



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Juni 2008

INNOVATIONSPROZESSE BEI ENERGIETECHNOLOGIEN

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE, 3003 Bern, Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen
Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 31 322 56 11; Fax +41 31 323 25 00

Auftragnehmer:

Adrian Berwert und Michael Zehnder, Rütter und Partner, Rüschlikon
Adrian.berwert@ruetter.ch, www.ruetter.ch
Jochen Markard und Steffen Wirth, CIRUS, EAWAG Dübendorf
Jochen.markard@eawag.ch, www.cirus.ch

Begleitgruppe:

Lukas Gutzwiller, Programmleiter Energiewirtschaftliche Grundlagen EWG, Bundesamt für Energie BFE
Andreas Balthasar, Interface Politikstudien, Luzern
Yasmine Calisesi, Sektion Energieforschung, Bundesamt für Energie BFE
Philipp Dietrich, Kompetenzzentrum für Energie und Mobilität (CCEM), Paul Scherrer Institut, Villigen
Andreas Gut, Sektion Energieforschung, Bundesamt für Energie BFE
Michael Paulus, Swisselectric Research, Bern
Andreas Reuter, Innovationsmanagement und WTT, Bundesamt für Berufsbildung und Technologie, Bern
Rolf Wüstenhagen, Institut für Wirtschaft und Ökologie, Universität St. Gallen

Bezugsort der Publikation: www.ewg-bfe.ch und www.energieforschung.ch

Projekt Nr.: 101719

Diese Studie wurde im Rahmen des Forschungsprogramms "Energiewirtschaftliche Grundlagen" des Bundesamts für Energie BFE erstellt.

Für den Inhalt ist allein der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	I
Zusammenfassung	III
Résumé	XI
1. Einleitung und Zielsetzung	1
2. Konzeptioneller Rahmen	5
2.1 Determinanten des Innovationserfolgs	5
2.2 Betrachtung von Innovationsprozessen auf der Mesoebene	6
2.3 Konzeptioneller Rahmen der Analyse	7
2.4 Schweizer Innovationspolitik	10
2.5 Fördereinrichtungen im Bereich Energieforschung und Innovation	11
2.5.1 Institutionen des nationalen Innovationssystems	11
2.5.2 Institutionen des Energiesektors	13
2.5.3 Zusammenspiel der Institutionen in Innovationsprozessen	15
3. Methodik der Fallstudienanalyse	17
3.1 Was ist ein Fall?	17
3.2 Fallstudien in der Übersicht	18
3.3 Wie fand die Auswahl statt?	19
3.4 Ablauf der Fallauswahl und Datenbasis	21
3.5 Vorgehen bei der Analyse der Innovationsprozesse und der Synthese der Erkenntnisse	23
4. Fallstudien	25
4.1 Fallstudien im Überblick	25
4.2 Technologiebereich Photovoltaik	28
4.2.1 Beschreibung Technologie	28
4.2.2 Internationaler Markt und Situation in der Schweiz	30
4.2.3 Strategie BFE und Förderumfeld Schweiz	31
4.2.4 Fallstudie <i>Flexcell</i>	31
A) Kurzportrait	31
B) Technologische Meilensteine	32
C) Organisatorische Meilensteine	33
D) Umfeld Innovationsprozess Flexcell	34
E) Förderfaktoren	35
F) Hemmfaktoren	37
G) Kernaspekte des Falls	39
4.2.5 Fallstudie <i>Oerlikon Solar</i>	41
A) Kurzportrait	41
B) Technologische Meilensteine	42
C) Organisatorische Meilensteine	43
D) Umfeld Innovationsprozess Oerlikon Solar	45
E) Förderfaktoren	45
F) Hemmfaktoren	49
G) Kernaspekte des Falls	51

4.2.6	Fallstudie <i>SolarMax</i>	54
	A) Kurzportrait	54
	B) Technologische Meilensteine	55
	C) Organisatorische Meilensteine	55
	D) Umfeld Innovationsprozess SolarMax	56
	E) Förderfaktoren	56
	F) Hemmfaktoren	59
	G) Kernaspekte des Falls	60
4.2.7	Haupterkenntnisse Photovoltaik für die Innovationsförderung	62
4.3	Technologiebereich Wärme-Kraft-Kopplung	65
4.3.1	Beschreibung Technologie	65
4.3.2	Markt und Situation in der Schweiz	67
4.3.3	Strategie BFE und Förderumfeld	67
4.3.4	Fallstudie <i>SwissMotor</i>	68
	A) Kurzportrait	68
	B) Meilensteine	69
	C) Umfeld Innovationsprozess Swissmotor	70
	D) Förderfaktoren	71
	E) Hemmfaktoren	74
	F) Kernaspekte des Falls	77
4.3.5	Haupterkenntnisse aus der Fallstudie SwissMotor für die Innovationsförderung	79
4.4	Produktbereich Wärmepumpen-Tumbler	82
4.4.1	Beschreibung Technologie	83
4.4.1	Markt und Situation in der Schweiz	84
4.4.2	Strategie BFE und Förderumfeld	85
4.4.3	Einflussfaktoren Ebene Produktbereich	86
	A) Förderfaktoren	86
	B) Hemmfaktoren	87
4.4.4	Fallstudie <i>MFH-Wärmepumpen-Tumbler bei Schulthess</i>	88
	A) Kurzportrait	88
	B) Technologische Meilensteine	89
	C) Organisatorische Meilensteine	89
	D) Umfeld Innovationsprozess Schulthess	90
	E) Förderfaktoren	90
	F) Hemmfaktoren	92
4.4.5	Fallstudie <i>MFH-Wärmepumpen-Tumbler bei V-Zug</i>	92
	A) Kurzportrait	92
	B) Technologischer Meilenstein	93
	C) Umfeld Innovationsprozess V-Zug	93
	D) Förderfaktoren	94
	E) Kernaspekte der beiden Fallbeispiele	95
4.4.6	Haupterkenntnisse Wärmepumpen-Tumbler für die Innovationsförderung	98
4.5	Technologiebereich Umrichter	100
4.5.1	Beschreibung Technologie	100

4.5.2	Markt und Situation in der Schweiz	101
4.5.3	Strategie BFE und Förderumfeld	104
4.5.4	Generelle Einflussfaktoren	105
	A) Generelle Förderfaktoren	105
	B) Generelle Hemmfaktoren	106
4.5.5	Fallstudie <i>Drivetek</i>	106
	A) Kurzportrait	106
	B) Technologische und organisatorische Meilensteine	108
	C) Umfeld Innovationsprozess Drivetek	108
	D) Förderfaktoren	111
	E) Hemmfaktoren	112
	F) Kernaspekte des Falls	113
4.5.6	Fallstudie <i>Vivatec</i>	116
	A) Kurzportrait Vivatec	116
	B) Technologische und organisatorische Meilensteine	117
	C) Umfeld Innovationsprozess Vivatec	118
	D) Förderfaktoren	121
	E) Hemmfaktoren	122
	F) Kernaspekte des Falls	123
4.5.7	Haupterkenntnisse Umrichter für die Innovationsförderung	125
4.6	Technologiebereich Holzvergasung	128
4.6.1	Beschreibung Technologie	128
4.6.2	Marktsituation in der Schweiz	131
4.6.3	Strategie BFE und Förderumfeld	135
4.6.4	Generelle Einflussfaktoren	137
	A) Generelle Förderfaktoren	137
	B) Generelle Hemmfaktoren	138
4.6.5	Fallstudie <i>Pyroforce / CTU</i>	138
	A) Kurzportrait	138
	B) Technologische und organisatorische Meilensteine	140
	C) Umfeld Innovationsprozess Pyroforce / CTU	141
	D) Förderfaktoren	145
	E) Hemmfaktoren	147
	F) Kernaspekte des Falls	148
4.6.6	Fallstudie <i>dasagren</i>	151
	A) Kurzportrait	151
	B) Technologische und organisatorische Meilensteine	151
	C) Umfeld Innovationsprozess dasagren	155
	D) Förderfaktoren	156
	E) Hemmfaktoren	158
	F) Kernaspekte des Falls	159
4.6.7	Haupterkenntnisse Holzvergasung für die Innovationsförderung	162
5.	Konzept Indikatorenset und ausgewählte Indikatoren	165
5.1	Fragestellung, Zielsetzung und Hypothesen	165
5.2	Konzeptionelle Abgrenzung, Analyseebenen und Systematisierung der Indikatoren	167

5.3	Indikatoren und Beurteilungskonzept: Bewertung von Kosten- und Nutzenaspekten	168
5.4	Vorgehen und Kriterien bei der Selektion relevanter Indikatoren	171
5.5	Umsetzungsvorschläge zur Erhebung ausgewählter Indikatoren	176
5.5.1	Grundsätzliche Überlegungen	176
5.5.2	Im Rahmen der Fallstudien umgesetzte Indikatoren	184
5.6	Schlussfolgerungen zur Auswahl von Indikatoren	188
6.	Synthese und Ansatzpunkte zur Optimierung von Innovationsprozessen	191
6.1	Synthese der Fallstudien	192
6.1.1	Breites Spektrum an Innovationen und Förderbedürfnissen	192
6.1.2	Ansatzpunkte der öffentlichen Förderung	196
6.1.3	Einfluss und Zusammenspiel der verschiedenen Förderinstitutionen	197
6.2	Ansatzpunkte zur Optimierung von Innovationsprozessen	199
Literatur / Quellen		213
Anhang		217

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schematische Darstellung eines technologischen Innovationssystems mit zwei Nischen und seinem Umfeld	8
Abbildung 2:	Konzeptioneller Rahmen der Analyse von Einflussfaktoren	9
Abbildung 3:	Fördereinrichtungen für Innovationsprozesse im Energiebereich und ihre Schwerpunkte in den verschiedenen Innovationsphasen	16
Abbildung 4:	Herkunft der öffentlichen Mittel für die Energieforschung 2005	16
Abbildung 5:	Hauptphasen der Innovationsprozesse im Überblick	19
Abbildung 6:	Ablaufschema Fallauswahl, Datenerhebung und Auswertung	22
Abbildung 7:	Technologischer und wirtschaftlicher Erfolg der untersuchten Innovationsprozesse	26
Abbildung 8:	Überblick zu ausgewählten Technologieentwicklern und Netzwerken im Bereich Photovoltaik in der Schweiz	30
Abbildung 9:	Zentrale Akteure und Institutionen für den Flexcell-Prozess	34
Abbildung 10:	Innovationsphasen und zentrale Einflussfaktoren des Innovationsprozesses Flexcell im Überblick	39
Abbildung 11:	Verortung zentraler Einflussfaktoren des Innovationsprozesses Flexcell	41
Abbildung 12:	Wichtige Akteure und Institutionen für den Innovationsprozess Oerlikon Solar	45
Abbildung 13:	Innovationsphasen und zentrale Einflussfaktoren des Innovationsprozesses Oerlikon Solar im Überblick	52
Abbildung 14:	Verortung zentraler Einflussfaktoren des Innovationsprozesses Oerlikon Solar	54
Abbildung 15:	Wichtige Akteure und Institutionen für den Innovationsprozess SolarMax	56
Abbildung 16:	Innovationsphasen und zentrale Einflussfaktoren des Innovationsprozesses SolarMax im Überblick	61
Abbildung 17:	Verortung zentraler Einflussfaktoren des Innovationsprozesses SolarMax	62
Abbildung 18:	Wichtige Akteure und Institutionen für den SwissMotor-Prozess	70
Abbildung 19:	Innovationsphasen und zentrale Einflussfaktoren des Innovationsprozesses SwissMotor	77
Abbildung 20:	Verortung zentraler Einflussfaktoren des Innovationsprozesses SwissMotor	78
Abbildung 21:	Nach www.topten.ch geprüfte Anbieter von Wäschetrocknungsgeräten für Haushalte in der Schweiz	84
Abbildung 22:	Zentrale Akteure und Institutionen für den Innovationsprozess bei Schulthess	90
Abbildung 23:	Zentrale Akteure und Institutionen für den Innovationsprozess bei V-Zug	93
Abbildung 24:	Innovationsphasen und zentrale Einflussfaktoren der Innovationsprozesse WPT Schulthess und WPT V-Zug im Überblick	95
Abbildung 25:	Verortung zentraler Einflussfaktoren der Innovationsprozesse WPT Schulthess und WPT V-Zug	97
Abbildung 26:	Wichtige Akteure und Institutionen für den Innovationsprozess Drivetek	110
Abbildung 27:	Innovationsphasen und zentrale Einflussfaktoren bei Drivetek im Überblick	114
Abbildung 28:	Verortung zentraler Einflussfaktoren des Innovationsprozesses Drivetek	116
Abbildung 29:	Wichtige Akteure und Institutionen für den Innovationsprozess Vivatec	120
Abbildung 30:	Innovationsphasen und zentrale Einflussfaktoren bei Vivatec im Überblick	123
Abbildung 31:	Verortung zentraler Einflussfaktoren des Innovationsprozesses Vivatec	125
Abbildung 32:	Wichtige Akteure und Institutionen für den Innovationsprozess Pyroforce	145
Abbildung 33:	Innovationsphasen und zentrale Einflussfaktoren bei Pyroforce im Überblick	148

Abbildung 34:	Verortung zentraler Einflussfaktoren des Innovationsprozesses Pyroforce	150
Abbildung 35:	Wichtige Akteure und Institutionen für den Innovationsprozess dasagren.....	154
Abbildung 36:	Innovationsphasen und zentrale Einflussfaktoren bei dasagren im Überblick	160
Abbildung 37:	Verortung zentraler Einflussfaktoren des Innovationsprozesses bei dasagren	162
Abbildung 38:	Kosten und Nutzen von Innovationsindikatoren – Erster Überblick über alle Indikatoren	169
Abbildung 39:	Selektion von Kernindikatoren anhand von Kosten- und Nutzenüberlegungen, Darstellung in einem 4-Quadranten-System.....	172
Abbildung 40:	Klassifizierung der Fälle anhand von Forschungs-, Kapital- und Praxisintensität	193
Abbildung 41:	Hauptphasen der Innovationsprozesse im Überblick	195
Abbildung 42:	Fördereinrichtungen im Energiebereich und ihre Schwerpunkte in den verschiedenen Innovationsphasen	198
Abbildung 43:	Verbindungen von PZ / EQ und Handlungsfeldern / Instrumenten zur Optimierung von Innovationsprozessen.....	207

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Kurzbeschreibung der zehn Fallstudien	18
Tabelle 2:	Übersicht Fallstudien und Auswahlkriterien	21
Tabelle 3:	Übersicht der Interviews	23
Tabelle 4:	Übersicht einiger Kenngrößen bei den Fallstudien	25
Tabelle 5:	Realer und potenzieller Einfluss des BFE auf zentrale Einflussfaktoren des Innovationsprozesses Flexcell	40
Tabelle 6:	Realer und potenzieller Einfluss des BFE auf zentrale Einflussfaktoren des Innovationsprozesses Oerlikon Solar	53
Tabelle 7:	Realer und potenzieller Einfluss des BFE auf zentrale Einflussfaktoren des Innovationsprozesses SolarMax	61
Tabelle 8:	Realer und potenzieller Einfluss des BFE auf zentrale Einflussfaktoren des Innovationsprozesses SwissMotor	79
Tabelle 9:	Einflussmöglichkeiten des BFE auf zentrale Einflussfaktoren der Innovationsprozesse WPT Schulthess und WPT V-Zug	98
Tabelle 10:	Realer und potenzieller Einfluss des BFE auf zentrale Förder- und Hemmfaktoren des Innovationsprozesses Drivetek	115
Tabelle 11:	Realer und potenzieller Einfluss des BFE auf zentrale Förder- und Hemmfaktoren des Innovationsprozesses Vivatec	124
Tabelle 12:	Realer und potenzieller Einfluss des BFE auf zentrale Förder- und Hemmfaktoren des Innovationsprozesses Pyroforce	149
Tabelle 13:	Realer und potenzieller Einfluss des BFE auf zentrale Förder- und Hemmfaktoren des Innovationsprozesses dasagren	161
Tabelle 14:	Legende zum Indikatorenset	170
Tabelle 15:	Kernindikatoren mit überdurchschnittlichem Nutzen und eher geringerem Erhebungsaufwand	173
Tabelle 16:	Indikatoren mit überdurchschnittlichem Nutzen, Zuordnung zu Innovationsphasen und Bedeutung dynamischer Aspekte	175
Tabelle 17:	Ausgewählte Kernindikatoren, Kurzbeschreibung, Nutzen und Kosten. Definitionen und Erhebung	178
Tabelle 18:	Typologische Indikatoren der Innovationsprozesse	186
Tabelle 19:	Kernindikatoren der Innovationsprozesse	187
Tabelle 20:	Innovationseigenschaften und Abdeckung des Förderbedarfs durch verschiedene Partner	194
Tabelle 21:	Förderbedarf der untersuchten Innovationsprozesse	194
Tabelle 22:	Intensität der öffentlichen Förderung seitens unterschiedlicher Institutionen in den untersuchten Innovationsprozessen	197
Tabelle 23:	Übergeordnete Erfolgsquellen und Problemzonen in den untersuchten Innovationsprozessen	201
Tabelle 24:	Handlungsfelder und Instrumente zur Optimierung von Innovationsprozessen im Bereich von Energietechnologien	208

Vorwort

Die vorliegende Studie hat ausgewählte Innovationsprozesse im Bereich von Energietechnologien auf der Basis von Fallstudien untersucht. Eine zentrale Grundlage dieser Untersuchung sind leitfadengestützte Interviews mit den unmittelbar an den Innovationsprozessen beteiligten Personen in den betreffenden Unternehmen und den involvierten Hochschulen. Hinzu kamen Gespräche und Interviews mit den jeweiligen Programm- bzw. Bereichsleitern des Bundesamtes für Energie, Experten der KTI sowie weiteren Technologie-Experten.

Das Projekt- und Autorenteam von Cirus und Rütter + Partner möchte sich bei allen beteiligten Unternehmen/Organisationen und Fachleuten, welche substantiell zum Inhalt der vorliegenden Studie beigetragen haben, bedanken. Ebenso gilt unser Dank den im Impressum aufgeführten Mitgliedern der Begleitgruppe, welche die Studie in vier Workshops kritisch begleitet und ebenfalls einen massgeblichen Beitrag zum Gelingen des Projektes geleistet haben.

Cirus

Jochen Markard
Steffen Wirth

Rütter + Partner

Adrian Berwert
Michael Zehnder

Zusammenfassung

Die Entwicklung von Innovationen, d.h. von neuen Produkten und Technologien sowie Dienstleistungen ist sowohl für einzelne Unternehmen als auch aus volkswirtschaftlicher Sicht von grosser Bedeutung. Innovationen können darüber hinaus positive Umwelteffekte nach sich ziehen. Im Energiebereich zählen hierzu etwa neue Technologien, die zu einer verstärkten Nutzung erneuerbarer Energiequellen führen oder die Energieeffizienz steigern. Vor diesem Hintergrund kommt der Förderung von Innovationen durch die öffentliche Hand eine besondere Bedeutung zu. Es stellt sich die Frage, wie und wo die Innovationsförderung ansetzen kann, um Innovationsprozesse in Hochschulen und Unternehmen zu optimieren.

Im Zentrum der vorliegenden Studie steht eine vertiefte und systematische Untersuchung ausgewählter Innovationsprozesse im Bereich von Energietechnologien in der Schweiz. Auf der Basis von Fallstudien werden zehn Innovationsprozesse in den Bereichen Photovoltaik, Wärme-Kraft-Kopplung (WKK), Wärmepumpen-Tumbler (WPT), Umrichter und Holzvergasung analysiert, vgl. Tabelle I.

Tabelle I: Fallstudien im Überblick (vgl. Tabelle 1, Kapitel 3.2)

Fallstudie	Technologiebereich	Beschreibung
Flexcell	Photovoltaik	Produktion von flexiblen Dünnschicht-Solarzellen aus amorphem Silizium
Oerlikon Solar		Herstellung von Produktionsanlagen zur Fertigung von amorphen und mikromorphen Dünnschicht-Solarzellen
SolarMax		Herstellung von Solar-Wechselrichtern
SwissMotor	WKK / Verbrennung	Entwicklung und Fertigung eines sehr schadstoffarmen Gasmotors für Blockheizkraftwerke
Schulthess WPT	Wärmepumpen / Haushaltsgeräte	Herstellung und Vertrieb eines energieeffizienten Trommelwäschetrockners mit integrierter Wärmepumpe
V-Zug WPT		Herstellung und Vertrieb eines energieeffizienten Trommelwäschetrockners mit aufgesetzter Wärmepumpe
Drivetek	Umrichter	Entwicklung und Systemengineering von Umrichteranlagen
Vivatec		Entwicklung und Systemengineering von Umrichteranlagen
Pyroforce	Holzvergasung	Entwicklung, Engineering und Bau von kleineren und dezentralen Holzvergasungsanlagen im kleineren Leistungsbereich
Dasagren		Entwicklung und Systemintegration von Vergasungsanlagen für Holz, insbesondere Gasreinigungskomponenten

Die Analyse umfasst eine Identifikation von technologischen und organisatorischen Meilensteinen der jeweiligen Entwicklungen im zeitlichen Rückblick und von zentralen Förder- und Hemmfaktoren im Innovationsprozess. Auf dieser Grundlage werden Ansatzpunkte und Instrumente für eine Optimierung der Innovationsförderung abgeleitet. *Im Mittelpunkt der Betrachtung steht dabei das Bundesamt für*

Energie (BFE). Ein weiterer Teil der Studie beinhaltet einen konzeptionellen Vorschlag für ein Indikatorenset zur Messung von Innovationsleistungen.

