-E

Die US-amerikanische *Advanced Research Projects Agency –Energy*⁵ ist eine Agentur unter dem US Energieministerium mit einem Budget von 280 Millionen Dollar in 2015. Sie befasst sich mit der Förderung von Energietechnologien mit hohen Potentialen, deren Entwicklungsstand für privatwirtschaftliche Investitionen noch nicht ausreicht. Der Fokus der Agentur liegt dabei auf technologieorientierter, angewandter Forschung und Entwicklung, die praktische Lösungen für wichtige Probleme im Bereich der Energiebereitstellung, Verteilung und Nutzung hervorbringt. Dadurch grenzt sie sich von anderen Programmen des US Energieministeriums ab, die stärker auf die Grundlagenforschung oder die Verbesserung etablierter Technologieplattformen setzen.

Eine Bewerbung um Fördermittel erfolgt anhand periodischer Förderaufrufe, die entweder themengebunden auf die Überwindung technischer Barrieren für spezifische Technologiebereiche abzielen oder alle 2 bis 3 Jahre als themenübergreifende Aufrufe für Projekte mit hohen Potentialen ausgegeben werden. Die Förderung variiert je nach Aufruf, Projekt und Art der Arbeiten. In der Vergangenheit lagen die Volumina in der Regel zwischen 0,5 und 10 Millionen Dollar bei typischen Projektlaufzeiten von 1 bis 3 Jahren. Das Bewerbungsverfahren ist zweistufig mit Skizze und Vollertrag aufgebaut.

Die Bewertung der Skizzen und Vollerträge erfolgt anhand einer Mischung qualitativer und quantitativer Kriterien, die abhängig vom Förderaufruf variieren. Dabei wird eingangs eine Reihe formaler und inhaltlicher Aspekte geprüft. Formale Aspekte umfassen beispielsweise, ob der Antragssteller formal überhaupt zur Gruppe möglicher Förderempfänger gehört und ob Fristen eingehalten wurden. Inhaltliche Aspekte beinhalten u.a. Überlegungen, dass die Skizzen zum Förderschwerpunkt passen, wissenschaftlichen Grundsätzen entsprechen oder dass keine großen Demonstratoren Gegenstand des Antrags sind.

Weitergehende Begutachtungskriterien für Skizzen und Förderanträge sind am Beispiel des Förderaufrufs „Facsimile Appearance To Create Energy Savings (FACES)“⁶ für Skizzen und Anträge in Tabelle 10 dargestellt. Mit Blick auf die Bewertung wird darauf hingewiesen, dass die eingereichten Unterlagen nicht anhand der Kriterien einander gegenüber gestellt werden, da sie nicht auf Basis eines einheitlichen Rahmens erstellt werden. Neben den genannten Kriterien können bei Bedarf weitere programmatische Kriterien für die Bewertung von Skizzen und Anträgen herangezogen werden (Tabelle 11).

⁵ <https://arpa-e.energy.gov/>

⁶ Siehe: <https://arpa-e-foa.energy.gov/FileContent.aspx?FileID=74a4a1bc-8f23-495e-8225-899144a24605> (Zugriff: 17.05.2017).

Tabelle 10 Bewertungskriterien im US-amerikanischen ARPA-E am Beispiel des Förderaufrufs zum Thema „Facsimile Appearance To Create Energy Savings (FACES)“ (eigene Übersetzung mit Kürzungen)

Bereich einschließlich Relevanz	Aspekte
Skizzen	
Wirkung der vorgeschlagenen Technologie hinsichtlich der Ziele des Förderschwerpunkts (50%)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Potenzial für einen transformierenden und disruptiven (nicht inkrementellen) Fortschritt im Vergleich zu bestehenden oder aufstrebenden Technologien ▪ Erreichen von technischen Leistungszielen der Ausschreibung ▪ Identifizierung von techno-ökonomischen Herausforderungen, die für einen kommerziellen Einsatz der Technologie überwunden werden müssen ▪ Aufzeigen von Konkurrenztechnologien sowie Darstellung zu signifikanten Verbesserungen des vorgeschlagenen Konzepts/der Technologie gegenüber bestehenden Lösungen
Übergreifender wissenschaftlicher und technischer Verdienst (50%)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Machbarkeit der vorgeschlagenen Arbeiten, nachgewiesen durch angemessene Hintergrunddarstellungen, Theorie, Simulation, Modellierung, experimentelle Daten oder andere wissenschaftliche und ingenieurtechnische Grundlagen ▪ Hinlänglichkeit des technischen Ansatzes, die F&E-Ziele zu erreichen einschließlich einer Begründung zur Angemessenheit des vorgeschlagenen Konzepts als alternativer Ansatz und einer Analyse zur Überwindung technischer Risiken ▪ Klar definierte Projektergebnisse und -lieferungen ▪ Nachgewiesene Eignung der Projektteilnehmer, Kernkompetenzen der Organisationen in der Projektgruppe, Rollen und Verantwortlichkeiten jeder Organisation und (sofern anwendbar) früherer Zusammenarbeiten der an der Skizze beteiligten Akteure
Anträge	
Wirkung der vorgeschlagenen Technologie (30%)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Potenzial für einen transformierenden und disruptiven (nicht inkrementellen) Fortschritt in einem oder mehreren energierelevanten Bereichen ▪ Grundlegendes Verständnis des gegenwärtigen Stands der Technik und Darstellung eines innovativen technischen Ansatzes zur signifikanten Leistungsverbesserung gegenüber dem Stand der Technik ▪ Bewusstsein über Konkurrenztechnologien und Identifikation, wie das vorgeschlagene Konzept/die Technologie signifikante Verbesserungen gegenüber bestehenden Lösungen erbringt ▪ Vernünftige und effektive Strategieentwicklung für den Übergang der vorgeschlagenen Technologie vom Labor in die kommerzielle Anwendung
Übergreifender wissenschaftlicher und technischer Verdienst (30%)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einzigartigkeit und Innovativität der vorgeschlagenen Arbeiten ▪ Klar definierte Projektergebnisse und -lieferungen ▪ Untermauerung, dass das vorgeschlagene Projekt voraussichtlich die technischen Entwicklungsziele der Ausschreibung erreicht oder übertrifft ▪ Machbarkeit der vorgeschlagenen Arbeit durch vorläufige Daten oder andere Hintergrundinformationen und wissenschaftliche und ingenieurtechnische Praxis und Prinzipien ▪ Verlässlicher technischer Ansatz einschließlich angemessen definierter technischer Arbeitsschritte, um die anvisierten F&E-Ziele zu erreichen ▪ Management von Risiken einschließlich einer Identifikation technischer F&E-Risiken und umsetzbare, effektive Vermeidungsstrategien
Qualifizierung, Erfahrung und Fähigkeiten des vorgeschlagenen Projektteams (30%)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nachweis der Fähigkeiten und Erfahrungen von Hauptantragssteller und Projektteam, den Projektplan erfolgreich auszuführen und Beleg durch frühere Erfahrungen, die deren Fähigkeit zur Durchführung von F&E-Aktivitäten mit ähnlichen Risiken und einer vergleichbaren Komplexität nachweisen ▪ Zugang zur Ausrüstung und zu Einrichtungen, die für die Erfüllung der F&E-Arbeiten notwendig sind und/oder ein klarer Plan, wie dieser Zugang erlangt werden soll
Verlässlichkeit des Managementplans (10%)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Plausibilität des Plans für das Management von Personen und Ressourcen ▪ Zuordnung angemessener Aufwände und Ressourcen zu den vorgeschlagenen Aufgaben ▪ Nachvollziehbarkeit des vorgeschlagenen Projektzeitplans einschließlich der Hauptmeilensteine ▪ Nachvollziehbarkeit des vorgesehenen Budgets, um das Projekt durchzuführen

Tabelle 11 Weitere Bewertungskriterien im US-amerikanischen ARPA-E am Beispiel des Förderauftrags zum Thema „Facsimile Appearance To Create Energy Savings (FACES)“ (eigene Übersetzung mit Kürzungen)

Bereich	Aspekte
Ausgeglichenheit des ARPA-E - Portfolios	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diversität (auch Geschlechterverteilung) des technischen Personals ▪ Technologische Vielfalt ▪ Organisatorische Vielfalt ▪ Geographische Vielfalt ▪ Technisches Risiko oder Kommerzialisierungsrisiko ▪ Stand der Technologieentwicklung
Relevanz zum Voranbringen der Mission ARPA-E	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reduzierung der Abhängigkeit von ausländischen Energieressourcen ▪ Unterstützung der inländischen Produktion ▪ Reduzierung energiebedingter Emissionen ▪ Verbesserung der inländischen Energieeffizienz ▪ Verbesserung der inländischen wirtschaftlichen und energetischen Sicherheit ▪ Voranbringen der nationalen Wettbewerbsfähigkeit bei fortschrittlichen Energietechnologien
Synergien von öffentlichen und privatwirtschaftlichen Anstrengungen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vermeidung von Doppelförderungen und Überlappungen mit anderen öffentlich und privatwirtschaftlich geförderten Projekten ▪ Verbesserte Koordination mit nicht-öffentlichen Arbeitseinheiten zur Demonstration von Technologien und angewandter Forschung zur Vereinfachung des Technologietransfers ▪ Verbesserung einzigartiger Forschungsk Kooperationen
Geringe Wahrscheinlichkeit anderer Förderquellen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hoch technische und/oder finanzielle Unsicherheit, die der Verfügbarkeit anderer öffentlicher, privater oder interner Mittel und Ressourcen zur Förderung des Projekt entgegen steht
Hohe Hebelwirkung öffentlicher Mittel	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hebelwirkung zur Optimierung der Programmziele durch Eigenbeiträge über dem Minimalansatz oder andere Möglichkeiten zur Erschließung anderer seltener oder einzigartiger Mittel
Hohe Projektwirkung im Vergleich zu den Projektkosten	

