

Technologieplanung und Technologie Roadmap in der Elektrizitätswirtschaft: Nuklearkraft und neue erneuerbare Energien

lic. oec. publ. Claudia Wohlfahrtstätter (vortragende Person)

ETH Zürich, Department of Management, Technology, and Economics /

Chair of Technology and Innovation Management

Kreuzplatz 5, CH-8032 Zürich

Tel.: +41 44 632 05 92, Fax. +41 44 632 18 75

E-Mail: cwohlfahrtstaetter@ethz.ch

Dr. sc ETH, lic. oec. HSG Nicolas Rohner

ETH Zürich, Department of Management, Technology, and Economics /

Chair of Technology and Innovation Management

Kreuzplatz 5, CH-8032 Zürich

Tel.: +41 44 632 05 92, Fax. +41 44 632 18 75

E-Mail: nrohner@ethz.ch

Prof. Dr. Roman Boutellier

ETH Zürich, Department of Management, Technology, and Economics /

Chair of Technology and Innovation Management

Kreuzplatz 5, CH-8032 Zürich

Tel. +41 44 632 05 91, Fax. +41 44 632 18 75

E-Mail: rboutellier@ethz.ch

Zusammenfassung

Technologieentwicklung läuft meist nach ähnlichen, sich wiederholenden Mustern ab. Diese Entwicklungsmuster ermöglichen es, zusammen mit der Kenntnis um physikalische Grenzen, das technologische Potential abzuschätzen. Basierend auf dieser Projektion und auf dem Diffusionspotential wird eine Technologie Roadmap ausgearbeitet.

Die Technologien der Elektrizitätswirtschaft sind heute in aller Munde. Prognostizierte, zunehmende Engpässe in der Stromproduktion und bei der Übertragung in ganz Europa sowie das Thema Nachhaltigkeit treiben die politischen, gesellschaftlichen und wissenschaftlichen Diskussionen an. Der Artikel greift die Thematik am Beispiel der Schweiz auf und analysiert den technologischen Reifegrad der Nuklearkraft und der neuen erneuerbaren Energien. Die Technologien der Elektri-

zitätswirtschaft sind weitgehend offen und damit gut prognostizierbar. Fast alle Komponenten sind ausgereift, die Effizienzverbesserungen liegen bei zwei bis drei Prozent pro Jahr. Der Anteil an der Gesamtproduktion einer neuen Produktionsart, wie die neuen erneuerbaren Energien es sind, kann deshalb nur durch Verbreitung steigen. Inwiefern eine Technologie in der Elektrizitätswirtschaft Diffusionspotential hat, hängt jedoch von der gesellschaftlichen Akzeptanz und weniger vom technologischen Reifegrad ab. Daher sind Projektionen in die Zukunft grossen Ungenauigkeiten unterworfen: Meistens kann man nur grundsätzliche Möglichkeiten und Szenarien aufzeigen.

Der Artikel verwendet zur Bestimmung des aktuellen Standes der einzelner Technologien einerseits die typischen Entwicklungsphasen nach Utterback, ergänzt diese jedoch um alternative Betrachtungen, wie Architectural Innovations nach Henderson und Clark, Diffusionstheorien nach Gerosky und Samuelson [Sam92] und Überlegungen zur S-Kurve nach Twiss.

Schlüsselwörter

Technologie Roadmap, Technologieentwicklungen, Elektrizitätswirtschaft, Innovation, soziale Akzeptanz

1 Einleitung

1.1 Technologie Roadmap und Unsicherheit

Die Entwicklung einer Technologie läuft meist nach ähnlichen, sich wiederholenden Mustern ab: Kernkraft aber auch erneuerbare Energien wie die Photovoltaik, Windkraft, Geothermik, Biomasse und die Nutzung von Kleingewässern zeigen die gleichen Lebensphasen. Welche dieser neuen Technologien ist auf dem Weg eine ähnliche Bedeutung zu erlangen wie die Kernkraft? Welche Technologie wird zukünftig unseren steigenden Energiebedarf decken? Soziale Akzeptanz und Unsicherheiten sind Faktoren, welche technologische Entwicklungen wesentlich beeinflussen und in einer Technologie Roadmap zu berücksichtigen sind.

Technologische Entwicklungen können beispielsweise nach Utterback in folgende charakteristische Phasen eingeteilt werden: Die erste Phase, die Entstehungs- oder „Fluid“-Phase ist geprägt von grosser Aktivität und unterschiedlichen Lösungsprinzipien. In der Wachstums- oder „Transition“-Phase beginnen sich die Problemlösungen gegenseitig anzunähern und ein Lösungsdesign als Standard durchzusetzen. Ein Konsolidierungsprozess beginnt und der Innovationsfokus verschiebt sich weg von der Produktfunktionalität hin zur Prozessinnovation. Die darauf folgende Reife- oder „Distinct“-Phase, ist primär geprägt von Kostenoptimierung durch Automatisierung und Miniaturisierung [Utt96].

Je offener und komplexer der Technologieeinsatz ist, umso stärker prägen soziale Akzeptanz und Unsicherheit die Entwicklung [TR03]. Die Halbleiterindustrie zeigt dies deutlich: Auf der Ebene der Komponenten gilt seit Jahrzehnten das „Moorsche Gesetz“, Technologieprognosen sind sehr genau. Für die auf der verschiedenen Halbleiterkomponenten beruhenden Systeme wie Handys, PCs oder digitale Kameras, ist es dagegen viel schwieriger, sogar unmöglich, die Zukunft vorauszusagen – der gesellschaftliche Einfluss prägt die technologische Entwicklung und Reifung stärker, da der Beitrag einer einzelnen Technologie weniger sichtbar ist. Die Technologien in der Elektrizitätswirtschaft sind in diesem Sinne weitgehend offen: Die Komponenten der Systeme zur Produktion, Verteilung und auch dem Vertrieb von Elektrizität sind gut prognostizierbar. Die Kernenergiedebatte in der Schweiz dagegen zeigt, dass die gesellschaftliche Akzeptanz zu einem grossen Teil die Entwicklung steuert und weniger die Technologie selbst. Der Historiker Kupper kommt etwa zum Schluss, dass das Kernkraftwerk Kaiseraugst in den 70er Jahren aufgrund eines Wertewandels verhindert wurde. Aus der Kernenergie als einstige Hoffnungsträgerin der Gesellschaft wurde innert Kürze ein ökologischer und gesellschaftlicher Problemfall. Der Widerstand gegen Kaiser-

augst entzündete sich nicht primär am Unfallrisiko, sondern am Gewässer- und Landschaftsschutz [Kup03].