Als Datenquelle für die Fallstudien dienten in erster Linie leitfadengestützte Interviews mit unmittelbar an den Innovationsprozessen beteiligten Personen in Unternehmen und Hochschulen, mit den jeweiligen Programm- bzw. Bereichsleitern des BFE und anderen Technologie-Experten. Darüber hinaus wurden Unterlagen, Dokumente und Web-Informationen zu den einzelnen Innovationsprozessen, den beteiligten Unternehmen sowie dem Technologie- und Marktumfeld herangezogen.

Während die Fallstudien auf der Mikroebene von Unternehmen bzw. Hochschulinstituten verortet sind, bezieht die Analyse der Innovationsprozesse weitere Einflüsse auf der Ebene der verschiedenen Technologiefelder bzw. technologischen Innovationssysteme mit ein. Dazu zählen etwa das Zusammenspiel mit den Akteuren der staatlichen Förderung, anderen Kooperationspartnern und Zulieferern oder die Auswirkungen von institutionellen Rahmenbedingungen.

Nicht alle, aber die Mehrzahl untersuchten Innovationen sind zum heutigen Zeitpunkt am Markt eingeführt. Das Spektrum der Fallstudien deckt sowohl unterschiedliche Reifegrade als auch verschieden lange Zeiträume von der Forschung und Entwicklung (F+E) bis hin zur Markteinführung ab. Die Auswahl der hier vorgestellten Fallstudien ist nicht repräsentativ für das Förderportfolio des BFE.

Ganzheitliche Innovationsförderung

Ein zentrales Ergebnis der Untersuchung ist, dass Innovationsprozesse ausgesprochen vielschichtig sind und ihr Erfolg dementsprechend von zahlreichen Einflüssen auf verschiedenen Ebenen abhängt. Der Innovationsprozess kann grob in *fünf Phasen* eingeteilt werden: Grundlagenforschung, angewandte Forschung, Entwicklung von Prototypen oder Pilotanlagen, Markteinführung im Sinne einer ersten Vermarktung von Produkten oder Anlagen in kleinen Stückzahlen sowie breitere Marktdiffusion. Diese Phaseneinteilung stellt eine Vereinfachung dar. Auch bei am Markt eingeführten Produkten oder Anlagen wird oft immer noch F+E betrieben. Die Phaseneinteilung dient einer methodischen Vereinfachung und soll nicht eine Linearität von Innovationsprozessen postulieren.

Für den *Innovationserfolg, d.h. für die erfolgreiche Entwicklung und Durchsetzung am Markt* kann das Zusammenspiel von Hochschulen und privaten Unternehmen ebenso wichtig sein wie regulatorische Rahmenbedingungen – etwa im Bereich von Vorschriften oder nachfrageseitigen Instrumenten der Energiepolitik. Die Verfügbarkeit von Venture Capital kann ebenso bedeutend sein, wie die Qualitäten des Managements der Unternehmen, die im Zentrum des jeweiligen Innovationsprozesses stehen. Die staatliche Förderung im Bereich von F+E kann ebenso zentral sein wie die Bereitstellung von öffentlichen Geldern zur Realisierung von Pilot- und Demonstrationsanlagen. Auch das persönliche Engagement einzelner Personen oder die Herausbildung guter Teams können für den Innovationserfolg mitentscheidend sein. Und schliesslich gibt es auch eine Reihe von externen Faktoren wie etwa die Entwicklung des Ölpreises oder die Liberalisierung der Energiemärkte, die in bestimmten Zeiten positive oder negative Einflüsse auf einen Innovationsprozess ausüben.

Angesichts dieser Komplexität sind einfache Erfolgsrezepte in Bezug auf die Frage, wie öffentliche Stellen hier fördernd einwirken können, schwer abzuleiten. Dennoch (oder gerade aufgrund der Vielschichtigkeit) hat sich aus der Analyse der Fallstudien ein Grundprinzip herauskristallisiert: *Innovationsförderung sollte ganzheitlich ausgerichtet sein*, d.h. die verschiedenen Phasen, aber auch die verschie-

denen Ebenen von Innovationsprozessen im Blick haben. Innovationsförderung ist mit anderen Worten weit umfassender als die Förderung von Wissens- und Technologietransfer oder Technologieentwicklung. Innovationsförderung sollte beispielsweise Marktentwicklungen im In- und Ausland mitdenken oder bei der Vergabe von Fördermitteln neben den technologischen und wirtschaftlichen Parametern einer Innovation auch die spezifischen Eigenheiten der jeweils massgeblichen Unternehmen (und Personen) mit berücksichtigen.

Unterschiedlicher Förderbedarf

Der Förderbedarf von Innovationsprozessen hängt sowohl von grundsätzlichen Eigenschaften der Innovation als auch von der jeweiligen Innovationsphase ab. Im Bereich von Energietechnologien gibt es ein breites Spektrum von Innovationen, die hier sehr unterschiedlich gelagert sind und dementsprechend unterschiedliche Bedürfnisse aufweisen. So stand etwa bei zwei Fällen im Technologiebereich Photovoltaik die Entwicklung grundlegend neuer Technologien im Mittelpunkt, während es etwa bei den Umrichtern oder den Wärmepumpen-Tumblern um die Übertragung bestehender Technologien (Leistungselektronik, Wärmepumpe) auf neue Anwendungsbereiche ging. Die ersten beiden Innovationsprozesse waren dementsprechend *forschungsintensiv*, basierten auf einer engen Zusammenarbeit mit Hochschulen und benötigten ca. 20 Jahre von der ersten Idee bis zur Markteinführung. Bei den Tumblern dauerte die Entwicklung beispielsweise nur wenige Jahre und Hochschulen spielten keine oder nur eine geringe Rolle.

Aber auch andere Unterschiede traten hervor. So waren einige Innovationsprozesse *kapitalintensiv*, d.h. die Mobilisierung von Kapital für ein Upscaling, für Pilotanlagen, den Einstieg in die Produktion oder die Markteinführung war von zentraler Bedeutung. Für andere Innovationen spielte die *praktische Erprobung* der Technologie eine wichtige Rolle (Pilotanlagen, Prototypen, Prüfstände). Einige Prozesse wurden von Ausgründungen (Spin-offs) aus dem Hochschulbereich oder von KMUs getragen, andere von grösseren, etablierten Firmen. Die nachstehende Abbildung stellt die untersuchten Fälle anhand ihrer Forschungs-, Kapital- und Praxisintensität dar.

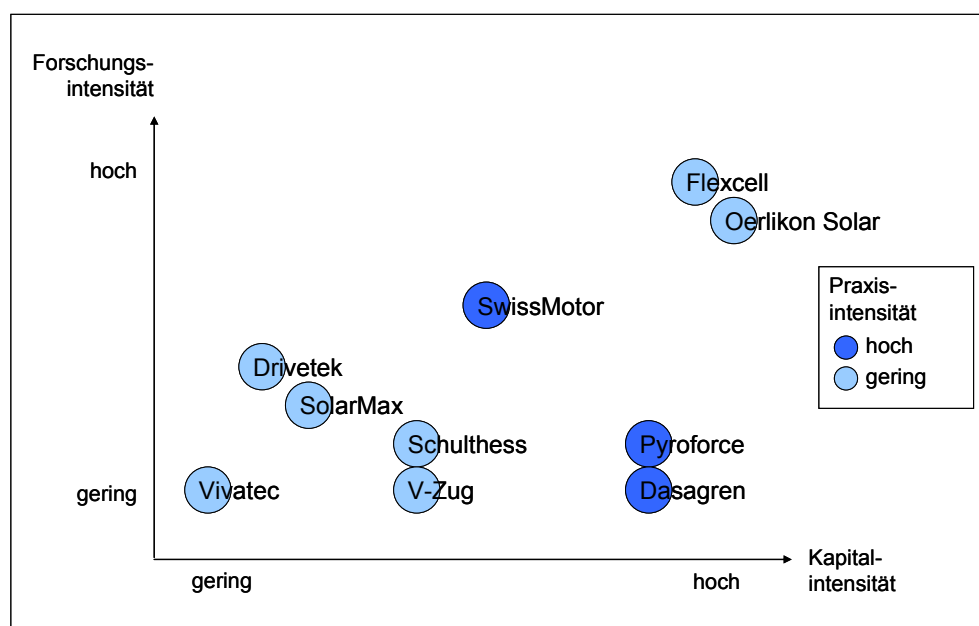


Abbildung I: Klassifizierung der Fälle anhand von Forschungs-, Kapital- und Praxisintensität (vgl. Abbildung 40, Kapitel 6.1)

Der Bedarf nach öffentlicher Förderung ist dementsprechend unterschiedlich. Für forschungsintensive Innovationen ist tendenziell eine enge *Zusammenarbeit von Unternehmen mit Hochschulen und Fachhochschulen* von Bedeutung, für kapitalintensive Innovationen die Vermittlung von *Venture Capital*, eine *direkte Beteiligung von finanzkräftigen Unternehmen* oder die *Förderung von Pilot- und Demonstrationsanlagen (P+D)*. Für erprobungsintensive Innovationen kann ebenfalls eine P+D-Förderung, aber auch die frühe Einbindung zukünftiger Anwender wichtig sein.

Der Förderbedarf kann sich zudem zeitlich ganz verschieden auf unterschiedliche Innovationsphasen verteilen. Manche Innovationsprozesse benötigen eine Förderung über viele Phasen hinweg, in anderen Fällen kann sich die Förderung punktuell auf einzelne Entwicklungsphasen konzentrieren, vgl. Abbildung II. Die Bezeichnung Förderbedarf bezieht sich nicht etwa nur auf die Forschungsförderung, sondern auf ein breites Spektrum von Massnahmen (der öffentlichen Hand), die für den Innovationserfolg von Bedeutung sind.

Tabelle II: Förderbedarf der Innovationen (vgl. Tabelle 21, Kapitel 6.1)

	Grdlg. Forschung	Angew. Forschung	Prototypen u. Pilotanlagen	Markteinführung	Diffusion
Flexcell	++	++	++	++	++
Oerlikon Solar	++	++	+	++	++
SolarMax		+	o	++	++
SwissMotor		++	++	++	+
WPT Schulthess		o	o	+	+
WPT V-Zug		o	o	+	+
Drivetek		+	+	o	o
Vivatec		+	+	o	o
Pyroforce		+	++	+	+
Dasagren		+	++	+	+

Förderbedarf gering (o), eher hoch (+), sehr hoch (++)

Neben den genannten Unterschieden hat sich auch gezeigt, dass in allen betrachteten Fällen ein gemeinsamer Bedarf bestand: Die *Unterstützung von Markteinführung und Diffusion*, d.h. eine nachfrageseitige Förderung der betreffenden Technologie. Hier unterscheiden sich Energie- bzw. Umweltinnovationen von ‚herkömmlichen‘ Innovationen aufgrund ihrer gesellschaftlichen Bedeutung bzw. positiver externer Umwelteffekte. Der Politik kommt damit die Aufgabe zu, nicht nur die Erarbeitung und den Transfer von Wissen, sondern auch die Verbreitung der betreffenden Produkte und Technologien zu fördern. *Eine ganzheitliche Innovationsförderung im Energiebereich basiert daher auf einer Abstimmung von Forschungsförderung und Diffusionsförderung.*

Bewertung der derzeitigen Fördersituation

Die Auswertung der Fallstudien hat gezeigt, dass in einigen sehr anspruchsvollen Fällen (Bereich Dünnschicht-Solarzellen) die kontinuierliche und umfangreiche Forschungsförderung von Seiten des BFE einen massgeblichen Beitrag geleistet hat und somit effektiv war. Ebenso war in mehreren Fällen die enge Zusammenarbeit mit Hochschulen bzw. Fachhochschulen erfolgsrelevant. Auch wenn es hier

einzelne Optimierungsmöglichkeiten gibt, so hat in den untersuchten Fällen die *Förderung seitens Hochschulen und Bundesamt grundsätzlich gut funktioniert*. Dabei ist zu beachten, dass vor allem solche Fälle ausgewählt wurden, in die das Bundesamt involviert war, wodurch eine gewisse Verzerrung dieser Aussage möglich ist.

Auch die *Innovationsförderagentur KTI* hat in einzelnen betrachteten Fällen einen massgeblichen, wenn auch weniger zentralen Beitrag geleistet. Dennoch wurde bzgl. der Mittelvergabepraxis (Akquiseaufwand, zu kurze Projektlaufzeit, Fördermittel nur an Hochschulen) verschiedentlich Optimierungsbedarf geäussert. Es fällt zudem auf, dass in einigen Innovationsprozessen, die für eine KTI-Förderung grundsätzlich geeignet gewesen wären, keine Mittel beantragt wurden.

Die Auswertung der Fallstudien hat zudem deutlich gemacht, dass *Erfolg bzw. Misserfolg sehr stark von den jeweiligen Marktentwicklungen* abhingen. Die drei Beispiele im Bereich der Photovoltaik hätten sicher nicht den heutigen Entwicklungsstand erreicht, wenn der von der Energiepolitik gestützte Boom in Deutschland (und später auch in anderen Ländern) nicht einen Markt für die Schweizer Firmen geschaffen hätte. Andererseits wurde die technisch erfolgreiche Entwicklung des SwissMotors im Bereich Wärme-Kraft-Kopplung u.a. deswegen zu einem wirtschaftlichen Misserfolg, weil die strengen Abgasnormen, für die der Motor konzipiert war, zwischenzeitlich vom Bundesamt für Umwelt wieder zurückgenommen wurden. Damit kam ein zentraler Wettbewerbsvorteil der Innovation nicht mehr zum Tragen. Die Holzvergasung hatte u.a. deswegen grosse Schwierigkeiten bei der Mobilisierung von Risikokapital, weil neben den fehlenden Betriebserfahrungen und dem langen Investitionshorizont auch die politischen Rahmenbedingungen in der Schweiz (Stromeinspeisevergütung) einen kommerziell rentablen Betrieb der Anlagen nicht erwarten liessen. Der Wärmepumpen-Tumbler bleibt bis heute ein nicht profitables Nischenprodukt, weil die Energieetikette zu wenig Anreize bietet, das deutlich teurere Gerät anzuschaffen und die Bezuschussung von Stromsparfonds hier nur punktuell Abhilfe schaffen kann. In der Gesamtschau zeigt sich, dass in der Mehrzahl der untersuchten Fälle die Forschungs- und Technologieförderung seitens BFE zunächst einmal unabhängig vom Blick auf den späteren Markt stattgefunden hat. Ein solches Vorgehen kann zu einem Erfolg führen wie bei den Innovationsprozessen auf dem Gebiet der Photovoltaik, es kann aber auch problematisch sein wie bei den Fällen in den Bereichen Wärme-Kraft-Kopplung, Tumbler oder Holzvergasung. Daher gibt es den Bedarf einer ganzheitlichen Innovationsförderung.

Ansatzpunkte und Instrumente zur Optimierung von Innovationsprozessen

Aus der Gesamtschau und den Kernaspekten der einzelnen Fallstudien konnten insgesamt dreizehn zentrale Erkenntnisse abgeleitet werden, die gleichzeitig Ansatzpunkte zur Optimierung von Innovationsprozessen darstellen. Diese nachfolgend nach **Problemzonen (PZ)** und **Erfolgsquellen (EQ)** klassifizierten Erkenntnisse wurden in Bezug auf die Fördermöglichkeiten des BFE ausgewählt. Die ersten fünf Ansatzpunkte haben unseres Erachtens hohe Priorität.

- **PZ 1)** Die Forschungs- und Technologieförderung des BFE ist meist wirkungsvoll, in späteren Innovationsphasen fehlt aber mitunter eine entsprechende Unterstützung. Es ist zu beachten, dass sich die Förderbedürfnisse in frühen Phasen der Technologieentwicklung von denen in späteren Innovationsphasen unterscheiden.
- **PZ 2)** Eine mangelnde frühzeitige Berücksichtigung von wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen gefährdet den erfolgreichen Verlauf

von Innovationsprozessen. Insbesondere erscheinen die kontinuierliche Beobachtung möglicher Veränderungen und die Betrachtung ausländischer Märkte und Rahmenbedingungen wichtig.

- **EQ 3)** Eine durch staatliche Regulierung gestützte Nachfrage nach innovativen Energietechnologien, wie etwa eine Einspeisevergütung, ist wesentlicher Treiber bei Markteinführung und Diffusion.
- **PZ 4)** Spezifische Engpässe und Einschränkungen bei KMUs in Bezug auf Kapital, Entwicklungskompetenz, den Sprung auf ausländische Märkte oder eine Vernetzung mit Hochschulen behindern Innovationsprozesse.
- **PZ 5)** Die Kapitalbeschaffung beim Übergang zur Markteinführung stellt sich in einigen Fällen als zentrales Problem dar. Neben fehlenden Betriebserfahrungen bzw. der technologischen Marktreife stellen die Langfristigkeit der Risikoinvestitionen sowie die lange Zeit eher ungünstigen politischen Rahmenbedingungen Hemmfaktoren dar.
- **PZ 6)** Zwischen BFE und KTI kann die Abstimmung im Hinblick auf die besonderen Bedürfnisse von Innovationsprozessen im Bereich von Energietechnologien noch weiter optimiert werden.
- **PZ 7)** Unterschiedliche Normen und fehlende Standards bei Bewilligungsverfahren schaffen Probleme bei der Markteinführung.
- **EQ 8)** Die Berücksichtigung von Schnittstellen von Innovationsprozessen zur F+E an Hochschulen ist wesentlich. Wissens- und Technologietransfer über Projekte und über Köpfe zwischen Hochschulen und Unternehmen erleichtert den Übergang zwischen Grundlagenforschung, angewandter Forschung und Markteinführung. Aus Sicht der Unternehmen ist auch die Ausbildung qualifizierter Mitarbeiter an den Hochschulen wichtig.
- **EQ 9)** Grössere Spielräume in der Mittelzuteilung und -verwendung können den Innovationsprozess gerade im Bereich grundlagenforschungsnaher Aktivitäten befördern.
- **EQ 10)** Fachliche Unterstützung und persönliche Begleitung einschliesslich einer langfristig angelegten Beziehungspflege durch die BFE-Bereichs- und -Programmleiter (Innovationspate) können für Innovationsprozesse elementar sein. Im Vordergrund stehen beispielsweise die Kontinuität von F+E-Prozessen, das Erkennen von Potenzialen und Hindernissen für den weiteren Innovationsprozess, die Vermittlung von Kontakten oder eine Netzwerkbildung.
- **EQ 11)** Innovationsverantwortliche auf der Seite der Fördernehmer (product champion, power promoter) können ein zentraler Erfolgsfaktor sein. Kontinuität und persönliches Engagement sind förderlich für Innovationsprozesse.
- **EQ 12)** Eine gute Dynamik und Grundstimmung in Forschungs- bzw. Projektgruppen tragen und stabilisieren Innovationsprozesse.
- **EQ + PZ 13)** Ergänzende und weiterführende Förderquellen können für den stabilen Fortgang von Innovationsprozessen wichtig sein.

Aus den Problemzonen bzw. Erfolgsquellen werden verschiedene *Handlungsfelder und Instrumente* abgeleitet. Die ersten drei Handlungsfelder weisen vorwiegend einen operativen Charakter auf, während die weiteren drei Handlungsfelder strategische Instrumente des BFE sind.

- Ein Bündel verschiedener Massnahmen und Instrumente richtet sich auf das Coaching bzw. die Begleitung von Innovationsprozessen. Hierzu gehö-

ren eine Stärkung der Perspektive auf den gesamten Innovationsprozess, ein stärkerer Einbezug der Rolle von Innovationsverantwortlichen und von Forschungsgruppendynamiken bei den Projektnehmern sowie eine engere Projektbegleitung und -beobachtung auch nach Abschluss des Projektes.

- Die für verschiedene Technologien im Hinblick auf eine erfolgreiche Marktumsetzung wichtige P+D-Phase könnte durch die Etablierung bzw. Wiederaufnahme einer entsprechenden Förderung gestärkt werden.
- KMU sind wichtige Träger von Innovationen und können direkt und indirekt stärker durch das BFE gestützt werden. Dazu gehören ein Ausbau der Förderung für Spin-offs mit hohem Innovations- und Marktpotenzial sowie eine intensivere Zusammenarbeit mit weiteren unterstützenden Organisationen, wie z.B. Venture Lab.
- Ein Technologie-Monitoring zur kontinuierlichen Verfolgung von Technologiebereichen stellt gezielt Informationen für risikoreichere Förderungen oder die Schwerpunktsetzung in bestimmten Förderbereichen bereit und unterstützt die Effektivität staatlicher Förderung.
- Ein stärkerer Fokus auf Schwerpunktsetzungen bei der Förderung erlaubt eher das Erreichen einer kritischen Masse in Bezug auf das Fördervolumen und die Vernetzung innerhalb der gewählten Schwerpunkte. Es kann zwischen einer aktiveren Schwerpunktsetzung mit einer strategisch orientierten Ausrichtung auf einzelne Technologieprogramme und einer eher passiven im Sinne einer Selektion bei bottom-up-Projekteingaben unterschieden werden. Mittels eines Portfolio-Ansatzes können geförderte Technologien, Projekte oder geplante Förderprojekte in Bezug auf vordefinierte Dimensionen ex-ante oder ex-post bewertet werden. Zur Beurteilung sind Kriterien notwendig, welche je nach den gewählten Zielsetzungen näher definiert, bewertet und gewichtet werden.
- Das BFE setzt sich in ausgewählten Technologiebereichen für Normen und eine Standardisierung von Bewilligungsverfahren ein.