Bei erfolgreicher Auswahl eines Antrags muss im Rahmen der anschließenden Verhandlungen der Hauptantragsteller im Austausch mit dem ARPA-E einen Transferplan erstellen, der regelmäßig aktualisiert wird. Er dient als Fahrplan für die geplanten Aktivitäten und zum Vorantreiben der kommerziellen Umsetzbarkeit der Technologie. Im Rahmen dessen wird auch eine Reihe von Beispielaktivitäten und Meilensteinen bereitgestellt⁷, die als Aspekte in den Projektplan integriert werden können.

3.4.6 Antragsbewertung durch Risikokapitalgeber am Beispiel KIC InnoEnergy SE

„Knowledge and Innovation Communities“ (KIC) bestehen in der Regel aus Akteuren aus den drei Bereichen Wirtschaft, Bildung und Forschung. Die Ziele der KIC sind dabei die Entwicklung innovativer Produkte und Dienstleistungen, die Gründung neuer Unternehmen und die Ausbildung zukünftiger Unternehmern. Um diese Ziele zu erreichen, werden die KIC finanziell durch das „European Institute of Innovation and Technology“ (EIT) unterstützt. Dabei ist jedoch beabsichtigt, dass die geförderten Unternehmen auch über den Anteil involvierter Partner hinaus auch weitere Finanzmittel anziehen. Der Anteil des EIT soll dabei im Durchschnitt 25 % der KIC-

⁷ Siehe: <https://arpa-e.energy.gov/?q=site-page/t2m-milestones> (Zugriff: 17.05.2017).

Gesamtmittel über die Lebensdauer des KIC hinweg nicht übersteigen (EIT InnoEnergy 2017).

Zudem gelten klare Anforderungen an die Unternehmen (InnoEnergy SE 2016):

- Eine Markteinführung innerhalb von weniger als fünf Jahren nach Projektbeginn.
- Ein Proof of Concept (Pilot- oder Typprüfung) soll vorliegen und der Technology Readiness Level hierzu größer oder gleich fünf sein ($TRL \geq 5$).
- Das Konsortium muss aus mindestens drei, aber nicht mehr als sieben europäischen Partnern aus Forschung und Industrie bestehen.
- Das Konsortium muss aus Partnern aus mindestens zwei verschiedenen Ländern bestehen.

KIC InnoEnergy SE wurde 2009 gegründet und stellt eines von derzeit fünf KIC dar. Der Themenbereich konzentriert sich auf Aspekte und Lösungen einer nachhaltigen Energieversorgung. Im Einzelnen sind dies (EIT InnoEnergy 2017):

- Saubere Kohle- und Gastechnologien
- Energiespeicher
- Energieeffizienz
- Energie aus chemischen Treibstoffen
- Erneuerbare Energien
- Smarte und effiziente Gebäude und Städte
- Nachhaltige nukleare und erneuerbare Zusammenführen

Bis dato wurden dabei vom KIC InnoEnergy SE 133 Start-ups unterstützt, 66 neue Unternehmen hervorgebracht und ca. 30 Mio. Euro an externen Finanzmitteln eingeworben. Die Kriterien die für die Bewertung zur Unterstützung eines Unternehmens einbezogen werden, sind in Tabelle 12 dargestellt (EIT InnoEnergy 2017).

Tabelle 12 Bewertungskriterien gemäß KIC InnoEnergy

Kriterium	Kriterienbereich bzw. Kriterium	Gewicht
A1	BUSINESS DEVELOPMENT	6
A1.1	Vorläufige Produkt- oder Dienstleistungsdefinition (Problembeschreibung, Lösungsbenchmark, ...)	1
A1.2	Durchführbarkeit der vorgeschlagenen Technologielösung für Produkt oder Dienstleistung:	1
A1.3	Innovativität der vorgeschlagenen Lösung	1
A1.4	Chancen- und Risikobewertung (Marktanalyse, Wettbewerbsanalyse, Wertschöpfung für Vermarktungsparty und Kunden, ...)	2
A1.5	Triftigkeit geistigen Eigentums	1
A2	RISIKOANALYSE	4
A2.1	Verfügbarkeit der erforderlichen Kenntnisse im Konsortium	2
A2.2	Technische Barrieren identifiziert und Abschwächung Plan	2
A3	FINANZIERBARKEIT	3
A3.1	Projektbudget vs. Marktpotenzial und Umfang des Projekts	1
A3.2	Begründung der beantragten KIC-Investitionen	1
A3.3	Beurteilung des Plans für die KIC-Investitionsrendite	1
A4	OPERATIVE DURCHFÜHRBARKEIT	4
A4.1	Nachvollziehbarkeit des Projektplans (Meilensteine, Ergebnisse, Verfügbarkeit der Ressourcen, etc.)	2
A4.2	Nachvollziehbarkeit des Konsortiums gegenüber der Wertschöpfungskette	1
A4.3	Qualität des Projektmanagements	1
A5	EINHALTUNG DER KIC ANFORDERUNGEN	4
A5.1	Integration von Studierenden, Akademikern, Bildungsorganisationen	1
A5.3	Einhaltung der KIC InnoEnergy Roadmap	2
A5.4	Einbezug von KMU	1

Quelle: Eigene Übersetzung von KIC InnoEnergy (2016)

Die Kriterien zielen sehr stark auf den späteren Markterfolg einer Innovation, was auf die geschilderte Intention der KIC zurückgeht. Eine dezidierte Betrachtung oder Berücksichtigung, inwiefern die Innovation einen Beitrag zur Energiewende leistet, ist darin jedoch nicht berücksichtigt. Dennoch bietet das Kriterienraster potentielle Anknüpfungspunkte für die Berücksichtigung marktwirtschaftlicher, organisatorischer und formaler Kriterien auch für staatliche Förderentscheidungen.

3.4.7 Zwischenfazit

Mit Blick auf die operative Bewertung der genannten fünf Ansätze zeigt sich ein heterogenes Bild. Zum einen sind die Verfahren von Umfang und Schwerpunktsetzung her recht unterschiedlich. Dies ist natürlicherweise dem Bestimmungszweck des Verfahrens geschuldet. So fokussiert beispielsweise das Bewertungskonzept von KIC InnoEnergy SE stark auf die marktwirtschaftliche Komponente des Antrags, während das EUDP gemäß seinem Bestimmungszweck auch eine energiebezogene und technische Perspektive einnimmt. Zum anderen zeigt sich bei der Betrachtung der zugrunde liegenden Struktur, dass alle Ansätze auf drei wesentlichen Elementen fußen. Dabei handelt es sich um die Qualität des beschriebenen Vorhabens, das angedachte Projektmanagement sowie letztendlich die aus dem Vorhaben resultierende Wirkung bzw. dessen Nutzen.

4 Schlussfolgerungen zu den Anforderungen an ein System zur Entscheidungsunterstützung

Ausgehend von den vorstehenden Darstellungen zu den Rahmenbedingungen sowie den Instrumenten und Bewertungsansätzen lassen sich mit Blick auf die Bewertung anwendungsnaher Forschungsvorhaben mehrere Schlussfolgerungen festhalten.