1.2 Methodik

Das Modell von Utterback galt 1996 als Pionierleistung zur Beschreibung des Einflusses von Innovationszyklen auf den Erfolg oder Misserfolg von Unternehmen und Industrien und wird auch in der moderneren Literatur als Standardwerk zitiert. Der Artikel hält sich in den Ausführungen der technologischen Entwicklung der Kernkraft und der neuen erneuerbaren Energien an das Modell von Utterback. Die Entwicklungsphasen der Technologien in der Elektrizitätswirtschaft basieren auf Desk Research und Expertenumfragen. Ein Interviewprozess im Sommer 2009 mit 30 Experten aus der Schweizer Elektrizitätswirtschaft und ein permanentes Screening der Schweizer Medien ist Grundlage für die Ausführungen zur Schweizer Situation und der Szenarien in Kapitel 7.

2 Produkt- und Prozessinnovationen in der Elektrizitätswirtschaft

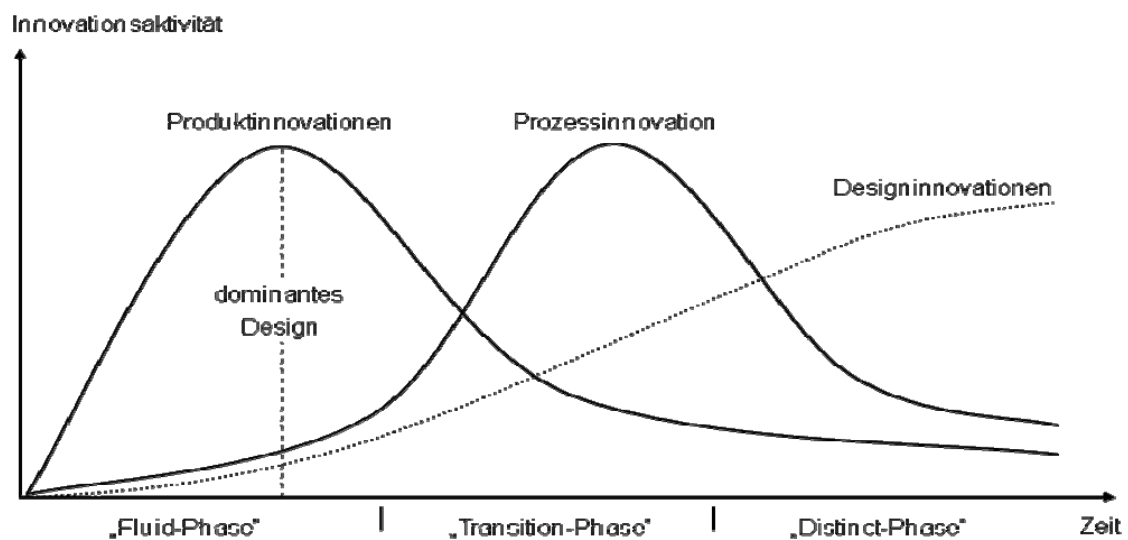


Abbildung 1: Entwicklungsphasen der Innovation nach Utterback [Utt96]

2.1 Entstehungs- oder „Fluid“- Phase

Neue Technologien adressieren zunächst unerfüllte Kundenbedürfnisse. Meist ziehen dann Nachahmer und Konkurrenten mit ähnlichen Problemlösungen nach. Schliesslich ist der Markteintritt einer ersten Firma ein Zeichen dafür, dass ein unternehmerischer Erfolg erzielbar ist. In der Folge treten technologisch unterschiedliche Produkte gegeneinander in Konkurrenz. In dieser Phase ist der Fortschritt gross, von der technologisch überlegenen Lösung wird erwartet, dass sie sich durchsetzt und der Unternehmung komfortable (Monopol)-Profite generiert. Diese Phase wird als Entstehungs- oder „Fluid“-Phase bezeichnet, da die technologische Entwicklung von grosser Aktivität und unterschiedlichen Lösungsprinzipien geprägt ist. Niemand weiss wo die Reise endet.

Das grosse Bedürfnis nach unabhängiger und zuverlässiger Stromversorgung hat in der Nachkriegszeit die Forschung zur friedlichen Nutzung der Kernenergie vorangetrieben. Diese Zeitspanne kann als „Fluid“-Phase in der Stromproduktion aus Kernkraft bezeichnet werden. Neben den grossen Staaten wie USA, Russland und Japan sowie in Europa Frankreich, Schweden und Grossbritannien hatte damals unter anderem auch die Schweiz Projekte für Versuchsreaktoren. Auf Initiative der Maschinenindustrie wurde zusammen mit den Elektrizitätsunternehmen, Gemeinden und Kantonen eine Unternehmung gegründet und das erste Versuchsatomkraftwerk der Schweiz 1962 in Lucens VD gebaut [Wil03]. Das technologische Design der zukünftigen Kernkraftwerke war hingegen zu diesem Zeitpunkt unklar.

Heute treibt ein wachsendes Konsumentenbedürfnis nach Nachhaltigkeit und ökologischem Gleichgewicht Technologien wie Photovoltaik, solarthermische Anlagen, Windkraft, Geothermie, Biomasse und CO₂-Sequestrierung voran. Die Technologien sind in unterschiedlichen Reifestadien. Die Photovoltaik befindet sich als einzige der neuen erneuerbaren Energien in der „Fluid“-Phase. Diverse unterschiedliche Technologien stehen im Konkurrenzkampf und unterscheiden sich hinsichtlich der Lebenszeiten, der Umwandlungseffizienz sowie der Erzeugungskosten enorm. Es ist noch schwer abschätzbar, welche Technologie sich für welchen Anwendungsbereich durchsetzen wird: Monokristalline-, Multikristalline, Dünnschicht- oder Polymer-PV. Der Wirkungsgrad wird laufend verbessert. Anfang 2009 wurde von deutschen Forschern des Fraunhofer Instituts für Solare Energiesysteme (ISE) ein Weltrekord gemeldet. Es ist gelungen, durch eine Weiterentwicklung der metamorphen Mehrfachsolarzelle, Sonnenlicht mit über 40% Wirkungsgrad in elektrische Energie umzuwandeln. Kommerzielle Hochleistungszellen aus Verbindungshalbleitern erreichen momentan einen Wirkungsgrad von bis zu 30 % und monokristalline Photovoltaik etwa 22%. Gleichzeitig wird mit der Dünnschicht-Photovoltaik eine Technologie eingeführt, welche die Kosten stark reduzieren könnte. Obwohl die Wissenschaft überzeugt ist, dass nur Photovoltaik langfristig unseren Energiehunger nachhaltig stillen kann, ist

nicht gesichert, ob die Photovoltaik jemals weltweit einen grösseren Anteil der Stromproduktion liefern wird. Verschiedene Studien kommen zum Schluss, dass die Verfügbarkeit von für die Photovoltaik wichtigen Metallen wie Gallium und Indium der Verbreitung enge Grenzen setzen könnte. Kann man diese Probleme lösen, bietet die Photovoltaik enormes Potential, in der technologischen Leistungsfähigkeit wie auch hinsichtlich ihrer Skalierbarkeit.

