



Öko-Innovation und
Forschung

Betrachtung des Zeithorizonts anhand
von drei ausgewählten Öko-Innovationen

ÖKO-INNOVATION UND FORSCHUNG

Betrachtung des Zeithorizonts anhand von drei
ausgewählten Öko-Innovationen

Helmut Frischenschlager

REPORT
REP-0406

Wien, 2012

Projektleitung

Helmut Frischenschlager

AutorInnen

Helmut Frischenschlager

Lektorat

Maria Deweis

Satz/Layout

Elisabeth Riss

Umschlagphoto

© iStockphoto.com/grki

Diese Publikation wurde im Auftrag von BMLFUW erstellt.

Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

Eigenvervielfältigung

Gedruckt auf CO₂-neutralem 100 % Recyclingpapier

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2012

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-99004-210-6

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG	5
1 EINFÜHRUNG	7
2 ÖKO-INNOVATIONEN – CHANCEN FÜR UMWELT, MENSCH UND WIRTSCHAFT	8
3 VON DER IDEE ZUR ÖKO-INNOVATION	10
3.1 Innovationsprozess, Innovationsmanagement und Rolle der Forschung	10
3.2 Technologieentwicklung – kontinuierlicher Verbesserungsprozess & Technologiesprünge	14
4 F&E UND TECHNOLOGIEENTWICKLUNG ANHAND DREIER ÖKO-INNOVATIONEN	19
4.1 Fallbeispiel Wärmepumpe	19
4.2 Fallbeispiel Stirling-Motor	24
4.3 Fallbeispiel Quantenkaskadenlaser-basierte Messgeräte für die Prozess- und Umweltanalytik	29
5 SCHLUSSFOLGERUNGEN	34
6 LITERATURVERZEICHNIS	35

ZUSAMMENFASSUNG

Technologiesprünge bei Öko-Innovationen werden als essenzieller Lösungsansatz für zentrale Herausforderungen im Umwelt- und Klimaschutz gesehen. In diesem Konzeptpapier wird anhand von drei technischen Öko-Innovationen¹ – der Wärmepumpe, dem Stirling-Motor sowie dem Quantenkaskadenlaser – beispielhaft untersucht, ob und wie die Technologiesprünge in der Entwicklung der Innovationen erkennbar waren und welche Zeithorizonte sie in Anspruch genommen haben. Insbesondere wird der Zusammenhang zwischen Öko-Innovationen und Forschung durchleuchtet. Daraus lässt sich gegebenenfalls ableiten, welche Maßnahmen im F&E-Bereich vor allem in den ersten Phasen der Innovationskette erforderlich sind, um Ideen zu relevanten Öko-Innovationen zu führen.

Die Zeithorizonte der Technologieentwicklung und der Technologiesprünge bzw. die Übergänge von der Zukunftstechnologie über die Schrittmacher- und Schlüsseltechnologie bis hin zur Basistechnologie sind bei den drei ausgewählten Fallbeispielen sehr unterschiedlich. Der Ursprung der Technologieentwicklung liegt bei der Wärmepumpe und beim Stirling-Motor im beginnenden 19. Jahrhundert. Während die Wärmepumpe Ende des 20. Jahrhunderts nach ihrem Verbreitungs- und Neuheitsgrad im Lebenszyklus letztendlich den Basistechnologien zugerechnet werden kann, wird dem Stirling-Motor maximal der Status einer Schlüsseltechnologie zugeschrieben, da sich diese Öko-Innovation selbst in Verbindung mit Blockheizkraftwerken und der Biomasseverstromung heute noch nicht auf breiter Front durchgesetzt hat.

Der Zeithorizont der Technologieentwicklung des Quantenkaskadenlasers (QCL) und dessen Anwendung in der Prozess- und Umweltanalytik umfasst knapp zwei Jahrzehnte, in denen der Technologiesprung zur Schrittmachertechnologie bereits erfolgte. Der Weg bzw. Technologiesprung von der Schrittmachertechnologie zur Schlüsseltechnologie scheint für diese Öko-Innovation bereits geebnet, da das von einem österreichischen Start-up-Unternehmen entwickelte QCL-basierte Analysengerät zurzeit das einzige Messgerät ist, das die Anforderungen der neuen ASTM-Norm D7678-11 erfüllt.

Neben einer ausgereiften Technologie waren immer auch andere Faktoren notwendig, die zur Anwendung der Öko-Innovationen in relevanten Durchdringungsgraden des Marktes führten (wie z. B. der Ölchock in den 1970er-Jahren oder der drohende Klimawandel im Fall der Wärmepumpe oder des Stirling-Motors). Im Fall des Quantenkaskadenlaser-basierten Analysengerätes erfolgte der Technologiesprung von der Zukunftstechnologie zur Schrittmachertechnologie vor allem aufgrund der Erfüllung eines durch gesetzliche Rahmenbedingungen ausgelösten Marktbedürfnisses durch die eigens darauf abgestimmte und optimierte innovative Messtechnologie.

Technologiesprünge bei Öko-Innovationen sind wesentlich

unterschiedliche Zeithorizonte

Fallbeispiele Wärmepumpe und Stirling-Motor

Fallbeispiel Quantenkaskadenlaser

Faktoren, die zu Technologiesprüngen führen

¹ Güter und Technologien für die Bereiche Umweltschutz und Ressourcenmanagement gemäß EGSS-Definition der Eurostat (STATISTIK AUSTRIA 2011), die Umweltbelastungen über den gesamten Lebenszyklus verringern, die Widerstandsfähigkeit gegen Umweltbelastungen stärken oder eine effizientere und verantwortungsvollere Nutzung natürlicher Ressourcen bewirken.

**marktorientierte
Forschung als
Serviceleistung im
Innovationsprozess**

Die Rolle der Forschung im Innovationsprozess und bei der Technologieentwicklung hat sich im Laufe der vergangenen Jahrzehnte gewandelt, wie auch anhand der drei Fallbeispiele gezeigt werden kann. Waren die Innovationen früher vor allem durch neue wissenschaftliche Erkenntnisse und Technologien initiiert und getrieben (Science/Technology Push) sowie durch unbestimmte Zeithorizonte bis zu unterschiedlichen Anwendungen gekennzeichnet, orientiert sich die Forschung aktuell hauptsächlich an den Marktbedürfnissen (Market Pull). Forschung ist nicht Voraussetzung für Innovation, sondern wird als eine Serviceleistung für den gesamten Innovationsprozess gesehen und ist über einen gemeinsamen Wissenspool in jeder Phase für die gezielte Lösungssuche verfügbar. Die strikte Trennung zwischen der Grundlagenforschung und der angewandten Forschung bzw. F&E ist bei dieser Betrachtungsweise des Innovationsprozesses nicht mehr vorgesehen.

**Markt zunehmend
Treiber für Öko-
Innovationen**

Der Markt wurde auch zunehmend Treiber für Öko-Innovationen, wobei der Bedarf nach Ressourceneinsparung und Klima- und Umweltschutz insbesondere dann Technologiesprünge bewirkt, wenn sie durch rechtliche Rahmenbedingungen (z. B. Gebäude-Richtlinie, Ökostromgesetz) ausgelöst werden. Allen drei Fallbeispielen ist gemein, dass F&E dann am ehesten einen wesentlichen Beitrag zu Technologiesprüngen bei Öko-Innovationen leisten konnte, wenn das Ergebnis der Forschungsaktivitäten einen hohen Neuheitsgrad aufwies oder neue Anwendungsgebiete erschloss und sich daraus auch ein wesentlicher Nutzen für die KundInnen ableiten ließ. Während eine Technologie in einem Marktsegment oder bestimmtem Anwendungsgebiet bereits den Status einer Schlüssel- oder Basistechnologie erreicht hat, kann sie in einem neuen Anwendungsbe- reich als Zukunftstechnologie klassifiziert werden (z. B. Stirling-Motor im Kfz-Bereich).

**rechtliche
Rahmenbedingungen
als Auslöser**

**Finanzierung zur
Überbrückung des
„Death Valley“ ist
wesentlich**

Insbesondere das dritte Fallbeispiel (QCL) zeigt, dass die Forschung die finanzielle Absicherung der Technologieentwicklung bis zur kommerziellen Verwertung der Öko-Innovationen sowie das Abmildern von damit verbundenen unternehmerischen Risiken benötigt, z. B. durch entsprechende staatliche Förderungsprogramme oder Venture-Kapital. Die Finanzierung ist letztendlich mitentscheidend dafür, ob eine Öko-Innovation zum gewünschten Ergebnis und zum Erfolg führt (Überbrückung des „Death Valley“ im Öko-Innovationsprozess).

1 EINFÜHRUNG

Technologiesprünge bei Öko-Innovationen werden als essenzieller Lösungsansatz für zentrale Herausforderungen im Umwelt- und Klimaschutz gesehen. Für manche bedeutende Technologien, wie beispielsweise das Elektroauto, überschreitet der Zeithorizont – ausgehend von angewandter Forschung oder Grundlagenforschung bis zur Anwendung in relevanten Durchdringungsgraden des Marktes – die derzeit üblichen Projektionszeiträume von 20 bis 40 Jahren deutlich.

In diesem Konzeptpapier wird anhand von drei Öko-Innovationen beispielhaft untersucht, ob und wie die Technologiesprünge in der Entwicklung der Innovationen erkennbar waren und welche Zeithorizonte sie in Anspruch genommen haben. Insbesondere folgende Fragestellungen sollen dabei anhand von Recherchen in der wissenschaftlichen Literatur und mittels Interviews bearbeitet werden:

- Woran sind relevante Öko-Innovationen erkennbar?
- Woran sind Technologiesprünge in Forschungsarbeiten erkennbar?
- Wie und wann führt F&E zu Technologiesprüngen?

Aus der Beantwortung dieser Fragestellungen soll gegebenenfalls abgeleitet werden, wann absehbar ist, dass aus Ideen relevante Öko-Innovationen werden können und welche Maßnahmen dazu im F&E-Bereich insbesondere in den ersten Phasen der Innovationskette erforderlich sind. Gegebenenfalls wird das Verbreitungspotenzial der Öko-Innovationen für die Zukunft abgeschätzt.

Erkennen von Technologiesprüngen

2 ÖKO-INNOVATIONEN – CHANCEN FÜR UMWELT, MENSCH UND WIRTSCHAFT

Definitionen für Öko-Innovation

Unter einer Öko-Innovation wird jede Form von Innovation verstanden, die entscheidend und nachweisbar zur Verwirklichung des Ziels der nachhaltigen Entwicklung beiträgt. Entscheidend dabei sind die Kriterien

- Verringerung von Umweltbelastungen,
- Stärkung der Widerstandsfähigkeit gegen Umweltbelastungen bzw.
- effizientere und verantwortungsvollere Nutzung natürlicher Ressourcen.

Damit ruft eine Öko-Innovation als neue (oder signifikant verbesserte) kommerzielle Anwendung von Wissen eine direkte oder indirekte ökologische Verbesserung hervor. Dabei kann die „neue Anwendung“ prinzipiell eine echte Weltneuheit, eine Marktneuheit oder aus Sicht eines einzelnen Unternehmens, der MitarbeiterInnen etc. eine subjektive Neuheit bedeuten. In einem Artikel aus dem Jahr 1997 definiert Peter James Öko-Innovationen als *"neue Produkte und Prozesse, die einen Kundennutzen und Mehrwert bringen, aber Umweltauswirkungen deutlich verringern"* (JAMES 1997). Der Begriff Öko-Innovation wird auch oft generell für Ideen der Themenfelder rund um den umweltfreundlichen, technologischen Fortschritt bis hin zu sozial verträglichen innovativen Wegen zur Nachhaltigkeit verwendet.

Das Eco-Innovation Observatory hat eine Definition für Öko-Innovation eingeführt, die die wichtigsten Umweltaspekte und Life-Cycle-systemisches Denken in die Definition von Innovation integriert: *"Öko-Innovation ist die Einführung eines neuen oder merklich verbesserten Produkts (Gut oder Dienstleistung), Prozesses, einer Organisationsänderung oder Marketinglösung, die die Nutzung der natürlichen Ressourcen (einschließlich Mineralien, Energie, Wasser und Boden) reduziert und die Freisetzung von Schadstoffen über den gesamten Lebenszyklus verringert."* Dieser Zugang stützt sich auf die Definitionen von Innovation der Eurostat und der OECD, wie sie im Oslo-Handbuch der OECD aus dem Jahr 2005 eingeführt worden sind, und auf die Literatur, die sich mit Umweltökonomie und Ressourceneffizienz befasst (Eco 2010).

Kriterium der Neuartigkeit

In der Literatur werden Innovationen nach ihrem Grad an „Neuheit“ (Innovation als Neuerung oder Erneuerung) unterschieden, wobei die Neuartigkeit wahrnehmbar sein muss. Dabei wird die Kombination aus Zweck (und dem daraus resultierenden Nutzen) eines Produkts und den Mitteln, womit dieser Zweck erreicht wird, berücksichtigt. Erreicht eine Innovation in beiden Dimensionen hohe Werte, so wird dies als radikale, disruptive oder revolutionäre Innovation bezeichnet.

Die Neuartigkeit einer Innovation kann auch darin bestehen, dass Zweck und Mittel in einer bisher nicht bekannten Form miteinander verknüpft werden. Diese Verknüpfung muss sich auf dem Markt oder innerbetrieblich (wirtschaftlich) bewähren. Bezogen auf die technische Öko-Innovation heißt das, dass die Verknüpfung von Zweck und Mittel des neuen Produktes entscheidend und nachweisbar zur Verwirklichung des Ziels der nachhaltigen Entwicklung beitragen muss. So kann ein gegebener Zweck (zum Beispiel Antrieb eines Pkw) mit neuen Mitteln (Wasserstoff, Strom, Erdgas etc.) erreicht werden oder mit gegebenen Mitteln (beispielsweise einer bestehenden Telefonleitung) ein neuer Zweck

geschaffen werden (z. B. Nutzung auch zur Datenübertragung für das Internet, beispielsweise für Videokonferenzen). Insbesondere radikale Öko-Innovationen werden als essenzieller Lösungsansatz für zentrale Herausforderungen im Umwelt- und Klimaschutz gesehen.

Während **Produktinnovationen** generell darauf abzielen, die Bedürfnisse von KundInnen besser zu befriedigen, sind **Prozessinnovationen** meist auf Verbesserung von Effektivität und Effizienz von Verfahren ausgerichtet. Neben dem Nutzen für KundInnen und der Steigerung des Mehrwerts haben Öko-Innovationen per Definition darüber hinaus das Ziel, Umweltbelastungen über den gesamten Lebenszyklus zu verringern, die Widerstandsfähigkeit gegen Umweltbelastungen zu stärken oder eine effizientere und verantwortungsvollere Nutzung natürlicher Ressourcen zu bewirken. In diesem Konzeptpapier bezieht sich der Begriff Öko-Innovation primär auf **technische Innovationen** und hierbei insbesondere auf Güter und Technologien für die Bereiche Umweltschutz und Ressourcenmanagement gemäß EGSS-Definition der Eurostat (STATISTIK AUSTRIA 2011).

