

ARBEITSKREIS ENERGIE (AKE)

Prof. Dr. Martin Keilhacker
 Kapellengartenstr. 11
 D-81247 München
 E-Mail: Martin.Keilhacker@SoftDesign.de

Einführung: Die Sicherstellung unserer Energieversorgung unter gleichzeitiger Wahrung der globalen Klimaschutzbelange stellt eine der größten Herausforderungen unseres Jahrhunderts dar. Sie kann nur durch einen intelligenten Energiemix gemeistert werden, der sich aus Energiesparen, CO₂-freien Kohlekraftwerken, inhärent sicherer Kernenergie und dem verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien zusammensetzt. Einige dieser Energiesysteme und ihre Problematik werden im Folgenden diskutiert.

ÜBERSICHT DER HAUPTVORTRÄGE UND FACHSITZUNGEN
 (Hörsaal TU FT131)

Hauptvorträge

AKE 1.1	Di	10:15	(TU FT131)	Kosmologischer Ursprung der für irdische Zwecke nutzbaren Energie, <u>Eckhard Rebhan</u>
AKE 2.1	Di	10:45	(TU FT131)	Stromerzeugung ohne CO₂-Ausstoss in die Erdatmosphäre, <u>Axel Kranzmann</u>
AKE 2.2	Di	11:30	(TU FT131)	Neue Kernreaktoren der Generation IV, <u>Joachim U. Knebel</u>
AKE 4.1	Mi	10:15	(TU FT131)	Das Potential synthetischer Kraftstoffe für die Mobilität der Zukunft , <u>Wolfgang Steiger</u>
AKE 4.2	Mi	11:00	(TU FT131)	Langfristige Szenarien zur Integration von Regenerativen Energietechnologien in das Verbundsystem, <u>Stephan Kohler</u>
AKE 4.3	Mi	11:45	(TU FT131)	Stand und Perspektiven der Photovoltaikforschung, <u>Stefan Glunz</u>

Fachsitzungen

AKE 1	Ursprung unserer Energie	Di 10:15–10:45	TU FT131	AKE 1.1–1.1
AKE 2	Kohle und Kernenergie	Di 10:45–12:15	TU FT131	AKE 2.1–2.2
AKE 3	Stromverbrauch und Wirtschaftswachstum	Di 12:15–12:30	TU FT131	AKE 3.1–3.1
AKE 4	Erneuerbare Energien I	Mi 10:15–12:30	TU FT131	AKE 4.1–4.3
AKE 5	Erneuerbare Energien II	Mi 12:30–12:45	TU FT131	AKE 5.1–5.1

Fachsitzungen

– Haupt- und Kurzvorträge –

AKE 1 Ursprung unserer Energie

Zeit: Dienstag 10:15–10:45

Raum: TU FT131

Hauptvortrag

AKE 1.1 Di 10:15 TU FT131

Kosmologischer Ursprung der für irdische Zwecke nutzbaren Energie — ●ECKHARD REBHAN — Institut für Theoretische Physik, Universität Düsseldorf, D-40225 Düsseldorf

Für die Expansion des Universums spielen drei Sorten von Energie eine Rolle: 1. Energie der Strahlung und Materie (inklusive dunkler Materie), 2. die für das Abbremsen der kosmischen Expansion verantwortliche Gravitationsenergie, und 3. sogenannte dunkle Energie. Die von der Menschheit genutzten Energiequellen sind alle auf die unter 1. aufgeführten Energien zurückzuführen. Bei der unter 2. genannten Gravitationsenergie handelt es sich um negative Feldenergie. Sie und die dunkle Energie sind nicht für irdische Zwecke nutzbar. Nur in der – bis heute andauernden – materiedominierten Ära der kosmologischen Evolution wird – bei Vernachlässigung der Strahlung – die Energie der Materie für sich erhalten. In den frühen Phasen des Universums dagegen gilt Energieerhaltung nur für die Summe der drei angeführten Energien, und nach den Einsteinschen Feldgleichungen bzw. deren Spezialisierung auf unser Universum (Friedmann-Lemaître-Gleichung) ist diese Summe gleich null. Bei reinen Urknall-Modellen des Universums wird die Energie der Strahlung und Materie in der strahlungsdominierten Frühphase des Universums umso größer, je weiter man in der Zeit zurückgeht, um schließlich

im Urknall zu divergieren. Gleichzeitig geht die Gravitationsenergie, die wegen des Verschwindens der Gesamtenergie dem Betrage nach gleich der Strahlungsenergie sein muß, gegen minus unendlich.

