



> Hydraulic Fracturing

Eine Technologie in der Diskussion

acatech (Hrsg.)

acatech POSITION
Juni 2015

Herausgeber:

acatech – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN, 2015

Geschäftsstelle
Residenz München
Hofgartenstraße 2
80539 München

T +49 (0) 89 / 5 20 30 90
F +49 (0) 89 / 5 20 30 99

E-Mail: info@acatech.de
Internet: www.acatech.de

Hauptstadtbüro
Unter den Linden 14
10117 Berlin

T +49 (0) 30 / 2 06 30 96 0
F +49 (0) 30 / 2 06 30 96 11

Brüssel-Büro
Rue d'Egmont/Egmontstraat 13
1000 Brüssel
Belgien

T +32 (0) 2 / 2 13 81 80
F +32 (0) 2 / 2 13 81 89

Empfohlene Zitierweise:
acatech (Hrsg.): *Hydraulic Fracturing. Eine Technologie in der Diskussion* (acatech POSITION), München:
Herbert Utz Verlag 2015.

ISSN 2192-6166 / ISBN 978-3-8316-4477-3

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichen Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH • 2015

Koordination: Dr. Marcus Wenzelides

Redaktion: Sebastian Brunkow, Linda Treugut

Layout-Konzeption: acatech

Konvertierung und Satz: Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS,
Sankt Augustin

Gedruckt auf säurefreiem Papier

Printed in EC

Herbert Utz Verlag GmbH, München

T +49 (0) 89 / 27 77 91 00

Internet: www.utzverlag.de

> DIE REIHE acatech POSITION

In dieser Reihe erscheinen Positionen der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften zu technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Die Positionen enthalten konkrete Handlungsempfehlungen und richten sich an Entscheidungsträger in Politik, Wissenschaft und Wirtschaft sowie die interessierte Öffentlichkeit. Die Positionen werden von acatech Mitgliedern und weiteren Experten erarbeitet und vom acatech Präsidium autorisiert und herausgegeben.

> INHALT

	Inhalt
KURZFASSUNG	7
PROJEKT	13
1 EINFÜHRUNG UND ÜBERBLICK	15
2 ÖKONOMISCHE ASPEKTE	19
2.1 Erdgas	20
2.2 Tiefengeothermie	22
2.3 Hydraulic Fracturing: Bedeutung für die Energiewende	26
3 TECHNOLOGISCHE ASPEKTE	29
3.1 Tiefbohrungen und Bohrtechniken	29
3.2 Frac-Technologien	33
4 AUSWIRKUNGEN AUF DIE UMWELT	39
4.1 Schutzwert Grundwasser/Trinkwasser	39
4.2 Unmittelbare Gefährdung des Menschen	42
5 RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN	43
6 AKZEPTANZ UND KOMMUNIKATION	45
6.1 Hauptprinzipien der Risikokommunikation beim Hydraulic Fracturing	45
6.2 Psychologische Fallstricke bei der Risikokommunikation	47
6.3 Risikokommunikation beim Hydraulic Fracturing als Teil des Risiko-Governance-Systems	48
7 ÜBERGEORDNETE STUDIEN UND STELLUNGNAHMEN	49
8 BEST PRACTICE: HANDLUNGSOPTIONEN UND EMPFEHLUNGEN	51
9 PILOT-/TESTPROJEKTE ALS BEST PRACTICE-BEISPIELE	57
10 FAZIT	59
LITERATUR	61

KURZFASSUNG

Projektziel

Hydraulic Fracturing, umgangssprachlich meist als Fracking bezeichnet, ist eine in Politik und Gesellschaft kritisch und kontrovers diskutierte Technologie. Vor diesem Hintergrund und angesichts der Bedeutung von Hydraulic Fracturing für zwei wirtschaftlich und energiepolitisch wichtige Anwendungsgebiete – die Gewinnung von Schiefergas aus Tongesteinen und die Erschließung der Erdwärme aus petrothermalen Reservoiren – hat acatech die vorliegende Position erarbeitet. Diese acatech POSITION befasst sich mit den vielfältigen Facetten der Technologie und gibt einen wissenschaftlich sowie technisch fundierten Überblick über deren Potenziale, Chancen und Risiken. Damit soll die Informationsbasis für Entscheidungsträger und die interessierte Öffentlichkeit verbreitert werden. Auf dieser Grundlage können Politik und Gesellschaft Hydraulic Fracturing individuell bewerten und über den weiteren Einsatz dieser Technologie entscheiden.