Ein zentrales Handlungsfeld für die zukünftige Förderung, welches sich über verschiedene Ansatzpunkte und Handlungsfelder erstreckt, hier aber nicht konkret ausgeführt wird, besteht in *der Antizipation heutiger und künftiger Marktentwicklungen*. Dies sollte insbesondere bei kurz- und mittelfristig angelegten Innovationsprozessen möglich sein. Eine ganzheitliche Energieinnovationsförderung würde sogar noch einen Schritt weiter gehen und eine aktivere Beeinflussung der Marktentwicklung in der Schweiz beinhalten.

Indikatorenkonzept zur Begleitung von Innovationsprozessen

Neben den Erkenntnissen aus den Fallstudien wird ein Set von Indikatoren zur Darstellung der Charakteristika von Innovationsprozessen oder die Messung der Intensität (Innovationsleistung) vorgeschlagen. Im Vordergrund der vorgeschlagenen Indikatoren steht eine ex-post Betrachtung des generierten volkswirtschaftlichen Nutzens als Output oder Outcome von Innovationsprozessen. Das Indikatorenset zielt auf Bereiche wie Markteinführung und marktliche Rahmenbedingungen, Wissen und Forschung sowie Netzwerke zwischen verschiedenen Akteuren.

Die vorgeschlagenen Kernindikatoren beruhen auf Kosten-Nutzenüberlegungen und aus den gewonnenen Erkenntnissen der Fallstudien. Eine Auswahl von relevanten Indikatoren hat sich grundsätzlich nach dem Verwendungszweck auszurichten. Die Indikatoren können als zusätzliche Begleitinformationen für weitere

Erkenntnisse aus den Innovationsprozessen oder für strategische orientierte Wirksamkeitsanalysen verwendet werden.

Folgende Indikatoren sind für indikatorengestützte Aussagen bei der Synthese der Fallstudien verwendet worden:

- Beschäftigte bei den Unternehmen oder im relevanten Geschäftsbereich und Messung der zeitlichen Veränderung.
- Überleben des innovativen Geschäftsbereiches im Unternehmen.
- Beschäftigte bei F+E.
- Innovative Technologien, Produkte oder Dienstleistungen auf dem Markt
- Beteiligung / Förderung von privaten Investoren.

Ein weiteres Set von ausgewählten Indikatoren bezieht sich auf typologische Indikatoren, welche Innovationsprozesse aus quantitativer Sicht näher charakterisieren. Dazu gehören der Reifegrad des Innovationsprozesses, die Art der Firmengründung, die Beteiligung von Förderorganisationen an der Technologieentwicklung der wirtschaftliche Erfolg oder die Entwicklungsintensität.

Verschiedene und zum Teil auch für die Fallstudien relevante Indikatoren sind im Rahmen der vorliegenden Studie nicht umgesetzt worden. Diese umfassen Indikatoren wie Time-to-market, Patent-Erstanmeldungen, die Anzahl involvierter Zulieferer aus der Schweiz, die Anzahl gegründeter (neuer) Unternehmen im Projektverlauf oder besonders für Energietechnologien wichtige Indikatoren wie die spezifischen Energiegestehungskosten.

Die Auswahl von relevanten Indikatoren richtet sich grundsätzlich nach dem Verwendungszweck. In der vorliegenden Studie steht eine erste grobe Gegenüberstellung der Fallstudien mit einem kleinen Erhebungsaufwand im Sinne einer Ergänzung der gemachten qualitativen Aussagen im Vordergrund. Hinsichtlich von Wirksamkeitsanalysen oder eines begleitenden Monitorings nach Projekten oder nach Technologiebereichen muss die Auswahl nochmals evaluiert werden. Die ausgewählten Indikatoren können auch für weitere Analysen (etwa Marktabklärungen oder Technologiemonitoring) eingesetzt werden.

Résumée

Le développement d'innovations, c'est-à-dire de technologies, de produits et de services nouveaux, revêt une grande importance tant pour les entreprises individuelles que pour l'économie dans son ensemble. De plus, les innovations peuvent avoir un impact positif sur l'environnement. Dans le domaine de l'énergie, c'est notamment le cas des technologies nouvelles visant à renforcer l'utilisation des énergies renouvelables ou à utiliser l'énergie de manière plus efficace. Dans ce contexte, la promotion de l'innovation par les pouvoirs publics revêt une importance toute particulière. D'où la question de savoir comment et dans quels domaines elle doit se faire afin d'optimiser les processus innovateurs dans les hautes écoles et les entreprises.

La présente étude procède à une analyse systématique et approfondie d'une sélection de dix processus d'innovation dans le secteur des technologies énergétiques en Suisse. Ces processus, qui relèvent de domaines tels que le photovoltaïque, le couplage chaleur-force (CCF), les sèche-linge avec pompe à chaleur, les onduleurs et la gazéification du bois (cf. tableau I), ont été analysés sur la base d'étude de cas.

Tableau I: Vue d'ensemble des études de cas (cf. tableau 1, chapitre 3.2)

Etude de cas	Domaine technologique	Description
Flexcell	Photovoltaïque	Production de cellules solaires flexibles à couche mince de silicium amorphe
Oerlikon Solar		Fabrication de systèmes de production de cellules solaires à couches minces amorphes et micromorphes
SolarMax		Fabrication d'onduleurs solaires
SwissMotor	CCF / combustion	Conception et construction d'un moteur à gaz très peu polluant pour les centrales CCF
Schulthess sèche-linge avec pompe à chaleur	Pompes à chaleur / appareils électro-ménagers	Fabrication et distribution d'un sèche-linge à tambour avec pompe à chaleur intégrée peu gourmand en énergie
V-Zug sèche-linge avec pompe à chaleur		Fabrication et distribution d'un sèche-linge à tambour avec pompe à chaleur peu gourmand en énergie
Drivetek	Onduleurs	Conception et ingénierie de systèmes d'onduleurs
Vivatec		Conception et ingénierie de systèmes d'onduleurs
Pyroforce	Gazéification du bois	Conception, ingénierie et construction de petites installations de gazéification du bois décentralisées et destinées aux applications de moindre puissance
Dasagren		Conception et intégration d'installations de gazéification du bois, notamment d'éléments de purification du gaz

L'analyse a consisté à identifier rétrospectivement les étapes technologiques et organisationnelles de chaque processus et à déterminer les principaux facteurs qui facilitent ou entravent l'innovation. Ses conclusions permettent de déterminer l'approche et les instruments requis pour promouvoir l'innovation de façon optimale. *Dans ce contexte, l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) est au centre de la réflexion.* Le second volet de l'étude propose un ensemble d'indicateurs permettant de mesurer la performance en matière d'innovation.

Ces études de cas se fondent pour l'essentiel sur les informations recueillies lors d'entretiens menés selon un canevas prédéfini dans les entreprises et les hautes écoles avec les personnes qui participent directement aux processus d'innovation, avec les chefs de programme et les responsables de domaine de l'OFEN, ainsi qu'avec d'autres experts technologiques. Elles font également appel à des documents et à des informations recueillies sur Internet qui portent sur les différents processus d'innovation, sur les sociétés participantes ainsi que sur le contexte technologique et du marché.

Si les études de cas se situent au niveau des entreprises ou des instituts des hautes écoles, l'analyse des processus d'innovation prend en compte des facteurs liés aux différentes technologies et aux différents systèmes d'innovation technologiques. Parmi ces facteurs, citons l'interaction avec les acteurs de la promotion par les pouvoirs publics, d'autres partenaires de coopération et fournisseurs, ou l'impact des conditions cadres institutionnelles.

A l'heure actuelle, la plupart des innovations étudiées ont été introduites sur le marché. L'éventail des cas examinés recouvre différents degrés de maturité et des périodes de durée variable entre la recherche et développement (R+D) et le lancement sur le marché. Les études de cas présentées ici ne sont pas représentatives du portefeuille de projets soutenus par l'OFEN.

La promotion de l'innovation doit être globale

L'une des principales conclusions de l'analyse est que les processus d'innovation sont extrêmement complexes et que leur succès dépend de nombreux facteurs intervenant à différents niveaux. Les processus d'innovation peuvent être divisés en *cinq grandes phases*: la recherche fondamentale, la recherche appliquée, le développement de prototypes ou d'installations pilote, l'introduction sur le marché, soit la première commercialisation - en petit nombre - de produits ou d'installations, et la diffusion plus large sur le marché. Cette structure vise à permettre une simplification méthodologique, sans pour autant postuler la linéarité des processus d'innovation. Bien souvent, les produits ou équipements lancés sur le marché font toujours l'objet de R+D.

La collaboration de hautes écoles et d'entreprises privées peut s'avérer aussi importante pour *la réussite de l'innovation, à savoir pour son développement et son implantation sur le marché*, que des conditions cadres réglementaires, par exemple dans le domaine des prescriptions et des instruments de politique énergétique. La disponibilité de capital-risque (*venture capital*) peut jouer un rôle aussi grand que la qualité de la gestion de l'entreprise qui est au cœur du processus d'innovation. De même, la promotion de la R+D par l'Etat peut avoir des effets aussi importants que la mise à disposition de fonds publics destinés à la réalisation d'installations pilotes et de démonstration. En outre, l'engagement personnel de certaines personnes ou la constitution d'équipes efficaces peuvent contribuer fortement au succès de l'innovation. Enfin, toute une série de facteurs externes, tels que l'évolution du prix du pétrole ou la libéralisation du marché de

l'énergie, peuvent exercer une influence favorable ou défavorable sur le processus d'innovation à un moment donné.

Au vu de cette complexité, il est difficile de déduire des «recettes» permettant aux pouvoirs publics d'exercer leur rôle promoteur avec succès. Il n'en demeure pas moins, précisément en raison de cette complexité, que l'analyse des études de cas a mis en évidence un principe fondamental: *la promotion de l'innovation doit être globale*, c'est-à-dire qu'elle doit tenir compte non seulement des différentes phases, mais aussi des différents niveaux du processus d'innovation. Autrement dit, la promotion de l'innovation dépasse de loin le simple encouragement du transfert de connaissances et de technologies ou du développement de technologies. Elle doit par exemple tenir compte de l'évolution des marchés suisse et étrangers, ainsi que, au moment d'attribuer des moyens financiers, non seulement des paramètres technologiques et économiques, mais aussi des caractéristiques spécifiques des entreprises (et personnes) appelées à jouer un rôle-clé dans le projet.

Les besoins en matière de promotion varient d'un projet à l'autre

Le soutien requis par un processus d'innovation dépend aussi bien des caractéristiques fondamentales de l'innovation que de la phase dans laquelle elle se trouve. Le domaine des technologies énergétiques recouvre une large palette d'innovations dont les caractéristiques et les phases et, partant, les besoins varient.

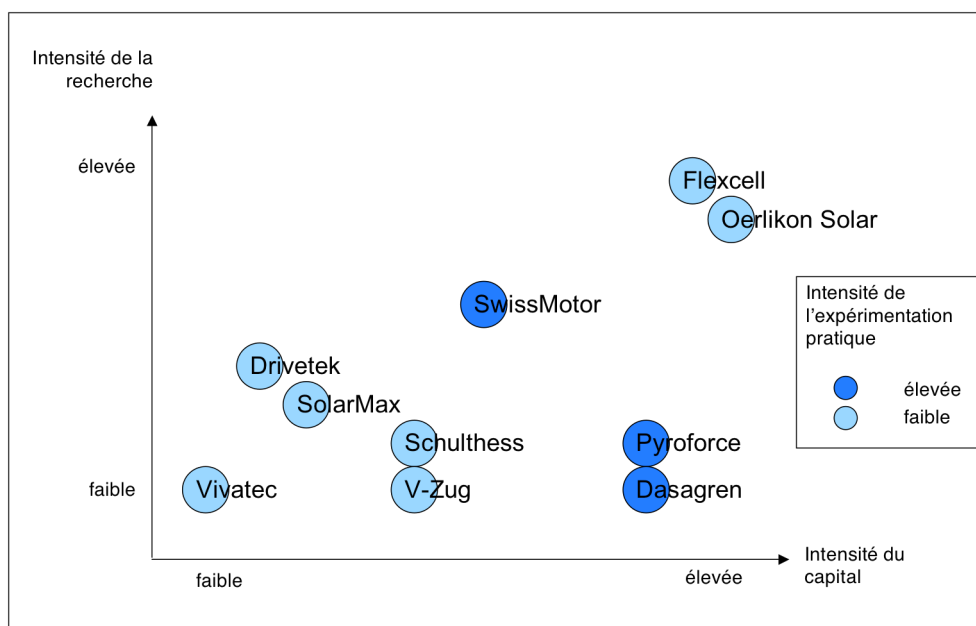


Illustration I: Classification des cas en fonction de l'intensité de la recherche, du capital et de l'expérimentation pratique (cf. illustration 40, chapitre 6.1)

Ainsi, deux des cas examinés dans le domaine du photovoltaïque se concentraient sur le développement de technologies fondamentalement nouvelles, alors que dans celui des onduleurs ou des sèche-linge avec pompe à chaleur, il s'agissait plutôt d'étendre l'application de technologies existantes (électronique de puissance, pompe à chaleur) à de nouveaux domaines. Les deux premiers processus d'innovation ont nécessité *des recherches intensives*, une collaboration étroite avec les hautes écoles, et ont duré environ 20 ans de l'idée initiale à

l'introduction sur le marché. Dans le cas des sèche-linge, le développement n'a pris que quelques années, et les hautes écoles ne sont que peu ou pas intervenues.

Mais les différences ne se sont pas arrêtées là: certains processus d'innovation ont nécessité un *important capital*, c'est-à-dire qu'il a fallu mobiliser un capital conséquent pour permettre un changement d'échelle (*upscaling*), des installations pilote, le lancement de la production ou l'introduction sur le marché. Pour d'autres innovations, l'accent était mis sur *l'expérimentation pratique* de la technologie (installations pilote, prototypes, banc d'essai). Certains processus ont été soutenus par des spin-offs issues des hautes écoles ou par des PME, d'autres ont bénéficié du soutien d'entreprises plus grandes et déjà bien établies sur le marché. L'illustration ci-dessous présente les cas examinés en fonction de l'intensité de la recherche, du capital et de l'expérimentation pratique.

Il y a une corrélation entre le besoin de soutien par les pouvoirs publics et ces trois facteurs. Les innovations exigeant un intense travail de recherche ont tendance à nécessiter une étroite *collaboration des entreprises avec des hautes écoles et des écoles spécialisées*, tandis que les innovations demandant l'investissement d'un important capital requièrent la mobilisation de *capital-risque (venture capital)*, la *participation directe d'entreprises bénéficiant d'une solide assise financière*, ou la *promotion d'installations pilote et de démonstration (P+D)*. Quant aux innovations qui nécessitent de nombreux tests et essais, elles peuvent nécessiter le soutien d'installations P+D, mais aussi l'intégration précoce des futurs utilisateurs.

Par ailleurs, les besoins en matière de promotion peuvent varier au fil des différentes phases de l'innovation. Dans certains processus d'innovation, les besoins s'étendent sur plusieurs phases; dans d'autres, ils se limitent à des phases de développement ponctuelles (cf. illustration II). Les besoins en matière de promotion ne se réfèrent pas uniquement à l'encouragement de la recherche, mais aussi à un large éventail de mesures (des pouvoirs publics) qui jouent un rôle dans la réussite du processus d'innovation.

Tableau II: Besoins en matière de promotion (cf. tableau 21, chapitre 6.1)

	Recherche fond.	Recherche appl.	Prototypes et installations pilotes	Introduc-tion sur le marché	Diffusion
Flexcell	++	++	++	++	++
Oerlikon Solar	++	++	+	++	++
SolarMax		+	o	++	++
SwissMotor		++	++	++	+
Schulthess SLPC		o	o	+	+
V-Zug SLPC		o	o	+	+
Drivetek		+	+	o	o
Vivatec		+	+	o	o
Pyroforce		+	++	+	+
Dasagren		+	++	+	+
SLPC = sèche-linge avec pompe à chaleur					

Besoins modestes (o), plutôt importants (+), très importants (++)

Outre les différences précitées, l'étude a constaté l'existence d'un besoin commun à tous les cas examinés: le *soutien de l'introduction et de la diffusion sur le marché*, à savoir la promotion de la demande de la technologie en question. Dans ce contexte, les innovations énergétiques ou environnementales se distinguent des innovations dites «classiques» par leur signification pour la société ou leur impact positif sur l'environnement. La politique a donc pour tâche d'encourager non seulement l'acquisition et la transmission du savoir, mais aussi la diffusion des produits et technologies concernés. *En conséquence, une promotion globale de l'innovation dans le domaine énergétique passe par l'harmonisation de la promotion de la recherche et de la diffusion.*

Evaluation de la situation actuelle

L'analyse des études de cas a montré que la promotion importante et ininterrompue de la recherche assurée par l'OFEN a apporté une contribution déterminante dans certains cas très exigeants (dans le domaine des cellules solaires à couches minces), et a donc porté ses fruits. De même, l'étroite collaboration avec les hautes écoles ou les hautes écoles spécialisées a apporté une contribution essentielle au succès de plusieurs projets. Même s'il existe quelques optimisations possibles, le *soutien proposé par les hautes écoles et par l'OFEN a en principe bien fonctionné* dans les cas étudiés. A noter toutefois que l'étude a porté surtout sur des cas dans lesquels l'OFEN était impliqué; il est donc possible que l'affirmation ci-dessus soit quelque peu biaisée.

De son côté, l'*Agence de la Confédération pour la promotion de l'innovation (CTI)* a, dans certains des cas examinés, joué un rôle qui, s'il n'était pas central, restait considérable. Néanmoins, l'affectation des fonds à disposition (effort requis pour leur obtention, durée de l'encouragement trop brève, fonds réservés aux hautes écoles) a révélé un certain potentiel d'optimisation. Par ailleurs, nous avons constaté que dans le cas de certains processus d'innovation qui auraient en fait répondu aux critères de la CTI, aucun subside d'encouragement n'a été demandé.

De plus, l'analyse des études de cas a clairement montré que *le succès ou l'échec d'une innovation était fortement lié à l'évolution du marché*. Les trois exemples du photovoltaïque n'auraient certainement pas atteint leur degré de développement actuel si le boom résultant de la politique énergétique de l'Allemagne (et plus tard aussi d'autres pays) n'avait pas créé un marché pour les entreprises helvétiques. D'un autre côté, si le développement réalisé par SwissMotors dans le domaine du couplage chaleur-force (CCF), qui était réussi du point de vue technique, a connu l'échec sur le plan économique, c'est notamment parce que l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) a supprimé les strictes normes en matière de gaz d'échappement sur la base desquelles le moteur avait été conçu, privant l'innovation d'un avantage compétitif de taille. Si les projets de gazéification du bois ont eu d'énormes difficultés à mobiliser le capital-risque nécessaire, c'est parce que, outre le manque d'expérience en matière d'exploitation et la durée de l'investissement, les conditions cadres politiques en Suisse (rétribution du courant injecté) ne laissaient pas présager que l'exploitation des installations serait rentable. Le sèche-linge avec pompe à chaleur reste jusqu'ici un produit de niche non rentable: l'étiquette-énergie propose trop peu de mesures incitatives pour acheter cet appareil nettement plus cher, et les subventions versées par les fonds d'économie d'électricité n'apportent qu'une aide ponctuelle dans ce contexte. Dans l'ensemble, il apparaît que dans la plupart des cas examinés, l'OFEN a dans un premier temps encouragé la recherche et la technologie indépendamment de la situation future sur le marché. Si cette démarche peut mener au succès, comme ce

fut le cas pour les processus d'innovation dans le domaine du photovoltaïque, elle peut aussi se révéler problématique, à l'image du couplage chaleur-force, des sèche-linge ou de la gazéification du bois. D'où la nécessité d'une approche globale de la promotion de l'innovation.

Points d'approche et instruments d'optimisation des processus d'innovation

L'analyse générale et les aspects essentiels des différentes études de cas ont permis de mettre en évidence treize constatations qui constituent des points d'approche pour optimiser les processus d'innovation. Ces conclusions, divisées en **aspects problématiques (AP)** et en **facteurs de réussite (FR)**, ont été sélectionnées en fonction des possibilités d'encouragement dont dispose l'OFEN. Les cinq premiers points d'approche sont à notre avis prioritaires.

- **AP 1)** Si la promotion de l'OFEN en matière de recherche et de technologie est efficace dans la majorité des cas, elle est parfois insuffisante lors des phases d'innovation ultérieures. A noter que les besoins ne sont pas les mêmes au cours des premières phases du développement technologique que lors des phases ultérieures.
- **AP 2)** Le bon déroulement des processus d'innovation est menacé lorsque les conditions cadres économiques et politiques ne sont pas prises en compte suffisamment tôt. L'observation permanente des évolutions possibles et l'analyse des marchés et conditions cadres étrangers sont particulièrement importantes.
- **FR 3)** Lorsqu'elle est portée par l'action réglementaire de l'Etat, par exemple par l'introduction de la rétribution du courant injecté, la demande de technologies innovantes représente un moteur essentiel au moment de l'introduction et de la diffusion sur le marché.
- **AP 4)** Certains goulets d'étranglement et restrictions spécifiques aux PME en matière de capital, de capacité de développement, de passage aux marchés étrangers ou de travail en réseau avec les hautes écoles entravent les processus d'innovation.
- **AP 5)** Dans certains cas, la mobilisation du capital requis pour introduire une innovation sur le marché constitue une grande difficulté. L'engagement prolongé d'investissements à risques et des conditions cadres politiques plutôt défavorables sur la durée, conjugués au manque d'expérience sur le plan de l'exploitation ou à une maturité technologique insuffisante, sont autant de facteurs qui freinent le processus.
- **AP 6)** La coordination entre l'OFEN et la CTI concernant les besoins particuliers des processus d'innovation dans le domaine des technologies énergétiques peut encore être améliorée.
- **AP 7)** La divergence des normes et le manque d'uniformité des procédures d'autorisation posent problème lors de l'introduction sur le marché.
- **FR 8)** Il est essentiel de tenir compte des points de recoupement entre les processus d'innovation et la R+D des hautes écoles. Le transfert du savoir et des technologies - par-delà les projets et les personnes impliquées - entre les hautes écoles et les entreprises, facilite le passage de la recherche fondamentale à la recherche appliquée puis à l'introduction sur le marché. Pour les entreprises, il est également important que les hautes écoles forment des collaborateurs qualifiés.