2.2 Wachstums – oder „Transition“-Phase

In der zweiten Phase, der Wachstums- oder „Transition“-Phase nähern sich die unterschiedlichen Problemlösungen gegenseitig an, denn es wird erkennbar, welches Lösungsdesign das erfolgreichere ist. Konkurrenzunternehmen verlassen den Markt oder werden übernommen, ein „dominantes Design“ beginnt sich zu etablieren. Dieser Konsolidierungsprozess führt bei den verbleibenden Unternehmen zu grösseren Produktionsvolumina und Skalenvorteilen, der Innovationsfokus verschiebt sich weg von der Produktfunktionalität hin zu Prozessinnovationen und damit zu Kostenoptimierungen. Die Kommerzialisierung eines Designs wird möglich und lohnt sich für die Unternehmungen.

An der dritten Atomkonferenz in Genf 1958 stand die Atomtechnologie an der Schwelle zum industriellen Erfolg. Die Entwicklung mehrerer Reaktortypen war so weit fortgeschritten, dass ihrer industriellen Fertigung nichts mehr im Wege stand. Die Erzeugungskosten waren gesunken und die Kernkraft wurde wettbewerbsfähig. Ein erbitterter Konkurrenzkampf um Marktanteile zwischen den am weitesten fortgeschrittenen amerikanischen Herstellern General Electric und Westinghouse erlaubte es 1964 schlüsselfertige Anlagen zu Dumpingpreisen zu erwerben, was sich später allerdings als Verlustgeschäft für die Hersteller herausstellte. In der Schweizer Kernenergietechnik war der Traum vom eigenen Reaktor nach einem Unfall im Versuchsreaktor Lucens sowie Zeitverzögerungen und Kostenproblemen im Jahre 1963 praktisch beendet [Wil03]. Die Schweizer Elektrizitätswirtschaft bestellte in Amerika. Der erste 300 MW Leichtwasserreaktor nahm 1969 in Beznau den Betrieb auf, gebaut von der Firma Westinghouse und dem Schweizer Unternehmen BBC, welche Turbinen und Generatoren sowie unterstützende Systeme lieferte. Die Leichtwasserreaktortechnik begann sich in den 60er Jahren durchzusetzen. Die Firma Siemens baute noch zwei Leistungskraftwerke mit Schwerwasserreaktoren ihrem Prototyp folgend, erwarb dann jedoch eine Lizenz von Westinghouse und ging zum Bau von Leichtwasserreaktoren über. Auch die schwedische Asea, welche die Schwerwasserreaktoren im eigenen Land hergestellt hatte, schloss in der 2. Hälfte der 60er Jahre einen Lizenzvertrag mit General Electric ab und stellte auf Leichtwassertechnik um. Sogar die Franzosen entschlossen sich in dieser Zeit Druckwasserreaktoren von Westinghouse in Lizenz

herzustellen. Die Leichtwasserreaktoren entwickelten sich zum dominanten Design.

In der Windenergie hat die Phase der Konsolidierung im Markt Anfang dieses Jahrhunderts stattgefunden. Technologisch ist das Funktionsprinzip etabliert und ausgereift: Horizontale Achse mit drei Rotorblättern und variabler Winkeleinstellung mit einer fixen oder variablen Übersetzung. Heute teilen sich im wesentlichen sechs Unternehmungen den Markt: Die dänische Vestas hat mit rund 30 % den grössten Marktanteil weltweit, gefolgt mit je rund 15 % von der spanischen Gemesa, der deutschen Enercon und der amerikanischen General Electric und mit je rund 7 % Marktanteil die indische Suzlon und die deutsche Siemens [EREC07]. Die Technologie der Stromerzeugung aus Windkraft wird heute der Reifephase zugeordnet.

2.1 Reife- oder „Distinct“-Phase

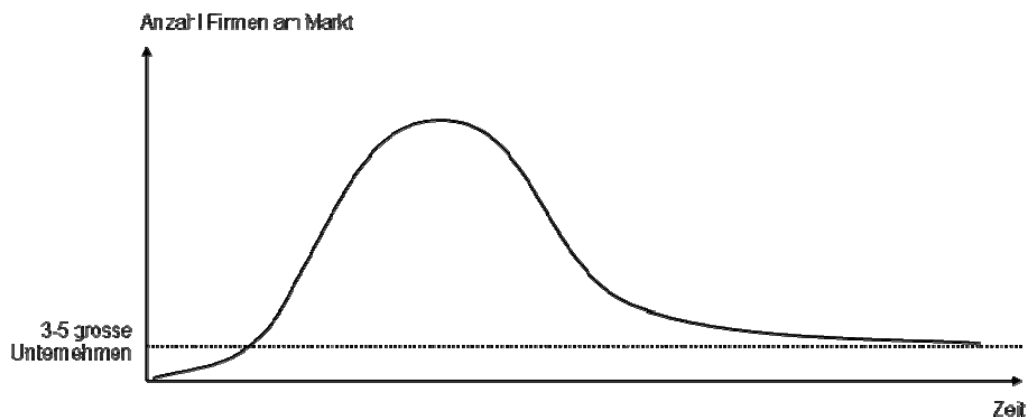


Abbildung 2: *Viele Firmen werden aus dem Markt gedrängt, längerfristig überleben 3-5 grosse Unternehmen [Utt96]*

Die letzte Phase, die Reife- oder „Distinct“-Phase ist primär geprägt von Kostenoptimierung. Die Unternehmensgrösse hat bei vielen Technologien einen positiven Einfluss auf die Kostenstruktur der Produktion, sodass in vielen Fällen drei bis fünf grosse Firmen den Markt unter sich aufteilen [Utt96]. Die technologische Differenzierung der Produkte reduziert sich laufend weiter. Kostenreduktionen durchlaufen meistens 3 Phasen: Arbeitskosten (Automatisierung), Materialkosten (Miniaturisierung) und Prozessoptimierung (Business Process Outsourcing). Bei neuen Technologien besteht am Anfang das grösste Potenzial bei den Lohnkosten.