Fracking im Kontext von Energiewende, Ressourcen- und Klimapolitik

Die Nutzung der Georessourcen Erdgas und Erdwärme ist heute im Kontext der Energiewende, der europäischen und internationalen Klimapolitik sowie der globalen Rohstoffverfügbarkeit zu betrachten. Die Energiewende stellt für Deutschland auch in den kommenden Jahrzehnten eine der zentralen Herausforderungen dar. Der technische Fortschritt sowie die Wettbewerbsfähigkeit sind dabei wichtige Bausteine. Um den Erfordernissen der Energiewende Rechnung zu tragen, sind Politik, Industrie und Wissenschaft, aber auch die Gesellschaft gleichermaßen gefragt, Lösungen zu finden und die richtigen Weichen zu stellen.

In jedem Fall werden Kohlenwasserstoffe in Deutschland in den kommenden Jahrzehnten noch eine wesentliche Rolle für die Energieversorgung spielen. Erdgas deckt derzeit etwa 22 Prozent des deutschen Primärenergiebedarfs. 2012 konnte die Versorgung mit Erdgas noch zu 13 Prozent aus heimischer Produktion gewährleistet werden. Ohne

Schiefergasförderung sind die Reserven der konventionellen Erdgasvorkommen in etwa zehn Jahren aufgebraucht, sodass Deutschland vollständig von ausländischen Erdgaslieferungen abhängig wäre. Mit der Förderung von unkonventionellem Schiefergas durch Hydraulic Fracturing könnte Deutschland hingegen für viele Jahrzehnte die heimische Erdgasförderung auf dem derzeitigen Niveau fortsetzen. Schiefergas, das von allen fossilen Energieträgern die „sau berste“ Energie liefert, kann deshalb eine Brückenfunktion wahrnehmen.

Die Tiefengeothermie hat zum Ziel, die enormen geother mischen Ressourcen im tieferen Untergrund zu erschließen und energetisch zu nutzen. Diese Energieform hat von allen erneuerbaren Energien den geringsten ökologischen Fußab druck, ist grundlastfähig und langfristig nachhaltig verfü gbar. Der größte Teil der heimischen Erdwärme ist in heißen Tiefengesteinen, den sogenannten petrothermalen Reservoi ren, gespeichert. Bereits mit der heutigen Technologie ließe sich aus derartigen Reservoiren ein nennenswerter Beitrag zur Strom- und Wärmeversorgung Deutschlands sicherstellen. Bei entsprechender Förderung und Weiterentwicklung von Techniken zur Erschließung petrothermalen Reservoirs durch Wärmetauscher kann die Tiefengeothermie im Mix der erneuerbaren Energien einen signifikanten Beitrag zur Deckung des Energiebedarfs in Deutschland leisten.

Die Gewinnung von Schiefergas und die Weiterentwick lung der petrothermalen Geothermie sind ohne Einsatz von Hydraulic Fracturing nicht möglich.

Prozesse und Verfahren des Hydraulic Fracturing

Hydraulic Fracturing ist ein technisches Verfahren zur Riss erzeugung in festen, gering permeablen Gesteinen im geo logischen Untergrund mithilfe von Wasserdruck. Es kommt aus Tiefbohrungen heraus zum Einsatz und wird in der Regel aus nachträglich gezielt perforierten Abschnitten der Ver rohrung durchgeführt. Ziel einer Frac-Maßnahme ist es, die Fließdurchlässigkeit der Gesteine nachhaltig zu verbessern