3 VON DER IDEE ZUR ÖKO-INNOVATION

3.1 Innovationsprozess, Innovationsmanagement und Rolle der Forschung

Innovationsforschung

Die Innovationsforschung beschäftigt sich zum einen mit der Frage, unter welchen Bedingungen und in welchen sozio-ökonomischen Prozessen Innovationen zustande kommen – das heißt der Genese neuer Problemlösungsanwendungsfeld-Kombinationen und der Herausbildung und Entwicklung eines regionalen und/oder nationalen Innovationssystems. Das kann eine Produktinnovation betreffen, aber auch eine neue Organisationsform, Technologie, ein Verfahren oder ein neues Anwendungsfeld. Zum anderen interessiert die Innovationsforschung, wie diese Ziele realisiert werden können. Im Mittelpunkt der Prozessbetrachtung stehen Prozessformen, beispielsweise bewusst gesteuerte, sich selbst organisierende oder informell bzw. en passant ablaufende Prozesse sowie die Möglichkeiten und Grenzen einer gezielten Gestaltung oder Beeinflussung. Neuerdings gilt das Forschungsinteresse zunehmend der **Pfadabhängigkeit** von Innovationsprozessen und deren Ergebnissen. Im Mittelpunkt steht dabei die Annahme, dass die Entwicklungsvergangenheit einer Organisation, eines Produktes, einer Technologie etc. künftige Entwicklungsmöglichkeiten und -vorgehensweisen beeinflusst und begrenzt.

Entwicklung des Innovationsmanagements (IM)

IM1: Anfang systematisches IM

Aufgabe und Ziel des Innovationsmanagements (IM) ist die ganzheitliche, systematische Unterstützung des gesamten Innovationsprozesses. Dies reicht von der Generierung neuer Ideen, der Planung, Steuerung und Kontrolle von Innovationen in Organisationen, bis hin zu deren Umsetzung in neue Produkte, Dienstleistungen, Fertigungsprozesse, Organisationsstrukturen, Managementprozesse etc. Inhalte, Aufgaben und Ziele des Innovationsmanagements haben sich erst allmählich zu dem entwickelt, was sie heute sind. Ursprünglich standen Technologien, Allokation von F&E-Ressourcen und das Management der F&E-Aktivitäten als Einheit im Zentrum der Anfänge eines systematischen Innovationsmanagements (IM erster Generation).

Science/Technology Push & Market Pull

Innovationen wurden vor allem durch neue wissenschaftliche Erkenntnisse und Technologien getrieben (Science/Technology Push) und waren durch einen Mix an Projektportfolios, unbestimmten Zeithorizonten und das Engagement der ForscherInnen als Einzelpersonen gekennzeichnet. Im Laufe der Zeit kam der Antrieb zur Innovation zunehmend vom Markt (Market Pull). Dabei werden die Innovationen durch die Bedürfnisse der KundInnen, die durch ein neues Produkt oder Verfahren befriedigt werden können, initiiert und durch die Anforderungen des Marktes konkretisiert. Der Markt ist also vorhanden, während das neue Produkt erst entwickelt werden muss. Dabei zielt der Entwicklungsprozess auf einen möglichst hohen Nutzen für die KundInnen ab.

IM2: Projektmanagement & -qualität

Bei Öko-Innovationen spielen zudem der angestrebte Umweltnutzen oder die gewünschte Ressourceneinsparung über den gesamten Lebenszyklus der Technologie eine wesentliche Rolle, wobei hier meist auch rechtliche Rahmenbedingungen als Innovationstreiber fungieren. Beim IM zweiter Generation wurden zudem auch Methoden des Projektmanagements einschließlich Projektevaluierung eingeführt und stärker auf die Projektqualität fokussiert.

In der Folge war ab der dritten Generation des Innovationsmanagements die Innovationsstrategie bereits fixer Bestandteil der Unternehmensstrategie. Die Innovationsplanung war von nun an zentrale Unternehmensfunktion. Dies ging mit strategisch ausgewogenen Projektportfolios, Kopplung von Innovations- und Unternehmensstrategie, Integration von Geschäftsprozessen, F&E-Partnerschaften sowie strategischem F&E-Management einher. Die Innovationsstrategie umfasst alle strategischen Aussagen für die Generierung von Innovationen – also die Entwicklung, Umsetzung und Vermarktung neuer Produkte, Dienstleistungen oder Verfahren. Sie steht im Mittelpunkt des Innovationsmanagements und dient als Kompass zur richtungweisenden Orientierung.

IM3: Innovationsstrategie und -planung

Ab der vierten Generation des IM wurden die **KundInnen** in den Innovationsprozess einbezogen. Angesichts des beschleunigten Wettbewerbs, zunehmender Globalisierung und der Durchdringung mit neuen Informations- und Kommunikationstechnologien wurden engere Beziehungen zu KundInnen möglich. Die Unternehmen versuchten, Bedürfnisse und Wissen der KundInnen für die Entwicklung von Innovationen zu nutzen (MÜLLER-PROTHMANN & DÖRR 2011).

IM4: Einbeziehung der KundInnen

Neue Ansätze zum Innovationsmanagement beziehen nicht nur ausdrücklich die Gesamtheit der internen und externen Quellen von Wissen und Innovationen ein, sondern zielen auf deren systematische Nutzung durch eine entsprechende Prozessunterstützung und den strategischen Auf- und Ausbau sowie das Management von Innovationsnetzwerken. Dazu gehören auch strategische Forschungsallianzen und die Öffnung von Innovationsprozessen zur Einbeziehung von KundInnen, Zulieferern, Hochschulpartnern und teilweise sogar Wettbewerbern (MÜLLER-PROTHMANN & DÖRR 2011).

aktuelles IM: Innovationsnetzwerke

Damit Ideen, Visionen oder Erfindungen zu Innovationen verwertet werden können, muss ein Innovationsprozess durchlaufen werden, wobei die Forschung in sämtlichen gängigen Modellen zum Innovationprozess einen wesentlichen Faktor darstellt.

Innovationsprozess

Ein weit verbreitetes Innovationsprozess-Modell ist beispielsweise das Stage-Gate-Modell nach Robert G. Cooper, bei dem der Innovationsprozess in sequenziell ablaufende Phasen (Stufen) zerlegt und nach jeder Phase an einem Gate der Projektfortschritt überprüft sowie über den weiteren Fortgang entschieden wird. In einer Weiterentwicklung des Modells wird explizit die Möglichkeit einer Überlappung zwischen den einzelnen Phasen berücksichtigt. Beispiele für Inhalte und Outputs (Deliverables) der einzelnen Stufen sind in Tabelle 1 dargestellt. Die einzelnen Stufen können auch in drei breite Phasen kategorisiert werden, die einen vereinfachten Innovationsprozess darstellen (siehe Abbildung 1).

Stage-Gate-Modell

Tabelle 1: Stufen, Inhalte und Outputs des Innovationsmodells Stage-Gate nach Cooper (Quelle: MÜLLER-PROTHMANN & DÖRR 2011).

Stage	Inhalt	Output
Discovery	Screening (Entdeckung, Ideenfindung)	Idee für neues Produkt
Stage 1	Scoping (Festlegung der Reichweite)	Strategie und Risikoabschätzung
Stage 2	Business Case (Absteckung des Rahmens)	Produkt-, Ablauf-, Organisationsdefinition; Geschäftsmodell; Aktionsplan
Stage 3	Entwicklung	Design, Prototyp, Produktionsplan
Stage 4	Test & Validierung	Testergebnisse; Anpassungen für Markteinführung/Roll-out
Stage 5	Markteinführung	Markteinführung/Roll-out, Produktion, Distribution, Qualitätssicherung

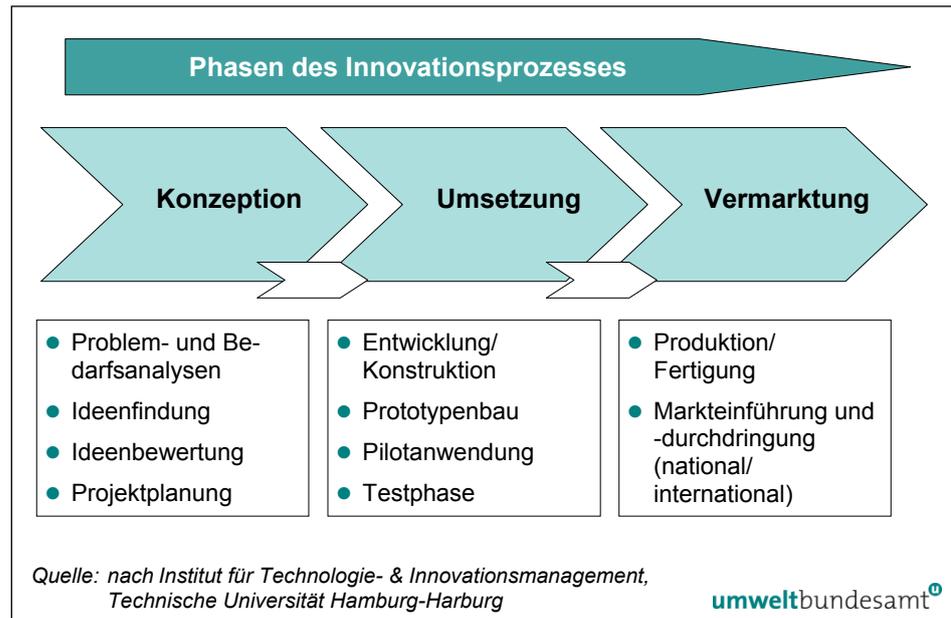


Abbildung 1: Die drei Phasen des vereinfachten Innovationsprozesses.

parallel ablaufende Phasen im Innovationsprozess

Lineare Prozessmodelle mit einem sequenziellen Ablauf der einzelnen Phasen vermitteln zwar ein gutes Grundverständnis von Innovationsprozessen, bilden die Realität aber nur ungenügend ab und sind für das Innovationsmanagement in der Praxis oftmals wenig hilfreich. Neuere Ansätze modellieren Innovationsprozesse in Form von **iterativen Schleifen**, bei denen die verschiedenen Phasen mehrfach, teilweise auch parallel durchlaufen werden, und berücksichtigen damit verbundene Lernprozesse.

Chain-linked Modell

Ein Beispiel, das in verschiedenen Variationen und Ergänzungen weiterentwickelt wurde, ist das Chain-linked Modell (siehe Abbildung 2). Bedeutsam in diesem Modell, das von Kline und Rosenberg 1986 vorgestellt wurde, sind die eigenständige Berücksichtigung eines **Wissenspools**, die **Entkopplung der Forschung** von den übrigen Teilprozessen und die Abbildung von Feedback-/Feedforward-Schleifen. Gerade hinsichtlich der Gestaltung von Kooperationsprozessen in einem integrierten Innovations- und Wissensmanagement sind solche Modelle für die praktische Umsetzung ein großer Erkenntnisgewinn.

Forschung als Serviceleistung

Forschung ist nicht Voraussetzung des Gesamtprozesses, sondern Forschung wird als eine Serviceleistung für den gesamten Innovationsprozess gesehen und ist in jeder Phase für die gezielte Lösungssuche verfügbar. Forschung und Innovationsprozess greifen auf einen gemeinsamen Wissenspool zu und erweitern diesen durch neu gewonnene Erkenntnisse. Ob die Forschung unternehmensintern oder extern, wie z. B. an Universitäten, erbracht wird, ist unter dieser Betrachtung nicht relevant. Die Sicherstellung der Verfügbarkeit des relevanten Wissens durch Zugriff auf den Wissenspool ist Aufgabe des Innovationsmanagements oder spezialisierter Transfereinrichtungen und NetzwerkkoordinatorInnen (MÜLLER-PROTHMANN & DÖRR 2011).

keine Trennung Grundlagenforschung und F&E

Die strikte Trennung zwischen der Grundlagenforschung und der angewandten Forschung bzw. F&E ist bei dieser Betrachtungsweise des Innovationsprozesses nicht mehr vorgesehen. Im Chain-linked Modell beinhaltet die Forschung beides: sowohl die **Grundlagenforschung** – die originär die Domäne der aka-

demischen Forschung an Universitäten ist und alle Aktivitäten bezeichnet, die eine wissenschaftliche Erkenntnisgewinnung zum Ziel haben ohne dass diese auf eine direkte Anwendungsmöglichkeit gerichtet sein muss – als auch **F&E**. Dabei werden als F&E auch oft die Investitionen in die Generierung von Innovationen oder aber auch die funktionalen Unternehmenseinheiten, die auf Forschung und Entwicklung ausgerichtet sind, bezeichnet.

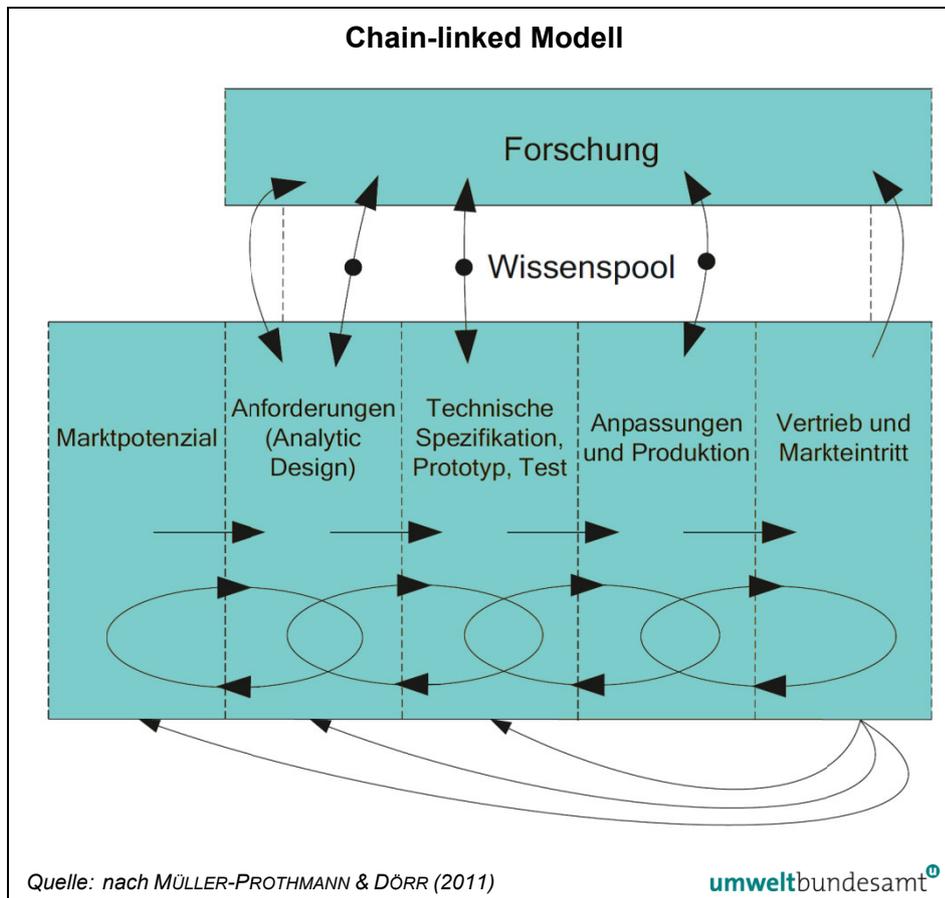


Abbildung 2: Chain-linked Modell in Anlehnung an Kline und Rosenberg, 1986.

Für das Innovationsmanagement sind neben F&E noch viele weitere Faktoren innerhalb und außerhalb der Organisation von Bedeutung. Diese stehen zudem untereinander in Wechselwirkung und beeinflussen das Innovationsklima eines Unternehmens. Darunter fallen beispielsweise die Branche, das Marktsegment, die Kundenstruktur, die Unternehmenskultur, Motivation und Teamarbeit, der Rechtsrahmen – insbesondere gewerbliche Schutzrechte –, oder auch die etwaige Kooperation mit anderen Unternehmen der Wertschöpfungskette sowie die Kooperation mit wissenschaftlichen Einrichtungen (Hochschulen, Forschungsinstitute).

weitere Faktoren

3.2 Technologieentwicklung – kontinuierlicher Verbesserungsprozess & Technologiesprünge

Schritte im Innovationsprozess

Generell umfasst der Entwicklungsprozess im Innovationsprozess die **Vorentwicklung**, die **Technologieentwicklung** (worunter allgemein die Entwicklung neuer sowie die Steigerung der Effektivität und Effizienz vorhandener Technologien verstanden wird) und die **Produktentwicklung**. Letztere bezeichnet die Konzeption und Erstellung von Design, Prototyp und Produktionsplan.