Kostenoptimierung ist ein ständiger Kampf mit kleinen Innovationsschritten in der gesamten Wertschöpfungskette. Reife Industrien erreichen damit auch mit

bewährten Technologien zwei bis drei Prozent Produktivitätssteigerung pro Jahr über Jahrzehnte hinweg. Dies bedeutet immerhin eine Verdopplung der Produktivität alle 20 bis 30 Jahre.

Zwei Möglichkeiten erlauben es, die Lohnkosten zu reduzieren: Automatisierung und Verlagerung in Länder mit günstigeren Lohnkosten. Automatisierung erfordert Investitionen in die Produktionsanlagen beispielsweise in Maschinen und Roboter. Der optimale Automatisierungsgrad ist dabei abhängig von Kostenverhältnissen zwischen einer Automatisierung und den eingesparten Lohnkosten.

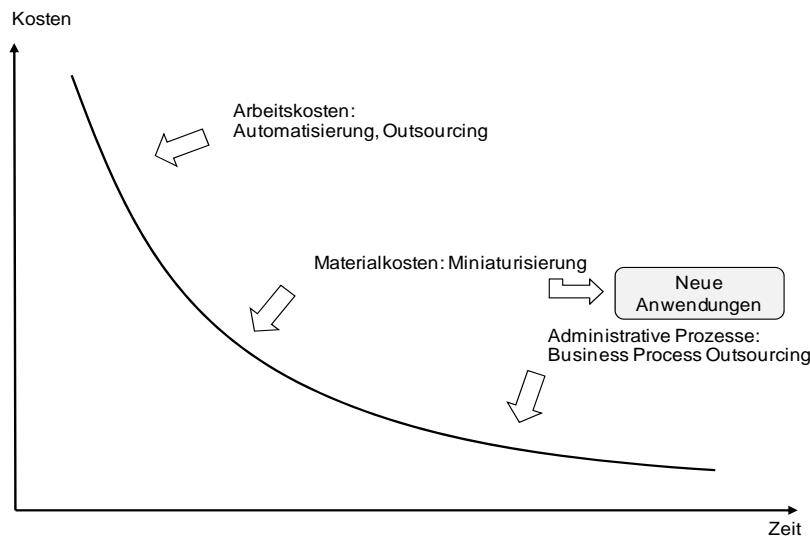


Abbildung 3: Kostensenkung ist ein wichtiger Treiber der Miniaturisierung

Kosteneinsparungen wurden in der Elektrizitätsbranche vor allem in der Automatisierung der Überwachung und Steuerung der Kraftwerke und in der Zusammenführung der Administration und Verwaltung von mehreren Kraftwerken erreicht. Auch Lohnkostenreduktion ist in fast allen Bereichen der Elektrizitätswirtschaft beobachtbar. Dies zeigt auch die Tatsache, dass kaum mehr Schweizer Spezialisten im Bereich Bau und Unterhalt von Kernkraftwerken und Wasserkraft anzutreffen sind.

Wird ein kostenoptimaler Automatisierungsgrad erreicht liegt weiteres Potenzial normalerweise in der Reduktion des Materialeinsatzes – in der Miniaturisierung. Heute brauchen die leistungsstärkeren Anlagen der neuen Generation in der Kernkraft von 1600 MW weniger Raum und weniger Material pro Kilowattstunde als die heute stehenden 300 MW Anlagen aus den 60er Jahren. Auch im Bereich Windkraft ist das Ausschöpfen des Grössenvorteils beobachtbar. Die moderne Windkraftnutzung zur Stromerzeugung ist erst etwa 10 Jahre alt. Die neuesten Rotoren haben eine Leistung von 6 MW. Noch vor 20 Jahren waren für die Leistung von einer der modernen heutigen Windanlagen 300 Installationen notwendig.

Obwohl die Kernenergietechnik der heutigen Kraftwerke die Reifephase erreicht hat, wird ständig weiter geforscht. Die neuen Reaktorgenerationen-III und -IV zeichnen sich in erster Linie durch eine höhere Sicherheit aber auch höhere Verfügbarkeiten und eine längere Betriebsdauer aus. Mit der Generation-III wird gleichzeitig das technologische Potenzial der aktuellen Funktionsprinzipien ausgeschöpft, in 30-40 Jahren ist mit der Einführung von Generation-IV zu rechnen. In der Generation-IV konkurrieren zurzeit noch verschiedene Funktionsprinzipien: Die eine Innovationsrichtung befasst sich mit der Kühlungsart. Kühlmittel wie Natrium, Gas oder Blei aber auch mittels Schmelzsalz, und superkritischem Wasser werden analysiert. Andererseits werden beispielsweise Hochtemperaturreaktoren wie der ‚Pebble Bed Modular Reactor‘ (PBMR) zurzeit in Südafrika und den USA erprobt. Noch ist unklar, welche Technologie sich durchsetzen wird. Die Forschung der Generation-IV mit ihren neuen technologischen Ansätzen ist zurzeit nach Utterback noch in der Entstehungsphase.

Grundsätzlich bestehen fast alle neuen erneuerbaren Technologien aus technologisch ausgereiften Komponenten. Die Windenergie erfährt nach wie vor grosse Zuwachsraten. Es bestehen jedoch noch Probleme mit der Zuverlässigkeit der mechanisch stark beanspruchten Bauteile, v.a. bei Offshore Anlagen im Meer durch die Einwirkung von Salzwasser. Auch die Integration in das Stromnetz ist nach wie vor eine Herausforderung. Mit zuverlässigen lokalen Wettervorhersagen ergibt sich ein weiteres Verbesserungspotential. Da Windenergie nicht die Verfügbarkeit und Kontinuität von Bandenergie hat, müssen die Fluktuationen mit zusätzlichen Kapazitäten von konventionellen Kraftwerken basierend auf den Rohstoffen Wasser, Kohle oder Gas aufgefangen werden. Der grösste Anteil an Strom aus Windkraft stammt in Europa aktuell aus Norddeutschland, gefolgt von Spanien. Die Schweiz beispielsweise hat nur wenige Standorte zur effizienten Nutzung der Windkraft.

Die Geothermie befindet sich technologisch in einem Reifestadium, trotzdem besteht noch ein grosses Diffusionspotential. Zurzeit wird daran geforscht, die Geothermie auch in Gebieten mit tieferen Bodentemperaturen einzusetzen. Sobald sich die Technologie in diesem Bereich verbessert, eröffnen sich neue Anwendungsgebiete, ein neuer Diffusionsschub wäre dann zu erwarten. Die Geothermie ist auch deshalb als sehr attraktiv zu bewerten, weil diese Temperatur- und Jahreszeitunabhängig genutzt werden kann und somit einen Beitrag zur Bandenergie leistet. Grundsätzlich hat Geothermie grosses Potential zukünftig einen guten Anteil der Energienachfrage zu decken [EREC07].