- **FR** 9) Une plus grande marge de manœuvre dans l'attribution et l'utilisation des fonds peut favoriser les processus d'innovation, surtout dans les domaines d'activité proches de la recherche fondamentale.
- **FR** 10) Un soutien compétent et un encadrement personnel englobant un suivi des relations à long terme par les responsables de domaine et le chef du programme de recherche (parrain de l'innovation) peuvent s'avérer cruciaux pour les processus d'innovation. Au premier plan, citons la continuité des processus R+D, l'identification des potentiels et des obstacles que présente la suite du processus d'innovation, la mobilisation de contacts ou la création d'un réseau.
- **FR** 11) Chez le bénéficiaire des mesures d'encouragement, les responsables de l'innovation (*product champion*, *power promoter*) peuvent constituer un facteur de réussite essentiel. La continuité et l'engagement personnel favorisent le succès des processus d'innovation.
- **FR** 12) Une bonne dynamique et une ambiance constructive au sein des groupes de recherche ou de projet contribuent au succès et à la stabilité des processus d'innovation.
- **FR + AP** 13) Certaines sources de soutien complémentaires ou supplémentaires peuvent s'avérer importantes pour la suite des processus d'innovation.

Les aspects problématiques ou les facteurs de réussite permettent de définir différents *champs d'action et instruments*. Si les trois premiers champs d'action sont de nature essentiellement opérationnelle, les trois autres sont des instruments stratégiques de l'OFEN.

- Un premier ensemble d'instruments et de mesures est axé sur le coaching ou l'encadrement des processus d'innovation: renforcement de la prise en compte du processus d'innovation dans son ensemble, du rôle du responsable de l'innovation et des dynamiques des groupes de recherche, suivi et observation du projet plus étroits, même après sa conclusion.
- Pour réussir leur lancement sur le marché, plusieurs technologies dépendent fortement de la phase P+D, qui gagnerait à être (à nouveau) soutenue d'avantage.
- Les PME sont un moteur important de l'innovation. L'OFEN peut les soutenir davantage, directement ou indirectement. Parmi les champs d'action envisageables figure le renforcement du soutien aux spin-offs présentant un fort potentiel d'innovation et de commercialisation, ou une collaboration plus intense avec d'autres organismes de promotion tels que les «venture labs».
- Une veille technologique ciblée permet d'obtenir des informations utiles au soutien de projets à risques relativement élevés et de mieux fixer les priorités dans les domaines soutenus, d'où une plus grande efficacité de l'aide de l'Etat.
- Si l'accent est davantage mis sur la définition de priorités, on atteint plus rapidement une masse critique permettant la constitution de réseaux au sein des secteurs privilégiés. Dans ce contexte, il est possible d'opter pour la définition active de priorités (orientation stratégique sur certains programmes technologiques) ou pour une approche plutôt passive (sélection sur la base des données générales d'un projet). Quant à l'approche de type portefeuille, elle permet d'évaluer *ex ante* ou *ex post*, en fonction de dimensions prédéfinies, les technologies et les projets soutenus ou qu'il est prévu de

soutenir. Une telle appréciation requiert des critères qui seront déterminés, évalués et pondérés avec précision en fonction des objectifs visés.

- Dans certains domaines technologiques sélectionnés, l'OFEN s'engage en faveur de la fixation de normes et de la standardisation des procédures d'autorisation.

L'anticipation des évolutions actuelles et futures du marché, qui recouvre différents points d'approche et champs d'action, est un élément essentiel de la promotion de demain. Elle n'est pas développée concrètement dans le cadre de la présente étude, mais devrait être possible, en particulier pour les processus d'innovation à court et moyen termes. Avec une promotion globale de l'innovation dans le domaine de l'énergie, on irait même plus loin en agissant de manière plus active sur l'évolution du marché suisse.

Indicateurs pour le suivi des processus d'innovation

Outre les conclusions des études de cas, nous proposons un ensemble d'indicateurs visant à déterminer les caractéristiques des processus d'innovation ou à en mesurer l'intensité (performance en matière d'innovation). Les indicateurs proposés servent avant tout à analyser rétrospectivement l'utilité économique (résultat concret ou effet) des processus d'innovation. Ils se rapportent à l'introduction sur le marché et aux conditions cadres du marché, au savoir et à la recherche, ainsi qu'aux réseaux entre les différents acteurs.

Les indicateurs-clés proposés résultent d'une réflexion sur le rapport coûts/utilité des projets ainsi que des enseignements tirés des études de cas. Le choix des indicateurs déterminants doit en principe reposer sur l'objectif visé. Les indicateurs peuvent servir d'information de suivi permettant de tirer des conclusions supplémentaires sur les processus d'innovation ou permettre de réaliser des analyses d'impact orientées stratégie.

Les indicateurs suivants ont été utilisés pour réaliser la synthèse des études de cas:

- nombre de personnes employées par les entreprises ou dans le secteur d'activité déterminant et mesure de l'évolution dans le temps;
- survie du secteur d'activité innovant au sein de l'entreprise;
- nombre de personnes employées dans la R+D;
- technologies, produits ou prestations novateurs sur le marché;
- participation / aides provenant d'investisseurs privés.

Un autre ensemble d'indicateurs se réfère à une typologie qui caractérise les processus d'innovation sur le plan quantitatif. En font partie notamment le degré de maturité du processus d'innovation, la nature de l'entreprise fondée, la participation d'organismes de promotion au développement technologique, le succès économique ou l'intensité du développement.

Par ailleurs, plusieurs indicateurs, dont certains sont déterminants pour les études de cas, n'ont pas été appliqués dans le cadre de cette étude. Il s'agit par exemple du temps de mise sur le marché (*time-to-market*), de l'annonce initiale de brevets, du nombre de fournisseurs concernés en Suisse, du nombre de (nouvelles) entreprises fondées en cours de projet ou d'indicateurs particulièrement importants dans le domaine énergétique, tels que les coûts de production de l'énergie spécifiques à la technologie utilisée.

Le choix des indicateurs déterminants est en principe lié à l'objectif souhaité. La présente étude a comparé des études de cas dans leurs grandes lignes et procédé à une modeste analyse en vue essentiellement de compléter les hypothèses établies quant à la qualité de la promotion de l'innovation. Cependant, si l'objectif consistait à réaliser des analyses d'impact ou une veille par projet ou secteur technologique, le choix des indicateurs devrait être réévalué. Il est également possible de reprendre les indicateurs sélectionnés pour d'autres analyses (comme les enquêtes de marché et les veilles technologiques).

1. Einleitung und Zielsetzung

Die Entwicklung von neuen Produkten oder Technologien ist sowohl für einzelne Unternehmen als auch aus volkswirtschaftlicher Sicht von grosser Bedeutung. Innovationen stärken langfristig die Wettbewerbsfähigkeit eines Landes oder einer Region bzw. eines Unternehmens. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass Innovationen es oft schwer haben, sich gegenüber etablierten Produkten und Technologien durchzusetzen, weil sie zum einen (noch) keine Skalen- und Netzwerkeffekte mobilisieren können und zum anderen mit bestehenden Kundenpräferenzen, Normen, Vorschriften oder auch Infrastrukturen nicht a priori kompatibel sind. Derartige Hürden sind vor allem dann hoch, wenn es sich um sehr weitreichende, so genannte radikale Innovationen handelt wie etwa im Fall von Technologien für eine dezentrale Energieversorgung.

Im Bereich von Energietechnologien ist darüber hinaus mit vielen Innovationen das Ziel verknüpft, einen Beitrag in Richtung Nachhaltigkeit zu leisten - sei es durch eine Verbesserung der Energieeffizienz von Produkten oder Prozessen oder durch eine verstärkte Nutzung erneuerbarer Energiequellen. In diesem Fall gehen Innovationen in doppelter Hinsicht mit positiven externen Effekten einher: sie generieren neues Wissen und sie leisten einen Beitrag zur Reduktion von Umweltbelastungen. Die starke Bindung von finanziellen Ressourcen im Zusammenhang mit der Infrastruktur zur Energieversorgung (hohe Fixkosten) und kostenintensive Anlagen gelten als weitere Besonderheiten der Energiewirtschaft. Vor diesem Hintergrund spielt die Förderung von Innovationen durch die öffentliche Hand im Bereich von Energietechnologien häufig eine zentrale Rolle. Das Spektrum der Förderung reicht dabei von der Finanzierung der Forschung und Entwicklung an Hochschulen, Fachhochschulen oder in Unternehmen, über die spezifische Energieforschung und Programme zur Unterstützung von Pilot- und Demonstrationsvorhaben bis hin zur Energiepolitik (Lenkungsabgaben, Vergütungen, Subventionen).

In der Gesamtschau unterliegen Innovationsprozesse im Energiebereich damit einer Vielzahl von Einflüssen: vom ‚normalen‘ Wechselspiel der am Prozess unmittelbar beteiligten Akteure und Institutionen, über Förderprogramme und energiepolitische Rahmenbedingungen bis hin zu den strategischen Reaktionen etablierter Energieunternehmen und übergreifenden Entwicklungen (Ölpreis, Marktliberalisierung etc.). Trotz dieser Komplexität stellt sich die Frage, wie die Förderung von Innovationen im Energiebereich optimiert werden kann.

Die vorliegende Studie hat das Ziel, insbesondere die Prozesse der Wissensgenerierung und Technologieentwicklung im Zusammenspiel von Hochschulen und Unternehmen in der Schweiz mit Blick auf mögliche Verbesserungen zu untersuchen. Im Zentrum der Arbeit steht eine vertiefte Analyse von Innovationsprozessen in fünf ausgewählten Technologiebereichen: Photovoltaik, Wärme-Kraft-Kopplung, Wärmepumpen-Turbinen, Umrichter und Holzvergasung. Für insgesamt 10 Innovationsfallstudien wird eine systematische Erhebung der Faktoren, die sich fördernd bzw. hemmend auf den Prozess ausgewirkt haben, durchgeführt.

Die Untersuchung konzentriert sich auf die Rolle des Bundesamtes für Energie (BFE), d.h. es geht bei der Betrachtung der Hemm- und Förderfaktoren insbesondere um solche, auf die seitens BFE Einfluss genommen werden kann. Die Analyse ist gleichwohl so offen angelegt, dass ein breites Spektrum von Einflussfaktoren auf Innovationsprozesse erfasst wird. Dazu gehören beispielsweise auch die

Marktentwicklung im Ausland (etwa im Bereich der Photovoltaik) oder Mittelzuwendungen von anderen Institutionen wie etwa der Förderagentur für Innovation (KTI).

In den vergangenen Jahren sind im Rahmen der energiewirtschaftlichen Grundlagenarbeiten des BFE verschiedene Studien entstanden, die sich mit der Innovationsthematik beschäftigt haben (u.a. Iten et al. 2001; Rieder et al. 2003; Eicher et al. 2003; Suter et al. 2004; Rigassi et al. 2005). Dabei ging es etwa um die Beurteilung neuerer Ansätze der Innovationsförderung (Netzwerke, Clusterbildung) und / oder um einen Vergleich unterschiedlicher Technologiebereiche. Hintergrund von Technologievergleichen, insbesondere einem Technologie-Monitoring (vgl. Eicher et al. 2003; Rigassi et al. 2005), ist die Frage, inwieweit innovations- und energiepolitisch Schwerpunkte gesetzt werden sollten in bestimmten Feldern (Top-down Förderung).¹ Auch die hier vorgelegte Studie kommt bei den Empfehlungen u.a. wieder auf diese Frage zurück, aber der Vergleich von Technologiebereichen steht nicht im Vordergrund. Vielmehr setzt die Untersuchung ‚eine Ebene tiefer‘ an, bei Unternehmen und Forschungsgruppen an Hochschulen als Träger von Innovationsprozessen im Energiebereich.

Im Zentrum der Analyse steht jeweils ein Innovationsprozess, d.h. die Entwicklung eines neuen Produktes oder einer neuen Technologie von der Idee bis hin zur Markteinführung.² Der gesamte Entwicklungsprozess wird in zeitlicher Hinsicht (Meilensteine) und in Bezug auf die wesentlichen Einflussfaktoren (Hemm- und Förderfaktoren) rekonstruiert. Die Studie umfasst zehn Innovationsprozesse in fünf Technologiebereichen. Das Herangehen ist in erster Linie induktiv, auch wenn vorab ein Analyseraster, welches u.a. zur Verortung der verschiedenen Einflussfaktoren dient, erarbeitet wurde (vgl. Kapitel 2). Die gewonnenen Ergebnisse werden auf der Ebene der einzelnen Fälle, auf der Ebene des Technologiebereichs sowie in der Gesamtschau synthetisiert.

Ein zweiter Teil dieser Studie befasst sich mit der Identifikation von Indikatoren und Kennzahlen, mit deren Hilfe es möglich ist, verschiedene Aspekte des Innovationsprozesses quantitativ abzubilden und operationalisierbar zu machen. Dazu gehört die Messung der Intensität von Innovationsprozessen (Innovationsleistung). Aus einem breiten ‚Listing‘ möglicher Indikatoren wird aufgrund von Kosten-Nutzen-Überlegungen ein überblickbares Set von relevanten und erhebbaren Kernindikatoren ausgewählt. Die ausgewählten Indikatoren werden zur Umsetzung (durch das BFE) vorgeschlagen, wofür auch konkrete Möglichkeiten einer Erhebung skizziert werden. Neben der Messung von Innovationsprozessen ist auch eine weitere Einbettung dieser Indikatoren in ein Konzept der Wirksamkeitsanalyse möglich.

Der nachfolgende Bericht ist wie folgt gegliedert. Kapitel 2 stellt die konzeptionellen Grundlagen der Arbeit dar. Kapitel 3 gibt einen Überblick über die Methodik zur Durchführung der Studie und zur Datenerhebung. Dabei wird auch ein erster Überblick über die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der ausgewählten Innovationsfallstudien gegeben. In Kapitel 4, dem Hauptteil des Berichts, werden an-

¹ Auch die CORE, welche in 4-Jahres-Perioden die Leitlinien der schweizerischen Energieforschung festlegt, steht grundsätzlich vor der Herausforderung einer Schwerpunktsetzung in den verschiedenen Technologiebereichen.

² Nicht alle, aber die Mehrzahl untersuchten Innovationen sind zum heutigen Zeitpunkt am Markt eingeführt. Das Spektrum der Fallstudien deckt sowohl unterschiedliche Reifegrade als auch verschieden lange Zeiträume von der Forschung / Entwicklung bis hin zur Markteinführung ab (vgl. Kapitel Methoden). Bei den untersuchten Innovationen handelt es sich um Produkt- und technologische Innovationen. Dienstleistungsinnovationen wurden aufgrund der kleinen Fallzahl nicht berücksichtigt.

schliessend die Ergebnisse aus den Fallstudien nach Technologiebereichen gegliedert dargestellt. Das fünfte Kapitel enthält einen Vorschlag für ein Set von Kennzahlen und Indikatoren für ein systematisches Monitoring von Innovationsprozessen auf der Unternehmensebene. Kapitel 6 synthetisiert schliesslich die Erkenntnisse aus den Fallstudien und listet Ansatzpunkte für Optimierungen bei Innovationsprozessen im Bereich von Energietechnologien auf.

Zur Erfassung des sehr umfangreichen empirischen Kerns der Studie bietet es sich für den geneigten Leser an, die Konzentration auf bestimmte Abschnitte in den Fallstudien zu legen. Ein kurzer Abriss zu den jeweiligen Technologiebereichen, denen die einzelnen Innovationsprozesse zuzuordnen sind, ist jeweils zu Beginn der Fallstudie(n) zu finden. Werden diese Hintergrundinformationen in Verbindung mit den Abschnitten ‚Kurzportrait‘ und ‚Kernaspekte‘ einer Fallstudie gelesen, sollte für den Leser ein grundlegendes Verständnis für den jeweiligen Innovationsprozess entstehen. Abgerundet wird das Bild zu den einzelnen Fallstudien mit den ‚Hauptkenntnissen für die Innovationsförderung‘, die jeweils am Ende eines Technologiebereichs beschrieben sind.

2. Konzeptioneller Rahmen

2.1 Determinanten des Innovationserfolgs

In der wirtschafts- und sozialwissenschaftlichen Literatur hat sich in den vergangenen Jahren eine grosse Zahl von Studien mit den Einflussfaktoren auf den Innovationserfolg befasst. So erschienen Ende der 90er Jahre allein zur Frage der Erfolgsfaktoren bei neuen Produktentwicklungen jährlich etwa 50 Artikel in internationalen Fachzeitschriften (Ernst 2002). Trotz der vielen Analysen fällt es bis heute schwer, konkrete und zugleich allgemein gültige Aussagen zu treffen. Für diese unkomfortable Situation sind vor allem zwei Faktoren massgeblich (vgl. Hauschildt 1993):

Zum einen ist es sehr schwierig, den *Innovationserfolg zu definieren* oder gar zu messen, weil er eine Vielzahl von Facetten in den verschiedenen Phasen des Innovationsprozesses umfassen kann. Geht es etwa um die erfolgreiche Markteinführung eines Produktes, um den Marktanteil des Produktes, um den erzielten Gewinn oder um den wirtschaftlichen Erfolg des anbietenden Unternehmens? Handelt es sich um eine inkrementelle oder um eine radikale Innovation und wie werden die beiden unterschieden? Bis heute gibt es weder zur Definition des Innovationserfolgs, noch zu einer geeigneten Messung einen Konsens in der Wissenschaft und die zahlreichen empirischen Studien operieren hier mit sehr unterschiedlichen Konzepten.

Zum anderen sind *Innovationsprozesse hoch komplex*. Der Innovationserfolg unterliegt einer grossen Zahl von Einflüssen, deren Zusammenspiel fallweise sehr unterschiedlich ausfallen kann. Auf der theoretischen Seite gibt es bislang keine einheitlichen Rahmenkonzepte, welche Einflussfaktoren auf welchen Ebenen denn typischerweise zu analysieren wären. Viele empirische Untersuchungen konzentrieren sich auf einen kleinen Ausschnitt der möglichen Einflussfaktoren. So wird etwa in der Managementliteratur dort nach Erfolgsfaktoren gesucht, wo das Management auch einen direkten Einfluss hat, d.h. es geht dann beispielsweise um die Gestaltung des Innovationsprozesses auf der Unternehmensebene, um die interne Organisation, die Strategie oder die Kultur des Unternehmens.³

Trotz dieser Einschränkungen lassen sich aus dem heutigen Stand der Erkenntnisse einige Grundsätze ableiten.

- Die Eigenheiten von Innovationsprozessen hängen in der Regel sehr stark vom jeweiligen Sektor ab (Malerba 2002, 2004). Das betrifft etwa die Rolle, die Universitäten bzw. öffentliche Forschungseinrichtungen im Vergleich zur unternehmensinternen Forschung spielen (z.B. Biotechnologie vs. Chemie-Industrie), die Aufgabenteilung zwischen verschiedenen Firmen, die Bedeutung von Venture Capital oder die Wichtigkeit von Patenten. Aber auch die Wissensbasis kann sehr verschieden sein (schnellen oder nur langsamen Veränderungen unterworfen, gut oder kaum schützbar gegenüber Dritten etc.).

³ Für die hier vorgelegte Untersuchung wäre dieser Rahmen zu eng gewählt, weil die staatliche Forschungs- und Innovationspolitik als Einflussfaktor auf den Innovationsprozess im Zentrum steht.

- In ähnlicher Weise hat auch die Art der Innovation einen wichtigen Einfluss. So sind etwa weit reichende, radikale Innovationen mit sehr viel größeren Herausforderungen verbunden als inkrementelle Veränderungen bestehender Technologien oder Produkte (vgl. etwa Markard & Truffer 2006). Daher spielen insbesondere bei radikalen Innovationen oftmals sogenannte Nischen, in denen sich die Technologie geschützt von den Selektionsbedingungen des Marktes temporär weiter entwickeln kann (Kemp et al. 1998), eine wichtige Rolle.
- Aus Sicht des Innovationsmanagements hat weiterhin eine frühe und während des Innovationsprozesses fortlaufende Orientierung an Kunden- und Marktbedürfnissen einen positiven Einfluss auf den Erfolg des neuen Produktes (Cooper & Kleinschmidt 1993; Lundvall 1988).
- Ebenso zählt ein professioneller Entwicklungsprozess mit einer frühen und klaren Produktdefinition zu den in betriebswirtschaftlichen Studien identifizierten Erfolgsfaktoren.
- Auf der organisatorischen Ebene spielen weiterhin das persönliche Engagement und die Kommunikationsintensität der am Innovationsprozess beteiligten Mitarbeiter eine wichtige Rolle. Von ähnlicher Bedeutung sind oft auch Promotoren innerhalb des Unternehmens, welche hierarchisch über dem Innovationsteam stehen und einen entscheidenden Einfluss auf den Verlauf der Entwicklung haben. Darüber hinaus wirkt sich eine offene, risikobereite Unternehmenskultur, in der Mitarbeiter auch über gewisse Freiräume verfügen, fördernd auf den Innovationsoutput aus (Tushman & Anderson 1997).
- Schliesslich wird in zahlreichen Studien auch immer wieder auf die Bedeutung einzelner, herausragender Personen hingewiesen, die eine Vision, unternehmerisches Geschick und einem sehr hohen persönlichen Einsatz mitbringen, hingewiesen (Tushman & Nadler 1986).