In der modernen Kosmologie werden Urknallsingularitäten und damit auch die eben angeführte Singularität der Strahlungsenergie dadurch vermieden, daß einem Beinahe-Urknall (Zustand wie der einer Urknalllösung kurz nach dem Urknall) eine Phase explosiver Expansion, eine sogenannte Inflation, vorausgeht. Diese wurde durch dunkle Energie sehr hoher, aber endlicher Konzentration angetrieben. Zu Beginn der Inflation war die Gesamtmenge an dunkler Energie wegen der mikroskopischen Kleinheit des Universums verschwindend klein, nahm jedoch aufgrund der schnellen Expansion trotz Abnahme der Konzentration sehr schnell zu. Wegen der Erhaltung der Gesamtenergie mußte das durch eine gleich schnelle Zunahme des Betrags der Gravitationsenergie kompensiert werden. Die Phase der Inflation wurde dadurch beendet, daß die dunkle Energie in einer Art Phasenübergang durch Zerfall in Energie von Strahlung und Materie überführt wurde. Die riesige Menge der heute in Strahlung und Materie des Universums enthaltenen und für irdische Zwecke nutzbaren Energie stammt also letzten Endes aus dunkler Energie. Da deren Gesamtmenge anfänglich verschwindend klein war, kann man sagen, daß die für uns nutzbare Energie buchstäblich aus dem Nichts kam.

AKE 2 Kohle und Kernenergie

Zeit: Dienstag 10:45–12:15

Raum: TU FT131

Hauptvortrag

AKE 2.1 Di 10:45 TU FT131

Stromerzeugung ohne CO₂-Ausstoss in die Erdatmosphäre — ●AXEL KRANZMANN — Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, D-12205 Berlin

In Deutschland betrug im Jahr 2002 das Gesamtstromaufkommen 588 Mrd. kWh. Davon wurden 45 Mrd. kWh oder 7,65% durch größtenteils regenerative Primärenergien wie Wasserkraft (23,9 kWh), Wind (16,8 kWh), Biomasse und Müll (4,2 kWh) sowie Photovoltaik (0,1 kWh) erzeugt. Die eingesetzten kohlenstoffhaltigen Primärenergieträger waren zu 27,4% Braunkohle, zu 23,2% Steinkohle und zu 9,3% Erdgas. Die Umwandlung dieser Primärenergieträger zu Strom bedeutet die Erzeugung von Kohlendioxid (366 Mio. t in 2001 von insgesamt 873 Mio. t). Ohne kohlenstoffhaltige Primärenergieträger ist die Versorgung mit Elektrizität auch in den nächsten 50 Jahren wahrscheinlich nicht möglich. Da CO₂ gemäß den Modellen der Klimaforschung das Klima nachhaltig beeinflussen könnte, konzentrieren sich weltweit F&E-Programme zur Entwicklung der Energieerzeugungstechnologie auf die Reduzierung des CO₂-Ausstosses von Kraftwerksanlagen. Da Kraftwerke große und lokalisierte CO₂-Quellen sind, liegt es nahe, nicht vermeidbares CO₂ nicht in die Atmosphäre zu entlassen, sondern abzuscheiden und in Speichern zu lagern. Diese Ziele werden zum Beispiel in den Energieprogrammen der USA, im Vereinigten Königreich, Deutschland und Norwegen verfolgt. In Deutschland wurde dazu das COORETEC-Programm entworfen. Mögliche technologische Schritte sollen vorgestellt und einige offene technisch-wissenschaftliche Fragen diskutiert werden. Dazu gehören neue Hochtemperaturwerkstoffe, welche die Steigerung des Umwandlungswirkungsgrades in Turbomaschinen ermöglichen, oder Lufttrenntechnologien, welche „Oxyfuelprozesse“ kommerziell nutzbar machen.

Hauptvortrag

AKE 2.2 Di 11:30 TU FT131

Neue Kernreaktoren der Generation IV — ●JOACHIM U. KNEBEL — Forschungszentrum Karlsruhe, Programm Nukleare Sicherheitsforschung (NUKLEAR), D-76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Generation IV ist ein Rahmenprogramm für eine internationale Forschungsinitiative zur Entwicklung der künftigen, vierten Generation von Kernreaktoren zur kommerziellen Stromerzeugung mit vier wesentlichen Zielen: Nachhaltigkeit, Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und Zuverlässigkeit sowie Proliferationsbarrieren und physikalischer Selbstschutz.