Auf dem Gebiet der Biomasse sind die verwendeten Technologien weitgehend etabliert. Meist wird Biomasse über Standard-Verbrennungsanlagen und Gasturbinen verwertet. Auch im Bereich Kleingewässernutzung wurde das Energieumwandlungsprinzip nicht neu erfunden. Für Flusswasserkraft wurde einzig das Tur-

binendesign angepasst. Die Straflow Turbine ist fisch- und wassertierfreundlich und eignet sich daher für das Turbinieren in kleinen fließenden Gewässern.

3 Kombinationen von Technologien

Neben der Erfindung fundamental neuer Technologien gibt es eine zweite Möglichkeit neue Technologien und Produkte hervorzubringen - durch die Neukombination verschiedener Technologien: Immer mehr Innovationen basieren auf der Kombination verschiedener bekannter Technologien zu Produkten [Kod92]. Oft findet auch der Transfer bestehender Technologien in neue Anwendungsbereiche statt.

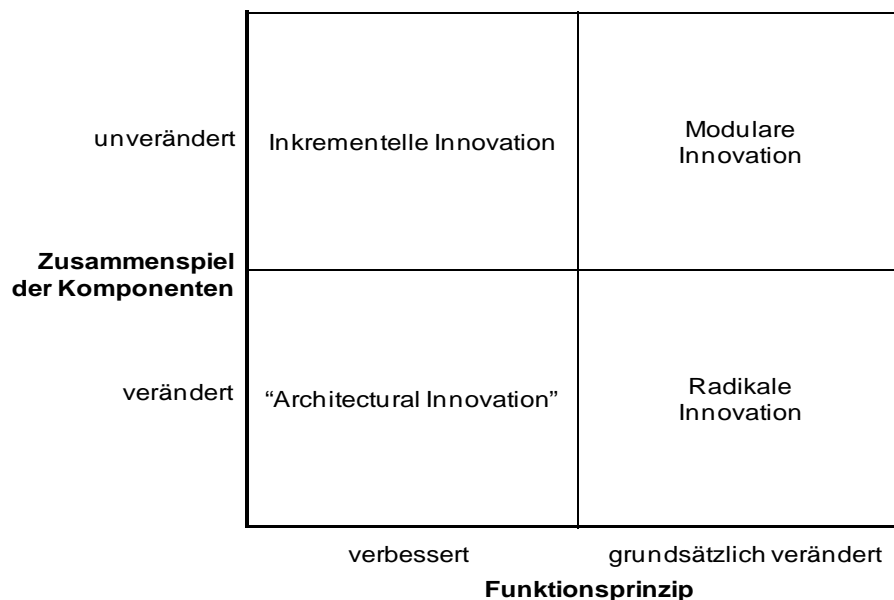


Abbildung 4: "Architectural innovations" eröffnen neues Innovationspotential [HC90]

Die meisten der heutigen Neuerungen in der Elektrizitätswirtschaft sind Kombinationen von bestehenden Technologien mit verbesserten Funktionsprinzipien und verändertem Zusammenspiel der Komponenten – „Architectural Innovation“ [HC90]. Dies ist beispielsweise beobachtbar für den Bereich der neuen erneuerbaren Energien wie auch bei der CO₂-Sequestrierung. CO₂-Sequestrierung ist ein Verfahren mit dem das Treibhausgas CO₂ zunächst aus dem fossilen Brennstoff, oder nach dem Verarbeitungsprozess aus den Emissionen, abgetrennt und anschließend im Untergrund gelagert wird. Als mögliche CO₂-Speicher gelten zum einen geologische Formationen wie Erdöllagerstätten, Erdgaslagerstätten, salzhal-

tige Grundwasserleiter oder Kohleflöze. Bei der Stromproduktion aus einem Erdgaskraftwerk könnte CO₂ aus der Erdgas-Produktion auf ein Ölfeld geleitet werden, wo das Gas in ein langsam zur Neige gehendes Ölfeld gepumpt wird. Im Endergebnis wollen die Erdölproduzenten die Rohölproduktion steigern und die Stromproduzenten können eine deutliche CO₂-Reduktion erreichen.

Auch interessant sind Kombinationen von neuen Technologien mit klassischen Anlagen. So können beispielsweise Gaskombikraftwerke in sonnenreichen Regionen mit einem solarthermischen Teil ergänzt werden. Dies steigert die Effizienz des ganzen Kraftwerks. In den USA, Südspanien und Italien sind solche Anlagen bereits in Betrieb.

4 Die S-Kurve

Alle Technologien unterliegen einem fallenden Grenznutzen, sie entwickeln sich entlang einer S-Kurve. Die S-Kurve beschreibt den Entwicklungspfad einer Technologie in Abhängigkeit der verstrichenen Zeit oder bereits geleisteter Entwicklungsaufwendungen. Hinter der S-förmigen Ausbildung der Entwicklung steht das Konzept, dass anfänglich eine gewisse Zurückhaltung bezüglich des Markterfolges sowie technologische Probleme die rasche Entwicklung behindern. Wird ein Markterfolg beobachtbar und sind die technologischen Probleme gelöst, folgt eine Phase raschen Wachstums. Anschliessend nimmt der Nutzen zusätzlicher Entwicklungsaufwendungen ab und die Technologie tritt in ein Reifestadium ein. Es folgt eine Phase vieler kleiner Innovationen. [Twi95]

Betrachtet man eine Technologie isoliert über einen gewissen Zeitraum, so sind durchaus solche idealtypischen Entwicklungen beobachtbar. Innovatoren gehen jedoch häufig fälschlicherweise davon aus, dass eine neue Technologie, sofern sie der alten zumindest ebenbürtig ist, innerhalb kurzer Zeit die alte Technologie ablöst und sich im Markt etabliert. Dieser Ansatz vernachlässigt jedoch den sogenannten „Sailing-Ship Effekt“: Sobald eine neue Technologie entsteht und die alte konkurrenziert wird, werden von allen Seiten Anstrengungen unternommen, die alte Technologie massgeblich zu verbessern [Rog03]. Die neue Technologie kann sich nicht so schnell wie angenommen durchsetzen und die alte vom Markt verdrängen. Es bedarf grosser Anstrengungen und Verbesserungen der neuen Technologie, um die alte in wichtigen Kriterien zu überholen.