Während diese Aufstellung einige allgemein gültige Erfolgsfaktoren beinhaltet, liessen sich in den Details oder mit Bezug auf spezifische Situationen wie etwa die Zusammenarbeit zwischen Unternehmen oder zwischen Unternehmen und Hochschulen noch zahlreiche Ergänzungen vornehmen. Anstatt hier jedoch weiter zu differenzieren, erscheint es wichtig, auch auf eine komplementäre Perspektive in der Innovationsforschung einzugehen.

2.2 Betrachtung von Innovationsprozessen auf der Mesoebene

Neben einzelnen Erfolgsfaktoren hat nämlich insbesondere auch das *Zusammenspiel von verschiedenen Faktoren und Entwicklungen* einen wesentlichen Einfluss auf den Verlauf und Erfolg von Innovationsprozessen. So können etwa positive Rückkopplungen und sich selbst verstärkende Prozesse dazu führen, dass es zu einer nicht-linearen Entwicklung kommt und beispielsweise die Verbreitung einer neuen Technologie überproportional zunimmt sobald eine ‚kritische Masse‘ an Unterstützung und Unterstützern überschritten wird (Jacobsson & Bergek 2004; Negro et al. 2007). Mit dieser, auf der Interaktion von Akteuren und Institutionen basierenden Betrachtung gelangt man auf die systembezogene Ebene der Analyse von Innovationsprozessen.

In dieser Perspektive werden insbesondere die *Bedeutung von Innovationsnetzwerken und von Institutionen*, welche sich im Verlauf des Innovationsprozesses herausbilden, betont. Zu solchen Institutionen gehören etwa Leitbilder oder übergreifende Erwartungen an ein Produkt oder eine Technologie, technische Standards, gesellschaftliche Werte aber auch gesetzliche Vorschriften. Netzwerke wie auch Institutionen kann man als Katalysatoren der oben angesprochenen, überproportionalen Beschleunigung von Innovationsprozessen auffassen. Sie wirken aber nicht nur auf die Geschwindigkeit sondern auch auf die Richtung des Innovationsverlaufs. Das kann dazu führen, dass sich einmal eingeschlagene Pfade verfestigen und Entwicklungstrends aufkommen, die später nur noch schwer verändert werden können.

Im Rahmen einer *systembezogenen Betrachtung von Innovationsprozessen* sind in den letzten Jahren verschiedene Konzepte entstanden, bei denen jeweils unterschiedliche Forschungsfragen im Zentrum stehen.⁴ Grosse Bekanntheit hat etwa das Konzept der nationalen Innovationssysteme (u.a. Lundvall 1992; Nelson 1993) erlangt, bei dem nationale Unterschiede in der Innovationsperformance mit den Strukturen und Institutionen des jeweiligen Wissenschafts- und Bildungssystems einschliesslich der privaten Forschung und Entwicklung erklärt werden. Ebenfalls weite Beachtung gefunden hat die regionale Dimension von Innovationsprozessen mit Konzepten wie regionalen Innovationssystemen (deBresson & Amesse 1991; Saxenian 1996; Cooke *et al.* 1997) oder 'clusters' (z. B. Porter 2003). In dieser Perspektive wird gezeigt, dass die räumliche und kulturelle Nähe der innovierenden Akteure einen entscheidenden Einfluss auf den Innovations- und Wirtschaftserfolg von Regionen haben kann. Im Unterschied zur räumlichen Abgrenzung werden Innovationssysteme aber auch sektoral bzw. auf technologischer Ebene unterschieden. Dabei stehen ebenfalls komparative Analysen im Vordergrund - etwa zwischen etablierten Industriesektoren in verschiedenen Ländern (sectoral systems of innovation, z. B. Malerba 2004) oder zwischen verschiedenen technologischen Systemen (z. B. Carlsson 1995).

Da in der vorliegenden Studie Innovationen im Bereich verschiedener Energietechnologien im Vordergrund stehen, bietet sich ein Rückbezug auf das Konzept technologischer Innovationssysteme (TIS) an. Gleichzeitig wird aber davon ausgegangen, dass ein technologisches Innovationssystem, wie etwa das der Photovoltaik, eingebettet ist in ein Umfeld aus etablierten Sektoren (etwa Energieversorgung) und Institutionen des nationalen Innovationssystems (Hochschulen, Transferstellen, allgemeine Innovationsförderung etc.).

2.3 Konzeptioneller Rahmen der Analyse

Ein *technologisches Innovationssystem* (TIS) wird als ein Set von Institutionen, Akteuren und Akteurnetzwerken aufgefasst, welche in einem bestimmten technologischen Feld interagieren und zur Entwicklung und Verbreitung eines Produkts oder einer Technologie (oder Varianten derselben) beitragen (vgl. Markard & Truffer submitted). Zu den *Akteuren* gehören typischerweise zahlreiche Unternehmen, die unterschiedliche Rollen im Innovationsprozess innehaben, aber auch Kunden, Forschungsinstitute, Kapitalgeber, Interessenverbände, Agenturen, Regierungsbehörden etc. Als *Institutionen im engeren Sinn* werden gesetzliche Regelungen und Vorschriften, technische und soziale Normen sowie Programme zur Finanzie-

⁴ Siehe etwa Chang & Chen 2004 oder Edquist 1997 für einen vertieften Überblick.

rung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten bezeichnet. Im Folgenden wird der Begriff der Institutionen aber auch breiter verwendet, d.h. wir bezeichnen Einrichtungen wie Hochschulen, das Bundesamt für Energie oder die Förderagentur für Innovation (KTI) ebenfalls als Institutionen. Diese sind dem nationalen Innovationssystem bzw. dem Energiesektor zugeordnet, nicht dem technologischen Innovationssystem.

Ein TIS gemäss obiger Definition steht nicht isoliert im Raum, sondern interagiert wiederum (wenn auch weniger intensiv) mit seinem *Umfeld*, vgl. Abbildung 1. Hierzu gehören etwa bestehende Sektorstrukturen, sogenannte *sozio-technische Regimes*, welche inkrementelle Verbesserungen etablierter Technologien fördern, aber die Entwicklung von grundsätzlich neuen bzw. radikalen Technologien tendenziell behindern. Regimes setzen sich zusammen aus zahlreichen Komponenten, zu denen u.a. der Wissensbestand, vorherrschende Lehrmeinungen und Überzeugungen, technische und soziale Normen, Erwartungen und Institutionen gehören (z.B. van den Ende & Kemp 1999). Im Fall der Stromversorgung kann man beispielsweise vom Regime der zentralen Elektrizitätszeugung sprechen (Markard 2004).

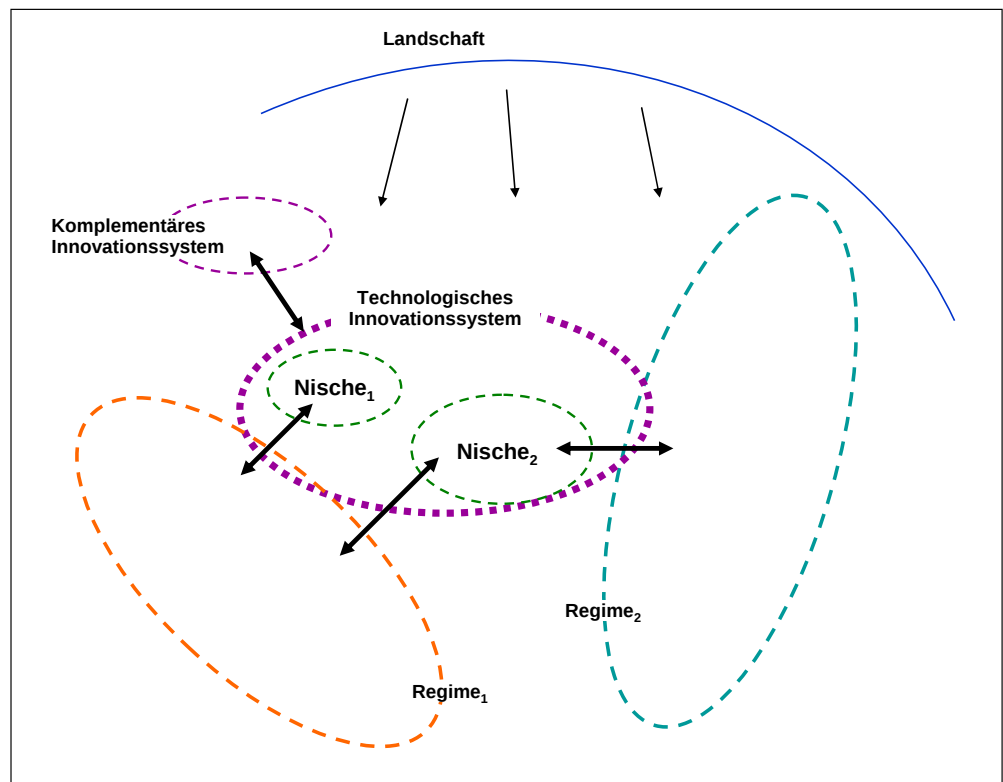


Abbildung 1: Schematische Darstellung eines technologischen Innovationssystems mit zwei Nischen und seinem Umfeld

Innovative, nicht regimekompatible Technologien können am ehesten dort ihre Stärken ausspielen, wo das vorherrschende Regime Schwächen hat - im Fall der Stromerzeugung etwa bei der Versorgung entlegener Verbrauchsstellen außerhalb des bestehenden Netzes oder bei einem Ausfall der herkömmlichen Versorgung. An den Punkten, an denen Schwächen des dominanten Regimes und Stärken der alternativen Technologien aufeinander treffen, können sich Marktnischen bilden. Wenn sich dort dann eine Innovation deutlich weiter entwickelt und verbessert, kann dies dazu führen, dass sich das dominante Regime verändert (anpasst) oder

dass sich nach und nach ein neues, konkurrierendes Regime entwickelt, welches das ‚alte‘ (partiell oder vollständig) substituiert.

Die *Nische* ist ein geschützter Raum, in dem Experimente und Lernprozesse mit Technologien oder Produkten ablaufen können, die noch in einem frühen Entwicklungsstadium stehen und daher den etablierten Technologien unterlegen sind (vgl. Hoogma et al. 2002). Schliesslich gibt es auch noch übergreifende Ereignisse und Einflüsse auf den Innovationsprozess wie etwa die konjunkturelle Entwicklung, demographische Trends, die Herausforderungen beim Klima- und Umweltschutz oder die Entwicklung der Energiepreise. Solche Faktoren werden der sogenannten Landschaftsebene zugeordnet.⁵

Das im Zentrum einer Untersuchung stehende technologische Innovationssystem kann darüber hinaus in Wechselwirkung zu konkurrierenden oder komplementären Innovationen bzw. Innovationssystemen. Im Fall der Photovoltaik könnte man etwa Technologien der zweiten Generation als konkurrierende Innovationen zu Solarzellen der ersten Generation auffassen. Gleichzeitig ergänzen und unterstützen sie sich aber auch in ihrer Konkurrenz gegenüber etablierten Formen der zentralen Stromerzeugung.

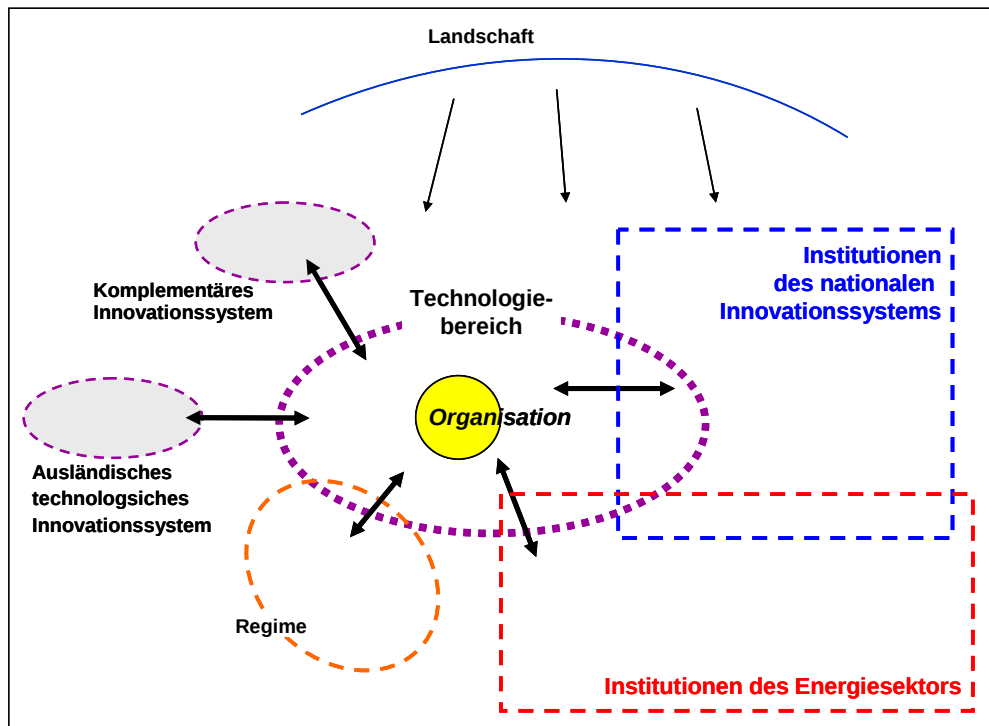


Abbildung 2: Konzeptioneller Rahmen der Analyse von Einflussfaktoren

Für die vorliegende Studie wurde das beschriebene Konzept ergänzt und differenziert im Hinblick auf die Interaktion mit Institutionen des nationalen Innovationssystems (etwa schweizerischer Nationalfonds (SNF) oder die Innovationsagentur KTI) und des Energiesektors (u.a. BFE Energieforschung, EnergieSchweiz, Energiepolitik), vgl. Abbildung 2. Die verschiedenen Fördereinrichtungen werden in Abschnitt 2.5 portraitiert.

⁵ Die Unterscheidung von Nischen, Regimes und Landschaftsebene basiert auf dem in Innovations- und Transitionsstudien etablierten Mehrebenen-Modell ('multi-level model', u.a. Geels 2002).

Es wurde eine nationale Abgrenzung vorgenommen, aber gleichzeitig die Schnittstelle zu internationalen Entwicklungen (etwa in Deutschland) explizit aufgezeigt und analysiert. Weiterhin ist zu beachten, dass man bei den nachfolgend betrachteten Produkten und Technologien nicht in jedem Fall von technologischen Innovationssystemen im engeren Sinne sprechen kann. So sind etwa die Innovationen im Bereich der Wärmepumpen-Tumbler eher als inkrementell einzustufen, was das eigentliche Produkt und seine Nutzung in Haushalt und Gewerbe angeht. Dementsprechend würde man hier eher von einem Technologie- oder Produktbereich und nicht von einem Innovationssystem sprechen.

2.4 Schweizer Innovationspolitik

Innovationsprozesse im Bereich von Energietechnologien werden auch von der Innovationspolitik tangiert. Die heutige Schweizer Innovationspolitik ist ein Ergebnis der Entwicklungen der letzten anderthalb Jahrzehnte. Ende der 1980er bzw. Anfang der 1990er Jahre wird die bis dato verfolgte Technologiepolitik konzeptionell in Richtung einer technologieorientierten Wirtschaftspolitik (wettbewerbsfreundliche marktwirtschaftliche Ordnung, hochstehende Forschungsinfrastruktur, leistungsfähiges Bildungssystem) entwickelt. Im Kern erteilt diese Politik in der Schweiz eine Absage an eine interventionistische staatliche Industriepolitik und begreift die staatliche Technologieförderung als subsidiär (vgl. Hotz-Hart et al. 2005, 3 f.). Das bedeutet, dass Förderungen auf prioritäre Gebiete gerichtet werden, in denen gute Umsetzungsperspektiven zu erwarten sind, die aber seitens der Privatwirtschaft etwa aufgrund eines zu hohen Risikos vernachlässigt werden (vgl. dazu etwa den Abschnitt zum BFE unter 2.5.2). Ein wesentliches Element dieser Politik ist die Förderung der Diffusion von Wissen. Damit gemeint ist der zügige, unbürokratische Fluss von neuem technologischem Wissen in regionalen Netzwerken, die sich aus Industrie, Hochschulen und Forschungsstätten zusammensetzen. Dabei fördert die Technologiepolitik die Umsetzung des neuen technologischen Wissens in Innovationen (vgl. Hotz-Hart et al. 2005, 6). Seit der Regierungs- und Verwaltungsreform 1997 wird diese technologieorientierte Wirtschaftspolitik konzeptionell und institutionell stärker in einem inhaltlichen Zusammenhang mit der schweizerischen Bildungs- und Forschungspolitik diskutiert und gesehen (vgl. dto., 8). Seit etwa 2002, verstärkt noch seit 2004, wird explizit von Innovationspolitik gesprochen. Während Innovationspolitik im weiteren Sinne einer innovationsorientierten Wirtschaftspolitik entspricht (einschliesslich Finanz- und Arbeitsmarktpolitik usw.), meint Innovationspolitik im engeren Sinne Politikmassnahmen in den Bereichen F+E, Bildung, Technologie, Unternehmertum und Massnahmen wie die Förderung innovationsorientierter Kooperationen und Netzwerke (vgl. dto. 11). Die heutige Innovationspolitik wird als explizite Weiterentwicklung der anfangs der 1990er Jahre konzipierten technologieorientierten Wirtschaftspolitik verstanden. Wie erwähnt umfasst die Innovationspolitik im engeren Sinne die Politiksparten Forschungs- und Bildungspolitik. In diesem Sinne ist die Energieforschungsförderung als Bestandteil der Innovationspolitik zu sehen. Die Aufmerksamkeit richtet sich dabei auf die Valorisierung des Wissens in erfolgreiche Produkte und Dienstleistungen (vgl. dto., 15). Dabei ist es in der Schweiz zentral, dass Innovationspolitik ‚bottom-up‘ und im Dialog mit Akteuren der Wirtschaft und des nationalen Innovationssystems entwickelt wird. Dies stellt sich exemplarisch bei der Förderagentur für Innovation (KTI) dar (vgl. 2.5.1).

2.5 Fördereinrichtungen im Bereich Energieforschung und Innovation

Die Planung und Koordination der öffentlich geförderten Energieforschung wird seit der Auflage des ersten Konzepts der Energieforschung in 1984 vom Bundesamt für Energie (BFE) wahrgenommen. Das BFE arbeitet dabei mit anderen öffentlichen Forschungsförderungsstellen zusammen. Dazu zählen der ETH-Rat, die Bundesämter für Bildung und Wissenschaft (BBW), für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), für Landwirtschaft (BLW), für Raumentwicklung (ARE), für Strassen (ASTRA), die Kommission für Technologie und Innovation (KTI), der Schweizerischen Nationalfonds (SNF) und die Energiefachstellen der Kantone. Zudem pflegt das BFE Kontakte zu verschiedenen Forschungsfonds der Energiewirtschaft wie swisselectric research (vormals PSEL), dem Forschungs- und Entwicklungsfonds der Schweizer Gaswirtschaft (FOGA) oder dem Forschungs- und Förderungsfonds der Erdöl-Vereinigung (FEV). Nach dem ETH-Rat ist das BFE der zweitgrösste Geldgeber in der Schweizer Energieforschung.

Das Energieforschungskonzept als solches wird von der Eidgenössischen Energieforschungskommission CORE, in der VertreterInnen aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik/Verwaltung sitzen, für einen Zeitraum von jeweils vier Jahren ausgearbeitet. Die öffentliche Förderung der Energieforschung kann weite Bereiche von Innovationsprozessen umfassen, von der orientierten Grundlagenforschung bis hin zur Markteinführung. Der Schwerpunkt liegt jedoch auf der angewandten Forschung, um Forschungsergebnisse in neue Produkte, Anlagen, Materialien oder Verfahren umzusetzen. Daher sind sowohl Forschungs- und Entwicklungsprojekte als auch Pilot- und Demonstrationsprojekte zentrale Teilbereiche der öffentlichen Energieforschungsförderung.

Während für die öffentliche Energieforschung Anfang der 1990er Jahre noch ca. 250 Mio. CHF pro Jahr eingesetzt wurden, bewegen sich die Mittel seit 1998 deutlich unter 200 Mio. CHF, wobei in 2005 mit 156 Mio. CHF ein Tiefststand erreicht wurde (vgl. BFE 2007, 10). Demgegenüber wendete die Privatwirtschaft im selben Jahr 740 Mio. CHF auf (vgl. BFE 2007, 26). Für die Zukunft schlägt die CORE vor, die Marke von 200 Mio. CHF wieder zu überschreiten.

Für die in dieser Studie betrachteten Innovationsprozesse sind verschiedene Fördereinrichtungen und Akteure relevant, die einerseits der nationalen Ebene und andererseits dem Energiesektor zugeordnet werden können.

2.5.1 Institutionen des nationalen Innovationssystems

Zu den zentralen Einrichtungen bzw. Akteuren des nationalen Innovationssystems zählen die Universitäten und Fachhochschulen, darunter insbesondere der ETH-Bereich, die Kantone, der schweizerische Nationalfonds (SNF) und die Förderagentur für Innovation (KTI). Sie alle befassen sich mit einer Vielzahl von Wissenschafts- bzw. Technologiebereichen, von denen i. d. R. nur ein kleiner Teil energie-relevant ist.