Generation IV wurde ursprünglich von 10 Nationen vereinbart: Argentinien, Brasilien, Kanada, Frankreich, Japan, Südkorea, Südafrika, Schweiz, das Vereinigte Königreich und den USA. Innerhalb der nächsten 15 bis 20 Jahre sollen innovative Kernreaktoren entwickelt werden, um damit die wichtigsten Fragen des öffentlichen Interesses zu beantworten: Bereitstellung von Reaktoren mit erhöhten Sicherheitsmerkmalen, Minimierung des produzierten Abfalls, Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegen die Proliferation von Spaltmaterial und Steigerung der Wirtschaftlichkeit. Unter der Federführung des Department of Energy der USA entstand in 2002 ein Forschungs- und Entwicklungsprogramm, das in einer „Technology Roadmap“ [1] zusammengefasst wurde. Im Juli 2003 trat EURATOM dem Generation IV International Forum bei.

Der Vortrag gibt einen Überblick über die Hintergründe, Ziele, Organisation und Inhalte dieser internationalen Forschungsinitiative. Speziell wird auf die in einem umfangreichen Evaluationsverfahren ausgewählten sechs Reaktorkonzepte eingegangen:

- Gasgekühlte schnelle Reaktorsysteme,
- Bleigekühlte schnelle Reaktorsysteme,
- Salzschnmelze Reaktorsysteme,
- Natriumgekühlte Reaktorsysteme,
- Wassergekühlte Reaktorsysteme mit überkritischen Dampfzuständen,
- Gasgekühlte Höchsttemperatur-Reaktorsysteme.

[1] A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems, issued by the US DOE Nuclear Energy Research Advisory Committee and the Generation IV International Forum, Dec. 2002, <http://gif.inel.gov/roadmap>

AKE 3 Stromverbrauch und Wirtschaftswachstum

Zeit: Dienstag 12:15–12:30

Raum: TU FT131

AKE 3.1 Di 12:15 TU FT131

Verbindung zwischen 2. Hauptsatz, Stromverbrauch und Wirtschaftswachstum — ●K.- F. ALBRECHT¹, W. MENDE² und D. ORLAMÜNDER¹ — ¹Technische Universität Dresden — ²Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften

Nach dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik müssen alle ordnungsstrukturierenden Systeme Entropie exportieren und dazu importierte Energie nutzen. Zu solchen Systemen gehören z.B. auch die Wirtschaftssysteme von Ländern. Es ist naheliegend, dass dabei der wertvollsten zum Einsatz kommenden Energieform eine Führungsrolle zukommt. Aus diesem Grunde hatte W. Mende vorgeschlagen, das Wirtschaftswachstum mittels des gut definierten und gut messbaren Stromverbrauchs (SV) an Stelle des üblicherweise benutzten Bruttoinlandproduktes (BIP) zu untersuchen. Neben der Bestätigung der früher von W. Mende aufgestellten

Wachstumsregeln wurde z.B. erhalten, dass das Maximum der Zuwächse für Industriestaaten etwa im Jahre 1970 erreicht wurde und im Falle der UdSSR konnte eine Stromverbrauchsprognose erstellt werden, die sich im Jahre 1990 in Gegensatz zur offiziellen Prognose als richtig erwies. Die empirische Untersuchung der Frage, ob eine Beziehung zwischen den Größen SV und BIP besteht, führte zu folgenden Befunden:

- 1.) Das Wachstum des SV koppelt zu dem Zeitpunkt (1973) an das Wachstum des BIP an, zu dem der Primärenergieverbrauch auskoppelt.
- 2.) Für ca. 30 Jahre nach dem 2. Weltkrieg gilt für (zumindest 3) Industrieländer eine annähernd lineare Beziehung: $BIP(t)/BIP(1960) = 0.5 SV(t)/SV(1960) + 0.5$. Für weitere Länder soll nach solchen Beziehungen gesucht werden. Für den Zeitraum der Gültigkeit der 2. Beziehung lassen sich offenbar die Resultate zum Wachstum des SV auf das Wachstum des BIP übertragen.