Aus den rechtlichen und organisatorischen Rahmenbedingungen gehen folgende Punkte hervor:

- 1 | **Korridor des Förderengagements:** Einerseits gilt es gemäß der gültigen Rechtslage zu beachten, dass die Prinzipien der Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit für staatliches Handeln grundlegend sind. Dies bedeutet mit Blick auf die Festlegung des öffentlichen Förderengagements, dass es möglichst niedrig ausfallen sollte. Andererseits ist zu bedenken, dass die Förderung einen Mindestumfang erreichen muss, um einerseits den Mechanismen des Marktversagens entgegen zu wirken (z.B. in Form einer Senkung von Kosten, um das Vorhaben überhaupt zu ermöglichen) und um andererseits den Mehraufwand durch die zwangsweise anfallenden administrativen Aufgaben im Rahmen des Vorhabens zu kompensieren. Es ergeben sich durch die beihilferechtlichen Vorgaben abhängig von der Art des Vorhabens aber sowohl absolute als auch prozentuale Höchstgrenzen für ein staatliches Engagement. Ein Ansatz zur Entscheidungsunterstützung sollte daher eine Unterstützung dahingehend bieten, was bei der Festlegung der Förderengagements zu beachten ist.
- 2 | **Anknüpfung der Definitionen:** Im Kontext der rechtlichen Rahmenbedingungen werden verschiedene Begrifflichkeiten zur Art der Förderung definiert. In Zusammenhang mit dem vorliegenden Vorhaben ist eine weitergehende Differenzierung von Begrifflichkeiten („Demonstrationsprojekte“, „Modellvorhaben“) notwendig. Für die Umsetzung eines Entscheidungsunterstützungssystems ist es naheliegend, eine Anknüpfung dieser Begrifflichkeiten an die beihilferechtlichen Begrifflichkeiten sicherzustellen und darüber hinaus weitere Spezifika zu definieren, die die Begrifflichkeiten eindeutiger voneinander abgrenzen, um Zuordnungen von Vorhaben zu den Kategorien zu erlauben.
- 3 | **Einbindung verschiedener Akteure:** Wie der obigen Darstellung zu entnehmen ist, sind in den Gesamtprozess der Entscheidungsfindung unterschiedliche Akteure eingebunden. Erwartungsgemäß werden sich diese Akteure mehr oder minder intensiv mit einer Bewertungsthematik auseinandersetzen können. Daher ist davon auszugehen, dass ein entsprechendes System möglichst intuitiv zugänglich ausgestaltet sein sollte.
- 4 | **Entscheidungsunterstützungsfunktion:** Da der zu entwickelnde Ansatz an verschiedenen Stellen im Ablauf des Bewertungsprozesses eingesetzt wird, sollte er dazu beitragen, dass die jeweiligen Teilprozesse operativ möglichst konkret und einheitlich vonstatten gehen. Aus den Gesprächen des ersten Workshops ging allerdings auch hervor, dass der fachliche Austausch zwischen Projektträger und Ministerium ein sehr wichtiger Aspekt bei der Findung „förderwürdiger“ Projekte ist und in diesem Zusammenhang auch Entscheidungen flexibel getroffen werden müssen. Die Entscheidungsunterstützung sollte daher eine struktu-

rierte und transparente Bewertungsgrundlage darstellen und zur Unterstützung, beitragen, den Entscheidungsfindungsprozess allerdings nicht „mechanisieren“.

- 5 | **Dokumentationsfunktion:** Neben seiner Rolle als Entscheidungsunterstützungssystem ist es naheliegend, dem Ansatz auch eine Dokumentationsfunktion zuzusprechen. Das System sollte dabei einerseits den Wissenstransfer zwischen den beteiligten Akteuren erleichtern. Andererseits sollte es auch dazu dienen, Entscheidungen mit Blick auf eine langfristige Nachvollziehbarkeit transparent zu gestalten.
- 6 | **Allgemeingültigkeit des Ansatzes:** Weiterhin wurde darauf hingewiesen, dass eine Ausgestaltung von Förderkriterien häufig in der jeweiligen Förderrichtlinie nochmals konkreter vorgenommen wird. Um eine Passfähigkeit des Ansatzes mit unterschiedlichen Ausgestaltungsvarianten von Förderrichtlinien sicherzustellen, muss er für eine Verwendung in unterschiedlichen Situationen hinreichend allgemein gültig sein. Diese Anforderung läuft allerdings auch der oben genannten Notwendigkeit einer Konkretisierung für eine einfache Operationalisierung entgegen.

Weiterhin ergeben sich aus der Betrachtung verwandter Analyse- und Bewertungskonzepte mehrere Punkte:

- 7 | **Anknüpfung an die TRL-Methodik:** Wie oben dargestellt wird in verschiedenen Zusammenhängen auf die TRL-Stufen zurückgegriffen. Entsprechend ist es für eine Entscheidungsunterstützung aus Gründen der Anknüpfbarkeit naheliegend, grundsätzlich auf diesen Ansatz zurückzugreifen. Seine Anwendung allerdings ist für Zwecke der Bewertung von Forschungsvorhaben weitergehend zu konkretisieren.
- 8 | **Schwerpunktbezogene Kriterien:** Über die operativen Ansätze hinweg lässt sich beobachten, dass bei der jeweiligen Betrachtung generell unterschiedlich aggregierte Kriterien betrachtet werden und diese auf die jeweiligen Ziele der Programme ausgerichtet sind. Die abgedeckten Grundelemente, u.a. Qualität, Management sowie Wirkung sind sich jedoch häufig ähnlich. Dies unterstreicht, dass es zwar keinen allgemeinverbindlichen Satz an Bewertungskriterien gibt, eine Anknüpfung an bestehende Bewertungsansätze jedoch sinnvoll ist.
- 9 | **Abstraktionsniveau:** Weiterhin zeigt sich, dass das Abstraktionsniveau mit der Breite des Anwendungsfeldes steigt. So sind beispielsweise die Kriterien im allgemeinen Rahmen von Horizont 2020 relativ weit gefasst, während sie im Ansatz des österreichischen Programms sehr konkret und auch durch entsprechende Hilfsformulierungen operationalisiert werden. Für die Entwicklung eines operativ einfach nutzbaren Systems bietet es sich an, dieses möglichst konkret auszugestalten.
- 10 | **Verwendung einfacher Methoden:** Aus methodischer Sicht zeigt sich, dass die in der Praxis eingesetzten Methoden – soweit einsehbar – generell zu den vergleichsweise sehr einfachen Methoden der Entscheidungsunterstützung gerechnet werden können. Insbesondere kommen hierbei Varianten der Nutzwertanalyse zum Einsatz. Dies unterstreicht die praktische Notwendigkeit, ein

einfach nutzbares System bereitzustellen, dass in seiner Detaillierung jedoch auch dem potentiellen finanziellen Engagement des Staates Rechnung trägt.

- 11 | **Vermeidung von Kompensationseffekten:** In mehreren der oben dargestellten Ansätze wird auf Schwellenwerte zurückgegriffen, um sicher zu stellen, dass erfolgreich bewertete Vorhaben in allen Bereichen eine gewisse Mindestqualität erlauben. Aus methodischer Sicht bedeutet dies, dass keine vollständige Kompensation schlechter Projektleistungen in einigen Bereichen durch sehr gute Leistungen in anderen Bereichen möglich ist.

Verschiedene der genannten Aspekte sind insbesondere für die konkrete Ausgestaltung des Bewertungsansatzes maßgeblich und sollten unmittelbar in den konkreten Leitfaden mit einfließen. Im Folgenden wird als Grundlage dafür die methodische Grundausrichtung des Ansatzes anhand der multikriteriellen Literatur näher eingegrenzt.

5 Bestimmung eines methodischen Ansatzes für die Entscheidungsunterstützung

Für die Entscheidungsunterstützung wurde in den vergangenen Jahrzehnten eine große Breite methodischer Ansätze entwickelt. Die Auswahl einer für eine bestimmte Problemstellung geeignete Methode hängt in hohem Maße von den spezifischen Anforderungen der Entscheidungssituation ab. Beispielsweise wird sie dadurch bestimmt, welche Anforderungen die Nutzer an die Zugänglichkeit oder Nachvollziehbarkeit der Methode stellen. Weitere Aspekte betreffen beispielsweise die Art des erwarteten Ergebnisses, den Umgang mit Datenunsicherheiten oder die Art der genutzten Daten.

In diesem Abschnitt wird der Frage nachgegangen, welche Methode – unabhängig von ihrer konkreten Ausgestaltung – vor dem Hintergrund der bisherigen Darstellungen grundsätzlich am besten geeignet ist. Dazu werden einleitend die theoretischen Grundlagen multikriterieller Verfahren erläutert. Im Anschluss werden die zuvor dargestellten Rahmenbedingungen bzw. Schlussfolgerungen mit Blick auf die Wahl einer Methodik abgegrenzt und im Anschluss wird auf dieser Grundlage eine geeignete Methode ausgewählt, die im weiteren Verlauf des vorliegenden Vorhabens passend ausgestaltet und für die Betrachtung anwendungsnaher Forschungsvorhaben konkretisiert werden soll.

5.1 Theoretische Grundlagen multikriterieller Verfahren der Entscheidungsunterstützung

Aufgrund der vielfältigen zu berücksichtigenden Kriterien in einer Entscheidungssituation wurden in den letzten Jahrzehnten eine Vielzahl methodischer Ansätze entwickelt, die den Entscheider mit Hilfe formalisierter expliziter Modelle bei der Bewertung und Auswahl von Alternativen unterstützen soll (vgl. Zhang et al. 2009). Die Modelle sollen dem Entscheider bei der Bewertung und Auswahl einer Alternative behilflich sein bzw. ihn unterstützen. Hierzu ist es notwendig, die relevanten Zielkriterien zu operationalisieren, den Nutzen einer Handlungsalternative zu bestimmen und vorliegende Zielkonflikte zu lösen (Klein und Scholl 2011).