Das vorliegende Konzeptpapier beschränkt sich primär auf die Betrachtung des Zusammenhangs zwischen Forschung und Technologieentwicklung, insbesondere im Hinblick auf Technologiesprünge bei Öko-Innovationen.

Technologie-management

Neben dem Begriff des Innovationsmanagements sind in der Technologieentwicklung auch die Begriffe des F&E- oder Technologiemanagements gebräuchlich, teilweise in Kombination als Technologie- und Innovationsmanagement (TIM). F&E-Management bezieht sich rein auf naturwissenschaftlich-technische Prozesse, während Innovationsmanagement auch administrative und weniger planbare Prozesse umfasst. Technologiemanagement zielt nicht nur auf die Entwicklung neuer, sondern ebenso auf die Erhaltung und Anwendung vorhandener Technologien über den gesamten Lebenszyklus ab und ist damit in seiner Zielsetzung ebenfalls anders gelagert als das Innovationsmanagement (MÜLLER-PROTHMANN & DÖRR 2011).

vier Technologie-klassen

In der Regel wird zwischen vier verschiedenen Technologieklassen unterschieden, die die herkömmliche Einteilung von Technologien nach deren Verbreitungs- und Neuheitsgrad im Lebenszyklus beschreiben (Basistechnologien, Schlüsseltechnologien, Schrittmachertechnologien und Zukunftstechnologien – siehe auch Abbildung 3).

- Als **Basistechnologien** werden diejenigen Technologien bezeichnet, die ihre Wachstumsphase bereits überschritten haben und den Stand der Anwendung in einer Branche darstellen.
- **Schlüsseltechnologien** stehen in der Mitte des Lebenszyklus und befinden sich in einer starken Wachstumsphase, während
- **Schrittmachertechnologien** ganz am Anfang des Lebenszyklus stehen und die potenziellen Schlüsseltechnologien von morgen sind.
- **Zukunftstechnologien** (auch als Embryonische Technologien bezeichnet) stehen im Lebenszyklus noch vor den Schrittmachertechnologien im ganz frühen Stadium der Entwicklung oder befinden sich sogar noch im Stadium der Grundlagenforschung.

Als **Technologiesprung** wird der Übergang von einer Technologieklasse zu einer anderen bezeichnet.

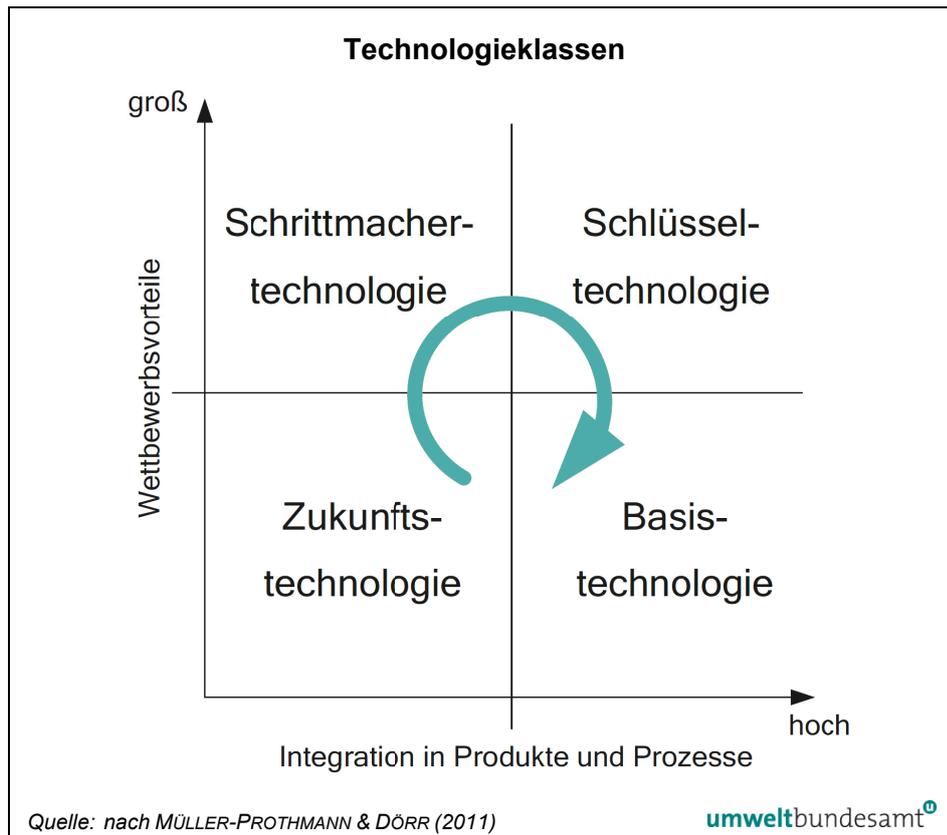


Abbildung 3: Technologieklassen.

Um den technologischen Wandel, die Technologieentwicklung und Technologiesprünge bei Öko-Innovationen quantitativ erfassbar zu machen, werden in der Praxis vier Zugänge verwendet (KEMP & PEARSON 2007):

- **Input-Größen:** z. B. F&E-Ausgaben, F&E-Personal, ForscherInnen und Innovationsaufwendungen (mit und ohne immaterielle Investitionen wie Ausgaben für Design, Software- und Marketing-Kosten);
- **intermediäre Output-Größen:** z. B. Anzahl der Patente, Anzahl und Art der wissenschaftlichen Publikationen;
- **direkte Messgrößen** des innovativen Outputs: z. B. Anzahl der Innovationen und Beschreibungen einzelner Innovationen, Verkaufsdaten neuer Produkte, Produktivitätszahlen etc.;
- **indirekte Messgrößen**, die aus aggregierten Daten ableitet werden können: z. B. Veränderungen in der Ressourceneffizienz und Produktivität nach entsprechender zerlegender Auswertung.

Viele Umwelttechnologien, insbesondere end-of-pipe- bzw. nachgelagerte Technologien, sind inkrementelle Öko-Innovationen. Sie werden als kurzfristig taugliche, handlungsorientierte Schritte gesehen, negative Auswirkungen auf Umwelt und Klima zu vermeiden oder zu minimieren bzw. eine effizientere Nutzung natürlicher Ressourcen zu bewirken. Dabei werden sie allerdings in bestehenden Systemen angewendet.

Im Gegensatz dazu sind disruptiv technologische und radikale Öko-Innovationen mit einem Systemwechsel verbunden. Dennoch können auch inkrementelle Öko-Innovationen über die Zeit eine wesentliche Rolle spielen, zumal Sequen-

**quantitative
Messgrößen**

**inkrementelle Öko-
Innovationen**

**disruptiv techno-
logische & radikale
Öko-Innovationen**

zen von inkrementellen Verbesserungen im Laufe der Zeit radikale Veränderungen hervorrufen können (z. B. Elektroauto). Einerseits bereiten inkrementelle Verbesserungen den Markt für radikalere Öko-Innovationen vor, andererseits können kleine Veränderungen, im großen Maßstab angewandt (beispielsweise auf Makroebene), radikale Verbesserungen bewirken (Eio 2010) (siehe auch Abbildung 4).

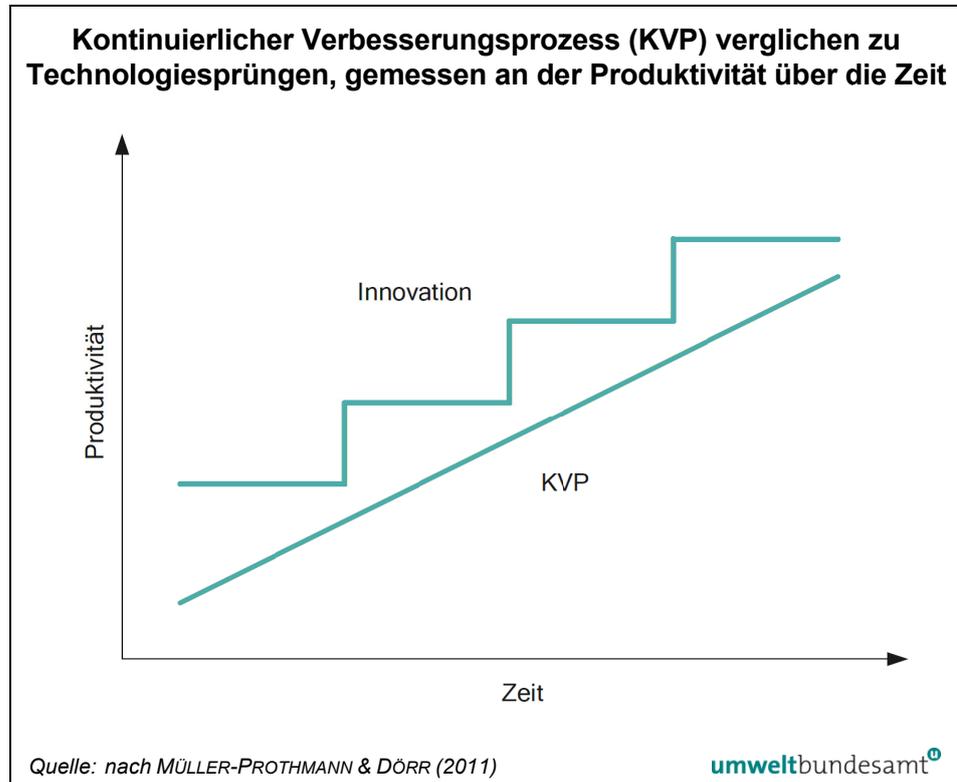


Abbildung 4: Kontinuierlicher Verbesserungsprozess (KVP) verglichen zu Technologiesprüngen, gemessen an der Produktivität über die Zeit.

Für Unternehmen ist im Hinblick auf die Technologieentwicklung auch stets die strategische Frage zu klären, ob die benötigte Technologie in Eigenentwicklung selbst erstellt, von Dritten eingekauft oder mit Partnern gemeinsam entwickelt werden soll. „Make“ bedeutet dabei die eigene Durchführung der Entwicklung, „Buy“ die Vergabe eines Fremdauftrags bzw. den Einkauf externer Lösungen und „Cooperate“ die Kooperation mit Partnern. Für die Beantwortung der „Make or Buy or Cooperate“-Entscheidung gilt es, verschiedene Faktoren hinsichtlich Kompetenzen, Ressourcen und Ausstattung zu berücksichtigen. Darüber hinaus gilt es aber auch, die strategische Dimension der Entscheidung einzubeziehen, die letztendlich sogar ausschlaggebend sein kann.

Make or Buy or Cooperate

Vor- und Nachteile eigener F&E (Make)

Eigene F&E („Make“) zeichnet sich vor allem durch folgende Vorteile aus: eigenständige Kontrolle des Entwicklungsprozesses, Vermeidung von Abhängigkeiten, Exklusivität des erworbenen Know-how, maßgeschneiderte Anpassung an die eigenen Bedürfnisse, Aufbau einer (temporären) Monopolstellung durch Patentierung, Prestige- und Imagevorteile. Dem stehen als Nachteile vor allem zeitlicher und finanzieller Aufwand sowie das alleinige Tragen der Entwicklungsrisiken gegenüber (MÜLLER-PROTHMANN & DÖRR 2011).

Je nachdem, welche Innovationsstrategie im Hinblick des Zeitpunkts einer Markteinführung (Timing) von einem Unternehmen verfolgt wird, verteilen sich die Innovationsaufwendungen und -risiken auf unterschiedliche Bereiche bzw. sind unterschiedlich hoch. Verfolgt ein Unternehmen die Pionierstrategie („**First to Market**“), bei der Innovationen vor anderen Unternehmen wirksam auf dem Markt durchgesetzt werden, kann einerseits ein temporäres Quasimonopol geschaffen werden. Andererseits können mit dieser Strategie große Unsicherheiten, vor allem hohe Markterschließungskosten verbunden sein. Die Folgestrategie („**Follow the Leader**“, „**Second to Market**“, auch Imitationsstrategie) eines Unternehmens zielt auf die direkte technologische Nachfolge des Pioniers ab, möglichst verbunden mit einer anwendungsorientierten Weiterentwicklung der bereits auf dem Markt eingeführten Innovation. Unterschieden werden kann noch zwischen dem frühen und späten Folger (siehe Abbildung 5, Tabelle 2). Chancen und Risiken der unterschiedlichen Markteintrittszeitpunkte sind in Tabelle 2 einander gegenübergestellt (MÜLLER-PROTHMANN & DÖRR 2011).

Chancen und Risiken bei Markteinführung

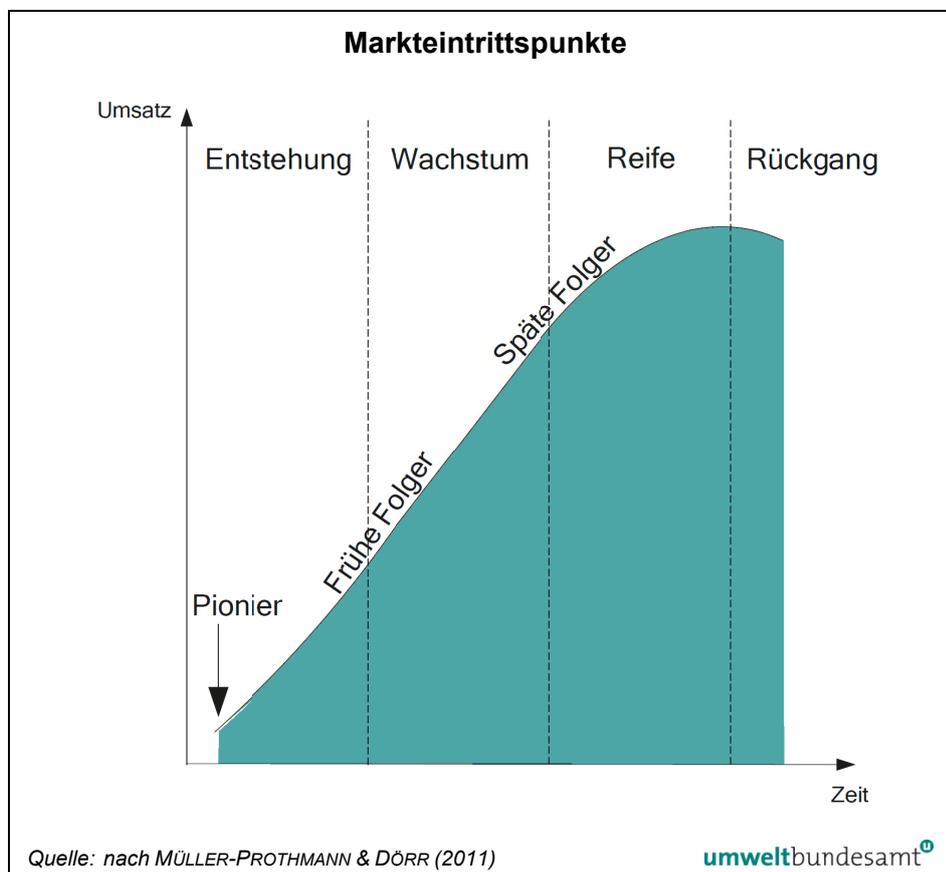


Abbildung 5: Markteintrittszeitpunkte.

Tabelle 2: Chancen und Risiken unterschiedlicher Markteintrittszeitpunkte nach Corsten et al. 2006 (Quelle: MÜLLER-PROTHMANN & DÖRR 2011).