AKE 4 Erneuerbare Energien I

Zeit: Mittwoch 10:15–12:30

Raum: TU FT131

Hauptvortrag

AKE 4.1 Mi 10:15 TU FT131

Das Potential synthetischer Kraftstoffe für die Mobilität der Zukunft — ●WOLFGANG STEIGER — Volkswagen AG, D-38436 Wolfsburg

Unter Umweltgesichtspunkten wird die Entwicklung von Kraftfahrzeugen und ihren Antrieben weiterhin durch sich ständig verschärfende Abgasstandards bestimmt. Darüber hinaus gewinnen aber auch Maßnahmen zur Reduktion von Verbrauch und CO₂-Emissionen einen ständig wachsenden Einfluss auf die Optimierung von Fahrzeug- und Antriebskonzepten. Einen weiteren wichtigen Aspekt stellt die extreme Konzentration auf Erdöl als Primärenergieträger dar, die erhebliche Risiken für die Zukunft birgt.

Eine langfristig sichere Versorgung mit Energieträgern für den Individualverkehr setzt deshalb, neben einem möglichst sparsamen Umgang mit Kraftstoff, eine Diversifizierung der für die Kraftstoffherzeugung eingesetzten Energiequellen voraus, insbesondere die Einbeziehung alternativer und regenerativer Vorkommen.

Flüssige synthetische Kraftstoffe spielen vor diesem Hintergrund eine Hauptrolle, da sie die Nutzung einer Vielzahl unterschiedlichster Primärenergieträger zur Kraftstoffherstellung ermöglichen. Gleichzeitig bieten synthetische Kraftstoffe wie SynFuel und SunFuel durch ihre stoffliche Reinheit und Designbarkeit erhebliche Potentiale zur Reduzierung der Schadstoffemissionen. Die Vorteile können dabei in drei Konzepten realisiert werden.

1. Direkte Reduzierung der Schadstoffe durch Einsatz synthetischer Kraftstoffe in herkömmlichen Motoren. So wurden z. B. bei einem Einsatz von Shell-GtL in einem Flottentest mit 25 Golf TDI EU1V im Vergleich zu schwefelarmem Diesel im Mittel 26% weniger Partikel-, 6% weniger NO_x- und 63% geringere HC-Emissionen gefunden.

2. Weitergehende Schadstoffreduzierungen durch die Entwicklung neuer Brennverfahren auf Basis neu spezifizierter Kraftstoffe. Aufgrund der hohen Flexibilität des Produktionsprozesses können weitgehend maßgeschneiderte Kraftstoffe hergestellt werden, die den hohen Ansprüchen zukünftiger Motorgenerationen genügen. Damit werden erhebliche Schadstoffreduzierungen bei gleichzeitiger Verbrauchsverbesserung möglich.

3. Reduzierung der CO₂-Emissionen durch den Einsatz von Biomasse als Primärenergie für synthetische Kraftstoffe. Dadurch entstehen BTL (Biomass To Liquid) Verfahren, die weitgehend CO₂-neutrale Kraftstoffe (SunFuels) erzeugen. Damit werden die CO₂-Emissionen im Fahrzeugbetrieb auf einer Well-To-Wheel Basis zusätzlich zu Verbrauchsreduzierungen weiter verringert. Der große Vorteil dieser Route liegt darin, dass die heutige Kraftstoff-Infrastruktur erhalten bleiben kann.

Langfristig ist damit zu rechnen, dass die noch bestehenden Probleme von Wasserstoffspeicherung und -infrastruktur gelöst werden. Der Weg für die Wasserstoffwirtschaft ist dann frei, vorausgesetzt, eine Gesamt-

bewertung ergibt ausreichende Vorteile.

Flüssige synthetische Kraftstoffe bilden einen idealen Übergang von der Kohlenwasserstoff- zur Wasserstoffwirtschaft. Beide Energieträger ergänzen sich in hervorragender Weise. Führt man regenerativ hergestellten Wasserstoff den Bio-GTL Prozessen zu, verdoppelt man deren Ausbeute. Ebenso kann der erste Schritt des BTL Verfahrens zur Herstellung von Wasserstoff genutzt werden. Diese Technologie gibt daher den Brennstoffzellensystemen und der Wasserstoffwirtschaft die notwendige Zeit zur Reife und zur Entwicklung der Wettbewerbsfähigkeit. Allerdings werden dafür noch mindestens 20 Jahre benötigt.