Nach der Einführung von Dampfschiffen war die Weiterentwicklung der Segelschiffe in den folgenden 50 Jahren grösser als in den 300 Jahren davor. Dieser Effekt verlor seine Wirkung erst, als klar wurde, dass die neue Technologie mehr Entwicklungspotential hat. So entstand der heute in der Literatur oft verwendete Begriff für das Phänomen „Sailing-Ship Effekt“.

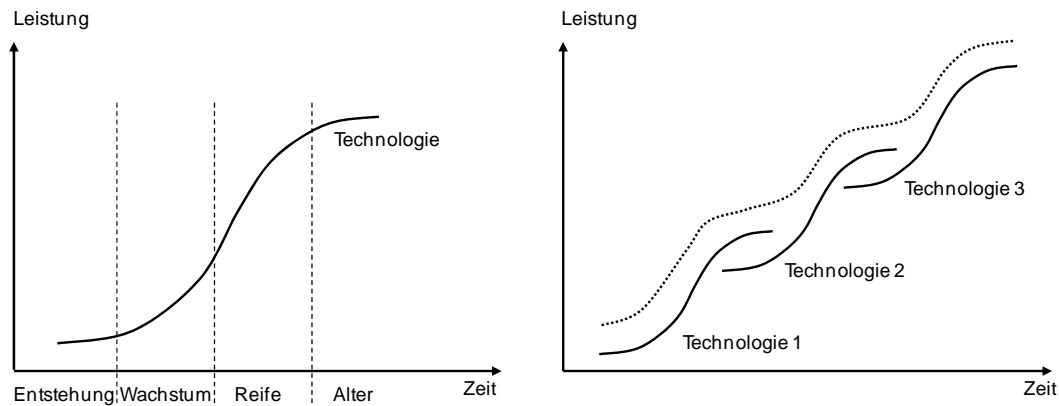


Abbildung 5: *Neue Technologien konkurrenzieren bestehende nicht erst mit dem Abflachen derer Leistung*

Dieses Phänomen kann auch gut an Edisons Erfindung der Glühbirne beobachtet werden. Die bis anhin verwendete Technologie der Gaslampen schien auf einen Schlag überholt, wurde jedoch in den nächsten Jahren derart weiterentwickelt, dass sie eine zweite Renaissance auf Kosten der Glühbirne erlebte. Analog verläuft die Entwicklung der Brennstoffzelle: Die Dieselmotoren werden laufend besser und die Brennstoffzelle „läuft hinterher“ [Chr97].

Möglicherweise werden wir in der Elektrizitätswirtschaft in den konventionellen Technologien dann einen Innovationsschub erleben, wenn die neuen erneuerbaren Energien konkurrenzfähig werden und die konventionellen Technologien vom Markt drängen könnten. Die klassischen Technologien haben heute im Bezug auf Verbreitung, Infrastruktur und Gewöhnung einen grossen Vorteil gegenüber den neuen Energien.

5 Neue Technologien erobern den Markt häufig über Nischen

Da neue Technologien zwar oft Vorteile gegenüber etablierten bieten, aber gleichzeitig in anderen Bereichen Schwächen aufweisen, bietet sich der Einsatz in Bereichen an, wo die Stärken überwiegen und Kompromisse eingegangen werden können. Ein Beispiel ist die dezentrale Energieversorgung. Dezentral kann Strom mit kleinen Anlagen generiert werden. Hier haben die meisten neuen erneuerbaren Energien einen Vorteil gegenüber klassischen Grossanlagen. Solar, Kleinwasserkraft, Kraftwärmekopplung und Biomasse bringen eine hohe Stromautarkie und

machen es möglich Strom und Wärme gleichzeitig zu nutzen. Die neuen erneuerbaren Energien kommen dem Bedürfnis nach unabhängiger, umweltfreundlicher Strom- und Wärmeproduktion nach, können jedoch nicht grosse Mengen zu jeder Zeit bereitstellen. Die technologische Entwicklung läuft dafür zu langsam, so dass der Verbreitung Grenzen gesetzt sind. Die Technologieschwindigkeit nimmt ab.

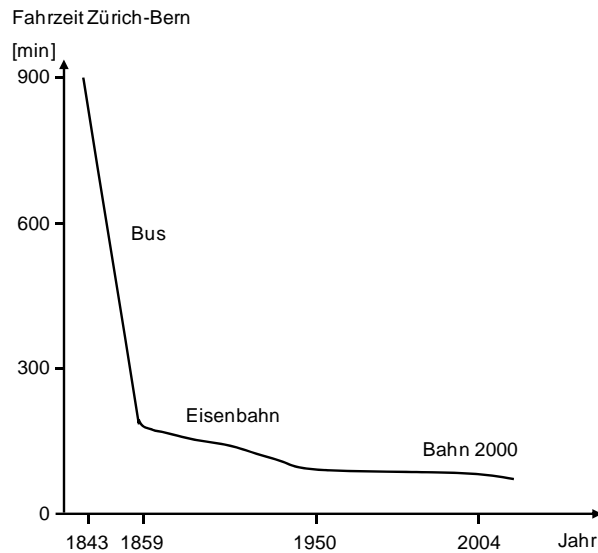


Abbildung 6: Die Technologieschwindigkeit nimmt ab und beträgt bei reifen Technologien ungefähr 2% Verbesserung pro Jahr

In der Wahrnehmung vieler Leute entwickeln sich die heutigen Technologien sehr schnell. Sie betrachten jedoch vor allem die Elektronik- und Software-Industrie. Diese Technologien erreichen rasche Fortschritte und müssen vom Management ständig überwacht werden. Viele der heute verwendeten Technologien sind dagegen reif und steigern ihre Produktivität jährlich lediglich um etwa zwei Prozent. Diese Verlangsamung der Technologieschwindigkeit kann in der Eisenbahnindustrie gut beobachtet werden: Im Jahr 1843 betrug die Reise von Bern nach Zürich 900 Minuten und nahm mit der Einführung der Eisenbahn schlagartig um den Faktor 9 ab. Trotz grosser Anstrengungen konnten von 1950 bis heute nur noch geringe Zeiteinsparungen erzielt werden. Die Schweizer Bahn 2000 mit ihren Milliarden Investitionen brachte nur gerade eine Verbesserung um 11 Minuten, was 16% entspricht.

Die meisten Technologien erreichen kurz nach ihrer Einführung grosse Effizienzsteigerungen. Doch je näher sie an die technologischen Grenzen kommen, umso kleiner werden die jährlichen Verbesserungsschritte. Es gilt folglich den Reifegrad der Technologien sowie die Branche an sich zu unterscheiden.