	Pionier	frühe Folger	späte Folger
Chancen	<ul style="list-style-type: none"> ● Erfahrungskurveneffekte ● frühzeitige Erlangung von Markt-Know-how ● Imagevorteile ● Etablierung eines Standards ● Spielraum für den Einsatz von Marketinginstrumenten ● Aufbau von Markentreue ● Erhöhung weiterer Markteintrittsbarrieren 	<ul style="list-style-type: none"> ● abgeschwächte „Pioniervorteile“ ● Nutzung von Markterschließungsmaßnahmen des Pioniers ● geringere Unsicherheit hinsichtlich Markt- und Technologieentwicklung ● Ausnutzen fehlerhafter Pionierpositionierung 	<ul style="list-style-type: none"> ● hohe Transparenz (Markt- und Technologiesituation) ● Ausrichtung des Wettbewerbsverhaltens an der Konkurrenz und Ausnutzung von Schwachstellen ● Partizipation an Investitionen von Pionier und frühen Folgern (z. B. Markterschließung, F&E)
Risiken	<ul style="list-style-type: none"> ● hohe Unsicherheit (ökonomische, technische Entwicklungen) ● geringe Erfahrung mit der Technologie ● hohe Markterschließungskosten ● Markterschließung kommt auch Folgern zugute ● unausgereiftes Produkt (Image-nachteile) ● Risiko der richtigen Bedarfs-schätzung 	<ul style="list-style-type: none"> ● keine Nutzung von Monopolisierungsvorteilen ● Pionier hat eventuell bereits Industriestandard etabliert ● Pionier hat Markteintrittsbarrieren aufgebaut ● produktbezogene Imagenachteile 	<ul style="list-style-type: none"> ● nur geringes Marktpotenzial durch späten Markteintritt ● hohe Markteintrittsbarrieren ● Präferenzen der Abnehmer für den Pionier bzw. frühen Folger ● Marketinginstrumentarium kann nur reaktiv eingesetzt werden ● verkürzter Marktpräsenzzeitraum

Der mögliche Zusammenhang zwischen dem Innovationsfaktor F&E und der Technologieentwicklung von Öko-Innovationen wird im Folgenden anhand dreier Beispiele näher dargestellt.

4 F&E UND TECHNOLOGIEENTWICKLUNG ANHAND DREIER ÖKO-INNOVATIONEN

4.1 Fallbeispiel Wärmepumpe

Die Öko-Innovation kann bis auf das Jahr 1824 zurückgeführt werden, in dem der Franzose Nicolas Léonard Sadi Carnot Grundsätze zur Wärmepumpe veröffentlichte. 1834 baute der Amerikaner Jacob Perkins die erste Kompressionskältemaschine mit dem Arbeitsmittel Diethylether. 1852 konnte William Thomson (1. Baron Kelvin) nachweisen, dass Kältemaschinen auch zum Heizen verwendet werden können. Außerdem konnte er zeigen, dass zum Heizen mittels Wärmepumpe weniger Primärenergie benötigt wird als zum direkten Heizen, weil die von der Wärmepumpe aus der Umgebung aufgenommene Wärmeenergie als Energiequelle genutzt wird. Diese Erfindung Thomsons kann als erster relevanter Technologiesprung in der Entwicklung der Wärmepumpe gesehen werden, da er mit gegebenen bzw. leicht modifizierten Mitteln einen neuen Zweck, nämlich Heizen, geschaffen hat. 1855 errichtete und betrieb die Saline Ebensee, Oberösterreich, nach einem Entwurf von Peter von Rittinger, eine wirtschaftliche Soleverdampfung nach dem „Funktionsprinzip eines Kühlschranks“. Ende des 19. Jahrhunderts wurden Kompressionskältemaschinen und Absorptionskältemaschinen intensiv erforscht und weiterentwickelt. Zunächst dienten die gebauten Kältemaschinen der Eisherstellung, erst später wurde mit den Kältemaschinen auch direkt gekühlt. Nach dem Ersten Weltkrieg begann der Siegeszug des Kühlschranks in Privathaushalten vorwiegend in den USA, verbunden mit einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess der Kältemaschinen (KHAMMAS 25.09.2012).

**historische
Entwicklung**

Erst um 1919, also knapp ein Jahrhundert nach der Veröffentlichung Carnots 43-seitigen Schrift *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* (Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers und die zur Entwicklung dieser Kraft geeigneten Maschinen) kam in europäischen Ländern (z. B. in der Schweiz) aufgrund der Versorgungsknappheit mit Brennstoffen nach dem ersten Weltkrieg die Diskussion zum Einsatz von Wärmepumpen auf. Zur ersten Umsetzung vergingen in Europa aber fast weitere 20 Jahre.

In den USA wurden, beginnend in den 1920er-Jahren, Klimaanlage dezidiert auch mit Heizfunktionen konzipiert und beworben. Dieser Technologiesprung war nicht primär F&E-getrieben (Science/Technology Push), da das Wissen über die Wärmepumpentechnologie zu diesem Zeitpunkt ja bereits knapp 100 Jahre lang bestand, sondern Marktbedürfnisse (KundInnen) waren primär die TreiberInnen für die Innovation. Es mussten also neue Produkte für einen vorhandenen Markt entwickelt werden (Market Pull). Die Leistungszahl dieser Anlagen im Wärmepumpenbetrieb war bescheiden. Erst während der großen Weltwirtschaftskrise Ende der 20er-Jahre wurde versucht, wirtschaftlich rentablere Anlagen zu entwickeln und zu errichten. Es begann damit die Sequenz zahlreicher inkrementeller Verbesserungen bei Wärmepumpen. Das Patent von John D. Huston aus Prineville, Oregon, das dieser 1926 beantragte und im November 1930 erteilt bekam (US-Nr. 1.781.062), beschreibt ein Gerät, das nach dem Prinzip der Wärmepumpe arbeitet und die Hitze der Luft mittels Kondensatoren nutzt. Dem Erfinder zufolge würde die Maschine ungeregelt so heiß werden, dass sie sich selbst zerstört. Im umgekehrten Betrieb soll sie wiederum eine Temperatur

Einsatz in den USA

von 120 °C unter null erreichen können. 1938 wurden die ersten größeren Wärmepumpenanlagen zur Beheizung von Gebäuden in Betrieb genommen, u. a. im Rathaus der Stadt Zürich. Um 1945 ging in den USA die erste erdgekoppelte Wärmepumpe in Betrieb (KHAMMAS 25.09.2012).

Einsatz in Europa

In Europa dominierte angesichts der klimatischen Bedingungen die Anwendung von Wärmepumpen in Heizsystemen. Während Wärmepumpen vor 1970 jahrzehntelang nur vereinzelt zur Beheizung von Gebäuden benutzt wurden, kamen sie erst im Anschluss an die mehrmalige Ölverteuerung verstärkt auf den Markt. Die erste erdgekoppelte Wärmepumpe in Deutschland wurde 1972 in Betrieb genommen (WATTERKOTTE 1972). Damit erfolgte auch in Europa endgültig der Sprung von der Schrittmachertechnologie zur Schlüsseltechnologie. Ende der 1970er-Jahre begünstigten zudem verstärkte Förderungsmaßnahmen und gesetzliche Regelungen, wie z. B. das Gesetz zur Förderung der Modernisierung von Wohnungen und zur Einsparung von Heizenergie (Deutschland 1978), den Einbau von Wärmepumpen.

Einsatz in Österreich

Die historische Entwicklung des österreichischen Wärmepumpen-Inlandsmarktes ist durch einige markante Umstrukturierungen geprägt (siehe Abbildung 6). Ausgelöst von den Energiehochpreisphasen der 1970er-Jahre entwickelte sich die Wärmepumpentechnologie in Österreich zunächst vor allem im Bereich der Brauchwasserwärmepumpen, wobei bis zum Jahr 1986 ein starker Anstieg der Verkaufszahlen zu beobachten war. Der wachsende Absatz von Wärmepumpen erfolgte parallel zur Entwicklung effizienterer Wärmetauscher und dem Einsatz elektronischer Prozessoren zur optimalen Regelung und Steuerung der Wärmepumpen. Bedingt durch sinkende Ölpreise und ein mangelhaftes Qualitätsmanagement reduzierten sich die Verkaufszahlen jedoch während der 1990er-Jahre deutlich. Zudem wurden häufig Schwachstellen der Technologie bemängelt, wie zu knapp bemessene Wärmetauscher und Expansionsventile, falsch berechnete Kältemittelbefüllung, zu lange Saugleitungen sowie ungenügend durchdachte Steuerungen (BIERMAYR et al. 2012).

Ab dem Jahr 2000 führten eine schrittweise Weiterentwicklung der Wärmepumpentechnologie, die Verwendung von neuartigen Lösungskreisläufen sowie die Verknüpfung mit erneuerbaren Energiequellen (Solarthermie, Fotovoltaik, Erdwärme etc.) wieder zu steigenden Verkaufszahlen, vor allem im Bereich der Heizungswärmepumpen, wobei auch ein neuerlicher Anstieg bei den Brauchwasserwärmepumpen zu verzeichnen war. Weitere Hintergründe dieses Wachstums lagen in der Einführung von Qualitätsmechanismen bei der Installation und den günstigen energietechnischen bzw. thermodynamischen Randbedingungen beim Einsatz von Heizungswärmepumpen in modernen energieeffizienten Gebäuden mit geringem Heizwärmebedarf und geringen Heizungs-Vorlauf-temperaturen sowie den vorhandenen anreizorientierten energiepolitischen Instrumenten. Zusätzlich entstanden im Bereich der Niedrigstenergie- und Passivhäuser auch neue Wärmepumpen-Anwendungsbereiche für Kompaktanlagen in Form von Lüftungswärmepumpen (BIERMAYR et al. 2012).

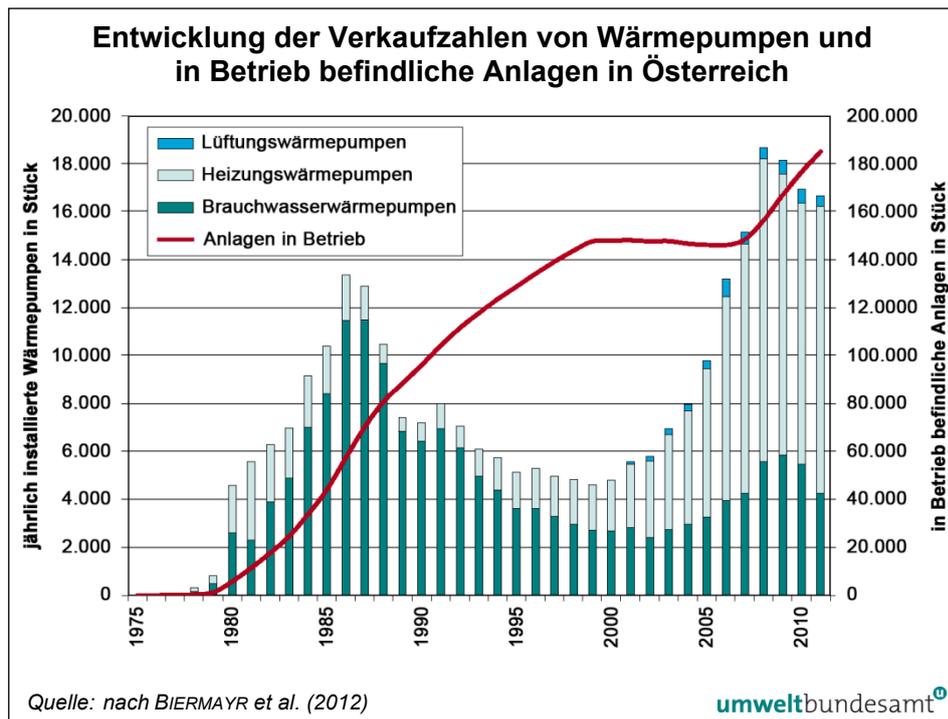


Abbildung 6: Entwicklung der Verkaufszahlen von Brauchwasser-, Heizungs- und Wohnraumlüftungswärmepumpen im österreichischen Inlandsmarkt von 1976 bis 2011 und Anzahl der in Betrieb befindlichen Anlagen.

Zurzeit betreffen weitere neue technologische Ansätze die Nutzung neuer Wärmequellenanlagen in geothermischen oder auch tiefbautechnischen Bereichen. Beispielsweise kann in Tunnelbauwerken geothermische Wärme auf niedrigem Temperaturniveau mit Wärmepumpentechnologie genutzt werden. Hinzu kommt die indirekte Nutzung von Betriebsabwärme, wie z. B. in Autobahntunnels oder U-Bahn-Schächten. In diesem Zusammenhang ist auch der Aspekt der Klimatisierung interessant. Der Markt für entsprechende Anlagen ist an technische und nachfrageseitige Rahmenbedingungen gebunden, welche die Umsetzung des entsprechenden Marktpotenzials zurzeit sehr zögerlich verlaufen lassen. Auch die stark sinkenden Anlagenzahlen der mittleren und größeren Leistungsklassen im Jahr 2011 lassen auf starke Hemmnisse und ein ungünstiges Investitionsumfeld in diesem Bereich schließen (BIERMAYR et al. 2012).

derzeitiger Stand

Eine steigende Nachfrage nach Kühlung und Klimatisierung in Wohngebäuden als zusätzliche Komfortmaßnahme ist, zumindest in bestimmten KundInnensegmenten, vorhanden. Die Sommertauglichkeit von Wohngebäuden in Österreich ist zwar prinzipiell mit passiven Maßnahmen machbar, dennoch wird dieses Thema zumindest aus qualitativer Sicht einen Zukunftsmarkt darstellen. In diesem Marktsegment kann die Wärmepumpentechnologie durch die entsprechenden technischen Möglichkeiten der Marktentwicklung rasch folgen und neue Energiedienstleistungsanforderungen erfüllen. In diesem Sinne werden Hybridlösungen, welche sowohl heizen als auch kühlen können, eine zunehmende Verbreitung finden. Im Bereich der Altbausanierung spielt die Wärmequelle Luft eine zunehmende Rolle. Das Marktsegment der Altbausanierung, das in Zukunft rasch an Volumen gewinnen wird, ist auch aus der Sicht der Entfeuchtung ein zukünftiges Anwendungsgebiet der Wärmepumpe (BIERMAYR et al. 2012).

Einsatz in Wohngebäuden

europäische Patente

Um eine mögliche Korrelation zwischen Forschung und Durchdringungsraten von Wärmepumpen am österreichischen Markt abschätzen zu können, wurde für den Zeitraum 1975 bis 2011 die Anzahl der veröffentlichten europäischen Patente pro Jahr als intermediäre Output-Größe erhoben, die den Begriff „Wärmepumpe“ im Titel enthalten (siehe Abbildung 7). Für das laufende Jahr 2012 wurde die Anzahl der Patente auf Basis der in den Monaten Jänner bis September veröffentlichten Patente hochgerechnet.