In den 1960er Jahren wurden als wesentliches Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung die multikriterielle Entscheidungsunterstützung (MCDA: Multi-Criteria Decision Aid) entwickelt. Hierbei kann der Entscheider mehrere Ziele transparent miteinander abgleichen. Die Auswahl der spezifischen Methode erfolgt in der Regel in Abhängigkeit des vorliegenden Problems. Unterschieden wird dabei zwischen (vgl. Zimmermann und Gutsche 1991):

- Multi-Objective Decision Making (MODM): Der Identifikation einer optimalen Alternative in einem stetigen Lösungsraum mit nicht eindeutig vorliegenden Alternativen („Optimierung“).
- Multi-Attribute Decision Making (MADM): Der Auswahl der vorteilhaftesten Alternative aus einer gegebenen Anzahl.

Bei den MODM-Verfahren wird die optimale Alternative mit Hilfe mathematischer Methoden auf Basis einer definierten Zielfunktion bestimmt.

Die MADM-Verfahren lassen sich weiterhin unterteilen nach der Art und Qualität der vorliegenden Informationen über die Präferenzen des Entscheiders. Die Bandbreite spannt sich dabei von keinen vorliegenden Informationen, über Informationen über die Alternativen bis hin zu Informationen zu den einzelnen Attributen. Abbildung 6 ermöglicht hierzu einen Überblick.

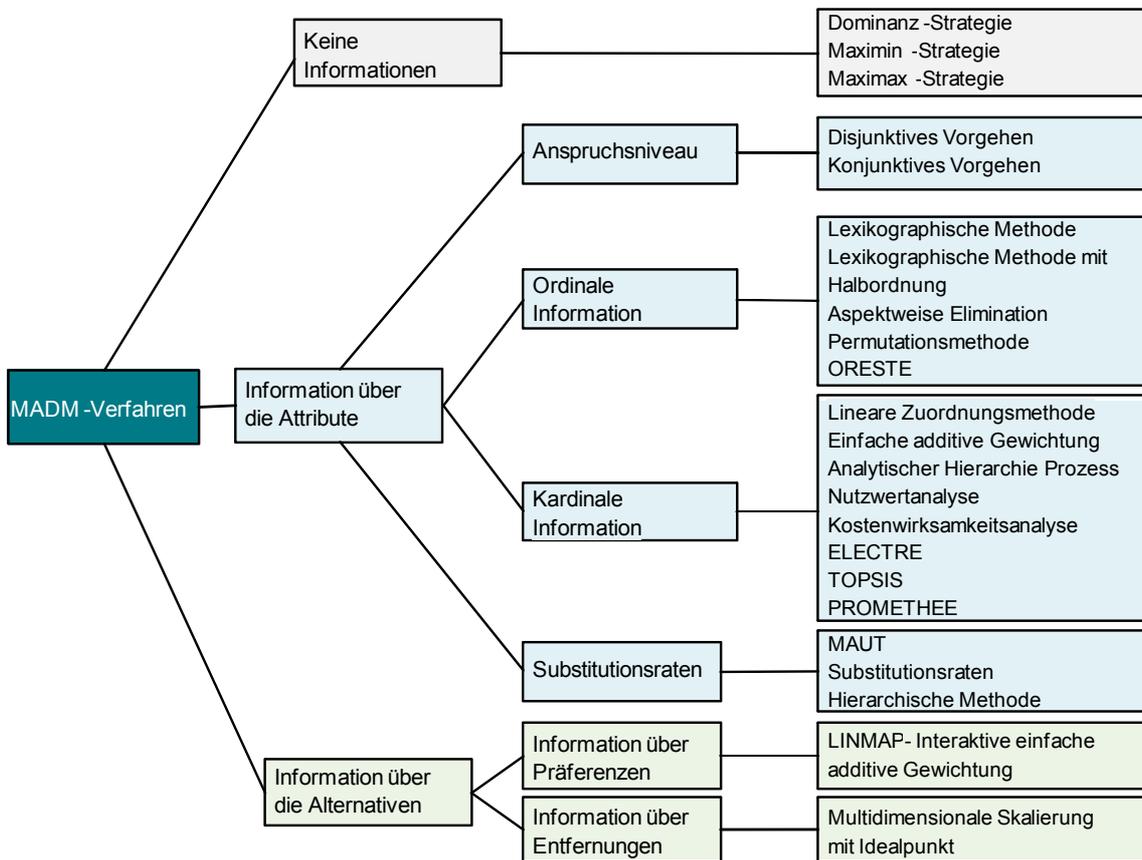


Abbildung 6 Einteilung von MADM-Methoden nach Art der Information

Quelle: In Anlehnung an Götze (2008) und Hwang und Yoon (1981)

Bezüglich der Attribute kann wiederum zwischen Informationen über das Anspruchsniveau (disjunktives vs. konjunktives Vorgehen), ordinalen Informationen (z. B. lexikographische Methode, Permutationsmethode), kardinalen Informationen (z. B. Analytischer Hierarchie Prozess, ELECTRE, PROMETHEE, Nutzwertanalyse) sowie Substitutionsraten (z. B. MAUT, hierarchische Methode) unterschieden werden (Götze 2008; Hwang und Yoon 1981).

Wenn anhand von Zielgrößenwerten akzeptable sowie nicht-akzeptable Alternativen ausgewählt werden sollen, bietet sich die Verwendung von Methoden mit Anspruchsniveaus an. Bei skalenbezogenen Variablen dagegen werden Methoden mit ordinalen oder kardinalen Informationen verwendet. Wobei bei kardinalen Verfahren zusätzlich eine Gewichtung stattfinden kann und somit den Attributen eine spezifische Bedeutung zugeschrieben werden. Dabei werden auch unter den verschiedenen Attributen teilweise Kompensationseffekte zwischen den Zielerreichungsgraden zugelassen. Die Verfahren mit Substitutionsraten berücksichtigen neben der Kardinalität und Kompensierbarkeit zusätzlich den Aspekt, auf wie viele Einheiten eines

Attributs der Entscheider verzichten würde, um als Gegenleistung eine Einheit eines anderen Attributs zusätzlich zu erhalten (Zimmermann und Gutsche 1991; Götze 2008; Schneeweiß 1991).

Die Methoden der MADM lassen sich entsprechend der Art der zur Entscheidung vorliegenden Informationen sowie anhand derer Qualität entsprechend Abbildung 6 unterteilen.

Im Folgenden werden die gängigsten Methoden der nutzentheoretischen- und der Prävalenz- bzw. Outranking-Verfahren kurz vorgestellt und miteinander verglichen.

5.1.1 Nutzentheoretische Verfahren

Die *Nutzwertanalyse* ist im deutschen Sprachraum eng mit der Methode von Zangemeister verbunden (Zangemeister 1976). In der Praxis ist sie aufgrund ihrer Einfachheit und leichten Zugänglichkeit weit verbreitet (Oberschmidt 2010). Dabei handelt es sich im Grunde um eine Klasse von Methoden, die sich durch die Ermittlung der Höhen- und Artenpräferenzen unterscheiden (Schneeweiß 1991). Der Ablauf der Nutzwertanalyse erfolgt üblicherweise in drei Schritten:

- Ordnung der Alternativen entsprechend der Höhenpräferenz für ein Attribut. Dabei wird für jedes Bewertungskriterium j eine Einzelwertfunktion v_j bestimmt, durch die jeder Alternative A_i , für jedes Kriterium C_j ein Nutzwert zugeordnet werden kann. Der Nutzwert wird meist auf ein Intervall von $[0,1]$ normiert, wobei 1 der besten und 0 der schlechtesten Ausprägung entspricht.
- Bestimmung der Gewichtungen der Kriterien W_j entsprechend der Artenpräferenz des Entscheiders durch Gegenüberstellung der Kriterien in ihrer Gesamtheit und Normierung der resultierenden Gewichtungen.
- Bestimmung des Präferenzindex einer Alternative $\phi^{NWA}(A_i)$ durch die gewichtete Summe der Einzelwerte:

$$\phi^{NWA}(A_i) = \sum_{j=1}^c W_j \cdot v_j(A_i) \quad \forall i \in \{1, \dots, a\}$$

Der Präferenzindex im Intervall $[0,1]$ gibt hierbei dem Entscheider Auskunft über die für ihn vorteilhafteste Alternative (Götze 2008; Hirzel 2015).

Das zweite nutzentheoretische Verfahren, der *Analytische Hierarchie Prozess* (AHP) wurde von Thomas L. Saaty in den 1970er Jahren entwickelt. Es handelt sich hierbei um eine spezielle Art der Nutzwertanalyse, die sich durch einen hierarchischen Aufbau und paarweisen Vergleich von Elementen innerhalb von Hierarchieebenen auszeichnet. Vorteilhaft an der Methode ist, dass sie komplexe Probleme aufgrund der hierarchischen Struktur vereinfachend und geordnet darstellt und sowohl quantitative sowie qualitative und auch unsichere Informationen eingearbeitet werden können.