6 Technologievorteil versus soziale Akzeptanz

Beim Aufkommen grundsätzlich neuer Technologien dauert die Durchdringung am Markt in der Regel 20 bis 50 Jahre. Ein aktuelles Beispiel ist die Gentechnologie für Nahrungsmittel: Der Grundstein wurde bereits 1972 gelegt, als es den Forschern James Watson und Francis Crick gelang, einen DNA-Faden mit Hilfe von Restriktionsenzymen in einzelne Teile zu zerlegen. Die ersten gentechnisch veränderten Tomaten kamen 1994 in den USA und Grossbritannien auf den Markt, in Europa gibt es immer noch sehr wenige, gentechnisch veränderte Lebensmittel. Technologischer Fortschritt wird nicht nur über Technik definiert, sondern immer stärker über soziale Akzeptanz. Dabei haben Kunden, Entwickler und Marketingfachleute mitunter unterschiedliche Auffassungen, was wünschenswert oder akzeptierbar ist.

Die friedliche Nutzung der Kernenergie ist rund 50 Jahre alt und die Technologie ist etabliert. Die soziale Akzeptanz von Strom aus Kernkraftwerken hat jedoch nach den Reaktorunfällen in Three Mile Island in Amerika 1979 und nach dem schweren Störfall 1986 in Tschernobyl rapid abgenommen. Der Ausstieg aus der Kernenergie ist mindestens bis nach den Wahlen im September 2009 in Deutschland eine Tatsache. Italien hat angekündigt, wieder Kernkraftwerke zu bauen. Finnland baut bereits ein Kernkraftwerk der neuen Generation-III. In Frankreich genießt Strom aus nuklearen Kraftwerken seit jeher eine hohe soziale Akzeptanz bei der Bevölkerung. China baut alle 3-5 Jahre mit Kohle- und Kernkraftwerken die Leistungskapazität von ganz Deutschland auf. In der Schweiz haben sich grosse Städte wie Zürich, Bern, Basel und Schaffhausen aus der Kernenergie verabschiedet.

Der in der Schweiz in den nächsten 10-25 Jahren anstehende Ersatz von den bestehenden Kernkraftwerken im Umfang von rund 10%-35% der Schweizer Stromproduktion stellt das Land vor die Frage, wie es die fehlende Energie ersetzen wird. Drei Bewilligungsgesuche für den Ersatz still zu legenden Kernkraftwerke sind in der Schweiz beim Bund eingereicht. Der Bund fordert nun die Einigung der Branche auf ein Projekt. Nach einer Genehmigung des Bundes kann dann ein Referendum folgen und erst nach der Volksabstimmung wissen wir, wie hoch die soziale Akzeptanz der Kernenergie in der Schweiz tatsächlich ist.

Die Diskussion um die Erderwärmung und das CO₂ liefern Argumente für die Kernenergie. Die Unsicherheit, dass es weitere Unfälle geben könnte, wird von vielen Leuten als wichtiges Argument gegen die Kernenergie gesehen. Die soziale Akzeptanz hängt stark von kulturellen und politischen Aspekten sowie auch von den verfügbaren Alternativen ab, mindestens solange keine Knappheit besteht. Die nächsten Jahre könnten die heutige Versorgungslage allerdings in Frage stellen, auch für die Schweiz.

7 Szenarien der Stromversorgung der Schweiz in den nächsten Jahrzehnten

Die Schweiz produziert und verbraucht heute rund 60 TWh Strom pro Jahr. Der grösste Anteil stammt mit 56% aus Wasserkraft-Grossanlagen und 40% aus Nuklearkraftwerken. Die ‚neuen‘ erneuerbaren Energieträger Sonne, Holz, Biomasse, Wind und Umgebungswärme tragen heute nur 4% zur Deckung der gesamten Schweizer Stromnachfrage bei. Der grösste Teil der ‚neuen‘ Erneuerbaren fällt auf Biomasse (Holz und Biogas) und auf die Kehrlichtverbrennungsanlagen. Kleinere Anteile, weit unter einem Prozent, stammen aus der Umweltwärmenutzung, der Solarenergie und der Windenergie. Der Bundesrat möchte den Anteil produzierten Stroms aus erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2030 auf 10% des heutigen Schweizer Stromverbrauchs erhöhen. Im Jahresdurchschnitt fehlen ab 2017 bis 2034 stufenweise rund 10%-35% der prognostizierten Produktionsmenge aufgrund von auslaufenden Langfristverträgen mit Frankreich und aufgrund von Kernkraftwerken, welche altersbedingt vom Netz gehen.

Der Reifegrad der verschiedenen Technologien ist bekannt und prognostizierbar. Die Entwicklung der Produktionskapazitäten der bestehenden Schweizer Kraftwerke wie auch die Nachfrageseite lassen sich gut prognostizieren. Die Frage nach der autarken Stromversorgung der Schweiz ist eine politische. Der Entscheid über die Primärenergieträger ist eine Frage der sozialen Akzeptanz, und somit eine gesellschafts-politische Problemstellung. Die politischen und gesellschaftlichen Komponenten sind nicht prognostizierbar. Sie hängen zu stark von Emotionen und prägenden einzelnen Ereignissen ab. In der Schweiz sind für die folgenden zwei bis drei Jahrzehnte folgende Szenarien denkbar:

Szenario 1: Die Schweizer Bevölkerung sagt heute ja zu neuen Kernkraftwerken. Unter der Annahme einer geschätzten Realisierungsdauer eines neuen Kernkraftwerks von 17 bis 19 Jahren, kann die autarke Stromversorgung der Schweiz knapp rechtzeitig gesichert werden. Die Stromversorgung bleibt weitgehend CO₂ neutral und die neuen erneuerbaren Technologien erhalten in Ergänzung eine Chance, sich technologisch weiter zu entwickeln und zu etablieren.

Szenario 2: Kernkraftwerke werden gesellschaftspolitisch längere Zeit verzögert und abgelehnt. Die autarke Stromversorgung ist kurz- und mittelfristig nicht mehr möglich. Die Schweiz wird vor der Wahl stehen, sich mit Energie im Ausland zu versorgen und/oder einen eigenen Produktionspark mit akzeptierten, fossilen Technologien aufzubauen. Der Bau von Gaskombikraftwerken wie auch Kohlekraftwerken als Alternative zu Kernkraftwerken dauert rund 5-7 Jahre und die Payback-Perioden sind viel kürzer als bei Kernkraftwerken. Sie lassen sich deshalb einfacher finanzieren. Die heutige CO₂-Kompensationsregelung des Bundes und die Unsicherheit über zukünftige Regulierungen lassen Investitionen in diese Kraftwerke jedoch unattraktiv werden. Das Decken der fehlenden Produktion

durch neue erneuerbare Energien ist in der erforderlichen Menge und Form mit dem aktuellen Stand der Technik nicht möglich.