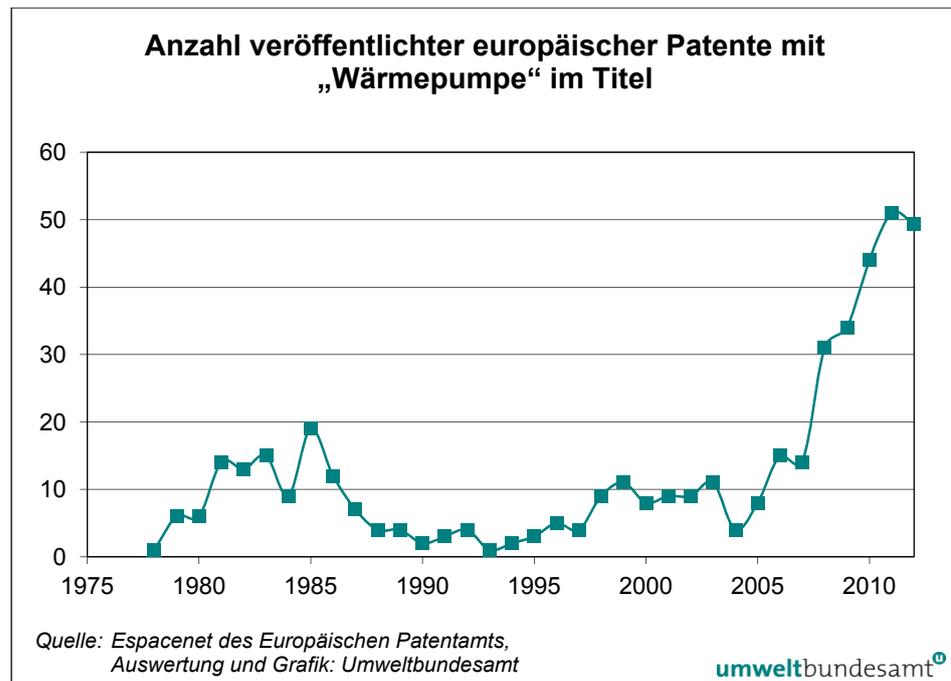


Abbildung 7: Anzahl der veröffentlichten europäischen Patente pro Jahr, die den Begriff „Wärmepumpe“ im Titel enthalten. (Quelle: Espacenet des Europäischen Patentamts, Auswertung und Grafik: Umweltbundesamt)

jährlich installierte Wärmepumpen

Wie aus Abbildung 6 und Abbildung 7 ersichtlich, korreliert die Entwicklung der Anzahl veröffentlichter europäischer Patente pro Jahr relativ gut mit der Entwicklung der Anzahl jährlich in Österreich installierter Wärmepumpen. Beide Kurven weisen Mitte der 1980er-Jahre ein Maximum auf, fallen dann etwas ab und steigen ab den 2000er-Jahren massiv an. Um 2010 geht sowohl die Anzahl der jährlich installierten Wärmepumpen als auch die Anzahl der jährlich veröffentlichten europäischen Patente leicht zurück bzw. stagniert. Sowohl Patentaktivität als indirekte Output-Größe als auch die Anzahl jährlich in Österreich installierter Wärmepumpen sind Indikatoren für die Innovationsaktivität von Unternehmen, die in diesem Technologiebereich offensichtlich in den vergangenen zehn Jahren stark zugenommen hat. Neben neuen technologischen Entwicklungen oder schrittweisen Verbesserungen an Wärmepumpen sind insbesondere ab den 1920er-Jahren auch Market-Pull-Faktoren unter gegebenen rechtlichen Rahmenbedingungen sowie eingesetzte Förderungsinstrumente ausschlaggebend für die Innovationsaktivitäten und damit auch für steigende Verkaufszahlen in einzelnen Marktsegmenten. Als wesentliche Treiber der letzten Jahre sind vor allem die Erneuerbare-Energien-Richtlinie, die Gebäude-Richtlinie sowie die Standardisierung der Leistung guter Geräte zu nennen.

In Zukunft sind Technologiesprünge bezüglich der zugrunde liegenden prinzipiellen Mechanismen bzw. der Anlageneffizienzen von Wärmepumpen jedenfalls nicht zu erwarten, da die Annäherung an die thermodynamisch vorgegebenen Grenzen bereits fortgeschritten ist. Eine große Chance liegt jedoch in der neuen Kombination von bereits bekannten Technologien wie z. B. in der Kopplung der Wärmepumpe mit solarthermischen Anlagen. Bei elektrisch betriebenen Wärmepumpen ist es vorrangiges Ziel, die Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen weiter zu verbessern, die das Verhältnis der Nutzenergie in Form von Wärme zur aufgewendeten Verdichtenergie in Form von Strom als Maß für die Effizienz beschreibt. Der Einsatz elektrischer Wärmepumpen ist in Abhängigkeit vom eingesetzten Strommix erst ab einer Jahresarbeitszahl von 4 ökologisch sinnvoll, da erst ab diesem Leistungsniveau die Wärmepumpe wieder so viel Wärmeenergie abgibt, wie bei der Stromproduktion an fossiler Primärenergie verbraucht wurde. Für strombetriebene Wärmepumpen ist daher die Nutzung erneuerbarer Energiequellen zur Stromerzeugung von großem Vorteil. Als Antriebsenergie für Wärmepumpensysteme können in Zukunft auch Erdgas oder andere energetisch nutzbare Gase eine zunehmende Rolle spielen. Ein weiterer Trend bei Wärmepumpen dürfte die zunehmende Miniaturisierung bei hoher Effizienz der Systeme sein (BIERMAYR et al. 2012).

Kombination von Technologien

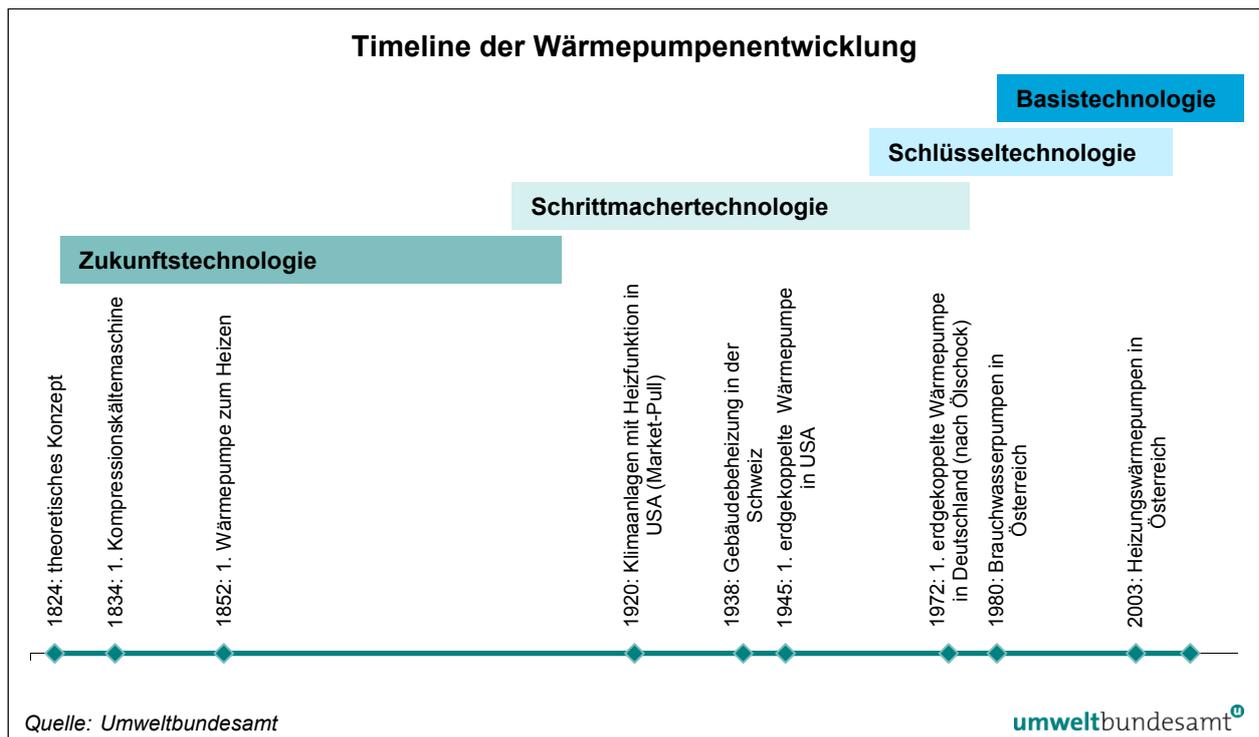


Abbildung 8: Timeline der Wärmepumpenentwicklung mit einer Abschätzung der Technologiesprünge bzw. Übergänge von der Zukunftstechnologie bis zur Basistechnologie.

Ein Durchbruch der modulierenden Kompression zur Leistungsregelung wird von TechnologieexpertInnen in den nächsten Jahren nicht erwartet, da die Modulation in der Regel zur Reduktion des erzielbaren Wirkungsgrades führt. Andere Möglichkeiten des Leistungsmanagements wie die Speicherung in Pufferspeichern, auch in Kombination mit Solaranlagen, erscheinen aus heutiger Sicht energetisch effizienter und wirtschaftlicher (BIERMAYR et al. 2012).

4.2 Fallbeispiel Stirling-Motor

Funktionsprinzip

Als zweites Fallbeispiel zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Forschung und Technologiesprüngen von Öko-Innovationen wird der Innovationsprozess des Stirling-Motors dargestellt. Der Stirling-Motor, der nach dem Prinzip eines geschlossenen Kreisprozesses arbeitet, ist eine Wärmekraftmaschine, in der ein abgeschlossenes Arbeitsgas wie Luft, Helium oder Wasserstoff von außen an zwei verschiedenen Bereichen erhitzt und gekühlt wird, um mechanische Arbeit zu leisten. Je nachdem, ob der heiße oder der kalte Bereich genutzt wird, arbeitet der Stirling-Motor als Kältemaschine oder als Wärmepumpe. Die Abgrenzung zu anderen Motorarten bzw. die Besonderheit beim Stirling-Motor besteht darin, dass das Gas innerhalb des Motors verbleibt und nicht ausgetauscht wird. Das bedeutet, dass er, abgesehen von einer ggf. durch Verbrennung betriebenen externen Wärmequelle, ohne Abgasemissionen arbeitet, womit er sich z. B. von Dampfmaschinen und Verbrennungsmotoren unterscheidet, bei denen der Wasserdampf bzw. das Verbrennungsgas nach Verrichtung der mechanischen Arbeit und Entspannung abgelassen wird.

historische Entwicklung

Der schottische Geistliche und Konstrukteur Robert Stirling (1790–1878) stellte 1815 erstmals den Entwurf eines solchen Motors vor. Als 26-Jähriger erhielt er ein Patent auf das neue Verfahren zum Antrieb von Maschinen. Der Stirling-Motor ist damit die zweitälteste Wärmekraftmaschine nach der Dampfmaschine. Stirling wollte mit seinem Motor eine Alternative zu den damals aufkommenden Hochdruckdampfmaschinen bieten, die zahlreiche Opfer durch Kesselexplosionen forderten. Der erste Motor, der nach Stirlings Prinzip arbeitete, war sehr einfach konstruiert.

Am 12. Januar 1853 stach in den USA das umgebaute Dampfschiff ‚Ericsson‘ in See – mit dem größten jemals gebauten Stirling-Motor an Bord. Leider leistete die riesige 4-Zylinder-Maschine (mit Zylinderdurchmessern von 4,27 m) statt der vorausgesagten 350 kW nur 220 kW, wodurch das Schiff eine inakzeptable Fahrt von 11 Knoten machte (20,4 km/h). Der Schwede John Ericsson entwickelte um 1858 einen 1,5 PS „Industrie-Stirling“, mit dem er größeren Erfolg hatte. Die durch Sonnenenergie betriebene Wasserpumpe wurde zu Tausenden verkauft, womit ein erster Schritt Richtung Schlüsseltechnologie erfolgte. Zunächst fand der Stirling-Motor jedoch vor allem in der Landwirtschaft Verbreitung, da er mit jedem Brennstoff, also auch mit Holz oder Stroh, betrieben werden kann (KHAMMAS 16.10.2012).

Schlüssel- technologie Anfang 20. Jahrhundert

Schrittweise technologische Verbesserungen, wie das Hinzufügen eines zweiten Schwungrades und die Veränderung bzw. Druckerhöhung des Arbeitsgases, führten dazu, dass der Stirling-Motor erst am Ende des 19. Jahrhunderts als Einzelenergiequelle in den Privathaushalten des aufkommenden Bürgertums seine erste Blüte erlebte. In für damalige Verhältnisse kleinen Ausführungen war er ein Massenprodukt des Fabrikanten Louis Heinrici und stellte ungefähr das Pendant zu unseren heutigen Elektromotoren dar. Am Anfang des 20. Jahrhunderts waren weltweit ca. 250.000 Stirling-Motoren im Einsatz als Tischventilatoren, Wasserpumpen oder Antriebe für Kleingeräte wie z. B. Nähmaschinen. Sie versorgten Privathaushalte und kleine Handwerksbetriebe mit mechanischer Energie. Damit war der Technologiesprung von der Schrittmachertechnologie zur Schlüsseltechnologie zumindest in diesem Marktsegment endgültig vollzogen. Als sich Otto-, Diesel- und Elektromotoren immer weiter verbreiteten, wurden die Stirling-Motoren jedoch zunehmend von diesem Markt wieder verdrängt (KHAMMAS 16.10.2012).

Auch in Kraftfahrzeugen konnte sich der Stirling-Motor trotz ausgezeichneter Wirkungsgrade nicht gegen Diesel- und Ottomotoren durchsetzen. Größe und Gewicht machten der Verwendung für Fahrzeuge Probleme, ebenso wie die langsame Leistungsänderung. So wurde der Motor in der Folge vor allem als Kühler und bei Wärmepumpen eingesetzt (ORF 13.11.2008).

Eine technologische Weiterentwicklung erlebte der Stirling-Motor in den 1930er-Jahren durch die niederländische Firma Philips. Das Unternehmen baute in dieser Zeit große Mengen Radios für den Export und suchte nach einer leicht zu bedienenden transportablen Kraftmaschine für die Stromversorgung der energieintensiven Elektronenröhren in Gegenden ohne Versorgung mit elektrischer Energie. In diesem Zusammenhang entwickelte man den Philips-Stirling-Motor, einen Motor mit einem Zylinder und zwei Kolben auf einer gemeinsamen Kurbelwelle. Während der Arbeitskolben direkt auf die Kurbelwelle wirkte, wurde der Verdrängerkolben über einen Winkelhebel und ein elastisches Pleuel angetrieben. Er hatte eine Phasenverschiebung von 90°. Später wurde ein Rhombengetriebe verwendet, bei dem beide Kolben miteinander verbunden waren; die Kolbenstange des inneren Kolbens wirkte dabei durch die hohlgebohrte Kolbenstange des äußeren Kolbens. Diese Bauart hatte den Vorteil, dass sie völlig ohne Unwucht läuft, also frei von Massenkräften und -momenten erster und zweiter Ordnung ist. Außerdem lässt sie sich beinahe beliebig verkleinern und eliminiert die Radiallasten aus dem Kurbeltrieb auf den Kolben, was die Reibung und den Verschleiß minimiert. Zu dieser Zeit bestand jedoch noch das Problem der Dauerfestigkeit der Dichtung zwischen den beiden Kolbenstangen, das mit modernen Werkstoffen und Fertigungsverfahren heute beherrschbar sein sollte. Durch den Zweiten Weltkrieg wurde die Entwicklung unterbrochen. Ab Mitte des vergangenen Jahrhunderts stellte sich die Frage der Energieversorgung von Radios durch den Einsatz der ersten Transistoren nicht mehr.

Philips-Stirling-Motor

Neben Philips arbeiteten auch andere große Unternehmen wie Ford, Siemens, Volvo oder die NASA jahrzehntelang an einer Weiterentwicklung des Stirling-Motors als Schiffs- und Automobylantrieb sowie wegen der Vielstofftauglichkeit im militärischen Bereich, ohne auf diesen Gebieten eine konkurrenzfähige Serienreife zu erzielen. Die Forschung geriet aber trotz des bereits eingesetzten Millionenaufwands ins Stocken. Erst in den vergangenen Jahrzehnten, im Zeichen der großen Energiekrisen, des drohenden Klimawandels und der Suche nach alternativen Energiequellen ist das Interesse an dieser rund 200 Jahre alten Erfindung wieder gestiegen und das Prinzip wurde auch allgemein bekannt. MAN unternahm 1967 erste Versuche und stellte 1984 eine Studie zu einem Schiff-Stirling-Motor vor.