Der hierarchische Aufbau erfolgt durch die Aufspaltung des zumeist abstrakten Oberziels in Unterziele, die je nach Komplexität weiter detailliert werden können. Die Unterziele werden anschließend in Kriterien und ggf. in Unterkriterien aufgeteilt, die auf der untersten Ebene mit entsprechenden Alternativen verbunden sind

(Zimmermann und Gutsche 1991; Saaty 1980; Schneeweiß 1991). Der Vergleich wird mit Hilfe einer 9-Punkte-Skala nach Saaty durchgeführt. So können die Alternativen in ihrer relativen Bedeutung beschrieben werden. Anschließend werden die Ergebnisse in einer Paarvergleichsmatrix zusammengefasst. Die Matrix enthält bei n Elementen für eine Ebene entsprechend $n(n-1)/2$ Vergleiche. Auf den Eigenvektoren der Paarvergleichsmatrizen beruhend, kann die Ableitung der Gewichtung anhand der Eigenvektormethode nach Saaty erfolgen. Analog zur Nutzwertanalyse erfolgt die Bewertung der Alternativen letztlich durch additive Aggregation der einzelnen Zielerreichungsgrade (Schneeweiß 1991; Götze 2008; Geldermann 2006). Als nachteilig an der Methode wird dabei der relativ hohe Aufwand zum Aufstellen von paarweisen Vergleichen empfunden. Außerdem kann kritisiert werden, dass die Reziprozitätsannahme in diesem Kontext nicht immer gültig ist, da unzulässige Annahmen über das Skalenniveau vorgenommen werden (Zimmermann und Gutsche 1991). Zuletzt lässt sich anmerken, dass eine Verwendung anderer Skalen als die der 9-Punkt-Skala trotz ansonsten gleichem Lösungsweg zu einem anderen Ergebnis führen kann (Geldermann 2006).

5.1.2 Prävalenzverfahren

Im Gegensatz zu nutzentheoretischen Verfahren zielen Prävalenzverfahren auf eine Entscheidungshilfe und nicht auf die konkrete Auswahl einer optimalen Alternative ab. Der Fokus liegt mehr auf der Entwicklung, Interpretation und Diskussion des Entscheidungsproblems. Man geht dabei davon aus, dass es keine objektiv beste Lösung gibt und der Entscheidungskontext auch nicht exakt erfassbar ist. Außerdem wird durch die Prävalenzverfahren die Betrachtung von nicht vergleichbaren Aspekten zwischen Alternativen ermöglicht. Ein möglicher Verlust von Informationen wird durch die Berücksichtigung gegenläufiger Kriterienausprägungen verhindert (Geldermann 2006; Figuera et al. 2013; Hirzel 2015).

Eine bekannte Art der Prävalenzverfahren sind die Outranking-Verfahren. Hier werden zur Bewertung jeweils zwei Alternativen zeitgleich betrachtet. Am weitesten verbreitet sind u. a. die Methoden PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations) und ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité).

ELECTRE wurde in den 1960er Jahren von Bernard Roy entwickelt und bis heute ständig erweitert. Mit Konkordanz- und Diskordanzbeziehungen werden in einem paarweisen Vergleich von Alternativen so genannte Outranking-Relationen bestimmt. Hieraus resultieren eine Menge nicht dominierter Alternativen (Zimmermann und Gutsche 1991).

PROMETHEE wurde in den 1980er Jahren von Jean-Pierre Brans entwickelt. Hinter dem Namen verbirgt sich, wie auch bei ELECTRE, nicht nur eine Methode, sondern eine komplette Gruppe an Methoden. Am bekanntesten sind hierbei PROMETHEE I und PROMETHEE II. Bei diesen Methoden werden die Alternativen in eine partielle bzw. vollständige Rangfolge gebracht. So können sowohl strikte Präferenzen oder Indifferenzen geäußert werden, als auch unscharfe, abgestufte Präferenzeinschätzungen vorgenommen werden. Zusätzlich können auch Unsicherheiten berücksichtigt werden, indem Präferenzschwellen hinzugezogen werden. Dies hat den Vorteil, dass

die Präferenzen des Entscheiders möglichst natürlich wiedergegeben werden (Götze 2008; Zimmermann und Gutsche 1991). Mit dem erweiterten Präferenzbegriff wird eine eingeschränkte Kompensationsmöglichkeit geschaffen. Das bedeutet, dass schlechte Erfüllungsgrade eines Kriteriums nicht durch Gute eines anderen kompensiert werden können, was meist auch nicht dem Wunsch des Entscheiders entspricht (Geldermann 2006).

5.2 Diskussion der Rahmenbedingungen und Anforderungen mit Blick auf die Methodenwahl

Zur Ausgestaltung eines Vorgehens zur Bewertung von Anträgen für Forschungsvorhaben sind mit Blick auf die Methodenwahl verschiedene methodisch relevante Aspekte näher zu beleuchten, die für die Wahl und Ausgestaltung der Methode relevant sind. Im Folgenden wird daher jeweils ein Überblick über diese Aspekte gegeben und dargelegt, welche konkreten Anforderungen sich an die Methoden bei einem Abgleich mit den in Abschnitt 4 inhaltlich formulierten Anforderungen ergeben (Abbildung 7).

Einflussfaktor	Ausprägung			
Nutzergruppe	Expertenansatz		Breitenansatz	
Perspektive	Antragsteller	Fördergeber	Öffentlichkeit	Sonstige
Entscheidungsträger	Einzelentscheider/Implizite Gruppe		Explizite Gruppenentscheidung	
Alternativen	Unbegrenzte Anzahl/Implizit vorgegeben		Begrenzte Zahl/Explizit vorgegeben	
Problemstellung	Auswahl	Sortierung	Rangfolge	Beschreibung
Kriterienausprägung	Nominal	Ordinal	Kardinal	
Unsicherheiten	Implizite Berücksichtigung		Explizite Berücksichtigung	
Gewichtung	Gleichgewichtung		Spezifische Gewichtungen	

Abbildung 7 Anforderungen an ein Bewertungsverfahren illustriert anhand eines morphologischen Kastens

Quelle: Eigene Darstellung

Nutzergruppe: Ansätze zur multikriteriellen Entscheidungsunterstützung sind sehr vielfältig und variieren erheblich im Grad ihrer Detaillierung und methodischen Anforderungen an die jeweiligen Nutzer. Methodisch ausgefeilte mehrstufige Multimethodensysteme können Experten auf bestimmten Gebieten unterstützen; im Fall einer breiteren Nutzergruppe von Nicht-Experten, die unregelmäßig und in variierender Zusammensetzung möglichst unkompliziert Entscheidungen treffen müssen, scheint generell ein einfacherer Breitenansatz vorzuziehen.

Perspektive: Multikriterielle Verfahren bieten umfängliche Möglichkeiten, Problemstellungen aus verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten, z. B. aus der Sicht eines Antragstellers, des Fördermittelgebers, der Öffentlichkeit etc. Da die Entscheidungsunterstützung primär als operatives Instrument für den Fördermittelgeber

ausgerichtet sein soll, ist es naheliegend, dass entsprechend die Perspektive eines Fördermittelgebers eingenommen wird.⁸

Entscheidungsträger: Auch unter Einhaltung der genannten Perspektive stellt sich die Frage, wie viele Entscheidungsträger in die Bewertung eingebunden sind bzw. wie sie untereinander bei der Entscheidungsfindung interagieren. Entwicklungshistorischer Ausgangspunkt zahlreicher multikriterieller Verfahren war zunächst die Entwicklung der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung an sich; dabei wurden als Nutzer einzelne Entscheidungsträger oder eine weitgehend homogene Gruppe von Entscheidungsträgern vorausgesetzt, die sich implizit untereinander abstimmen. Ergänzend wurden später vielfach Varianten für Gruppenentscheidungen entwickelt, bei denen darüber hinaus explizit mehrere Entscheidungsträger in den Entscheidungsprozess eingebunden werden können. Bei derartigen expliziten Gruppenentscheidungen steigen Anforderungen und Komplexität der Verfahren und die Verfahren setzen einen entsprechend strukturierten Bewertungsprozess voraus. Argumente für Gruppenentscheidungen sind hingegen der weitergehende Rückgriff auf Kompetenzen und Wissen der Gruppenmitglieder zur Problemstellung, die erweiterten Fähigkeiten zur effizienteren Arbeitsteilung, Informationsbeschaffung und -verarbeitung sowie die Abdeckung unterschiedlicher Interessen der Gruppenmitglieder (vgl. z. B. Pedrycz et al. 2011).