ETH-Rat

Der ETH-Rat vergibt etwa die Hälfte (2005: 51 %, 79,4 Mio. CHF) der öffentlichen Mittel für die Energieforschung. Diese Mittel verlassen den ETH-Bereich praktisch nicht und fliessen hauptsächlich an das Paul Scherrer Institut (PSI) (2005: 55 %, 44 Mio. CHF), die ETH Zürich (ETHZ) (2005: 12,5 %, 9,8 Mio. CHF) und Lausanne (EPFL) (2005: 27,5 %, 21,9 Mio. CHF) (vgl. BFE 2007, 13 f.). Der Löwenanteil der Mittel des ETH-Rats (Gesamtbudget 2005: 79,4 Mio. CHF) wird für Forschung in Kernenergie und effizienter Energienutzung verwendet (vgl. BFE 2007, 12).

Kantone

Die Kantone sind über die Universitäten, Fachhochschulen und durch die Unterstützung von P+D-Projekten ein weiterer wichtiger Akteur in der Energieforschung. Als Geldgeber stehen sie gemeinsam mit den Gemeinden an dritter Stelle (2005: 12 %, 18 Mio. CHF) nach dem ETH-Rat und dem BFE. Die Kantone sind vor allem für direkte Förderprogramme für erneuerbare Energien und rationelle Energienutzung zuständig und erhalten dafür globale Beiträge vom Bund (2006: 14 Mio. CHF, vgl. EnergieSchweiz, BFE 2007, 5). Die energetische Wirkung der kantonalen Energieförderprogramme (Budget 2006: 45,7 Mio. CHF) ist im Jahr 2006 deutlich gestiegen (vgl. UVEK 2007, 65).

KTI

Die Förderagentur für Innovation (KTI) hat ihren Anteil an der Energieforschungsförderung in den letzten Jahren steigern können, bleibt aber dennoch ein kleiner Player in der Energieforschung (2005: 4 %, 7,1 Mio. CHF). Die KTI verfolgt generell das Ziel, die technologische Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer Wirtschaft zu stärken, indem Unternehmen bei der Implementierung neuer Technologien und neuen Wissens gefördert werden. Dabei werden Ideen und Ansätze mit einem hohen Marktpotenzial, das kurz- bzw. mittelfristig erreichbar erscheint, unterstützt. Projekte gelten nach dem Förderprinzip der KTI dann als förderungswürdig, wenn ein gewinnorientierter Partner aus der Wirtschaft mit einer nicht gewinnorientierten Forschungseinrichtung gemeinsam an einem Wissens- und Technologietransfer arbeiten (vgl. Hotz-Hart et al. 2003, 118 ff.). Die Fördergelder der KTI fliessen dabei ausschliesslich an öffentliche Forschungseinrichtungen. Der Beitrag von Unternehmen hat sich aus eigenen Aufwendungen etwa in Form von Arbeitszeit eigener Mitarbeiter und einem Cash-Beitrag für den Partner aus der Forschungslandschaft zusammensetzen (vgl. Hotz-Hart et al. 2003, 119). Damit tragen Projektpartner aus der Privatwirtschaft (meistens mindestens) 50 % der Projektkosten (50/50-Regel). Für die an KTI-Projekten beteiligten privatwirtschaftlichen Unternehmen resultiert daraus der Anspruch auf Geheimhaltung der Forschungsergebnisse (vgl. BFE 2004, 17). In den letzten vier Jahren (2004-2007) verfügte die KTI insgesamt über ein jährliches Budget von 100 Mio. CHF. Mit diesem Budget muss die KTI zum Teil 40 % der nachgefragten Bundesbeiträge ablehnen (vgl. Hotz-Hart et al. 2003, 116). In Bezug auf die Energieforschung floss der Löwenanteil der KTI-Fördergelder im Jahr 2005 an die beiden ETHs und Fachhochschulen. Die Förderungsschwerpunkte der KTI sind folgend aufgeführt:

- Verstärkte Förderung von Firmengründungen und der Unternehmenskultur der Initiative KTI Start-up,
- Entwicklung der Bereiche Life Sciences, Mikro- und Nanotechnologien, Informations- und Kommunikationstechnologien,

- Ausweitung der Tätigkeiten im Bereich der internationalen Zusammenarbeit, unter anderem im Rahmen von ESA, EUREKA und IMS,
- Ausbau der Kompetenzen in anwendungsorientierter Forschung und Entwicklung an den Fachhochschulen,
- Förderung von risikoreicheren Projekten, sogenannten ‚Discovery Projects‘, die einen hohen Marktwert erwarten lassen und
- Sensibilisierung junger Leute für Wissenschaft und Technologie.

SNF

Die Förderbeiträge des Schweizerischen Nationalfonds in der Energieforschung sind in jüngster Vergangenheit leicht angestiegen (2005: 3 %). Finanzierung von qualitativ hochstehenden Einzelprojekten im Bereich der freien Grundlagenforschung innerhalb und ausserhalb der Hochschulen sowie Unterstützung wissenschaftlichen Nachwuchses sind der Kern (rund 5/6 des Budgets) der Forschungsförderung seitens des SNF (Gesamtbudget 2007: 460 Mio. CHF). Daneben fliesst etwa 1/6 des Budgets in die sogenannte orientierte Forschung (Nationale Forschungsprogramme und -schwerpunkte). In Bezug auf Energieforschungsprojekte werden nahezu ausschliesslich Aktivitäten an Universitäten und den beiden ETHs gefördert (vgl. BFE 2007, 13 f.).

SBF

Der Anteil des Staatssekretariats für Bildung und Forschung ist in den letzten Jahren deutlich zurückgegangen (2005: 5 %, vorherige Grössenordnung: 14 %). Hintergrund dieses Rückgangs ist, dass das SBF nur bis Ende 2003 die Teilnahme an EU-Projekten unterstützte.

Akademien der Wissenschaften Schweiz

Weitere Institutionen des nationalen Innovationssystems mit Relevanz für die nationale Energieforschung sind zwei der vier *Schweizerischen wissenschaftlichen Akademien* (SANW: Schweizerische Akademie der Naturwissenschaften, SATW: Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften). Gemeinsam mit den Schweizerischen Akademien der Geistes- und Sozialwissenschaften (SAGW) sowie der Medizinischen Wissenschaften (SAMW) verfügten die SANW und die SATW 2007 über ein Budget von 23,8 Mio. CHF. Die vier Akademien verfolgen nachstehende Tätigkeiten: Brückenfunktion zwischen Wissenschaft und Gesellschaft, pflegen die Zusammenarbeit mit entsprechenden Institutionen des Auslandes und internationalen Organisationen, realisieren Studien und Untersuchungen zu Wissenschaft und Wissenschaftspolitik und unterstützen die Forschungstätigkeit durch den Betrieb von wissenschaftlichen Hilfsdiensten.

2.5.2 Institutionen des Energiesektors

Die nachfolgend portraitierten Fördereinrichtungen des Energiesektors beschäftigen sich im Gegensatz zu denen des nationalen Innovationssystems hauptsächlich oder ausschließlich mit der Unterstützung von Forschungs- und Innovationsvorhaben im Energiebereich. Zu ihnen zählen neben dem BFE das Programm EnergieSchweiz sowie die verschiedenen Förderfonds der Strom-, Gas- und Ölbranche. Von den Letztgenannten werden nachfolgend nur swisselectric research und der Stromsparfonds der Stadt Zürich stellvertretend vorgestellt.

BFE

Das BFE ist nach dem ETH-Rat der zweitgrösste Geldgeber in der Schweizer Energieforschung (2005: 17 %, 26,7 Mio. CHF). In den letzten Jahren ist der Anteil des BFE an den öffentlichen Aufwendungen für die Energieforschung von etwa 20 % auf 17 % zurückgegangen. Der Grund für diesen Rückgang liegt in den massiven Kürzungen der P+D-Mittel (von 13,4 Mio. CHF im Jahr 2002 auf 4,4 Mio. CHF 2005). Das BFE hat in der Mittelvergabe einen gewissen Spielraum und die Förderempfänger sind nicht festgelegt. Trotz der Tatsache, dass das BFE nur über ein Drittel des Budgets des ETH-Rats verfügt, sind die Aktivitäten des BFE für die Energieforschung aufgrund dessen zentral. Die Unterstützung des BFE erfolgt in dem Spektrum ‚orientierte Grundlagenforschung - angewandte Forschung – Markteinführung‘ nach dem Prinzip der Subsidiarität (das BFE fördert dort, wo Eigenmittel ganz oder teilweise fehlen). Grundsätzlich orientiert sich das BFE an bottom-up-Projektgesuchen. Das BFE versucht, mit seiner Forschungsförderung Lücken zu schliessen und unterstützt im Forschungsbereich dort, wo beispielsweise Hochschulinstitute oder Start-ups nicht durch andere Quellen gefördert werden oder es Einbrüche in der Unterstützung gibt. In der Regel ist die Förderung des BFE längerfristig angelegt. Auf diese Weise wird unter anderem versucht, regionale Kompetenzzentren (Beispiel: Photovoltaik am IMT der Universität Neuenburg) aufzubauen. Hier liegt ein wichtiger Unterschied zu einer Förderpolitik, die Gelder auf der Basis von Ausschreibungen alle 3-4 Jahre vergibt. Das BFE nutzt sein Forschungsbudget als Steuerungsinstrument. Generell ist es politisch gewollt, dass das BFE – sowie auch die KTI – eher kleine und mittelständische Unternehmen fördern. Das BFE hat darüber hinaus eine besondere Rolle, weil es seine Fördermittel auch an privatwirtschaftliche Akteure geben kann (2005: 42%). Weiterhin flossen 26 % des 2005er Budgets in den ETH-Bereich (PSI: 15 %, ETHZ: 6 %, EMPA: 3 %, EPFL: 2 %) und 13 % an Fachhochschulen. Die Energieforschungsförderung am BFE gliedert sich nach Technologien in 10 Fachbereiche. Für jeden der Bereiche gibt es einen internen Bereichsleiter und einen externen Programmleiter, die die verschiedenen Themen bzw. Projekte betreuen.

EnergieSchweiz

Zur Steigerung der Nachfrage nach Energieeffizienz und erneuerbaren Energien wurde 2001 das Programm EnergieSchweiz aufgesetzt. Enge Zusammenarbeit unterhält das Programm mit Agenturen wie beispielsweise die Energieagentur der Wirtschaft (EnAW), die Agentur für erneuerbare Energien und Energieeffizienz (AEE) oder die Agentur für Energieeffizienz (S.A.F.E.). Das Programm fördert die Umsetzung von Energieeffizienz und erneuerbarer Energien, von Vereinbarungen, Verbrauchszielwerten, Zertifikaten und Vorschriften und unterstützt darüber hinaus Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen und die Beratung. EnergieSchweiz arbeitete im Jahr 2006 mit einem Budget von 114 Mio. CHF, das sich aus Fördermitteln des Bundes, der Kantone und Aktivitäten der EnergieSchweiz-Partner zusammensetzt. Die energetischen Wirkungen (Einsparungen von Brenn-/Treibstoffen und Elektrizität sowie Substitution nicht-erneuerbarer durch erneuerbare Energieträger) des Programms sind im Vergleich zum Jahr 2005 um rund 26 % gestiegen (vgl. EnergieSchweiz, BFE 2007: 6. Jahresbericht EnergieSchweiz 2006/2007, 4).

swisselectric research

Dieser Fonds wird von den grossen schweizerischen Elektrizitätswerken bereitgestellt und zielt darauf ab, zur „Entwicklung innovativer Lösungen für eine ausreichende, sichere, preiswerte und umweltgerechte Stromversorgung“ beizutragen

(vgl. www.swisselectric-research.ch). Im Wesentlichen geht es um die Erforschung und Nutzbarmachung neuer Technologien, Prozesse und Verfahren sowie die Planung und Realisierung von Pilot- und Demonstrationsanlagen. Zudem werden auch Untersuchungen grundlegender Fragestellungen des Elektrizitätsmarkts finanziert. In der Regel werden zweijährige Projekte mit Beiträgen ab 100.000 CHF unterstützt. Der Anteil der Unterstützung soll maximal 60 % der Projektkosten ausmachen. swisselectric research fördert mit den Projekten wissenschaftliche Einrichtungen und Unternehmen.

Stromsparfonds Stadt Zürich

Der Stromsparfonds des Elektrizitätswerks der Stadt Zürich (ewz) ist ein Teil der Stadtverwaltung Zürich und dementsprechend politikbestimmt. Er hat den Auftrag, zur Reduzierung des Stadt Zürichers Stromverbrauchs beizutragen. Dem Stromsparfonds stehen jährlich 10 % des budgetierten ewz-Gewinns für seine Aktivitäten zur Verfügung. ewz bewegt sich mit seinem Umsatz im Bereich von 600 Mio. CHF. 2006 lag der ewz-Gewinn bei rund 62 Mio. CHF (vgl. ewz 2007, 34) und das Budget des Stromsparfonds damit bei rund 6 Mio. CHF. Die Förderung des ewz Stromsparfonds setzt oft marktseitig an. Gefördert werden etwa Anlagen, Geräte und Massnahmen, die den Elektrizitätsverbrauch mindern oder Strom aus erneuerbaren Energiequellen erzeugen, aber auch Analysen oder Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Bei der Auswahl von förderungswürdigen Technologien oder Projekten wird dem besonderen Interesse der Stadt Zürich Rechnung getragen. Die Förderung des ewz Stromsparfonds setzt dort an, wo Entwicklungen oder Investitionen ohne eine Unterstützung aufgrund mangelnder Wirtschaftlichkeit nicht stattfinden bzw. getätigt würden. Insofern ist die Förderphilosophie, Finanzierungslücken zu füllen. Gefördert werden schwerpunktmässig Objekte. Das ist ein klares Unterscheidungsmerkmal zu anderen Förderinstitutionen. Für Förderaktionen des Stromsparfonds werden ein Budget (z.B. 200.000 CHF) und ein Förderzeitraum (z.B. 3 Jahre) festgelegt. In dieser Zeit erhalten dann beispielsweise Private beim Kauf eines bestimmten Gerätes (z.B. Kühlschränke A++) einen Förderbetrag aus dem für die Aktion definierten Budget. Photovoltaikanlagen unterstützt der Stromsparfonds beispielsweise mit fest gelegten Beiträgen von 2.000 CHF pro kWp.

2.5.3 Zusammenspiel der Institutionen in Innovationsprozessen

Die verschiedenen Fördereinrichtungen wirken auf unterschiedliche Weise zusammen. Einige spielen beispielsweise eher in frühen Innovationsphasen eine Rolle, andere sind wichtiger, wenn es um die Markteinführung von neuen Technologien geht. Nachfolgend wurde eine grobe Zuordnung von Fördereinrichtungen und Innovationsphasen (Grundlagenforschung, Angewandte Forschung, Prototypen und Pilotanlagen, Markteinführung, Diffusion)⁶ vorgenommen. Abbildung 3 zeigt schematisch die jeweiligen Verortungen der verschiedenen Institutionen. Zu den Institutionen, die fast ausschliesslich im Bereich der Grundlagenforschung tätig sind, zählen der SNF und die beiden erwähnten Akademien der Wissenschaften Schweiz. Die KTI baut von ihrer Verortung her eine Brücke zwischen angewandter Forschung und Markteinführung. Die Förderung des BFE deckt die beiden

⁶ Es ist zu beachten, dass die hier vorgenommene Unterscheidung und Anordnung von Innovationsphasen nicht impliziert, dass Innovationsprozesse linear die verschiedenen Phasen durchlaufen, vgl. auch Abschnitt 2.3.

Bereiche der Forschung ab und reicht z.T. auch in den Bereich der Prototypen und Pilotanlagen.

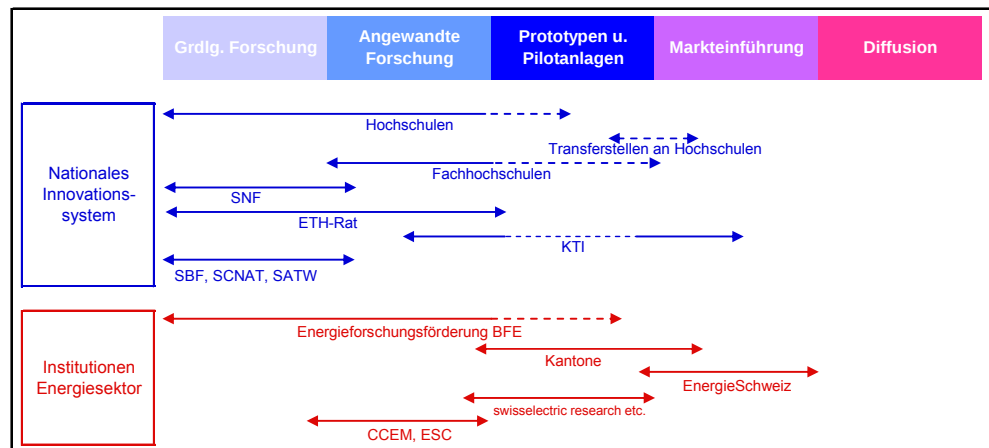
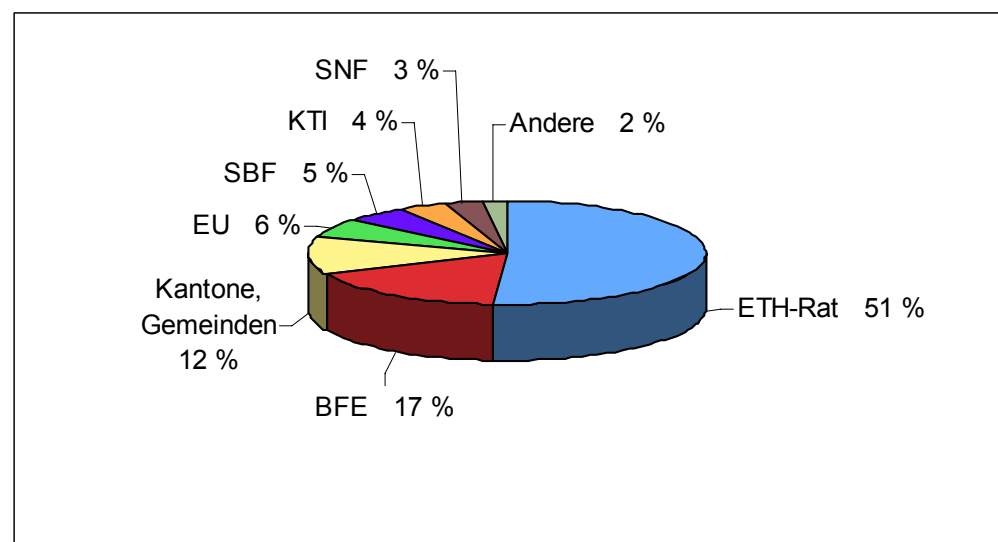


Abbildung 3: Fördereinrichtungen für Innovationsprozesse im Energiebereich und ihre Schwerpunkte in den verschiedenen Innovationsphasen

Was aus Abbildung 3 nicht hervorgeht ist die relative Bedeutung der verschiedenen Einrichtungen für Innovationsprozesse im Energiebereich. Betrachtet man Abbildung 4 so wird deutlich, dass insbesondere der ETH-Bereich und auch das BFE sehr zentrale Institutionen für die Energieforschung sind gemessen am Umfang ihres Budgets. In den nachfolgenden Fallstudien spielt jeweils das *BFE* eine zentrale Rolle (vgl. Abschnitt 3.3), aber auch die KTI nimmt generell als explizite Förderinstitution für Innovationen eine wichtige Rolle ein. Die Koordination zwischen BFE und der KTI wurde vor allem in den letzten Jahren deutlich verbessert. Zum einen gibt es am BFE eine Kontaktperson, die zwischen BFE und KTI wirkt. Zum anderen sitzt ein Vertreter des BFE in der KTI-Kommission, in der über Projektanträge entschieden wird. Schliesslich holt die KTI auch bei entsprechenden Projekteingaben die Expertenmeinung der BFE Bereichsleiter ein.



Quelle: BFE 2007, 11 f.

Abbildung 4: Herkunft der öffentlichen Mittel für die Energieforschung 2005

3. Methodik der Fallstudienanalyse

Die beiden Hauptteile der Studie, die fallstudienbasierte Analyse sowie die Entwicklung von Indikatoren, sind methodisch ganz unterschiedlich gelagert. Bei den Fallstudien ging es darum, zunächst zu definieren, auf welcher Ebene die Fälle angesiedelt werden sollen (Technologiebereich, einzelne Unternehmen bzw. Innovationsprozesse), dann eine Auswahl der Fälle zu treffen, die Analysen durchzuführen und schliesslich die Fälle auszuwerten - einzeln, aber auch im Quervergleich. Bezüglich der Indikatorik waren zunächst Ziele für den Einsatz eines Indikatoren-Sets festzulegen. In einem zweiten Schritt erfolgte eine Zusammenstellung potenziell geeigneter Indikatoren und Kennzahlen, welche anschliessend nach verschiedenen Kriterien bewertet und auf eine handhabbare Anzahl von Indikatoren reduziert wurde.

Nachfolgend wird das methodische Vorgehen für die fallstudienbasierte Analyse dargelegt. Die methodischen Ausführungen zum vorgestellten Set an Indikatoren und Kennzahlen finden sich in Kapitel 5.

3.1 Was ist ein Fall?

Im Zentrum steht bei jedem Fall ein *Innovationsprozess*, d.h. die Entwicklung einer neuen Technologie oder eines neuen Produkts bis zur Markteinführung. Gleichzeitig geht es in jedem der Fälle um ein *Unternehmen*, das die Federführung innehat. Das Unternehmen steht typischerweise in Verbindung mit zahlreichen weiteren Akteuren, die am Innovationsprozess beteiligt sind. Das können etwa Forschungsgruppen an Hochschulen oder andere Firmen (z. B. Zulieferer) sein. Das bedeutet, dass in jeder Fallstudie mehrere Akteure in unterschiedlichen Rollen zusammengepielt haben.