Die Einfuhr von Strom aus dem Ausland als weitere Alternative zum Bau von Kernkraftwerken bedingt, dass das Ausland die erforderlichen Kapazitäten hat und uns diese auch zur Verfügung stellt. Dann müssen sie auch noch ins Land importiert werden können. Letzteres verlangt eine uneingeschränkte Nutzung der grenzüberschreitenden Transportkapazitäten. Der Bau von neuen Transportkapazitäten ist unter den heutigen restriktiven Bewilligungsverfahren jedoch ein schier unmögliches Unterfangen und die Nutzung der bestehenden Leitungen durch Erweiterung von Kapazitäten ist eine Frage der Kosten. Die EU verlangt bereits heute höhere Reserveleistungen, welche die Leitungskapazitäten künstlich reduzieren. Eine rechtzeitige Erweiterung von Transportleistung zur Deckung der Stromlücke über Importe ist damit sehr fraglich oder gar unwahrscheinlich. Auch wenn dies gelingen würde, hätte die Schweiz einen importierten Mix im europäischen Durchschnitt gerechnet zu rund 70% Strom aus Nuklearkraft, Kohle- und Gaskraftwerken und zu rund 10% Strom aus Wasserkraft - auch wenn Europa ihr Ziel, 20% des Stroms aus neuen erneuerbaren Quellen bis zum Jahr 2020 zu produzieren erreicht. Die heutige weitgehend neutrale CO₂ Bilanz der Schweiz in der Stromproduktion verschlechtert sich in beiden Fällen massiv.

Szenario 1-2: Die Schweizer Bevölkerung schwankt in ihrer Entscheidung, ein neues Kernkraftwerk zu bewilligen. Dies würde das Erstellen einer neuen Anlage aufgrund der langen Bauzeit und der zusätzlichen Unsicherheit über einen Entscheid soweit hinauszögern, dass dieses Szenario wieder in Szenario 2 mündet.

Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz sind ein nicht zu unterschätzender Faktor in dieser Betrachtung. Experten gehen von einem Sparpotential von rund 30% aus für die Schweiz. Der Zeitfaktor spielt dabei jedoch eine wichtige Komponente. Gerade im Bereich Gebäudesanierung gilt ein Zyklus von rund 20-40 Jahren und auch Geräte werden erst nach ihrer Lebensdauer ersetzt, was ebenfalls Jahre bis Jahrzehnte dauern kann. Zudem ändern sich die Gewohnheiten der Bürger nur langsam. Bei allen wünschbaren Fortschritten in der Energieeffizienz könnte der Mengeneffekt jedoch unterschätzt werden. Die Elektrifizierung einerseits zunehmend durch die Substitution von fossilen Energien bei Heizungen wie in der Mobilität und andererseits durch das Wachstum der Wirtschaft und der Bevölkerung sind nicht zu unterschätzen. Die aktuellen Wirtschaftsbedingungen allerdings könnten das Wirtschaftswachstum und damit die Nachfrage nach Strom vorübergehend etwas dämpfen und hinauszögern. Bereits beobachtbar sind forcierte Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz bei Industrien, die von sinkenden Einnahmen durch Auftragseinbrüche betroffen sind. Welcher dieser Effekte überwiegt, ist unter den heutigen Bedingungen noch nicht voraussagbar. Sie könnten jedoch grössere Auswirkungen auf die Stromnachfrage haben als in ursprünglichen Schätzungen angenommen.

7.1 Fazit:

Welches Szenario sich schlussendlich in der Schweiz durchsetzt und wie die Technologie-Roadmap aussieht, wird weniger von der technologischen Entwicklung abhängen als von der gesellschaftlichen Akzeptanz und diese lässt sich nicht prognostizieren: Die Überraschung in der Entwicklung der Elektrizitätswirtschaft wird von den Schweizer Bürgern ausgehen und weniger durch technologische Entwicklungen geprägt sein. Damit zeigt sich einmal mehr, dass viele Technologie-Diskussionen Scheingefechte sind: Technische Unsicherheiten werden in den Vordergrund geschoben und grundsätzliche Diskussionen finden nicht statt. Wichtige Entscheidungen werden verzögert. Es werden Tatsachen geschaffen, die nach und nach viele technische Optionen verunmöglichen.

Literatur

- [AG01] AGARWAL, R., GORT, M (2001): First-mover advantage and the speed of competitive entry, 1887-1986, *Journal of Law and Economics*; Vol.44; pp.161-177.
- [Chr97] CHRISTENSEN, C. M. (1997): *The Innovator's Dilemma*, Harvard Business School Press, Boston, USA.
- [EREC07] EUROPEAN RENEWABLE ENERGY COUNCIL (2007): *Renewable Energy Technology Roadmap up to 2020*, http://www.erec.org/fileadmin/erec_docs/Documents/Publications/ EREC-Technology_Roadmap_def1.pdf, zuletzt geprüft am 17.07.2009.
- [HC90] HENDERSON, R.M., CLARK K.B. (1990): Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firm, *Administrative Science Quarterly*; Vol.35, No.1; pp. 9-30.
- [Kod92] KODAMA, F. (1992): Technology Fusion and the new R&D, *Harvard Business Review*; July/August 1992; pp.70-78.
- [Kup03] KUPPER, P. (2003): *Atomenergie und gespaltene Gesellschaft. Die Geschichte des gescheiterten Projektes Kernkraftwerk Kaiseraugst*. Chronos-Verlag.
- [Rog03] ROGERS, E. M. (2003): *The Diffusion of Innovation*, First published 1962, The Free Press, New York.
- [Sam92] SAMUELSON, P.A. (1992): *Economics*. First published 1970, McGraw-Hill.
- [TR03] TUSHMAN, M.L., ROSENKOPF L. (2003), *Organizational Determinants*. Research in organizational behavior.
- [Twi95] TWISS B. C. (1995), *Managing technological innovation*, Pitman, Publishing, 4 Edt., U. K
- [Utt96] UTTERBACK, J.M. (1996): *Mastering the Dynamics of Innovation: How companies can seize opportunities in the face of technological change*, Harvard Business School Press, Boston.
- [Wil03] WILDI, T (2003): *Der Traum vom eigenen Reaktor. Die schweizerische Atomtechnologie- entwicklung 1945-1969*. Chronos-Verlag.