Mit Blick auf die Durchführung von Förderentscheidungen ist abzuwägen, ob der Mehraufwand und die steigenden Anforderungen für ein explizit durchgeführtes Gruppenentscheidungsverfahren dessen Mehrwert rechtfertigen würde. Generell sind in die Entscheidungsvorbereitung insbesondere die Mitarbeiter des Projektträgers und in die endgültige Entscheidung Mitarbeiter des Ministeriums eingebunden. Im Sinne eines praxisorientierten und wirtschaftlichen Verfahrens scheint die Verwendung eines expliziten Verfahrens für mehrere Entscheidungsträger über eine gemeinsame implizite Konsensfindung hinaus einen nur geringen Mehrwert zu bieten. Dieser erscheint kaum gerechtfertigt, da damit eine deutlich aufwändigere Informationsbeschaffung für eine durchgängige Bewertung durch einzelne Mitarbeiter zu erwarten und davon auszugehen ist, dass das für die Bewertung notwendige Wissen auf mehrere Beteiligte verteilt ist und somit eine umfassende Bewertung für einzelne Beteiligte erschwert wird. Entsprechend bietet sich ein einfaches Verfahren für einzelne Entscheidungsträger bzw. ein implizites Gruppenverfahren für die Entscheidungsunterstützung an.

Alternativen: Die Anzahl der zu bewertenden Alternativen, im vorliegenden Fall Forschungsvorhaben, bestimmt, wie oben dargelegt, grundsätzlich, ob für eine Bewertung als Verfahrensfamilie die so genannten MODM- oder MADM-Verfahren Anwendung finden können. Naheliegender Weise wird bei einer Bewertung von Anträgen für Forschungsvorhaben eine begrenzte Anzahl entsprechender Anträge analysiert. Dadurch ergibt sich generell eine Beschränkung auf die MADM-Verfahren. Bei Verfahren aus dieser Familie wird generell davon ausgegangen, dass zum Bewer-

⁸ Dies bedeutet allerdings nicht, dass in die Bewertung ausschließlich Aspekte eingehen, die unmittelbar nur für den Fördermittelgeber relevant sind. So muss die Auswahl der Kriterien auch auf Aspekte eingehen, die für die Umsetzung aus Sicht eines Antragstellers Relevanz besitzen (z. B. Wirtschaftlichkeit des Vorhabens, Technisches Risiko) und die damit unmittelbar auch auf die Förderwürdigkeit oder Förderhöhe Einfluss nehmen.

tungszeitpunkt sämtliche betrachteten Alternativen vorliegen, diese einander gegenüber zu stellen sind und dass es sich um echte Alternativen (keine Kombination gemeinsamer Teile) handelt.

Mit Blick auf die Rahmenbedingungen für die Bewertung entsprechender Anträge geht aus der Bewertungspraxis jedoch hervor, dass die Voraussetzung gleichzeitig zu bewertender Anträge nur teilweise gegeben ist. Dies lässt sich unter anderem darauf zurückführen, dass es sich bei den entsprechenden Antragsprogrammen um terminoffene Programme ohne feste Stichtage handelt. Entsprechend ist ein direkter Vergleich unterschiedlicher Anträge in der Regel nur eingeschränkt möglich; dem muss ein geeignetes Verfahren zur Bewertung der Anträge Rechnung tragen.

Problemstellung: Im Rahmen eines Einsatzes multikriterieller Verfahren wird versucht, unterschiedliche Problemstellungen zu lösen. Diese Problemstellungen unterscheiden sich dahingehend, welche Informationen zu den betrachteten Alternativen, d. h. im vorliegenden Fall Fördervorhaben, vorliegen. Klassischerweise werden dabei folgende Problematiken unterschieden (vgl. z. B. Belton und Stewart 2002):

- **Auswahlproblematiken:** Unter einer Menge an Alternativen soll eine Auswahl getroffen werden, z. B. indem aus der Summe aller Förderanträge der beste Antrag ausgewählt wird.
- **Sortierproblematiken:** Eine Menge an Alternativen sollen in unterschiedliche Klassen einsortiert werden, z. B. indem die Förderanträge den Gruppen „gänzlich förderwürdig“, „teilweise förderwürdig“, „gar nicht förderwürdig“ zugeordnet werden.
- **Rangfolgeproblematiken:** Sämtliche Alternativen soll in eine Reihenfolge gebracht werden, z. B. indem alle Förderanträge in eine Rangfolge vom aussichtsreichsten bis zum am wenig aussichtsreichsten sortiert werden.
- **Beschreibungsproblematik:** Sämtliche Alternativen sollen durch das Verfahren systematisch und formalisiert beschrieben werden, sodass ein Entscheidungsträger diese Alternativen bewerten kann.

Kriterienausprägung: Ferner gilt es mit Blick auf die Auswahl der multikriteriellen Methode festzulegen, welche Art von Kriterien bei der Bewertung Berücksichtigung finden müssen. Von besonderer Relevanz ist dabei, ob hier insbesondere qualitative oder auch quantitative Kriterien Eingang in die Bewertung finden.

Unsicherheiten: Realweltliche Entscheidungsprobleme sind stets mit Unsicherheiten behaftet. Solche Unsicherheiten sind darauf zurück zu führen, dass (vgl. z. B. Chen et al. 1992):

- Informationen nicht quantifizierbar sind, z. B. wenn das „Innovationspotenzial“ als Kriterien erfasst wird,
- Informationen unvollständig sind, z. B. wenn „erwartete Energieeinsparungen“ in Bandbreiten angegeben werden,
- Informationen nicht verfügbar sind, z. B. wenn der Aufwand für eine Erhebung zur „Akzeptanz“ im Vorfeld zu aufwändig ist,
- Unwissen vorliegt, z. B. ob ein für den Erfolg des Projekts kritischer Mitarbeiter künftig den Arbeitgeber wechselt.

Um derartigen Unsicherheiten zu begegnen, wurden verschiedene methodische Vorschläge für entsprechende Verfahren entwickelt. Diese beruhen beispielsweise auf Erweiterungen durch Szenariotechniken, durch wahrscheinlichkeitstheoretische Ansätze oder durch die Fuzzy-Set-Theorie. Durch den Einsatz entsprechender Verfahren lässt sich transparent darlegen, inwieweit Unsicherheiten die Bewertungsergebnisse beeinflussen. Allerdings setzen diese Verfahren einerseits voraus, dass mit Blick auf die Bewertung entsprechende Angaben zu Datenunsicherheiten gemacht werden können. Andererseits können die entsprechenden Verfahren in der Ergebnisermittlung aufwändig sein und die Ergebnisse wenig eindeutige Lösungen bereitstellen. Häufig werden in der Praxis daher Unsicherheiten nur implizit berücksichtigt.

Im Vordergrund der vorliegenden Betrachtung von Förderanträgen sind aufgrund des zukünftigen Charakters der zu bewertenden Anträge Unsicherheiten vorhanden, zumal erwartungsgemäß zahlreiche Aspekte anhand von qualitativen Kriterien bewertet werden müssen. Allerdings scheint auch es auch hier für eine praxistaugliche Lösung von besonderem Interesse, ein möglichst einfach umsetzbares Verfahren zu wählen. Entsprechend liegt es nahe, ein Verfahren einzusetzen, das vereinfachend davon ausgeht, dass die notwendigen Informationen sicher vorliegen.

Gewichtungen: Ein wichtiger Bestandteil eines multikriteriellen Verfahrens ist der Umgang mit Gewichtungen von Entscheidungskriterien. Im einfachsten Fall wird von einer Gleichgewichtung aller Kriterien ausgegangen. Dies hat die Vorteile, dass hier ohne methodischen Aufwand vergleichsweise einfach eine Gegenüberstellung getroffen werden kann und dass Entscheidungsträger keine Festlegung zur Relevanz von Kriterien treffen muss. Eine Gleichgewichtung ist allerdings nicht notwendigerweise zielführend, wenn Kriterien eine unterschiedliche Relevanz für Entscheidungen besitzen.

Im Fall der vorliegenden Bewertung ist eine Differenzierung bei der Relevanz einzelner Kriterien notwendig, da einige Kriterien bei einer Bewertung relevanter sind als andere. Eine solche Differenzierung muss entsprechend möglich sein.

5.3 Methodenwahl für die Entscheidungsunterstützung

Die Auswahl von Methoden zur Entscheidungsunterstützung ist stark vom Kontext, d. h. vom vorliegenden Problemfall abhängig. Daher wird im Folgenden die Auswahl einer passenden Methode systematisch anhand dem Vorgehen von Guitouni Martel (1998) vorgenommen. Mit Hilfe von sieben Schritten werden nach diesem Konzept

die bestehenden Anforderungen an eine Methodik mit den Eigenschaften der verschiedenen MADM-Methoden systematisch verglichen.

An dieser Stelle soll nicht auf alle dieser sieben Bereiche eingegangen werden, sondern der Fokus auf die drei relevantesten Schritte gelegt werden: Die Präferenzen des Entscheidungsträgers, die Art des Entscheidungsproblems und die Art der Information.