und Wegsamkeiten für den Transport von Fluiden, wie Erdgas, Erdöl und Wasser, zu schaffen. Dies geschieht durch Verpumpen einer Frac-Flüssigkeit (Frac-Fluid) in das Zielgestein. Dabei wird durch die Fluidinjektion ein Druck aufgebaut, der ausreichend groß ist, um entweder künstliche (Zug-)Risse zu erzeugen (Hydraulic Fracturing im engeren Sinne), oder aber Scherbewegungen auf bereits vorhandenen, ehemaligen Bruchflächen im Gestein auszulösen (Hydraulische Stimulation). Die dabei entstehenden Scherrisse führen zu einer deutlichen Verbesserung der hydraulischen Durchlässigkeit des Gesteins. Bei der herkömmlichen Hydraulischen Stimulation in der Tiefengeothermie besteht das Frac-Fluid deshalb meist nur aus Wasser. Für die Produktion von Erdgas- und Erdöllagerstätten mittels Hydraulic Fracturing ist ein Frac-Fluid erforderlich, das neben Wasser zusätzlich Stützmittel (Quarzsand oder Keramikkügelchen) zum Offenhalten der künstlichen Risse und weitere Substanzen als chemische Additive enthält. Typische Fluidgemische bestehen zu 97 bis 99,8 Prozent aus Wasser und zu 0,2 bis 3,0 Prozent aus Additiven. Für Frac-Fluid zur Tight Gas-Gewinnung in Deutschland konnte das Portfolio von Additiven inzwischen auf etwa 30 reduziert werden, die nach heutiger Gesetzgebung uneingeschränkt genehmigungsfähig sind. Für die Schiefergasförderung erscheint eine weitere Reduzierung auf zwei bis drei Additive möglich.

Frac-Maßnahmen werden durch seismisches Monitoring kontrolliert und können so dimensioniert und gesteuert werden, dass sich die Risse nur im Zielhorizont der Lagerstätte ausbreiten. Die Risslänge (horizontale Ausdehnung) reicht von wenigen zehn bis zu mehreren Hundert Metern, während die Riss Höhe meist deutlich geringer ist. Die Rissweite liegt häufig im Millimeterbereich und überschreitet selten das Maß von einem Zentimeter.

Hydraulic Fracturing und Umweltaspekte

Hydraulic Fracturing ist eine etablierte Technologie, die weltweit inzwischen rund drei Millionen Mal zum Einsatz gekommen ist. Sie wurde Ende der 1940er Jahre von der

Kohlenwasserstoff(KW)-Industrie zur Steigerung der Ausbeute von konventionellen Erdgas- und Erdöllagerstätten entwickelt und stellt inzwischen eine Schlüsseltechnologie zur Produktion von Kohlenwasserstoffen aus gering durchlässigen Sandsteinen oder Karbonatgesteinen konventioneller Lagerstätten dar (Tight Gas/Tight Öl). In Deutschland wird die Frac-Technologie seit 1961 genutzt. In den letzten Jahrzehnten wurde sie insbesondere zur Gewinnung von Tight Gas in tiefen Lagerstätten eingesetzt.

Die Ablehnung, auf die Fracking vielfach stößt, beruht nicht zuletzt auf Medienberichten über Vorfälle im Zusammenhang mit der Gewinnung von Schiefergas (Shale Gas) in den USA. Dort werden Frac-Operationen seit über zehn Jahren in großem Stil zur Freisetzung von Erdgas (in jüngster Zeit auch Erdöl) aus dichten Tongesteinen durchgeführt. Diese unkonventionellen KW-Lagerstätten, in denen sich das Erdgas noch in seinem Entstehungsgestein (= Muttergestein) befindet – und nicht wie bei konventionellen KW-Vorkommen durch die obere Erdkruste migriert und in geologischen Fallenstrukturen gespeichert ist –, sind in den USA regional weit verbreitet. Sie kommen aber auch in anderen Gebieten der Erde in teilweise beträchtlichem Ausmaß im Untergrund vor. Um diese meist flächenhaft gelagerten Ressourcen nutzbar zu machen, werden sie mit Hilfe von in der Lagerstätte horizontal abgelenkten Tiefbohrungen erschlossen.