Im Zuge der Diskussion um erneuerbare Energien fallen insbesondere die wesentlichen Vorteile des Stirling-Motors gegenüber anderen Wärmekraftmaschinen ins Gewicht:

Vorteile des Stirling-Motors

- die Wärmeerzeugung muss nicht notwendigerweise auf Verbrennung beruhen, sondern es kann jede Wärmequelle (Solarenergie beim Solar-Stirling, Erdwärme o. Ä.) genutzt werden,
- wenn die Wärmeerzeugung dennoch durch Verbrennung von außen geschieht, sind beliebige Brennstoffe möglich,
- es gibt Stirling-Motoren, die nur wenige Kelvin Temperaturdifferenz benötigen (z. B. Flachplatten-Stirling-Motor),

- Stirling-Motoren haben eine geringe Geräusentwicklung, da sie weder Explosions- noch Auspuffgeräusche produzieren,
- der Verbrauch an Schmieröl und damit der Wartungsaufwand sind gering,
- Der Stirling-Motor kann schon als Einzylindermotor ohne zusätzliche Ausgleichswellen völlig frei von Massenkräften laufen,
- es gibt sehr viele verschiedene Bauformen, die eine vielseitige Anwendbarkeit und Weiterentwickelbarkeit ermöglichen,
- Stirling-Motoren erzeugen hohe Drehmomente vor allem bei niedrigen Drehzahlen,
- bestimmte Bauformen können selbstständig unter Last anlaufen.

Einsatz in Blockheizkraftwerken und bei KWK

Mitte der 1970er-Jahre gewann der Stirling-Motor im Zusammenhang mit Blockheizkraftwerken (BHKW) und der Kraft-Wärme-Kopplung zunehmend an Bedeutung. In Kleinst-BHKWs kommt zunehmend die besondere Bauform des Stirling-Freikolbenmotors, verblockt mit einem Lineargenerator, zum Einsatz. Eine Freikolben-Wärmekraftmaschine, bei der die Arbeitsmaschine (z. B. Generator) von einem Stirling-Motor angetrieben wird, hat den großen Vorteil, dass nur noch zwei axial belastete Teile vorhanden sind, beim Betrieb keine Radialkräfte auftreten und dass sie ohne weitere reibungsbehaftete Teile wie Pleuel, Pleuelwelle oder gar Ventilsteuerung auskommt. Daher kann ein Freikolben-Stirling-Motor kostengünstig hergestellt und verschleißarm betrieben werden. Heute haben diese Stirling-Motoren vor allem im Zusammenhang mit der Biomasseverstromung wieder Bedeutung erlangt, wobei hier auch österreichische Unternehmen eine führende Technologiestellung haben.

Um 1980 beschäftigten sich weltweit etwa 80 Firmen mit der Technologie, und 1986 fuhr bereits ein Versuchsfahrzeug von Opel mit einem wasserstoffbetriebenen 8 PS Stirling. Ein Problem bilden die von außen erhitzten Zylinderköpfe, welche Kobalt benötigen. Die fiktive Zahl von 2 Mio. Motoren würden dabei die gesamte Weltproduktion dieses Materials verbrauchen (KHAMMAS 16.10.2012).

thermo-akustischer Stirling-Motor

Im Jahr 1999 entwickelten Scott Backhaus und Gregory Swift am Los Alamos National Laboratory in New Mexico einen thermo-akustischen Stirling-Motor, bei dem wie bei einem herkömmlichen Stirling-Motor Wärme in Bewegung umgewandelt wird. Ein thermisches Austauschelement, der Regenerator, erhitzt und kühlt ein Gas im Wechsel und zwingt es zu zyklischer Expansion und Kompression. Doch im Gegensatz zu herkömmlichen Maschinen treibt die Gasbewegung keinen schwingenden Kolben an, sondern generiert eine Schallwelle. Diese breitet sich innerhalb einer ringförmigen Röhre aus, wobei eine kleine Blende einen zirkulierenden Fluss verhindert. Mit 100 Hz wird die Welle von dort aus in einen Resonator eingespeist und an dessen offenem Ende aufgefangen. Dadurch lassen sich zum Beispiel hochleistungsfähige Lautsprecher anregen oder zur Stromerzeugung Magnete in Spulen bewegen. Wird jedoch umgekehrt die Schallwelle von außen zugeführt, kann deren kinetische Energie genutzt werden, um einem Medium Wärme zu entziehen. So eignen sich akustische Wellen, um Klimaanlage und Kühlschränke zu betreiben, die keine umweltschädlichen Treibgase benötigen, sondern auf der Basis von Helium als Arbeitsgas funktionieren (KHAMMAS 16.10.2012).

Prototyp eines Hybridmotors

Im Jahr 2008 stellte der Amerikaner Dean Kamen seinen Prototyp „2008 DEKA Revolt“ vor, einen leisen, hocheffizienten Hybridmotor auf Basis eines Stirling-Motors, der mit fast jedem Treibstoff betrieben werden kann und dabei weniger

Schadstoffe als jeder andere derzeit verwendete Motor emittiert. Für den Prototyp verwendete er einen umgebauten Ford Think, ein Elektroauto, dessen Produktion 2000 eingestellt wurde. Um die Lithiumbatterie zu speisen und auch Energiefresser wie die Heizung zu versorgen, griff er auf den Stirling-Motor zurück, den er im Kofferraum des Elektroautos unterbrachte. Der beliebige Treibstoff (Biodiesel, Flüssiggas etc.) wird lediglich zum Erhitzen des Arbeitsgases gebraucht, dementsprechend gering sind Verbrauch und Schadstoffemissionen. Laut Kamen soll es mit den technischen Errungenschaften der vergangenen Jahrzehnte möglich sein, den Motor so zu verbessern, dass er den Anforderungen des 21. Jahrhunderts gerecht wird. Geschätzte 40 Millionen Dollar hat er mit seiner Firma in den vergangenen zehn Jahren in die Entwicklung gesteckt. Bislang konnte der Motor aber noch nicht in die Serienfertigung gehen (ORF 13.11.2008).

Immer wieder wurde Stirling-Motoren nachgesagt, sie seien die Motoren der Zukunft. Mehr als ein paar Dutzend Firmen und private Tüftler sind es aber trotzdem nicht, die an der Weiterentwicklung des Motors arbeiten (ORF 13.11.2008). Zumindest werden die Motoren oft als ideale Energiewandler dargestellt, da sie mit geringem konstruktivem Aufwand alle regenerativen Energiequellen (z. B. Sonne, Holz, Biomasse) nutzbar machen. Trotzdem haben sie sich auch in diesem Bereich bis jetzt nicht auf breiter Front durchgesetzt. Die Anwendung der Motoren blieb auf wenige Nischenbereiche beschränkt, in denen sie nicht direkt mit Otto- und Dieselmotoren konkurrieren müssen, wie z. B. die direkte Umwandlung von Solarenergie in mechanische Energie (Solar-Stirling), in Blockheizkraftwerken, die mit regenerativen Energieträgern betrieben werden, zur gleichzeitigen Erzeugung von Elektrizität und Heizwärme oder in Wärmepumpenanlagen. Als weitere Anwendungen werden in der Literatur beispielsweise beschrieben: die Erweiterung des Einsatzes als Cryogenerator in Kälte- und Komprimieranlagen, der Einsatz als Kühlaggregat in Wärmebildkameras, in der Raumfahrt und Medizintechnik, als umweltunabhängiger Antrieb oder allgemein als dedizierte oder Array-Kraftwerke (GÜTTE 16.10.2012). Bei U-Booten wird der Stirling-Motor beispielsweise als luftunabhängiger Antrieb eingesetzt, etwa bei der Gotland-Klasse der schwedischen Marine.

Eine technische Besonderheit des Stirling-Motors ist die Möglichkeit der extremen Miniaturisierung. Das macht ihn besonders geeignet für den Einsatz als Wärmepumpe in Satelliten und Raumschiffen. Für zukünftige Raumfahrtprojekte wird unter anderem von der NASA ein Generator mit radioaktiven Wärmequellen (z. B. Plutonium-238) entwickelt. Das als ASRG (Advanced Stirling Radioisotope Generator) bezeichnete Aggregat zur Energieversorgung von Satelliten und Landern soll gegenüber herkömmlichen Radioisotopengeneratoren einen bis zu viermal höheren Wirkungsgrad haben, was Gewicht und Kosten spart, da weniger Plutonium mitgeführt werden muss (GLATZEL 09.01.2009).

Darüber hinaus wird daran gearbeitet, Stirling-Motoren als Wasserpumpen in der Dritten Welt einzusetzen. Dabei wird als Wärmequelle nicht oder wenig konzentrierte Sonneneinstrahlung verwendet. Eckhart Weber hat verschiedene Modelle gebaut und patentieren lassen, ebenso Jürgen Kleinwächter von der damaligen Firma Bominsolar. Der Wirkungsgrad der Maschinen wird mit 10–13 % angegeben, 5 % für die ganze Solarpumpe. Der große Vorteil gegenüber Dieselmotoren ist der wesentlich geringere Unterhalts- und Wartungsaufwand (WEBER 21.02.1996, SUNVENTION 16.10.2012).

Weiterentwicklung in Kfz steckt

Einsatz in der Raumfahrttechnik

Wasserpumpen für die Dritte Welt

Einsatz in der Medizin

In der Medizintechnik wird derzeit ein Stirling-Motor entwickelt, der als Pumpe für eine Hydraulikflüssigkeit arbeitet, die wiederum die Blutpumpe von Herzunterstützungssystemen antreibt. Zum Einsatz kommt ein Freikolbenmotor mit einem thermischen Energiespeicher, der eine Speicherkapazität von acht Stunden aufweist und in einer Stunde wieder zu laden ist. Das System hat eine thermische Leistung von 21 Watt bei einer Leistungsabgabe von 3,3 Watt und wird derzeit an Tieren erprobt (VASIC 16.10.2012).

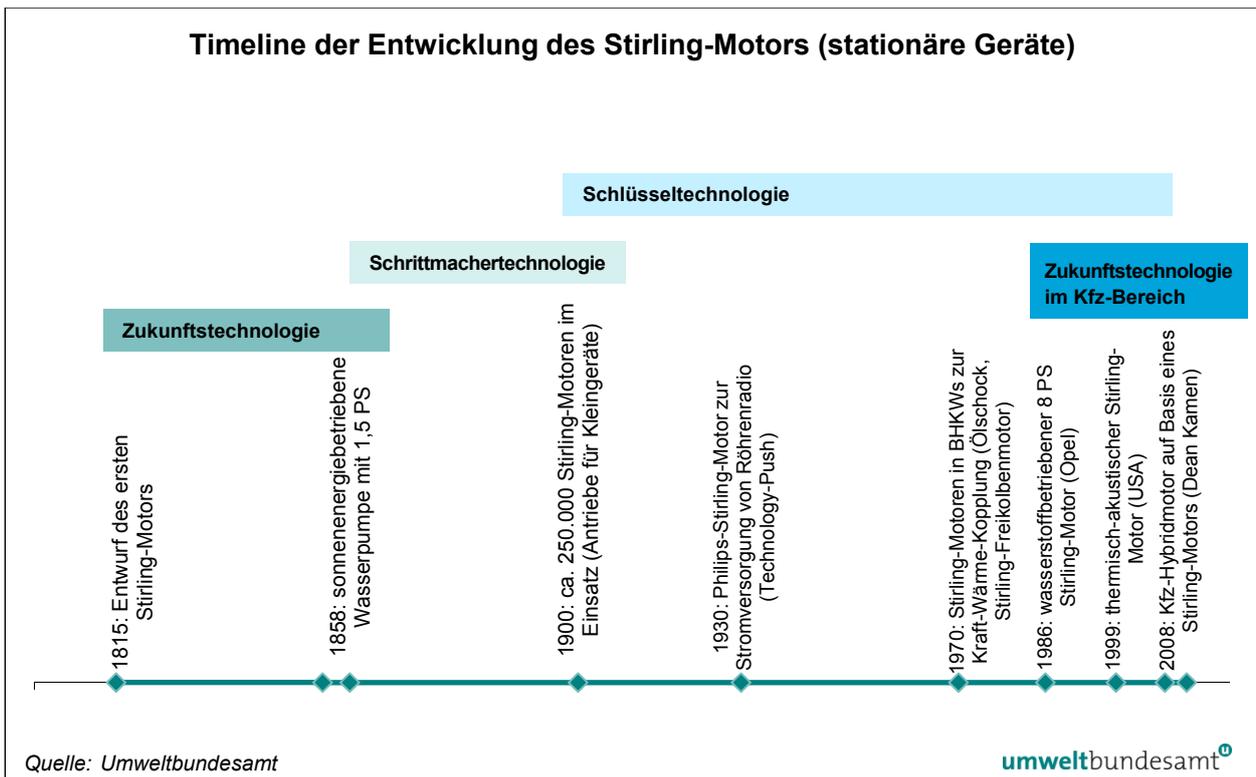


Abbildung 9: Timeline der Entwicklung des Stirling-Motors als Antrieb für stationäre Geräte mit einer Abschätzung der Technologiesprünge bzw. Übergänge von der Zukunftstechnologie bis zur Schlüsseltechnologie.

europäische Patente

Um einen möglichen Zusammenhang zwischen Forschung und der Technologieentwicklung des Stirling-Motors abschätzen zu können, wurde wie beim Fallbeispiel Wärmepumpe für den Zeitraum 1975 bis 2011 die Anzahl der veröffentlichten europäischen Patente pro Jahr als intermediäre Output-Größe erhoben, die den Begriff „Stirling“ im Titel enthalten (siehe Abbildung 10). Für das laufende Jahr 2012 wurde die Anzahl der Patente auf Basis der in den Monaten Jänner bis September veröffentlichten Patente hochgerechnet. Der Kurvenverlauf dieser intermediären Output-Größe ist über die letzten 37 Jahre mit Schwankungen leicht ansteigend, weist jedoch im Gegensatz zur Patentaktivitätskurve der Wärmepumpe kaum große Maxima auf. Daraus kann geschlossen werden, dass sich die Innovationsaktivität betreffend Stirling-Motor auf einem relativ niederen Level bewegt, wobei es sich hier um inkrementelle Innovationen handelt. Ein Technologiesprung ist demnach nur nach einer längeren Sequenz von inkrementellen Verbesserungen oder durch eine radikale Öko-Innovation im Zusammenhang mit dem Stirling-Motor zu erwarten.

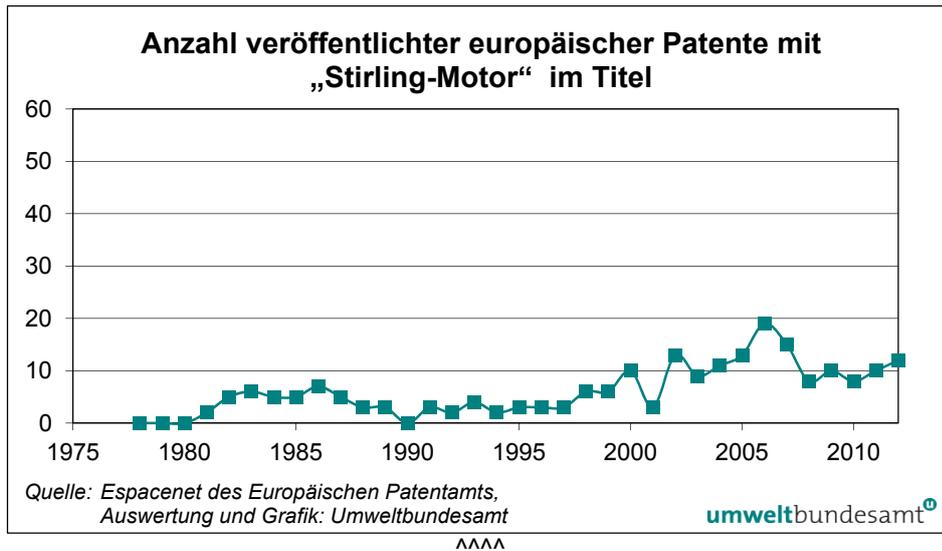


Abbildung 10: Anzahl der veröffentlichten europäischen Patente pro Jahr, die den Begriff „Stirling-Motor“ im Titel enthalten.