Die Präferenzen des Entscheidungsträgers

Aus methodischer Sicht betrifft die Berücksichtigung der Präferenzen des Entscheiders vier relevante Bereiche: Die Art der Angabe, den Zeitpunkt der Berücksichtigung, die Präferenzstruktur und die daraus erfolgende Anordnung der Alternativen. Hierbei kann die Art der Angabe sowohl direkt als auch über Tradeoffs oder durch paarweisen Vergleich erfolgen. Zur Angabe der Präferenzstruktur können die in Tabelle 13 genannten binären Relationen verwendet werden (Roy 1991).

Tabelle 13 Übersicht binärer Präferenzrelationen

Notation	Beschreibung
a I b	Indifferenz-Situation: a ist indifferent zu b
a P b	Präferenz-Situation: a wird b strikt vorgezogen
a Q b	Schwache-Präferenz-Situation: a wird als mindestens so gut wie b eingeschätzt
a R b	Unvergleichbarkeit: a und b sind unvergleichbar
a S b	Outranking Relation: a ist mindestens so gut wie b und es gibt keinen Grund, dem zu widersprechen

Quelle: Angaben nach Roy (1991)

Die Anwendung verschiedener Präferenzstrukturen hat auch Auswirkungen auf die Anordnung der Alternativen. So werden zum Beispiel bei einer vollständigen Präordnung die Alternativen in eine strikte Anordnung gebracht, während bei einer partiellen Anordnung Unvergleichbarkeiten mit einbezogen werden.

Zur Durchführung einer Bewertung von Anträgen zur Forschungsförderung wird meist ein Team aus fachlichen Betreuern mit administrativen, energietechnischen bzw. energiewirtschaftlichen Schwerpunkten zusammengestellt. Zudem sind in einem solchen Prozess manchmal Dritte in eine Begutachtung mit eingebunden. Der zu erwartende Mehrwert einer Methode zur Entscheidungsunterstützung sollte für die Zielgruppe primär darin liegen, zu einer strukturierten und möglichst nachvollziehbaren begründeten Entscheidung zu kommen. Aus diesem Kontext ergibt sich, dass eine Methode entsprechender Förderanlagen möglichst transparent und anwendbar sein sollte. Deshalb fällt die Wahl eher auf den Breitenansatz statt auf das Expertensystem. Aus dieser Überlegung heraus wird bei der folgenden Diskussion der Anforderungen an eine entsprechende Methodik meist das methodisch einfachere Verfahren favorisiert, auch wenn aus wissenschaftsmethodischer Sicht eine andere Wahl getroffen werden könnte.

Zur Bewertung von Förderprojekten soll eine vollständige Präordnung erstellt werden. Für einen hohen Grad an Nachvollziehbarkeit und Anwendbarkeit sind die direkte Angabe von Präferenzen sowie die Fokussierung auf strikte Präferenzen empfehlenswert.

Die Art des Entscheidungsproblems

Roy (1980) unterscheidet zwischen drei Arten von Entscheidungen: Die Selektion der besten Alternativen (α -Entscheidung), das Sortieren in unterschiedliche Klassen (β -Entscheidung) sowie die Ordnung der untersuchten Alternativen (γ -Entscheidung). Im Fall der Bewertung von Förderprojekten handelt es sich um eine α -Entscheidung, da hier die Frage, welches Projekt (also welche Alternative) gefördert werden soll, im Vordergrund steht. Neben dieser Auswahlproblematik müssen auch noch weitere Fragestellungen berücksichtigt werden (z. B. weshalb das Projekt gefördert werden soll – Beschreibungsaspekt).

Die Art der Information

Es wird zwischen ordinalen und kardinalen Informationen und deterministischen vs. nicht-deterministischen Verfahren (bzgl. der Informationseigenschaft) unterschieden. Bezüglich der Bewertung von Fördervorhaben ist es wichtig, neben begründeten qualitativen Informationen auch auf quantitative Daten, wie beispielsweise den Beitrag zur Erfüllung der Energie- und Klimaziele (in Form von kardinalen Skalen) zurückgreifen zu können. Das ausgewählte Verfahren muss daher beide Ebenen verarbeiten können.

Tabelle 14 Systematische Auswahl einer MADM-Methode

	1. Präferenzen des Entscheiders			2. Art des Problems	3 Informationen	
	Angabe der Präferenzen	Präferenzstruktur	Präordnung		Kardinal	Det.
Nutzwertanalyse	Direkt	{ P, I }	Vollständig	α	✓	✓
AHP	Paarweiser Vergleich	{ P, I }	Vollständig	α, γ	✓	✓
MAUT	Tradeoff	{ P, I }	Vollständig	α	✓	✓
ELECTRE I	Paarweiser Vergleich	{ S, R }	Partiell	α	✓	✓
ELECTRE II	Paarweiser Vergleich	{ S, R }	Partiell	γ	✓	✓
PROMETHEE I	Paarweiser Vergleich.	{ P, I, R }	Partiell	γ	✓	✓
PROMETHEE II	Paarweiser Vergleich	{ P, I }	Vollständig	γ	✓	✓

Quelle: Guitouni, A.; Martel, J.-M. (1998)

Der Vergleich der definierten Anforderungen mit den Merkmalen der Methoden offenbart, dass Forderung nach einer methodisch möglichst nachvollziehbaren und in der Anwendung praktischen Methode, zur Auswahl der besten Förderprojekte, unter Einbezug kardinaler deterministische Informationen, die Nutzwertanalyse diesen Bedürfnissen entspricht.

6 Abschließende Bemerkungen zur Konzipierung und Anwendung des Entscheidungsunterstützungssystems

In diesem Dokument wurde eine Betrachtung von förderrechtlichen und organisatorischen Rahmenbedingungen, eine Analyse von im Kontext der Energieforschungsförderung genutzter Instrumente und Konzepte sowie eine Diskussion von Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung durchgeführt. Aus dieser Betrachtung ergibt sich eine Reihe von Festlegungen für und Anforderungen an einen operativ nutzbaren Ansatz der Entscheidungsunterstützung für die staatliche Förderung anwendungsnaher Forschungsvorhaben.

Basierend auf diesen Festlegungen und Anforderungen wurde im weiteren Verlauf des Projekts, insbesondere durch Diskussionen in den eingangs genannten Workshops, der in Teil B dargestellte Vorschlag für ein Entscheidungsunterstützungssystem erarbeitet, mit dem staatliches Engagement gezielt auf besonders aussichtsreiche Vorhaben gelenkt werden kann. Der Vorschlag wurde bewusst als anwendungsorientiertes Dokument gestaltet und ist speziell auf die Betrachtung von Anträgen für Modell- und Demonstrationsvorhaben ausgerichtet.

Bei einer Bewertung von Anträgen anhand eines auf den Leitfaden gestützten Prozesses ist von einer Reihe von Implikationen für Antragssteller auszugehen:

- Generell ist mit einem strengeren Auswahlprozess als bei etablierten Programmen aus dem Bereich der Grundlagenforschung und anwendungsorientierten Forschung zu rechnen. Der Fokus einer öffentlichen Unterstützung wird aufgrund des hohen Ressourceneinsatzes auf wenigen, großen Vorhaben liegen.
- Der Nachweis einer hohen Wahrscheinlichkeit für einen späteren erfolgreichen Markteintritt ist besonders wichtig, da nur aussichtsreiche Vorhaben für öffentliches Engagements besonders relevant sind. Gleichzeitig muss nachgewiesen werden, dass überhaupt ein Förderbedarf besteht. Das heißt es müssen technische und wirtschaftliche Risiken vorliegen, die privates Engagement verhindern, die aber gleichzeitig überwindbar erscheinen.
- Der Mehrwert eines Vorhabens muss herausgestellt und eine hohe Sichtbarkeit sichergestellt werden, um den späteren Markteintritt zu begünstigen. Entsprechendes kann sich in der Gestaltung des Konsortiums widerspiegeln, indem neben klassischen Forschungspartnern auch verstärkt Transferexpertise in das Vorhaben eingebunden wird.
- Und letztlich muss für aussichtsreiche Vorhaben weitestgehend gewährleistet sein, dass sie das Potential besitzen, einen wesentlichen Beitrag zu den Kernzielen der Energieforschung zu leisten.