In jedem der Fälle wurden verschiedene, am Kernprozess beteiligte Akteure separat befragt, um so ein erstes Gesamtbild des Innovationsprozesses aus unterschiedlichen Blickwinkeln zu erhalten. Dieses wurde ergänzt durch die Auswertung zahlreicher Fachartikel, Dokumente und Informationen von den Webseiten der beteiligten Unternehmen. Darüber hinaus wurden zahlreiche Gespräche mit den Bereichs- und Programmleitern des BFE und einzelne Gespräche mit Verantwortlichen der KTI geführt.

Bei jedem Fall werden entsprechend des theoretischen Konzepts verschiedene Ebenen betrachtet, auf denen fördernde bzw. hemmende Einflussfaktoren anzusiedeln sind. Auf der untersten (Mikro-) Ebene, der Organisationsebene, steht das federführende Unternehmen oder - in einer frühen Innovationsphase - auch eine Forschungsgruppe an einer Hochschule. Darüber hinaus spielen sowohl die Einrichtungen des nationalen und sektoralen Innovationssystems (BFE, KTI, Hochschulen⁷) wie auch die Besonderheiten des jeweiligen technologischen Innovati-

⁷ Die Hochschulen sind einerseits Teil des (allgemeinen) nationalen Innovationssystems, andererseits aber auch unmittelbare Innovationsakteure in den Fallstudien. Hier haben wir eine analytische Trennung wie folgt vorgenommen: Faktoren, die eher generell für das Hochschulsystem gelten, werden der Ebene des Innovationssystems (IS) zugeordnet, während Faktoren, die uns eher individuell und fallspezifisch erschienen (etwa interne Dynamik einer Forschungsgruppe) der Organisationsebene zugeordnet wurden.

onssysteme eine Rolle. Die Faktoren mit Bezug zu den verschiedenen Abgrenzungen von Innovationssystemen (national, sektoral, technologisch) werden in der Kategorie Innovationssystem zusammengefasst. Schliesslich gibt es Faktoren im weiteren Umfeld, wozu Faktoren auf der Sektor- und auf der Landschaftsebene sowie aus ergänzenden bzw. konkurrierenden technologischen Innovationssystemen (z.B. technologisches Innovationssystem Photovoltaik in Deutschland) gezählt werden.

3.2 Fallstudien in der Übersicht

Insgesamt wurden zehn Fälle in fünf verschiedenen Technologiebereichen untersucht.

Tabelle 1: Kurzbeschreibung der zehn Fallstudien

Fallstudie	Technologiebereich	Beschreibung
Flexcell	Photovoltaik	Produktion von flexiblen Dünnschicht-Solarzellen aus amorphem Silizium
Oerlikon Solar		Herstellung von Produktionsanlagen zur Fertigung von amorphen und mikromorphen Dünnschicht-Solarzellen
SolarMax		Herstellung von Solar-Wechselrichtern
SwissMotor	WKK / Verbrennung	Entwicklung und Fertigung eines sehr schadstoffarmen Gasmotors für Blockheizkraftwerke (Wärme-Kraft-Kopplung WKK)
Schulthess WPT	Wärmepumpen / Haushaltsgeräte	Herstellung und Vertrieb eines energieeffizienten Trommelwäschetrockners mit integrierter Wärmepumpe (Wärmepumpen-Tumbler WPT)
V-Zug WPT		Herstellung und Vertrieb eines energieeffizienten Trommelwäschetrockners mit aufgesetzter Wärmepumpe (Wärmepumpen-Tumbler WPT)
Drivetek	Umrichter	Entwicklung und Systemengineering von Umrichteranlagen
Vivatec		Entwicklung und Systemengineering von Umrichteranlagen
Pyroforce	Holzvergasung	Entwicklung, Engineering und Bau von kleineren und dezentralen Holzvergasungsanlagen im kleineren Leistungsbereich
Dasagren		Entwicklung und Systemintegration von Vergasungsanlagen für Holz, insbesondere Gasreinigungskomponenten

Der Innovationsprozess kann grob in *fünf Phasen* eingeteilt werden: Grundlagenforschung, angewandte Forschung, Entwicklung von Prototypen oder Pilotanlagen, Markteinführung sowie breitere Marktdiffusion.⁸ Dabei ist zu beachten, dass eine

⁸ Grundlagenforschung: Erkennen der grundlegenden Zusammenhänge; angewandte Forschung: anwendungsorientierte Umsetzung der Grundlagenerkenntnisse (Laboranlagen) und problemlösungsorientierte Forschung; Prototypen und Pilotanlagen: Entwicklung erster praxistauglicher Produkte oder Anlagen (etwa: Aufskalierung von Labormassstab); Markteinführung: Vermarktung der Produkte oder Anlagen in kleinen Stückzahlen; Diffusion: Serienproduktion und Vermarktung in großen Stückzahlen.

solche Einteilung eine Abstrahierung darstellt, weil es z. T. deutliche Überschneidungen gibt, etwa wenn für ein bereits eingeführtes Produkt weiterhin Forschung und Entwicklung betrieben wird zur Verbesserung. Die aufgrund dieser Phaseneinteilung vermittelte Linearität eines Innovationsprozesses ist insofern lediglich eine Vereinfachung, um die Analyse des Prozesses für die Zielsetzung dieser Studie handhabbar zu machen.

Die hier untersuchten Fälle unterscheiden sich darin, wie weit der Innovationsprozess fortgeschritten ist, vgl. Abbildung 5. Einige Prozesse - etwa im Bereich Holzvergasung - stehen noch vor der Markteinführung, d.h. wir würden hier nicht von Innovationen im engeren Sinne sprechen, andere Produkte sind bereits seit einigen Jahren auf dem Markt etabliert (Beispiel Wechselrichter Solarmax, Wärmepumpen-Tumbler). Ein anderer wesentlicher Unterschied ist die Dauer des Innovationsprozesses. Diese hängt u.a. davon ab, ob es sich um eine sehr wissensintensive, grundlegende Neuentwicklung einer Technologie handelt (Beispiel: Dünnschichtzellen-Solarzellen Flexcell) oder um die Übertragung bzw. Kombination bekannter Technologien zu einem neuen Produkt (Beispiele: Solarwechselrichter SolarMax, Wärmepumpen-Tumbler).

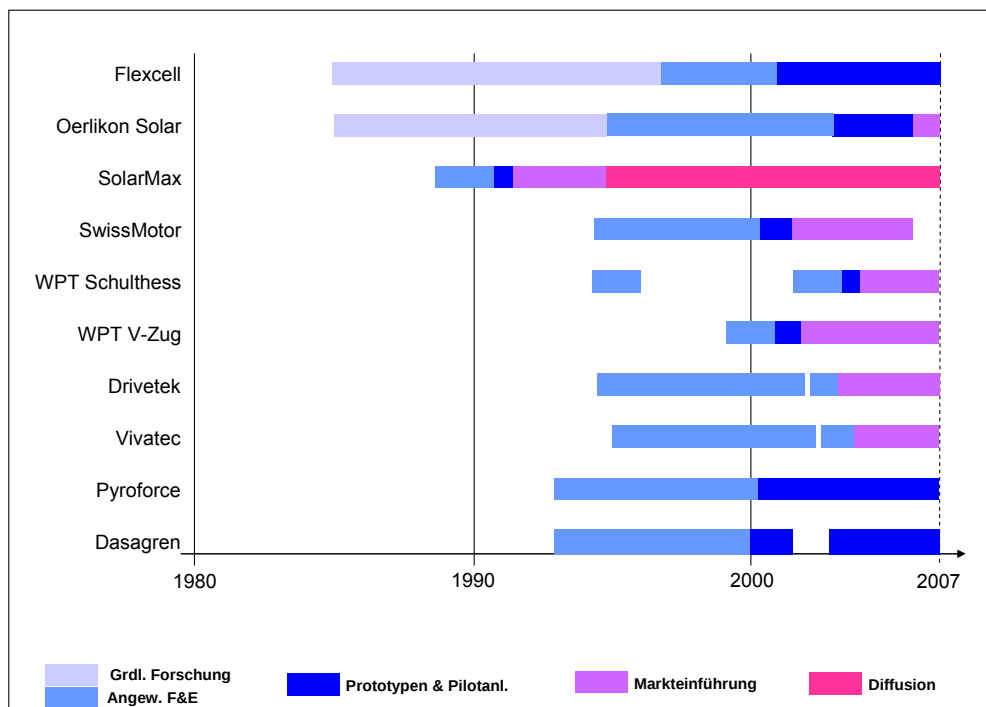


Abbildung 5: Hauptphasen der Innovationsprozesse im Überblick

3.3 Wie fand die Auswahl statt?

Die Auswahl der einzelnen Fallstudien erfolgte aufgrund einer Reihe von Auswahlkriterien, die in Absprache mit dem BFE festgelegt wurden. Ein erstes Ziel der Auswahl war es, eine möglichst hohe Eignung der Fälle in Bezug auf die Fragestellung sicherzustellen. Dazu wurden folgende Kriterien herangezogen:

- Die ausgewählten Innovationen sollten am Markt eingeführt sein bzw. kurz davor stehen.

- Die Fallstudien sollten durch eine ausgeprägte Technologiekomponente gekennzeichnet sein, d.h. der Fokus soll eher auf 'high-tech'-Innovationen liegen, weil davon ausgegangen wird, dass insbesondere in diesen Fällen Forschung und Entwicklung sowie die Zusammenarbeit mit Hochschulen eine wichtige Rolle spielen.
- Es sind primär Fälle zu untersuchen, in denen der Innovationsprozess durch externe Fördergelder (insbesondere vom BFE) unterstützt wurde.

Ein zweites Ziel war es, eine gewisse Variation bei den Fällen zu erreichen, um das Spektrum unterschiedlicher Anforderungen an die Innovationsförderung abzubilden. Folgen Kriterien wurden gewählt:

- Es sollten verschiedene Technologiefelder abgedeckt werden und zwar sowohl im Bereich erneuerbare Energien wie auch im Bereich rationelle Energienutzung.
- Es sollten unterschiedliche Unternehmenstypen abgedeckt werden.
- Es sollten Erfolge wie auch Misserfolge betrachtet werden.
- Eine gewisse Variation bzgl. des Reifegrads der Entwicklung ist erwünscht und es können auch einzelne Fälle einbezogen werden, in denen die staatliche Förderung keine grosse Rolle gespielt hat.

Darüber hinaus spielten aber auch die persönliche Einschätzung der Bereichs- und Programmleiter („interessante Fälle“), die Verfügbarkeit von Informationen und insbesondere die Bereitschaft der Unternehmen, sich an der Studie zu beteiligen eine Rolle.

Die nachstehende Tabelle zeigt, wie sich das Sample der Fallstudien in Bezug auf die genannten Kriterien darstellt. Die verschiedenen Kriterien konnten überwiegend erfüllt werden. So zeigt sich etwa bezüglich der Technologiebereiche als auch in Bezug auf den Unternehmenstyp (Spin-off, KMU, etablierte Industrie) eine erfreulich breite Variation. Hinsichtlich der Förderung seitens BFE und der Zusammenarbeit mit Hochschulen zeigt sich allerdings ebenfalls eine grosse Spannweite, die so nicht beabsichtigt war. Darüber hinaus hat sich im Laufe des Auswahlprozesses eine Verschiebung zugunsten von Innovationsprozessen ergeben, die entweder bereits erfolgreich sind oder noch nicht abschliessend beurteilt werden können. Als Misserfolg (in Bezug auf den Absatz am Markt) kann heute nur der SwissMotor bezeichnet werden, obgleich rein technologisch die gesteckten Ziele voll erreicht wurden. In der Auswahl stechen darüber hinaus die beiden ersten Fälle im Technologiebereich Photovoltaik heraus, bei denen sowohl die technologische Komplexität als auch das Engagement von BFE und Hochschule(n) hoch war.

Tabelle 2: Übersicht Fallstudien und Auswahlkriterien

Fallstudie	Technologiebereich	Reifegrad Innovationsprozess	Innovations-typ / Komplexität	Bedeutung BFE-Förderung	Bedeutung Hochschule	Wirtschaftl. Erfolg
Flexcell	Photovoltaik (EE)	kurz vor Markteinführung	hoch	hoch	hoch	offen, eher ja
Oerlikon Solar		Markteinführung	hoch	hoch	hoch	ja
SolarMax		Diffusion	mittel	gering bis mittel	mittel	ja
SwissMotor	WKK (Effizienz)	abgebrochen (ehem. Markteinf.)	mittel bis hoch	mittel	hoch	nein
Schulthess	Wärmepumpen / Haushaltsgeräte (Effizienz)	Markteinführung	gering	gering	gering	nein, aber noch mgl.
V-Zug		Markteinführung	gering	gering	gering	nein, aber noch mgl.
Drivetek	Umrichter (Effizienz)	Markteinführung	mittel	keine	mittel	ja
Vivatec		Markteinführung	mittel	gering	gering	offen
Pyroforce	Holzvergasung (EE)	Prototypen & Pilotanlagen	mittel	mittel	gering	offen, eher ja
Dasagren		Prototypen & Pilotanlagen	mittel	gering bis mittel	gering	nein

3.4 Ablauf der Fallauswahl und Datenbasis

Die Fallstudienanalyse umfasst a) die Auswahlphase, b) die eigentliche Erhebung, c) eine erste Phase der Auswertung einschliesslich Validierung und d) eine zweite Auswertungsphase inklusive Quervergleich. Die nachfolgenden Grafiken stellen die verschiedenen Teilschritte der Analyse im Gesamtablauf dar.

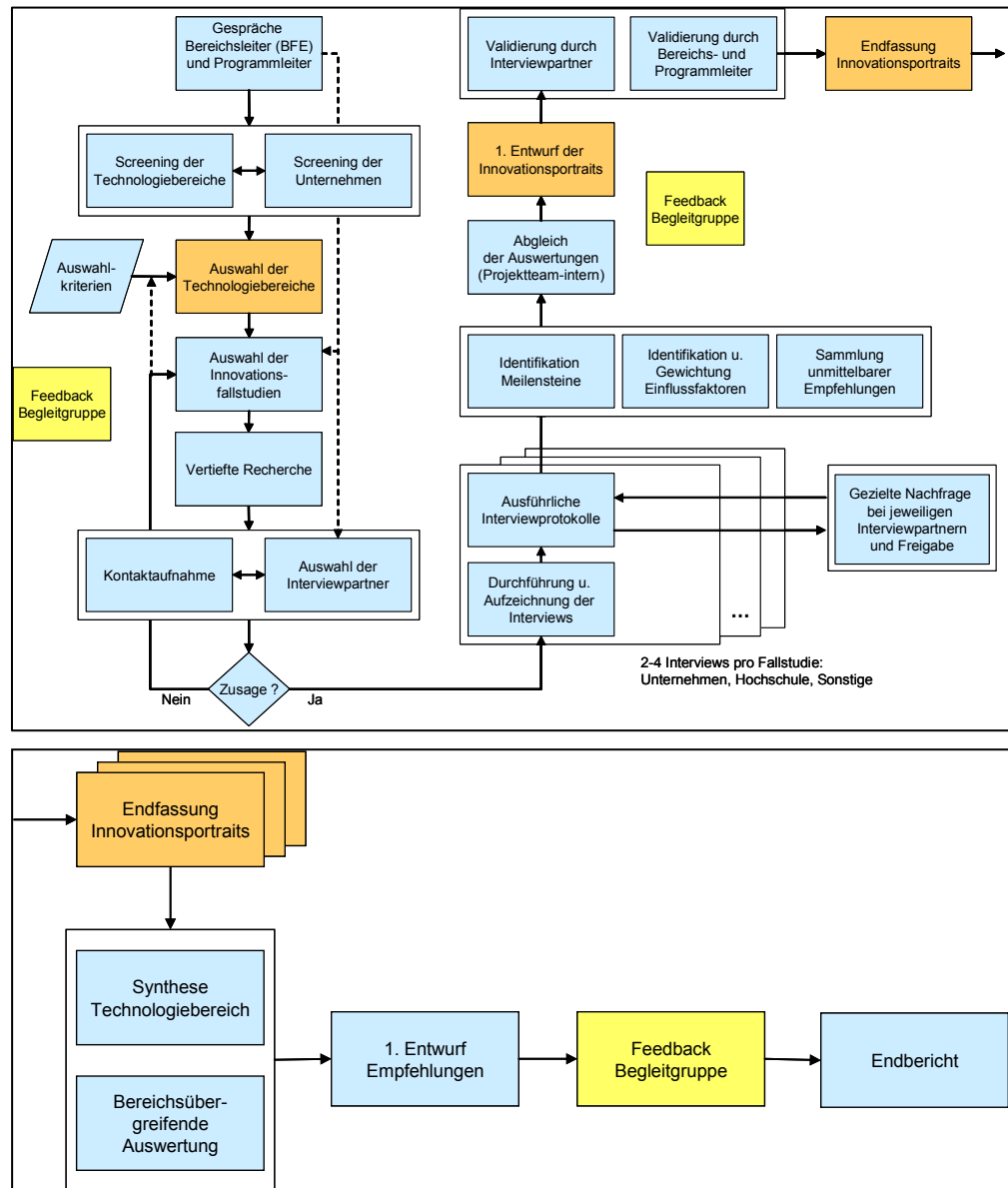


Abbildung 6: Ablaufschema Fallauswahl, Datenerhebung und Auswertung

Grundlage für die Auswahl der einbezogenen Technologiebereiche bzw. Fallstudien waren Interviews mit den Bereichs- bzw. Programmleitern des BFE. Als Datenbasis für die Fallstudien dienten in erster Linie Interviews mit den am Innovationsprozess Beteiligten sowie Gespräche mit den Bereichs- und Programmleitern. Insgesamt wurden 36 Interviews bzw. Gespräche geführt, vgl. Tabelle 3. Neben den Interviews dienten uns zahlreiche Fachartikel, Informationen aus dem Internet sowie die jährlichen Berichte des BFE zur Energieforschung als Datengrundlage.

Tabelle 3: Übersicht der Interviews

<i>Allgemein</i>	
KTI	1 Interview
<i>Technologiebereich Photovoltaik</i>	
BFE	3 Interviews
Flexcell	4 Interviews
Oerlikon Solar	4 Interviews
SolarMax	1 Interview
<i>Technologiebereich Wärme-Kraft-Kopplung</i>	
BFE	2 Interviews
SwissMotor	4 Interviews
<i>Technologiebereich Wärmepumpen / Haushaltsgeräte</i>	
BFE / ARENA	2 Interviews
Schulthess	1 Interview
V-Zug	1 Interview
Sonstige	2 Interviews
<i>Technologiebereich Umrichter</i>	
BFE	1 Interview
Expertengespräch	1 Interview
Drivetek	2 Interviews
Vivatec	1 Interview
<i>Technologiebereich Holzvergasung</i>	
BFE	2 Interviews
Pyroforce	2 Interviews
dasagren	3 Interviews

3.5 Vorgehen bei der Analyse der Innovationsprozesse und der Synthese der Erkenntnisse

Aus analytischen Gründen haben wir die untersuchten Innovationsprozesse folgendermassen strukturiert: Die gesammelten Daten zu den Innovationsprozessen wurden zunächst nach Meilensteinen durchleuchtet. Dabei unterscheiden wir zwischen technologischen Meilensteinen (z.B. ein wesentlicher Aufskalierungsschritt) und organisatorischen Meilensteinen (z.B. die Gründung eines Unternehmens). Mit diesen Meilensteinen konnten wir die Innovationsprozesse in ihrem Zeitverlauf in einem ersten Schritt strukturieren. Eine weitere Strukturierung der Prozesse haben wir vorgenommen, indem wir idealtypische Innovationsphasen definiert haben (vgl. Abschnitt 3.2).

Für die weitere Analyse, auch mit Blick auf das Hauptziel der vorliegenden Studie, war es zentral, die Sets an Faktoren, welche die jeweiligen Innovationsprozesse beeinflusst haben, zu identifizieren und zu definieren. Dabei haben wir die Vielzahl

der Einflussfaktoren unterteilt in Förder- und Hemmfaktoren und diese jeweils den Ebenen *Umfeld* (Landschaft; Regime; komplementäres, konkurrierendes und ausländisches TIS), *Technologiebereich und Innovationssystem* (nationales, sektoriales und technologisches Innovationssystem zusammengefasst) und Organisation (Unternehmen, Hochschule) zugeteilt.

Förder- und Hemmfaktoren legen generell dar, zu welchen Zeitpunkten Innovationsprozesse auf welche Weise positiv oder negativ beeinflusst wurden. Daraus ableiten lassen sich die potenziellen Anforderungen an eine Förderung. Für die 10 Innovationsprozesse haben wir eine Vielzahl von Einflussfaktoren identifiziert (20-40 pro Fall). Aus dieser Gesamtheit konnten wir die wichtigsten Förder- und Hemmfaktoren extrahieren. Diese Selektion war zum einen dadurch möglich, dass unsere Interviewpartner in den Interviews einige der Einflussfaktoren entsprechend gewichtet haben, und zum anderen über die Beschreibung und Analyse der Innovationsprozesse, in denen evident wurde, welche Faktoren besonders stark auf den Prozessverlauf gewirkt haben. Im Ergebnis führte das zur Definition von rund 55 zentralen Förder- und etwa 45 zentralen Hemmfaktoren.