4.3 Fallbeispiel Quantenkaskadenlaser-basierte Messgeräte für die Prozess- und Umweltanalytik²

Zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Forschung und Technologiesprünge in der Innovationskette wird als drittes Fallbeispiel eine Öko-Innovation der jüngeren Vergangenheit aus dem Bereich der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik (MSR-Technik) herangezogen. Dieses Beispiel spiegelt den gesamten Innovationsprozess nach dem Chain-linked Modell von Kline und Rosenberg (siehe Kapitel 3.1 bzw. Abbildung 2) sehr gut wider. Das Fallbeispiel zeigt, wie sich, ausgehend von der universitären Grundlagenforschung am Institut für Chemische Technologien und Analytik der Fakultät für Technische Chemie der Technischen Universität Wien ein international erfolgreiches Hightech-Unternehmen entwickeln konnte. Der Faktor Forschung ist bei diesem Fallbeispiel ein wesentlicher Eckpfeiler und begleitet als Serviceleistung den gesamten Innovationsprozess, was nur mit Hilfe der finanziellen Unterstützung durch verschiedene nationale Förderungsprogramme möglich war. Das Geschäftsmodell des Start-up-Unternehmens besteht in der Entwicklung und im Vertrieb von chemischen Messgeräten für die Prozess- und Umweltanalytik auf Basis von Quantenkaskadenlasern (QCL), die im mittleren Infrarot emittieren.

Das Konzept für QCLs wurde bereits 1971 theoretisch entwickelt, die erste praktische Umsetzung gelang im Jahre 1994 in den Bell Laboratories in den USA zunächst bei tiefen Temperaturen von 10–90 °K. Der Grund für diese gut 20 Jahre lang dauernde Forschungsarbeit bis hin zur Darstellung des ersten QCL waren technologische Herausforderungen bei der Herstellung hochdefinierter nanometerstarker Schichten in Halbleitermaterialien wie GaAs/AlGaAs oder InGaAs/InAlAs, aus denen die aktiven Elemente eines QCLs bestehen. Erst

**historische
Entwicklung**

² auf Grundlage eines Interviews mit Bernhard Lendl, Gründungsmitglied von QuantaRed Technologies GmbH, geführt am 12.10.2012.

mit der Entwicklung der Molekularstrahlepitaxie konnten diese Schichten mit ausreichender Präzision gefertigt werden. Im Jahr 1997 konnten die ersten gepulsten QCLs bei Raumtemperatur gezeigt werden, die ersten Messungen von Flüssigkeiten mittels Quantenkaskadenlasern konnten 1999 an der TU Wien durchgeführt werden. Der Betrieb eines Dauerstrich-QCLs (CW-QCLs) bei Raumtemperatur erfolgte erstmals 2001.

**kompakte
Laserlichtquelle**

Damit stand mit der Entwicklung von Quantenkaskadenlasern erstmals eine kompakte Laserlichtquelle im mittleren Infrarot zur Verfügung die auch bei Raumtemperatur betrieben werden kann. Aus dieser Tatsache leiten sich wesentliche technologische Vorteile von QCL-basierten Messgeräten ab, wie z. B. eine direkte, selektive Erfassung eines Analyten in einem Stoffgemisch bei deutlich höheren zu erreichenden Empfindlichkeiten als mit herkömmlichen Messgeräten. Die direkte, rasche Online-Messung der Zielkomponenten in Flüssigkeiten oder Gasen benötigt keine zeitaufwendigen Trennschritte, erlaubt den Verzicht auf Reagenzien und ist daher abfallfrei. Diese seinerzeitige Zukunftstechnologie ist gleichsam der Startpunkt in der Technologieentwicklung eines Quantenkaskadenlaser-basierten Messgerätes für die Prozess- und Umweltanalytik.

**chemische Analyse
von Flüssigkeiten**

Am Beispiel der Bestimmung von Phosphat in Coca-Cola light konnte 1999 an der TU Wien erfolgreich gezeigt werden, dass mit Hilfe dieser neuen, innovativen Technologie auch Flüssigkeiten auf ihre chemische Zusammensetzung hin vorteilhaft analysiert werden können. Basierend auf diesen Messungen konnte Bernhard Lendl ein österreichisches Patent anmelden, das in der Folge in Österreich, der EU sowie in zwei Versionen auch in den USA erteilt wurde. Die internationalen Patentanmeldungen und das Halten der Patente über mehrere Jahre bis zur endgültigen Verwertung waren nur durch die finanzielle Unterstützung durch nationale Förderungsinstitutionen möglich (siehe auch Abbildung 11). In der Folge konnte Lendl mit seinem Team weitere innovative Ansätze der Verwendung von Quantenkaskadenlaser in der analytischen Chemie erarbeiten. Die Forschungsaktivitäten der Arbeitsgruppe bewegten sich in dieser Zeit hauptsächlich im Bereich der Grundlagenforschung, wobei aber auch wesentliche technologische Verbesserungen an den Messsystemen selbst erzielt wurden. Die daraus entstandenen wissenschaftlichen Arbeiten wurden in zahlreichen internationalen Journalen veröffentlicht.

**Messung von CO₂ in
aufbereitetem
Biogas**

Die erste industrierelevante Umsetzung eines auf QCL basierenden Messsystems gelang im Jahr 2005 in der Arbeitsgruppe Prozessanalytik des Institutes für Chemische Technologien und Analytik an der TU Wien. Die Entwicklung eines robusten, kontinuierlich arbeitenden und rasch ansprechenden Messsystem für CO₂ in aufbereitetem Biogas wurde im Rahmen des Förderungsprogramms Energiesysteme der Zukunft finanziell unterstützt. Ermutigt durch den erzielten Erfolg des Systems und motiviert durch den ausgeschriebenen INiTS Award³

³ Die INiTS Universitäres Gründerservice Wien GmbH – das Wiener Zentrum des [AplusB-Programms](#) (Academia plus Business) des Infrastrukturministeriums (BMVIT) – ist eine Gesellschaft der ZIT – Die Technologieagentur der Stadt Wien GmbH, der Universität Wien und der TU Wien. Seit 2002 bietet INiTS Beratung und Unterstützung für JungunternehmerInnen mit innovativen Ideen. Das Service richtet sich an AbsolventInnen, MitarbeiterInnen und StudentInnen der Wiener Universitäten und Fachhochschulen, die durch eine Unternehmensgründung ihre Geschäftsidee umsetzen möchten. INiTS fördert Innovationen aus den Bereichen Informations- und Kommunikationstechnik, Life Science und anderen Forschungsbereichen. Die Kernkompetenz von INiTS liegt

begann die Arbeitsgruppe, die wirtschaftlichen Entwicklungsmöglichkeit von QCL-basierten Messgeräten systematisch zu evaluieren und die weitere Entwicklung und den Vertrieb der Messgeräte selbst in die Hand zu nehmen. Die von Herrn Wolfgang Ritter vorgestellte Projektidee, mobile chemische Messgeräte, basierend auf neuen Errungenschaften der Nanotechnologie, zu realisieren, wurde schließlich mit dem INiTS Award 2005 ausgezeichnet. Im März 2006 wurde das Team von Ritter und Lendl in den INiTS Inkubator aufgenommen. Damit standen ein Netzwerk an qualifizierten wirtschaftlichen Kontakten sowie eine erste Basisfinanzierung zur Arbeit an der geplanten Firmengründung zur Verfügung. Mit Hilfe dieser Unterstützung konnte die technische und wirtschaftliche Machbarkeit der Projektidee gezeigt werden.

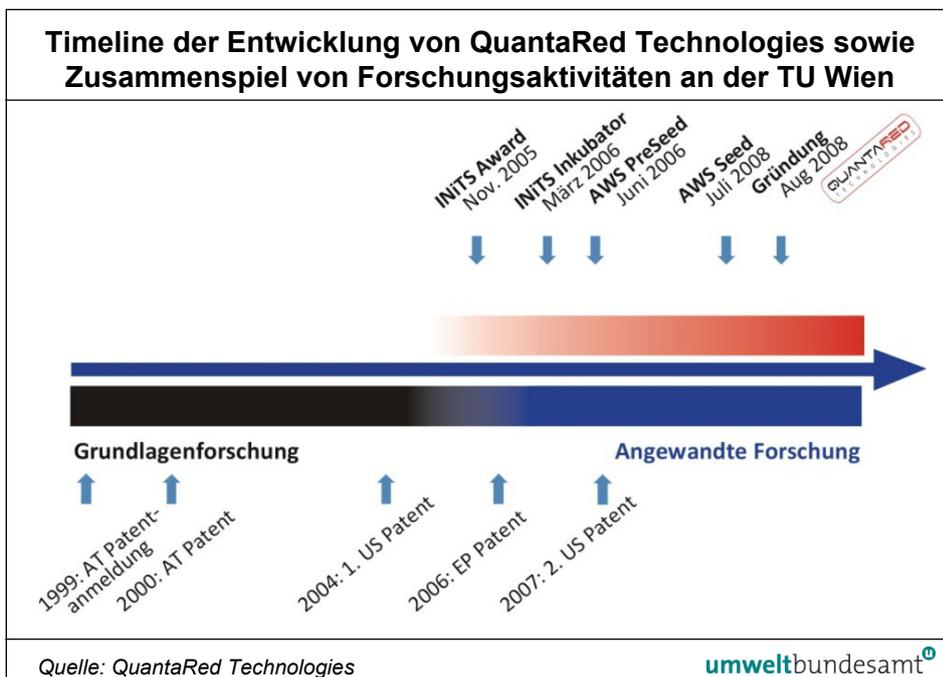


Abbildung 11: Timeline der Entwicklung von QuantaRed Technologies sowie Zusammenspiel von Forschungsaktivitäten an der TU Wien (Grundlagen und angewandte Forschung) mit der Produktentwicklung und Gründung von QuantaRed Technologies GmbH.

Mit der Definition des Ziels einer konkreten Anwendung eines Quantenkaskadenlaser-basierten Messsystems, nämlich die Bestimmung des Kohlenwasserstoffgehalts (TPH – Total Petroleum Hydrocarbons) in Wasser und Abwasser nach entsprechender Lösungsmittel-extraktion, war in der Technologieentwicklung im Jahr 2006 auch der Übergang von der Grundlagenforschung zu Forschung & Entwicklung vollzogen.

Wesentlicher Treiber für die Technologieentwicklung war das dringende Bedürfnis der Erdölindustrie nach einer robusten, raschen Analysenmethode zur Bestimmung der Kohlenwasserstoffkonzentration in Wasser. Für eine optimale Effizienz der Erdölförderung und Einhaltung gesetzlicher Auflagen ist ein möglichst geringer Resterdölgehalt im Produktionswasser sicherzustellen. Die Mes-

Bestimmung des Kohlenwasserstoffgehalts in Wasser

Einsatz in der Erdölindustrie

im Bereich Business Development, in Form von Beratung, Prozessbegleitung und Coaching von der Idee bis zur Marktreife.

sung der Kohlenwasserstoffkonzentration in Wasser war jedoch ein bis dato unbefriedigend gelöstes analytisch-chemisches Problem. Dieses entstand vor allem durch das weltweite Verbot der Produktion und des Einsatzes von Freonen. Da Freon 113 in der ursprünglich verwendeten Normmethode (DIN-Norm 38409-H18) zwingend verwendet werden musste, wurde diese mit Ende 2000 außer Kraft gesetzt und durch die gaschromatographische Normmethode ISO 9377-2 ersetzt. Diese Norm hat den gravierenden Nachteil, dass sie mit der Vorgängernorm nur schwer vergleichbare Werte liefert, deutlich aufwendiger ist und auch nicht im Feld (z. B. auf der Bohrinsel) einsetzbar ist. Eine Marktanalyse, die sowohl top-down als auch durch eine Bedarfsanalyse (bottom-up) durchgeführt wurde, ergab einen potenziellen Markt von 75 Mio. € für Messgeräte zur Bestimmung der Kohlenwasserstoffkonzentration in Wasser. Aufgrund der hohen Preisakzeptanz der Erdölindustrie im Allgemeinen und der Ölförderung auf Bohrplattformen im Besonderen konnte abgeschätzt werden, dass dieser Markt durch ein auf Quantenkaskadenlaser-basierendem Messgerät erschlossen werden kann.

Entwicklung eines Demogeräts

Die weitere im Rahmen des PreSeed-Programms der Förderbank aws ermöglichte Finanzierung wurde die nächsten 1,5 Jahre zur Gründung und zum Aufbau eines jungen, technologieorientierten Unternehmens (zunächst in der Form einer Gesellschaft bürgerlichen Rechts (GesbnR)) genutzt. Neben der Entwicklung und Erstellung eines voll funktionsfähigen Demogeräts konnten damit insbesondere folgende weitere Punkte erfolgreich realisiert werden:

- Aufbau eines operativen, qualifizierten Teams,
- kontrahierte Vertriebspartnerschaft mit Branchenerfahrung,
- Durchführung mehrerer spezifischer Marktanalysen,
- internationale KundInnenanfragen von Mineralölunternehmen,
- Produktionspartnerschaft für Gerätegehäuse und Zubehör.

**Schrittmachertechnologie:
Entwicklung von Eracheck**

Im Jahr 2008 erfolgte letztendlich die Gründung der QuantaRed Technologies GmbH, wobei die mit der Gründung eines Hightech-Unternehmens verbundenen Risiken durch das aws-Technologieprogramm Seed über ein Darlehen abgemildert werden konnten. Im Rahmen von Seed wurde u. a. insbesondere die Markteinführung des Erstprodukts von QuantaRed, Eracheck, konkretisiert, mit dem man in kurzer Zeit die Marktführerschaft erlangte. Eracheck ist ein mobiles, mit einem Quantenkaskadenlaser ausgerüstetes Messgerät, mit dem der Kohlenwasserstoffgehalt in einer wässrigen Probe nach Extraktion mit einem zyklischen Kohlenwasserstoff wie Cyclohexan oder Cyclopentan direkt bestimmt werden kann. Das Messgerät kommt vor allem bei der off-shore-Erdölförderung, z. B. in der Nordsee, zum Einsatz. Mit der Markteinführung von Eracheck erfolgte der Technologiesprung von der Zukunftstechnologie zur Schrittmachertechnologie.

Schlüsseltechnologie: Erfüllung der ASTM-Norm

Im Jahr 2011 hat ASTM International auf Initiative von QuantaRed Technologies GmbH die Norm D7678-11 veröffentlicht, die die erste IR-Standard-Methode darstellt, die nicht auf CFC oder krebserregende Lösungsmittel für die genaue Quantifizierung von Kohlenwasserstoffen in Wasser angewiesen ist. Stattdessen wird ein Cycloalkan (Cyclohexan oder Cyclopentan) für die Extraktion verwendet. Hier ist die Laser-basierte Infrarotabsorptionsspektroskopie der Schlüssel, um sub-ppm Kohlenwasserstoff-Konzentrationen in einem Kohlenwasserstoff-Extraktionsmittel zu messen. Das entwickelte Messgerät Eracheck entspricht in vollem Umfang der ASTM-Norm D7678-11. Es ist zurzeit das einzige Messgerät

in der Welt, das die Anforderungen der Norm erfüllt, womit nach zehn Jahren Entwicklungszeit der Weg bzw. Technologiesprung von der Schrittmachertechnologie zur Schlüsseltechnologie geebnet worden ist.