Zu den wichtigsten und vor allem aufgrund von Berichten im Zusammenhang mit der Schiefergasproduktion in den USA diskutierten Umweltrisiken gehören: durch Unfälle oder technisches Versagen verursachte Schadstoffeinträge von der Erdoberfläche in den Untergrund, Freisetzung und Aufstieg von Schadstoffen und Methan aus und entlang undichter Bohrungen, befürchtete Ausbreitung von Frac-Fluiden und Methan aus den gefrackten Formationen und Aufstieg durch die obere Erdkruste bis in die Atmosphäre. Weitere Themen sind der Wasserverbrauch, der Landbedarf und vor allem die sogenannte Induzierte Seismizität.

Eine besondere Rolle in der Debatte um Hydraulic Fracturing spielt in Deutschland der Grundwasserschutz. Dabei wird der Begriff Grundwasser in der öffentlichen Debatte häufig mit Trinkwasser gleichgesetzt. Tatsächlich aber ist das natürlich vorkommende Grundwasser schon ab einer Tiefe von etwa 50 bis zu wenigen hundert Metern (regional unterschiedlich) mit zum Teil sehr hohen Salzgehalten (bis zu über 30 Prozent im Norddeutschen Becken), erhöhten Konzentrationen an Spurenmetallen sowie gelegentlich auch Anreicherungen natürlicher radioaktiver Stoffe für eine wirtschaftliche Nutzung ungeeignet. Es erscheint deshalb angeraten, zwischen wirtschaftlich nutzbaren oberflächennahen Grundwasservorkommen, Heilwässern und Formationswässern/Tiefenwässern ohne Nutzungspotenzial zu unterscheiden.

Umweltschäden im Zusammenhang mit dem bisherigen Einsatz von Hydraulic Fracturing in Deutschland sind nicht bekannt. Dies liegt nicht zuletzt an den hohen Standards und umfassenden Regelungen, die hierzulande für die Gestaltung und Überwachung des Bohr-/Betriebsplatzes, die Erstellung und Verrohrung der Tiefbohrungen sowie für die Durchführung von Frac-Maßnahmen heute bereits gelten. In diesem Positionspapier werden Empfehlungen gegeben und Maßnahmen aufgezeigt, die zu einer weiteren Verbesserung der Sicherheit führen können, zum Beispiel bezüglich der standortbezogenen Risikobewertung oder der Kontrolle der Bohrungsintegrität.

Im Zusammenhang mit der Injektion von Fluiden zur Risserezeugung in Schiefergaslagerstätten oder petrothermalen Reservoirs sind (wie auch zum Beispiel bei der untertägigen Speicherung von Erdgas) induzierte (mikro-)seismische Ereignisse unvermeidlich. Diese sind allerdings meist an der Erdoberfläche nicht wahrnehmbar. Ihre Stärke und Häufigkeit hängen insbesondere von den geologischen und technischen Randbedingungen ab. Wichtig sind daher „sanfte“ Frac-Techniken auf der Basis lokaler seismischer Gefährdungsanalysen. Ziel muss es sein, Richtlinien für den Injektionsprozess zu erarbeiten, die einerseits die Stärke der

an der Erdoberfläche spürbaren Mikro-Erdbeben begrenzen, andererseits aber immer noch die Durchlässigkeit des Reservoirs signifikant verbessern. Hier besteht trotz verschiedener Ansätze und Möglichkeiten noch Forschungsbedarf.

Öffentliche Wahrnehmung und gesellschaftliche Diskussion

In einer offenen Gesellschaft ist der künftige Einsatz von Hydraulic Fracturing auf die Zustimmung der betroffenen Gruppen und Anwohner angewiesen. Daher ist bei möglichen Genehmigungsverfahren auf Transparenz, umfassende Kommunikation der Vorhaben und eine aktive Beteiligung der betroffenen Bevölkerung am Planungsprozess zu achten. Eine wichtige Rolle können dabei wissenschaftlich begleitete Pilot-/Testprojekte spielen, wie sie im Kapitel 9 vorgeschlagen werden. Nur so können weitere Erfahrungen mit der Technologie gesammelt werden, die eine Grundlage für Vertrauen und mehr Aufgeschlossenheit gegenüber den ökonomischen und ökologischen Potenzialen von Hydraulic Fracturing schaffen. Gleichzeitig können die Pilot-/Testprojekte aber auch vor überzogenen Erwartungen schützen und eine gesunde Skepsis fördern.