7 Literatur

- Belton, V.; Stewart, T. J. (2002): Multiple criteria decision analysis. An integrated approach. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Biegelbauer, P.; Mayer, S.; Palfinger, T. (2016): Final Report Task Force Select. The European Network of Innovation Agencies. Online: www.taftie.org/sites/default/files/Taskforce_SELECT_final_report_o.pdf Stand: 10.05.2017.
- BMWi (Hrsg.) (2005): Innovation und neue Energietechnologien. Das 5. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit.
- BMWi (Hrsg.) (2011): Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie.
- BMWi (Hrsg.) (2016): Bundesbericht Energieforschung 2016. Forschungsförderung für die Energiewende. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
- BMWi (Hrsg.) (2016a): Technology Readiness Level (TRL). NKS KMU. Nationale Kontaktstelle zum EU-Programm Horizont 2020. Online: <http://www.nks-kmu.de/teilnahme-trl.php>. Stand: 23.01.2017.
- Bradke et al. (2007): Bradke, H.; Dreher, C.; Cremer, C.; Ebersberger, B.; Edler, J.; Jochem, E. et al. (2007). Developing an assessment framework to improve the efficiency of R&D and the market diffusion of energy technologies EduaR&D. Report for the German Federal Ministry of Economics and Technology. Karlsruhe.
- Butzin, A. (2009) : Innovationsbiographien als Methode der raumzeitlichen Erfassung von Innovationsprozessen, In: Dannenberg, P.; Köhler, H.; Lang, T.; Utz, J.; Zakirova, B.; Zimmermann, T. (Hrsg.): Innovationen im Raum – Raum für Innovationen: 11. Junges Forum der ARL, 21. bis 23. Mai 2008 in Berlin. Hannover: Verlag der ARL, S. 189-198.
- Butzin, A; Rehfeld, D. (2008) : Innovationsbiographien in der Bauwirtschaft, Forschung Aktuell, Nr. 10/2008.
- Bruns, E.; Ohlhorst, D.; Wenzel, B.; Köppel, J. (2009): Erneuerbare Energien in Deutschland. Eine Biographie des Innovationsgeschehens. Berlin: TU Universitätsverlag.
- ENS (Hrsg.) (2017): EUDP. Energistyrelsen. Online: <https://ens.dk/ansvarsomraader/forskning-udvikling/eudp>. Stand: 23.01.2017.
- ENS (Hrsg.) (2012): Indkaldelse af ansøgninger til Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (EUDP). 2012-I. Januar 2012. Kopenhagen. Online: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/info/nyheder/nyhedsarkiv/indkaldelse-ansoegninger-eudp-2012/Indkaldelse_Januar_2012_DK.pdf. Stand: 23.01.2017.

- Europäische Kommission (Hrsg.) (2014): Horizon 2020. Self-evaluation form. Form 1: Research and innovation actions. Innovation action. Form 2: Coordination & support actions. Online:
http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/call_ptef/ef/h2020-call-ef-ria-ia-csa_en.pdf. Stand: 23.01.2017.
- Europäische Kommission (Hrsg.) (2016): Horizon 2020. The EU Framework Programme for Research and Innovation. H2020 Programme. Fact Sheets. Online:
http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/gm/h2020-grant-factsheet_en.pdf. Stand: 23.01.2017.
- Europäische Kommission (Hrsg.) (2016a): Horizon 2020. Work Programm 2016-2017. 20. General Annexes. Online:
http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/wp/2016-2017/annexes/h2020-wp1617-annex-ga_en.pdf. Stand: 23.01.2017.
- EIT InnoEnergy (Hrsg.) (2017): EIT InnoEnergy. Online: <https://eit.europa.eu/eit-community/eit-innoenergy>. Stand: 23.01.2017.
- Engel, D. W.; Dalton, A. C.; Anderson, K.; Sivaramakrishnan, C.; Lansing, C. (2012): Development of Technology Readiness Level (TRL) Metrics and Risk Measures. Report prepared for the U.S. Department of Energy under Contract DE-AC05-76RLO1830.
- Figueira, J. R.; Greco, S.; Roy, B.; Słowiński, R. (2013): An Overview of ELECTRE Methods and their Recent Extensions. In: *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 20 (1-2), S. 61–85.
- FFG (Hrsg.) (2016): Leitfaden für Einzelprojekte der Industriellen Forschung. Version 2.2. Gültig ab 01. September 2016. Online:
https://www.ffg.at/sites/default/files/downloads/page/il_einzelprojekteindustrielleforschung_efre_v.1.0_o.pdf. Stand: 23.01.2017.
- Geldermann, J. (2006): *Mehrzielentscheidungen in der industriellen Produktion*. Karlsruhe: Universitätsverlag.
- Götze, U. (2008): *Investitionsrechnung. Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben*. 6. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Guitouni, A.; Martel, J.-M. (1998): Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. In: *European Journal of Operational Research* 109 (2), S. 501–521.
- Hirzel, S. (2015): *Analyse und Bewertung industrieller Energieeffizienzmaßnahmen. Ein multikriterieller Ansatz für Gruppenentscheidungen unter Unsicherheit dargestellt am Beispiel von Druckluftsystemen*. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Hicks, B.; Larsson, A.; Culley, S.; Larsson, T. (2009): A Methodology for Evaluating Technology Readiness During Product Development. In: *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED'09*, Vol. 3, S. 3/157–3/168.
- Hwang, C.L.; Yoon, K. (1981): *Multiple Attribute Decision Making. Methods and Applications A State-of-the-Art Survey*. Berlin, Heidelberg: Springer.

- KIC InnoEnergy (Hrsg.) (2016): Call for Innovation Proposals 2016-2. KIC Inno-Energy Innovation Projects. Doc.: CIP16-2 GEN. Online: <https://investmentround.innoenergy.com/files/CIP16-2%20GEN%20-%20General%20Document%20v1.3.pdf>. Stand: 23.01.2017.
- InnoEnergy SE (Hrsg.) (2016): Do you fulfil the application criteria? Online: <https://investmentround.innoenergy.com/>. Stand: 23.01.2017.
- Klein, R.; Scholl, A. (2011): Planung und Entscheidung. Konzepte, Modelle und Methoden einer modernen betriebswirtschaftlichen Entscheidungsanalyse. 2. Auflage. München: Vahlen.
- Mankins, J. C. (2009): Technology readiness assessments: A retrospective. In: *Acta Astronautica*, 65, S. 1216-1223.
- Meyer-Krahmer, F.; Dreher, C. (2004): Neuere Betrachtungen zu Technikzyklen und Implikationen für die Fraunhofer-Gesellschaft. In: Spath, D. (Hrsg.): *Forschungs- und Technologiemanagement: Potenziale nutzen – Zukunft gestalten*. München: Hanser.
- Oberschmidt, J. (2010): *Multikriterielle Bewertung von Technologien zur Bereitstellung von Strom und Wärme*. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Radgen, P.; Klobasa, M. (2006): *Multidimensionale Technikbewertung im Rahmen des BMWA-Förderprogramms Eduar&D*. Vortrag im Rahmen der 42. Sitzung des Forschungsbeirates der AGFW am 8. Dezember 2006, Frankfurt.
- Ragwitz et al. (2005): Ragwitz, M.; Eichhammer, W.; Hasenauer, U.; Wietschel, M.; Gaisser, S.; Friedewald, M. et al. (2005): *Energy Scientific and Technological Indicators and References (ESTIR)*. Final Report for the Directorate General for Research. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Roy, B. (1980): Selektieren, Sortieren und Ordnen mit Hilfe von Prävalenzrelationen: Neue Ansätze auf dem Gebiet der Entscheidungshilfe für Multikriterien - Probleme. In: *Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung* 32 (6), S. 465–497.
- Roy, B. (1991): The outranking approach and the foundations of elective methods. In: *Theory and Decision*, 31 (1), S. 49–73.
- Saaty, T. L. (1980): *The analytic hierarchy process. Planning, priority setting, resource allocation*. New York, London: McGraw-Hill.
- Schneeweiß, C. (1991): *Planung*. 1 Band. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Straub, J. (2015): In search of technology readiness level (TRL) 10. In: *Aerospace Science and Technology*, 46, S. 312-320.
- Viebahn, P.; Kobiela, G.; Soukup, O.; Wietschel, M.; Hirzel, S.; Horst, J.; Hildebrand, J. (2017): *Technologien für die Energiewende. Teilbericht 1 (Kriterienraster zur Bewertung der Technologien innerhalb des Forschungsprojekts TF_Energiewende)* an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Wuppertal, Karlsruhe, Saarbrücken: Wuppertal Institut, Fraunhofer ISI, IZES.

- Vögele, S.; Markewitz, P.; Vogt, C.; Rennings, K.; Hoffman, T.; Moslener, U. (2007): Entscheidungskriterien für effiziente F&E-Förderkriterien- Innovationsökonomische Grundlagen und praktischen Anwendung für neue Energietechnologien - Bericht: Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft. Institut für Energieforschung (IEF). Systemforschung und Technologische Entwicklung (STE).
- Wietschel, M.; Arens, M.; Dötsch, C.; Herkel, S.; Krewitt, W.; Markewitz, P.; Möst, D.; Scheufen, M. (Hrsg.) (2010): Energietechnologien 2050-Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung-Technologiebericht. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Zangemeister, C. (1976): Nutzwertanalyse in der Systemtechnik. Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen. München: Wittemannsche Buchhandlung.
- Zhang, K.; Kluck, C.; Achari, G. (2009): A comparative approach for ranking contaminated sites based on the risk assessment paradigm using fuzzy PROMETHEE. In: Environmental management 44 (5), S. 952–967.
- Zimmermann, H.-J.; Gutsche, L. (1991): Multi-criteria Analyse. Einführung in die Theorie der Entscheidungen bei Mehrfachzielsetzungen. Berlin: Springer.