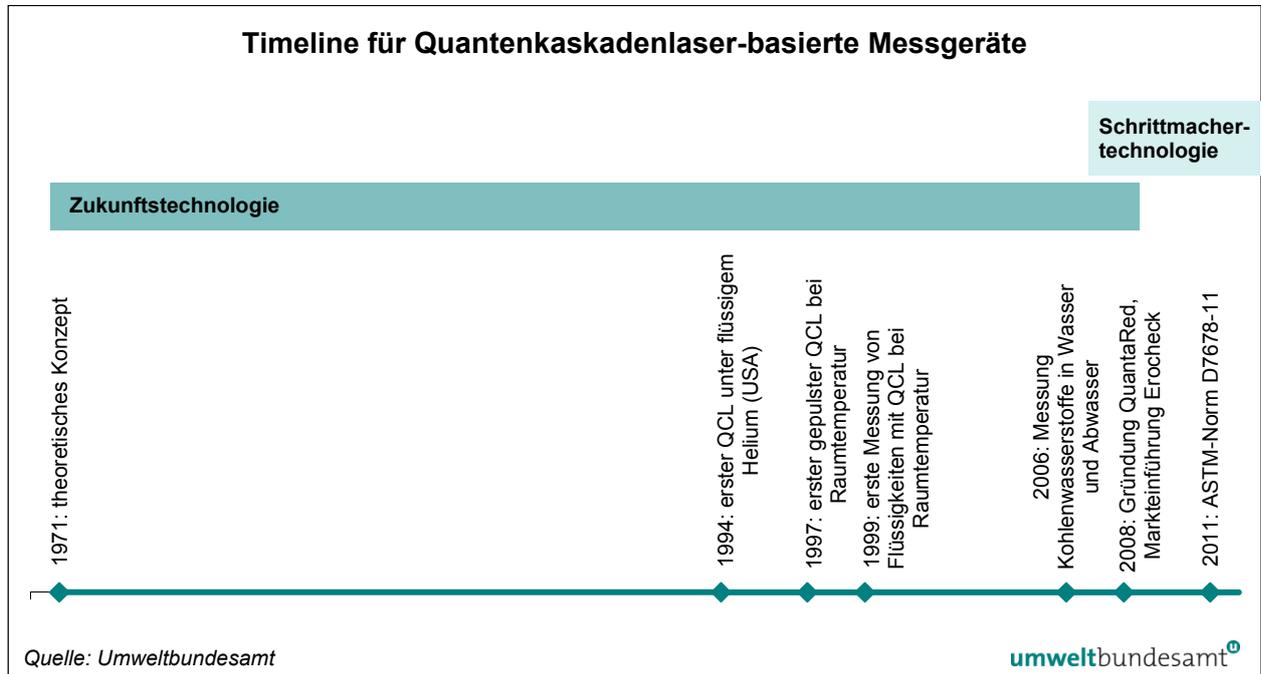


Abbildung 12: Timeline für Quantenkaskadenlaser-basierte Messgeräte mit einer Abschätzung des Technologiesprungs von der Zukunftstechnologie zur Schrittmachertechnologie.

Die F&E-Aktivitäten der QuantaRed Technologies GmbH erfolgen in enger wissenschaftlicher Kooperation mit der TU Wien, wie schon jetzt durch zahlreiche gemeinsam durchgeführte und im Rahmen verschiedener Forschungsprogramme geförderter Kooperationsprojekte zum Ausdruck kommt. Beispielsweise wurden bei einem Projekt, das von der FFG im Rahmen des Forschungsprogramms Research Studios Austria gefördert wurde, die Grundlagenforschung zum Thema Prozessanalytik mittels IR-Laserspektroskopie verstärkt als auch neue industrielle Anwendungen gefunden. Für den Fall dass in diesen Projekten Schutzrechte erreicht werden, werden diese von der TU Wien aufgegriffen und QuantaRed Technologies GmbH zur Verwertung angeboten. QuantaRed Technologies GmbH ist auch in der europäischen Forschungslandschaft gut vernetzt und Partner des kürzlich gestarteten FP7 EU Projektes MIRIFISENSE. Seit 2006 konnte QuantaRed Technologies den Wissensvorsprung durch wissenschaftliche Kooperation und internen Personalaufbau stetig ausbauen. Derzeit sind im Unternehmen drei akademische MitarbeiterInnen sowie ein/e DiplomandIn im Bereich F&E tätig, des Weiteren sind derzeit zwei Vollzeitstellen zu besetzen.

Kooperation mit der TU Wien

5 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Zeithorizonte der Technologieentwicklung und die Zeitpunkte der Technologiesprünge bzw. die Übergänge von der Zukunftstechnologie über die Schrittmacher- und Schlüsseltechnologie bis hin zur Basistechnologie sind bei den drei ausgewählten Fallbeispielen sehr unterschiedlich. Neben einer ausgereiften Technologie waren immer auch andere Faktoren notwendig, die zur Anwendung der Öko-Innovationen in relevanten Durchdringungsgraden des Marktes führten (wie z. B. der Ölschock in den 1970er-Jahren oder der drohende Klimawandel im Fall der Wärmepumpe oder des Stirling-Motors). Im Fall des Quantenkaskadenlaser-basierten Analysengerätes erfolgte der Technologiesprung von der Zukunftstechnologie zur Schrittmachertechnologie vor allem aufgrund der Erfüllung eines durch gesetzliche Rahmenbedingungen ausgelösten Marktbedürfnisses durch die eigens darauf abgestimmte und optimierte innovative Messtechnologie.

Bei allen drei Fallbeispielen spielt die Forschung bei der Technologieentwicklung der Innovationen eine wesentliche Rolle, die sich allerdings im Laufe der vergangenen Jahrzehnte gewandelt hat. Waren die Innovationen früher vor allem durch neue wissenschaftliche Erkenntnisse und Technologien initiiert und getrieben (Science/Technology Push) sowie durch unbestimmte Zeithorizonte bis zu unterschiedlichen Anwendungen gekennzeichnet, orientiert sich die Forschung aktuell hauptsächlich an den Marktbedürfnissen (Market Pull).

Der Markt ist bei allen drei Fallbeispielen zunehmend Treiber der Innovationen (Market Pull). Die bei Öko-Innovationen zusätzlichen treibenden Kräfte (Bedarf nach Ressourceneinsparung sowie der Klima- und Umweltschutz) bewirken insbesondere dann Technologiesprünge, wenn sie durch rechtliche Rahmenbedingungen (z. B. Gebäude-Richtlinie, Ökostromgesetz) ausgelöst werden.

Zur Bewertung des Erfolgs bzw. der Relevanz einer Öko-Innovation können neben Input-Größen (z. B. F&E-Aufwendungen), intermediären Output-Größen (z. B. Anzahl der Patente) und direkten Messgrößen (z. B. Verkaufsdaten von Umwelttechnologien und -dienstleistungen) auch indirekte Messgrößen, wie z. B. Veränderungen im Ressourcenbedarf oder die Minderung von Emissionen, als Indikatoren herangezogen werden.

Allen drei Fallbeispielen ist gemein, dass F&E dann am ehesten einen wesentlichen Beitrag zu Technologiesprüngen bei Öko-Innovationen leisten konnte, wenn das Ergebnis der Forschungsaktivitäten einen hohen Neuheitsgrad aufwies oder neue Anwendungsgebiete erschloss und sich daraus auch ein wesentlicher Nutzen für die KundInnen ableiten ließ. Während eine Technologie in einem Marktsegment oder bestimmtem Anwendungsgebiet bereits den Status einer Schlüssel- oder Basistechnologie erreicht hat, kann sie in einem neuen Anwendungsbereich als Zukunftstechnologie klassifiziert werden (z. B. Stirling-Motor im Kfz-Bereich).

Insbesondere das dritte Fallbeispiel zeigt, dass die Forschung die finanzielle Absicherung der Technologieentwicklung bis zur kommerziellen Verwertung der Öko-Innovationen sowie das Abmildern von damit verbundenen unternehmerischen Risiken benötigt, z. B. durch entsprechende staatliche Förderungsprogramme oder Venture-Kapital. Die Finanzierung ist letztendlich mitentscheidend dafür, ob eine Öko-Innovation zum gewünschten Ergebnis und zum Erfolg führt (Überbrückung des „Death Valley“ im Öko-Innovationsprozess).

6 LITERATURVERZEICHNIS

- BIERMAYR, P.; EBERL, M.; EHRIG, R., FECHNER, H.; KRISTÖFEL, C.; EDER-NEUHAUSER, P.; PRÜGGLER, N.; SONNLEITNER, A.; STRASSER, C.; WEISS, W. & WÖRGETTER, M. (2012): Innovative Energietechnologien in Österreich Marktentwicklung 2011. Biomasse, Photovoltaik, Solarthermie und Wärmepumpen. Erhebung für die Internationale Energie-Agentur (IEA). In: Berichte aus Energie- und Umweltforschung. 12/2012. Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien.
- BKA – Bundeskanzleramt (2011): Potenziale ausschöpfen, Dynamik steigern, Zukunft schaffen. Der Weg zum Innovation Leader. Strategie der Bundesregierung für Forschung, Technologie und Innovation. Medieninhaber (Verleger): Bundeskanzleramt, Bundesministerium für Finanzen Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung.
- CLEANTECH GROUP (2012): Coming Clean: The Global Cleantech Innovation Index 2012. Cleantech Group and WWF.
- DENA – Deutsche Energie-Agentur GmbH: Funktionsprinzip von Wärmepumpen. 03.10.2012.
<http://www.thema-energie.de/heizung-heizen/heiztechnik/waermepumpe/funktionsprinzip-von-waermepumpen.html>
- EIO – Eco-Innovation Observatory (2010): Eco-Innovation Observatory. Methodological report.
- EK – Europäische Kommission (2004): Environmental Technologies Action Plan (ETAP). Stimulation von Technologien für nachhaltige Entwicklung: Ein Aktionsplan für Umwelttechnologie in der Europäischen Union. KOM(2004)38 endgültig, Brüssel.
- EK – Europäische Kommission (2011a): Neuer Aktionsplan für Öko-Innovationen zur Förderung von umweltverträglichem Wachstum und umweltfreundlichen Unternehmen. Pressemeldung IP/11/1547, Brüssel.
- EK – Europäische Kommission (2011b): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Innovation für eine nachhaltige Zukunft – Aktionsplan für Öko-Innovationen (Öko-Innovationsplan). KOM(2011)899 endgültig, Brüssel.
- GLATZEL, G.: MSL-Verschiebung und neue Energiequellen. 09.01.2009.
<http://www.raumfahrer.net/news/raumfahrt/09012009212623.shtml>
- GÜTTE, S.: Historie des Stirlingmotors. 16.10.2012.
<http://www.stirlingmotor.de/geschichte.html>
- HAUSCHILDT, J. & SALOMO, S. (2007): Innovationsmanagement. 4. Auflage. Vahlen, München.
- JAMES, P. (1997): The Sustainability Circle: a new tool for product development and design. Journal of Sustainable Product Design 2. S. 52–57.
<http://www.cfsd.org.uk/journal>

- KEMP, R. & PEARSON, P. (2007). Final report MEI about measuring eco-innovation.
www.merit.unu.edu/MEI.
- KHAMMAS, A. A. W.: Buch der Synergie. Teil C. Wärmepumpe. 25.09.2012.
http://www.buch-der-synergie.de/c_neu_html/c_05_02_waermeenergie_2.htm
- KHAMMAS, A. A. W.: Buch der Synergie. Teil C. Weitere Formen hochthermischer Solar-energienutzung (I). Stirling-Motor. 16.10.2012.
http://www.buch-der-synergie.de/c_neu_html/c_04_37_sonne_hochtemperatur_stirling.htm
- MÜLLER-PROTHMANN, T. & DÖRR, N. (2011): Innovationsmanagement. Strategien, Methoden und Werkzeuge für systematische Innovationsprozesse. Pocket Power, 2. Auflage. Carl Hanser Verlag, München.
- ORF – ORF Online und Teletext GmbH & Co KG: Revolution im Motorenbau?
13.11.2008.
<http://news1.orf.at/081113-31691/index.html>
- STATISTIK AUSTRIA – Bundesanstalt Statistik Österreich (2011): Umweltgesamtrechnungen. Modul – Umweltorientierte Produktion und Dienstleistung (EGSS) 2010. Umsatz und Beschäftigte in der Umweltwirtschaft. Projektbericht. Statistik Austria, Wien.
- Sunvention International GmbH: Efficient Multi-Functional Solar Systems. 16.10.2012.
<http://www.bsrsolar.com/>
- TIM – Institut für Technologie- & Innovationsmanagement, Technische Universität Hamburg-Harburg: Der Innovationsprozess. 08.10.2012.
<http://www.global-innovation.net/innovation/de/index.html>
- VASIC, R.: Bioenergetik. Stirlingmotor. 16.10.2012.
<http://bioenergetik.weebly.com/stirling-motor.html>
- WATTERKOTTE, K. (1972): Erdreich-Wasser-Wärmepumpe für ein Einfamilienhaus. ETA elektrowärme int. 30/A, S. 39–43, Essen.
- WEBER, E.: Stirlingmaschine mit Wärmetauscher. 21.02.1996.
<http://www.freepatentsonline.com/EP0570731.pdf>

Anmerkung: Bitte beachten Sie, dass die Internetadressen von Dokumenten häufig verändert werden. In diesem Fall empfehlen wir, die angegebene Adresse auf die Hauptadresse zu reduzieren und von dort aus das Dokument zu suchen. Die nicht mehr funktionierende, lange Internetadresse kann Ihnen dabei als Orientierungshilfe dienen.

Rechtsnormen und Leitlinien

D7678-11

DIN 38409-H18

Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RL 2009/28/EG): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG. ABl. Nr. L 140.

Gebäuderichtlinie (RL 2002/91/EG): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. ABl. Nr. L 1.

Ökostromgesetz (BGBl. I Nr. 149/2002 i.d.g.F.): Bundesgesetz, mit dem Neuregelungen auf dem Gebiet der Elektrizitätserzeugung aus erneuerbaren Energieträgern und auf dem Gebiet der Kraft-Wärme-Kopplung erlassen werden sowie das Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz (EIWOG) und das Energieförderungsgesetz 1979 (EnFG) geändert werden.

ÖNORM ISO 9377-2

Umweltbundesamt GmbH

Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04
Fax: +43-(0)1-313 04/5400

office@umweltbundesamt.at
www.umweltbundesamt.at

Der Report untersucht beispielhaft anhand der Wärmepumpe, des Stirling-Motors und des Quantenkaskadenlasers, welche Faktoren für Technologiesprünge in der Entwicklung dieser Öko-Innovationen ausschlaggebend waren und wie viel Zeit die Entwicklungen benötigt haben.

Neben einer ausgereiften Technologie sind auch andere Faktoren für die Marktdurchdringung von Öko-Innovationen relevant. Insbesondere rechtliche Rahmenbedingungen lösen Technologiesprünge bei Öko-Innovationen aus, die dem Bedarf nach Ressourceneinsparung, Klima- und Umweltschutz Rechnung tragen. Auch bessere Produkte oder niedrigere Kosten führen zu höheren Durchdringungsgraden.

Forschung ist nicht nur Voraussetzung für Innovation, sondern wird als eine Serviceleistung für den gesamten Öko-Innovationsprozess gesehen.