Best Practice: Handlungsoptionen und Empfehlungen zum Umgang mit Hydraulic Fracturing

acatech empfiehlt einen umfangreichen Katalog von Best Practice-Maßnahmen, die beim Einsatz von Hydraulic Fracturing eingehalten werden sollten, um potentielle Umweltgefährdungen weitgehend auszuschließen. Unter anderem sind dies:

- Geologisch-geophysikalische Vorerkundung und 3D-Abbild des Untergrundes:*

Vor jeder Frac-Maßnahme ist ein 3D-Abbild des unterirdischen Raums im Umfeld der ausgewählten Lokation zu erstellen, abgeleitet aus einer Integration verschiedener Verfahren der geophysikalischen Tiefensondierung mit allen verfügbaren geologischen Daten/Informationen und Modellierungstechniken.

- *Standortbezogene Risikobewertung zur Bohrplatzgestaltung und zum Bohrungskonzept:*

Mit der Ausweisung von Gewässerschutzgebieten, der Ermittlung der Grenze zwischen oberflächennahem Grundwasser und Formationswasser/Tiefenwasser und der hydrogeologischen Gesamtsituation sowie dem Nachweis von geologischen Barriereformationen und tektonischen Störungszonen ist der Grundwasserschutz sicherzustellen. Außerdem ist das natürliche Erdbebenrisiko zu bewerten.

- *Referenzmessungen (Baseline-Werte) und Langzeit-Monitoring:*

Vor und während eines Pilot-/Testprojektes sind regelmäßig Grundwasser (stoffliche Zusammensetzung und physikalisch-chemische Parameter), Atmosphäre (zum Beispiel Emissionen von Methan) und natürliche Seismizität (Signal-/Rausch-Verhältnisse) zu überwachen.

- *Frac-Fluide:*

Alle Additive und relevanten Daten über einzusetzende Frac-Fluide sind offenzulegen. Mit Forschung und Entwicklung werden die Reduktion von Additiven und der Ersatz von potenziell schädlichen Zusätzen durch unbedenkliche Stoffe angestrebt. Auf den Einsatz von Frac-Fluiden der Einstufung „giftig“, „umweltgefährlich“ und höher als „schwach wassergefährdend“ (Wassergefährdungsklasse 1) wird verzichtet.

- *Flowback:*

Die bei der Schiefergasförderung zu Beginn der Produktionsphase entstehenden Flowback-Fluide sollten durch Recycling weitgehend wiederaufbereitet werden, sodass der Wasserverbrauch für Frac-Maßnahmen erheblich reduziert werden kann.

- *Clusterdrilling:*

Durch die Erschließung von Schiefergaslagerstätten mit horizontal abgelenkten Bohrungen in Form von Clustern von bis zu 20 Bohrungen von einem Standort aus

(anstelle von zahlreichen Einzelbohrungen) kann der Landbedarf stark reduziert werden.

- *Induzierte Seismizität/Seismisches Monitoring:*

Mit einem projektbezogenen seismischen Monitoring an der Erdoberfläche und – womöglich – in Nachbarbohrungen ist die Rissausbreitung bei Frac-Operationen in Echtzeit zu erfassen, um jederzeit über präzise Informationen verfügen und unverzüglich auf mögliche seismische Gefährdungen reagieren zu können. Hierzu ist ein „Ampelsystem“ zu entwickeln.

- *Well Integrity Management-System:*

Es wird die projektbezogene Erarbeitung und Etablierung von Mindeststandards für ein Well Integrity Management-System empfohlen, das den gesamten Lebenszyklus einer Tiefbohrung von der Planung über die Herstellung und Nutzung der Ressource bis hin zur abschließenden Verfüllung nach Projektende erfasst.

- *Überwachung der Bohrungsintegrität:*

Die obertägigen technischen Installationen einschließlich des Bohr-/Betriebsplatzes, die Bohrungsintegrität und die Monitoring-Systeme zur Betriebsüberwachung sind in regelmäßigen Zeitabständen zu überprüfen.