Hauptvortrag

AKE 4.2 Mi 11:00 TU FT131

Langfristige Szenarien zur Integration von Regenerativen Energietechnologien in das Verbundsystem — ●STEPHAN KOHLER — Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), D-10115 Berlin

Hauptvortrag

AKE 4.3 Mi 11:45 TU FT131

Stand und Perspektiven der Photovoltaikforschung — ●STEFAN GLUNZ — Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE), D-79100 Freiburg

Die Photovoltaik wächst schon seit längerer Zeit mit zweistelligen Raten und konnte in den letzten Jahren Wachstumszahlen von gut 30% pro Jahr erreichen. Diese positive Entwicklung geht einher mit einem starken Ausbau der Fertigungskapazitäten und einer Intensivierung der Forschungsaktivitäten vor allem im Bereich der kristallinen Siliziumsolarzellen. Dabei spielt neben der Weiterentwicklung der Zellstruktur insbesondere die Optimierung der Produktionstechnologie eine wichtige Rolle. Mittlerweile hat sich die Photovoltaik sowohl in Hinblick auf Materialien als auch Anlagentechnik als selbstständiger Industriezweig etabliert.

Ziel aller Bemühungen ist eine Verminderung der Herstellungskosten. Als wichtiger Ansatz hat sich dabei die Reduzierung der Zelldicke herauskristallisiert, um so den Einsatz des relativ teuren Ausgangsmaterials Silizium zu reduzieren. Diese Strategie erfordert aber eine Optimierung der Zellstruktur, so dass der Wirkungsgrad durch die Verringerung des photoaktiven Materials nicht sinkt, sondern möglicherweise sogar gesteigert werden kann.

Außer dem Arbeitspferd „Kristalline Siliziumsolarzelle“ beleuchtet dieser Vortrag auch das große Spektrum der anderen Solarzellentechnologien. Hier sind insbesondere die Dünnschichtzellen zu nennen, die aufgrund einer starken Reduzierung des photoaktiven Materials prinzipiell eine weitergehende Kostenreduktion möglich machen. Aber auch Farbstoff- und organische Solarzellen, sowie optische Konzentratorsysteme auf Basis von hocheffizienten III-V-Solarzellen könnten in Zukunft eine stärkere Rolle spielen. Nicht minder interessant sind neuartige Zellkonzepte, die auf einer besseren Ausnutzung des gesamten Sonnenspektrums basieren und so eine massive Erhöhung des Wirkungsgrades versprechen.

AKE 5 Erneuerbare Energien II

Zeit: Mittwoch 12:30–12:45

Raum: TU FT131

AKE 5.1 Mi 12:30 TU FT131

Ein biologischer Solarenergie-Generator — •DIETER F. IHRIG¹, H. MICHAEL HEISE², THORSTEN KOETTER¹, MANUEL GEMUEND¹, DARIUS WILCZEK¹, MARTIN POSCHMANN¹ und KLAUS STADTLANDER¹ — ¹FH Südwestfalen, Iserlohn, Germany — ²ISAS - Institute for Analytical Sciences at the University of Dortmund, Germany

Die Biomasseproduktion durch Mikroalgen ist um einen Faktor 10 effizienter als jene durch Pflanzen; dies könnte bei der Einführung von ökonomisch tragfähigen Prozessen zur Gewinnung von Solarenergie hilfreich sein. Wegen des sehr niedrigen Trockenmassegehaltes von Algen-Suspensionen ist der Erfolg versprechendste Weg zur Umwandlung des

Energiegehaltes der Algenbiomasse in eine hochenergetische und leicht zu transportierende Form die anaerobe Produktion von Biogas. Wir entwickeln solche Prozesse, insbesondere Reaktoren für die Produktion von Biomasse aus Mikroalgen, zur Zellseparation, zur Aufbereitung der Biomasse und einen sich daran anschließenden zweistufigen anaeroben Prozess. Erste Ergebnisse für Teile dieses Entwicklungsprojektes werden gezeigt; genauer eingegangen wird auf die Ergebnisse eines mehrwöchigen Versuches, den anaeroben Prozess mit Algenbiomasse zu beschicken. Darüber hinaus werden Ergebnisse einer Modellrechnung zu den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen gezeigt. Das Projekt war gefördert durch den BMBF (FKZ 170 02 01).