- *Kommunikation mit den Medien und der Öffentlichkeit:*

Es sollte bereits in einem sehr frühen Projektstadium mit einer transparenten und auf Dialog abzielenden Information und Kommunikation mit Bürgerinnen und Bürgern sowie den Medien begonnen werden.

Fazit

Ein generelles Verbot von Hydraulic Fracturing lässt sich auf Basis wissenschaftlicher und technischer Fakten nicht begründen. Der Einsatz der Technologie sollte allerdings strengen Sicherheitsstandards folgen, klar geregelt sein und umfassend überwacht werden. In Deutschland gelten bereits heute hohe technische Anforderungen an alle

Verfahrensschritte des Bohrens, Untertage-Engineerings und Frackings. Diese müssten auch auf die potenzielle Förderung von Schiefergas oder die Nutzung petrothermaler Reservoir angewendet werden.

Wichtig erscheinen in der gegenwärtigen Situation wissenschaftlich begleitete Pilot-/Testprojekte, sowohl für die

Schiefergasförderung als auch für die Tiefengeothermie. Diese sollten unter klar definierten Auflagen und zu vorgegebenen Standards ausgeführt werden und die offenen Fragen bei der Beurteilung der Risiken adressieren. Zugleich könnten die behördlich überwachten Operationen und die frühzeitige Information und Einbindung der Öffentlichkeit die Basis für ein stärkeres Vertrauen in die Fracking-Technologie bilden.

> BISHER SIND IN DER REIHE acatech POSITION UND IHRER VORGÄNGERIN acatech BEZIEHT POSITION FOLGENDE BÄNDE ERSCHIENEN:

acatech (Hrsg.): *Potenziale des dualen Studiums in der MINT-Fächern* (acatech POSITION), München: Herbert Utz Verlag 2014.

acatech (Hrsg.): *Partitionierung und Transmutation nuklearer Abfälle. Chancen und Risiken in Forschung und Anwendung* (acatech POSITION), München: Herbert Utz Verlag 2014.

acatech (Hrsg.): *Resilien-Tech – „Resilience-by-Design“: Strategie für die technologischen Zukunftsthemen* (acatech POSITION), München: Herbert Utz Verlag 2014.

acatech (Hrsg.): *Future Business Clouds. Cloud Computing am Standort Deutschland zwischen Anforderungen, nationalen Aktivitäten und internationalem Wettbewerb* (acatech POSITION), München: Herbert Utz Verlag 2014.

acatech (Hrsg.): *Innovationskraft der Gesundheitstechnologien. Neue Empfehlungen zur Förderung innovativer Medizintechnik* (acatech POSITION), München: Herbert Utz Verlag 2014.

acatech (Hrsg.): *Privatheit im Internet. Chancen wahrnehmen, Risiken einschätzen, Vertrauen gestalten* (acatech POSITION), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2013.

acatech (Hrsg.): *Georessource Boden – Wirtschaftsfaktor und Ökosystemdienstleister. Empfehlungen für eine Bündelung der wissenschaftlichen Kompetenz im Boden- und Landmanagement* (acatech POSITION), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2012.

acatech (Hrsg.): *Perspektiven der Biotechnologie-Kommunikation. Kontroversen – Randbedingungen – Formate* (acatech POSITION), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2012. Auch in Englisch erhältlich (als pdf) über: www.acatech.de

acatech (Hrsg.): *Faszination Konstruktion – Berufsbild und Tätigkeitsfeld im Wandel. Empfehlungen zur Ausbildung qualifizierter Fachkräfte in Deutschland* (acatech POSITION), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2012.

acatech (Hrsg.): *Anpassungsstrategien in der Klimapolitik* (acatech POSITION), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2012.

acatech (Hrsg.): *Die Energiewende finanziert gestalten. Effiziente Ordnungspolitik für das Energiesystem der Zukunft* (acatech POSITION), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2012. Auch in Englisch erhältlich (als pdf) über: www.acatech.de

acatech (Hrsg.): *Menschen und Güter bewegen. Integrative Entwicklung von Mobilität und Logistik für mehr Lebensqualität und Wohlstand* (acatech POSITION), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2012.

acatech (Hrsg.): *Biotechnologische Energieumwandlung in Deutschland. Stand, Kontext, Perspektiven* (acatech POSITION), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2012.

acatech (Hrsg.): *Mehr Innovationen für Deutschland. Wie Inkubatoren akademische Hightech-Ausgründungen besser fördern können* (acatech POSITION), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2012. Auch in Englisch erhältlich (als pdf) über: www.acatech.de

acatech (Hrsg.): *Georessource Wasser – Herausforderung Globaler Wandel. Ansätze und Voraussetzungen für eine integrierte Wasserressourcenbewirtschaftung in Deutschland* (acatech POSITION), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2012. Auch in Englisch erhältlich (als pdf) über: www.acatech.de

acatech (Hrsg.): *Future Energy Grid. Informations- und Kommunikationstechnologien für den Weg in ein nachhaltiges und wirtschaftliches Energiesystem* (acatech POSITION), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2012. Auch in Englisch erhältlich (als pdf) über: www.acatech.de

acatech (Hrsg.): *Cyber-Physical Systems. Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion* (acatech POSITION), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2011. Auch in Englisch erhältlich (als pdf) über: www.acatech.de

acatech (Hrsg.): *Den Ausstieg aus der Kernkraft sicher gestalten. Warum Deutschland kerntechnische Kompetenz für Rückbau, Reaktorsicherheit, Endlagerung und Strahlenschutz braucht* (acatech POSITION), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2011. Auch in Englisch erhältlich (als pdf) über: www.acatech.de

acatech (Hrsg.): *Smart Cities. Deutsche Hochtechnologie für die Stadt der Zukunft* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 10), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2011. Auch in Englisch erhältlich (als pdf) über: www.acatech.de

acatech (Hrsg.): *Akzeptanz von Technik und Infrastrukturen* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 9), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2011.

acatech (Hrsg.): *Nanoelektronik als künftige Schlüsseltechnologie der IKT in Deutschland* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 8), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2011.

acatech (Hrsg.): *Leitlinien für eine deutsche Raumfahrtpolitik* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 7), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2011.

acatech (Hrsg.): *Wie Deutschland zum Leitanbieter für Elektromobilität werden kann* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 6), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2010.

acatech (Hrsg.): *Intelligente Objekte – klein, vernetzt, sensitiv* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 5), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2009.

> acatech – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN

acatech vertritt die deutschen Technikwissenschaften im In- und Ausland in selbstbestimmter, unabhängiger und gemeinwohlorientierter Weise. Als Arbeitsakademie berät acatech Politik und Gesellschaft in technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Darüber hinaus hat es sich acatech zum Ziel gesetzt, den Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft zu unterstützen und den technikwissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern. Zu den Mitgliedern der Akademie zählen herausragende Wissenschaftler aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen. acatech finanziert sich durch eine institutionelle Förderung von Bund und Ländern sowie durch Spenden und projektbezogene Drittmittel. Um den Diskurs über technischen Fortschritt in Deutschland zu fördern und das Potenzial zukunftsweisender Technologien für Wirtschaft und Gesellschaft darzustellen, veranstaltet acatech Symposien, Foren, Podiumsdiskussionen und Workshops. Mit Studien, Empfehlungen und Stellungnahmen wendet sich acatech an die Öffentlichkeit. acatech besteht aus drei Organen: Die Mitglieder der Akademie sind in der Mitgliederversammlung organisiert; das Präsidium, das von den Mitgliedern und Senatoren der Akademie bestimmt wird, lenkt die Arbeit; ein Senat mit namhaften Persönlichkeiten vor allem aus der Industrie, aus der Wissenschaft und aus der Politik berät acatech in Fragen der strategischen Ausrichtung und sorgt für den Austausch mit der Wirtschaft und anderen Wissenschaftsorganisationen in Deutschland. Die Geschäftsstelle von acatech befindet sich in München; zudem ist acatech mit einem Hauptstadtbüro in Berlin und einem Büro in Brüssel vertreten.

Weitere Informationen unter www.acatech.de