Aus den zentralen Einflussfaktoren haben wir in einem Syntheseschritt eine Reihe von Ansatzpunkten kristallisiert, anhand derer Innovationsprozesse optimiert werden könnten. Die Ansatzpunkte unterteilen wir in Problemzonen und Erfolgsquellen in Innovationsprozessen. Während wir aus den zentralen Förderfaktoren die Erfolgsquellen kristallisiert haben, dienten die zentralen Hemmfaktoren im Wesentlichen dazu, wiederkehrende Problemzonen in Innovationsprozessen zu definieren. Zudem ziehen wir zur Formulierung dieser Ansatzpunkte auch Kontrafaktisches heran, das heisst, dass etwa auch eine nicht realisierte, aber potenziell sehr hilfreiche Förderung in unseren Überlegungen berücksichtigt wird – sofern dieser Aspekt nicht durch die identifizierten Hemmfaktoren abgedeckt ist.

4. Fallstudien

Kapitel 4 bildet den empirischen Kern der Studie. Es ist gegliedert nach Technologiebereichen und den jeweiligen Fallstudien. Jeder Technologiebereich wird zunächst mit einem kurzen Übersichtsabschnitt eingeführt, der auf die grundlegenden Technologieeigenschaften und die internationale Marktentwicklung in dem betreffenden Bereich eingeht. Gleichzeitig werden die Fallstudien innerhalb des Technologiefeldes verortet. Anschliessend folgen ebenfalls auf der Ebene des Technologiebereichs vertiefende Abschnitte zur Technologie selbst, zur Marktsituation und zur Strategie des BFE bzw. zum Förderumfeld. In den Bereichen Wärmepumpen-Tumbler, Umrichter und Holzvergasung wird darüber hinaus eine Erörterung zentraler, technologiespezifischer Einflussfaktoren vorgenommen.

Die einzelnen Fallstudien gliedern sich anschliessend in die Abschnitte *Kurzportrait*, *Meilensteine*, *Umfeld*, *Förderfaktoren*, *Hemmfaktoren*, sowie eine Zusammenfassung mit den Kernaspekten jedes Falls. Abschliessend wird unter der Überschrift ‚Haupterkenntnisse für die Innovationsförderung‘ eine erste Synthese auf der Ebene des jeweiligen Technologiebereichs vorgenommen.

Dem eiligen Leser empfehlen wir, sich jeweils auf die Einführung der Technologiebereiche sowie auf die Abschnitte ‚Kurzportrait‘ und ‚Kernaspekte‘ in den Fallstudien zu konzentrieren. Zusammen mit den ‚Haupterkenntnissen‘ (wieder auf der Ebene der Technologiebereiche) dürfte sich bereits ein gutes Bild zum Kern der einzelnen Innovationsprozesse ergeben.

Den folgenden Fallstudien liegt ein Informationsstand von Ende 2007 zugrunde.

4.1 Fallstudien im Überblick

Tabelle 4: Übersicht einiger Kenngrössen bei den Fallstudien

Fallstudie	Technologiebereich	Unternehmenstyp	Grösse Unternehmen	Gründungsjahr Geschäftsbereich (V: Vorgängerfirma)	Markteinführung (geplant)
Flexcell	Photovoltaik (EE)	KMU, Spin-off aus HS	klein / mittel	2000	(2008)
Oerlikon Solar		Industrie, etabliert	gross	2003	2006
SolarMax		KMU, Spin-off aus HS	mittel	1991	1992
SwissMotor	WKK (Effizienz)	KMU	klein / mittel	1998	2002-2006
Schulthess	Wärmepumpen / Haushaltsgeräte (Effizienz)	Industrie, etabliert	mittel / gross	1904	2004
V-Zug		Industrie, etabliert	mittel / gross	1915	2002
Drivetek	Umrichter (Effizienz)	KMU, Spin-off aus HS	klein	2002	2004
Vivatec		KMU, Start-up	klein	2000 (V: 1995)	(2008)
Pyroforce	Holzvergasung (EE)	KMU, Spin-off a. Untern.	klein	1999 (V: 1974)	(2008)
Dasagren		KMU	klein	2003 (V: 1980er-Jahre)	(ursprüngl. 2008, evtl. in Konkurs)

Mit Blick auf die Unternehmen, die im Zentrum der Innovationsprozesse stehen oder standen, zeigt Tabelle 4, dass sowohl in Bezug auf den Unternehmenstyp (Spin-off, KMU, etablierte Industrie) als auch auf die Unternehmensgrösse ein breites Spektrum mit den Fallstudien getroffen wurde.⁹ In der gleichen Breite decken die untersuchten Fallstudien die Ausprägungen hinsichtlich der Technologiekomplexität ab (gering, mittel, hoch). Auch die Bedeutung der Förderung seitens des Bundesamtes für Energie zeigt unterschiedliche Ausprägungen.

Wie schon mit Übersicht zu den Innovationsphasen in Kapitel 3 gezeigt wurde, ist der Grossteil der in dieser Studie betrachteten Innovationsprozesse mehr oder weniger im Stadium der Markteinführung oder gar darüber hinaus. Lediglich in einem Fall, beim SwissMotor, brach der Prozess in der Markteinführungsphase ab.

Hinsichtlich der Frage, wie der Erfolg der untersuchten Innovationsprozesse zu beurteilen ist, zeigt sich, dass es sich in allen Fällen um technologisch erfolgreiche Innovationsprozesse handelt oder aber um Prozesse, bei denen der technologische Erfolg aufgrund gewisser Unsicherheit bzw. Offenheit der Prozesse noch nicht endgültig erreicht ist. Letzteren tendieren aber zu technologischem Erfolg als zu Technologie-Misserfolg. Demgegenüber ist ein wirtschaftlicher Erfolg der Innovationsprozesse in deutlich weniger Fällen erzielt worden, vgl. Abbildung 7.

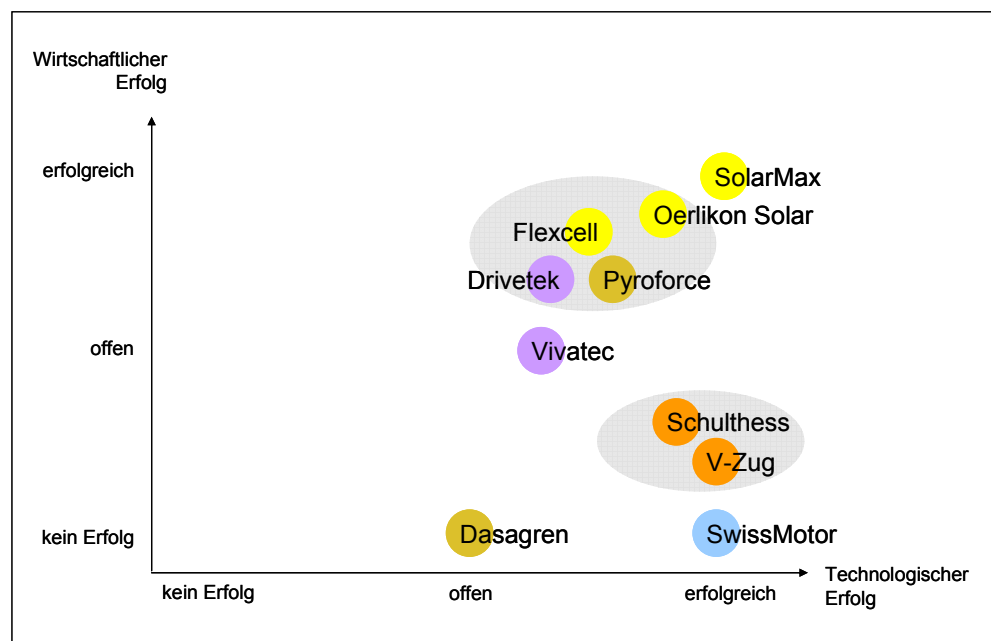


Abbildung 7: Technologischer und wirtschaftlicher Erfolg der untersuchten Innovationsprozesse

So findet sich eine Gruppe von Fällen (Schulthess, V-Zug, SwissMotor) bei/in dem Oval unten rechts (technologischer Erfolg hoch, wirtschaftlicher Erfolg gering). Einen Gegenpol zu dieser Gruppe bildet das Oval oben rechts. Bei dieser Gruppe (Oerlikon Solar, Flexcell, Drivetek, Pyroforce) ist eine Tendenz in Richtung technologischer und wirtschaftlicher Erfolg festzustellen. Für eine abschliessende Einschätzung ist es aber noch zu früh. Der Innovationsprozess von SolarMax ist seit vielen Jahren ein klarer wirtschaftlicher und technologischer Erfolg. Die noch verbleibenden Fälle sind unterschiedlich zu beurteilen. Bei Vivatec sind die Er-

⁹ Die Anzahl Mitarbeiter bezieht sich auf diejenigen, die unmittelbar am Innovationsprozess beteiligt sind bzw. in der betreffenden Sparte / Abteilung arbeiten. Im Fall der beiden Haushaltsgerätehersteller ist diese Zuordnung schwierig.

folgsaussichten noch relativ offen. Hier ist eine Tendenz in Richtung Erfolg auszumachen. Hingegen ist der Innovationsprozess Dasagren zum Zeitpunkt des Abschlusses dieser Studie zwar hinsichtlich der technologischen Entwicklung noch offen, aus wirtschaftlicher Sicht aber kein Erfolg.

Insgesamt ist diese Verortung jedoch eher eine ungefähre. Sie ist vor allem keine Grundlage für einen unmittelbaren Vergleich der Fälle, d.h. man kann sie nicht etwa so interpretieren, dass der SwissMotor ein grösserer technologischer Erfolg ist als Flexcell.

4.2 Technologiebereich Photovoltaik

Die Photovoltaik (PV) gehört aufgrund ihrer Potenziale zu den grossen technologischen Hoffnungsträgern im Bereich der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen. Ein wesentliches Hemmnis bei der Verbreitung ist, dass die Gesteungskosten immer noch deutlich über dem Niveau anderer regenerativer Energietechnologien bzw. etablierter Kraftwerkstechnologien liegen. Kostensenkungspotenziale werden sowohl in der fortschreitenden Massenproduktion gesehen als auch in der Entwicklung von kostengünstigen Solarzellen der zweiten Generation (Dünnschicht-Technologie). Der internationale Photovoltaikmarkt ist durch sehr hohe Wachstumsraten von 25-30% pro Jahr gekennzeichnet, welche nicht zuletzt auf energiepolitische Förderinstrumente (insbesondere Einspeisevergütungen) zurückzuführen sind. Technologisch wird die Photovoltaik von kristallinen Silizium-Zellen dominiert, aber Zellen auf der Basis verschiedener Dünnschichttechnologien gewinnen an Bedeutung.

Nachfolgend werden drei Innovationsprozesse vorgestellt. Zwei davon liegen im Bereich von Dünnschichttechnologien. Bei *Flexcell* geht es um die Herstellung biegsamer Photovoltaikmodule und bei *Oerlikon Solar* geht es um die Entwicklung von Anlagen zur Herstellung silizium-basierter Dünnschichtsolarzellen. Die dritte Fallstudie behandelt netzgekoppelte PV-Wechselrichter der Marke *SolarMax*, die von der Firma Sputnik produziert werden. Bei Flexcell steht der Innovationsprozess am Übergang zur Serienfertigung und damit kurz vor der Markteinführung. Bei Oerlikon Solar ist der Markteintritt im Bereich amorphe Silizium-Zellen bereits erfolgt, während man bei mikrokristallinen und mikromorphen Zellen noch in der Entwicklungsphase steht. Im Fall der Wechselrichter hingegen liegt die Markteinführung bereits viele Jahre zurück. Dort geht es um inkrementelle Verbesserungen des Produkts und es gibt einen zunehmenden Verdrängungswettbewerb unter den Wechselrichterherstellern.

Die ausgewählten Fallstudien haben eine unterschiedlich intensive Förderung seitens des Bundesamtes für Energie erfahren. Während die Dünnschichtphotovoltaik als Basistechnologie eine sehr umfangreiche Unterstützung erhielt, war die Entwicklung des Wechselrichters seinerzeit durch eine wesentliche geringere Förderung gekennzeichnet.

4.2.1 Beschreibung Technologie

Eine netzgekoppelte Anlage zur Erzeugung von Elektrizität aus Sonnenlicht besteht aus zwei wesentlichen Komponenten, dem Solarmodul, welches die eigentliche Stromerzeugungseinheit ist, und dem Wechselrichter, der den Strom so umwandelt, dass er in das bestehende Stromnetz eingespeist werden kann. Das Solarmodul besteht seinerseits wiederum aus einzelnen Solarzellen.

Bei der konventionellen kristallinen Solarzelle stellt eine etwa 0,3 mm dicke, aus hochreinem Silizium hergestellte Scheibe (Wafer) das Herzstück dar. Der Wafer sitzt zwischen den elektrischen Kontakten. Dagegen wird bei Dünnschichttechnologien Silizium oder ein anderes Halbleitermaterial in Form eines sehr dünnen Films (nur wenige Mikrometer) auf einem Trägermaterial (z.B. Glas oder Metall) abgeschieden. Damit verringert sich der Bedarf an Halbleitermaterial etwa um den Faktor 100. Vor dem Hintergrund der derzeitigen Knappheit von Reinstsilizium liegt hier ein wichtiger Vorteil der Dünnschichttechnologie. Zudem ermöglichen Dünnschicht-Abscheidungsverfahren die Beschichtung grosser Flächen. Dieser Punkt schlägt zugunsten niedriger Produktionskosten zu Buche. Ein Nachteil der ver-

schiedenen Dünnschicht-Technologien sind ihre geringen Wirkungsgrade im Bereich von 6-7%. Kristalline Solarzellen erreichen doppelt so hohe Wirkungsgrade.

Kristalline Solarzellen sind seit vielen Jahren am Markt eingeführt und technologisch weit fortgeschritten. Dennoch sind auch bei diesen konventionellen Zellen kontinuierliche Fortschritte etwa bzgl. einer Steigerung des Wirkungsgrads oder bei den Produktionstechnologien zu verzeichnen. Die Dünnschichttechnologien stehen demgegenüber erst am Beginn ihrer Markteinführung, ihr Anteil am Photovoltaikmarkt liegt derzeit noch unter 10%. Bis 2010 wird damit gerechnet, dass dieser Anteil auf 20 % steigt (vgl. Fawer 2007, 14).

Bei den Dünnschicht-Technologien werden verschiedene Typen unterschieden. Zum einen gibt es eine Gruppe, die wie konventionelle Solarzellen auf Silizium als Halbleitermaterial beruht. Amorphe (a-Si) Solarzellen haben keine regelmässige Atomstruktur, während mikrokristalline Zellen ($\mu\text{c-Si}$) aus kleinen Kristalliten bestehen. Mikromorphe Solarzellen, wie sie an der Uni Neuenburg entwickelt wurden, sind eine Kombination aus amorphem und mikrokristallinem Silizium. Die beiden Siliziumschichten dieser Tandemzelle nehmen jeweils unterschiedliche Wellenlängen des Sonnenlichtspektrums auf. Neben den siliziumbasierten Dünnschichtzellen gibt es Zelltechnologien basierend auf Kupfer, Indium, Gallium und Selen (CIGS) sowie Cadmium-Tellurid-Zellen (CdTe). Zudem gibt es diverse neuere Konzepte auf Farbstoff- bzw. organischen Basis.

Die technologische Verfahrensgrundlage für die silizium-basierte Dünnschichttechnologie ist ein Prozess zur Aufbringung einer dünnen Siliziumschicht (Plasma-Verfahren). Eine Variante der Plasmabeschichtung, das sogenannte VHF-Verfahren (Very High Frequency process), wurde Ende der 1980er im Labor des Instituts für Mikrotechnik, IMT, der Universität Neuenburg entwickelt und weltweit erstmals angewendet. 1987 wurde das Verfahren patentiert. Das VHF-Verfahren zeichnet sich durch hohe Plasmaanregungsfrequenzen aus (ca. 40 bis 200 MHz statt der Standardfrequenz von 13 MHz). Durch das VHF-Verfahren können kürzere Depositionszeiten infolge einer drei- bis fünfmal höheren Depositionsrate erzielt werden. Zudem erleichtert eine deutlich niedrigere Temperatur bei der so genannten PECVD-Abscheidung beispielsweise die Beschichtung von Trägermaterialien aus Kunststoff, welche ihrerseits aufgrund der Biegsamkeit eine Solarzellenherstellung in einem Roll-to-Roll-Prozess erlauben. Letzteres eröffnet ein Potenzial für hohe Produktionsleistungen.

Bei den Photovoltaik-Anwendungen können drei Hauptbereiche unterschieden werden. *Netzintegrierte Anlagen* zur Stromerzeugung speisen über einen Wechselrichter Strom in das öffentliche Stromnetz ein. Dabei sind dezentrale Anlagen im Bereich von einigen kW direkt bei Endkunden installiert (etwa auf dem Hausdach). Zunehmend werden aber auch PV-Grossanlagen in der Grösse von einigen Hundert Kilowatt oder sogar im Megawattbereich errichtet (etwa auf großen Industriedächern oder Freiflächen). *Inselanlagen* dienen gegenüber netzgekoppelten Anlagen der direkten Versorgung von Verbrauchern, welche nicht an das Stromnetz angeschlossen sind. Die Versorgung erfolgt in der Regel im Niederspannungsbereich und mit Gleichstrom. Typische Einsatzbereiche sind Beleuchtung, Kühlung, Telekommunikationsanlagen, Wasserpumpen, Wetterstationen etc. Schliesslich werden PV-Zellen auch im Bereich *Consumer electronics* eingesetzt, d.h. in Uhren, Radios, Taschenrechnern etc.

4.2.2 Internationaler Markt und Situation in der Schweiz

In der Schweiz gibt es eine ganze Reihe von Technologieentwicklungsfirmen, die im Bereich der Photovoltaik in unterschiedlichen Teilen der Wertschöpfungskette und in unterschiedlichen Technologiebereichen tätig sind, vgl. Abbildung 8. Viele dieser Unternehmen sind Zulieferer und in erster Linie auf den internationalen Markt, vor allem auf Deutschland ausgerichtet. Daher spielt die Markt- und Nachfragesituation in der Schweiz oftmals eine untergeordnete Rolle für die jeweiligen Entwicklungsprozesse. Dies gilt auch für die drei in den Fallstudien betrachteten Innovationen. Ohne den PV-Boom in Deutschland hätten sich die betreffenden Technologien bzw. Produkte sehr wahrscheinlich weniger weit entwickeln können.

Die weltweit führenden Produzenten von Solarzellen wie beispielsweise Sharp, Q-Cells, Kyocera oder Suntech sitzen in Japan, Deutschland und den USA. Diese drei Nationen dominieren auch hinsichtlich der installierten PV-Leistung. Während für das Jahr 2006 die insgesamt installierten PV-Leistungen in Deutschland auf 2.863 MW, in Japan auf 1.708 MW und in den USA auf 624 MW geschätzt werden, werden für die Schweiz ca. 30 MW installierte PV-Leistung verzeichnet (vgl. IEA 2007, 5). Das Weltmarktvolumen betrug 2006 18 Mrd. Schweizer Franken.

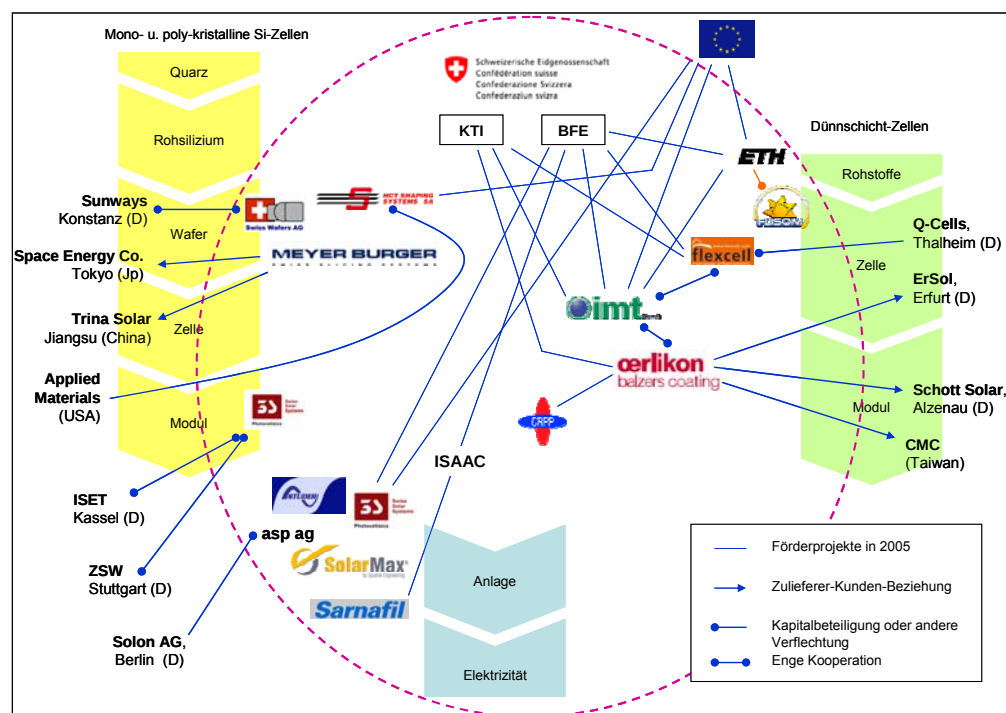


Abbildung 8: Überblick zu ausgewählten Technologieentwicklern und Netzwerken im Bereich Photovoltaik in der Schweiz

Für die internationale Marktentwicklung spielen seit Ende der 1990er Jahre vor allem Japan und Deutschland eine zentrale Rolle. Japan legte 2006 um 287 MWp neu installierter PV-Leistung zu und in Deutschland wuchs die PV-Leistung im selben Jahr sogar um 953 MWp (vgl. Fawer 2007, 15 f.). In den nächsten Jahren werden neue, stark wachsende Märkte für Photovoltaik vor allem in Spanien, China, Italien und Indien erwartet (vgl. Fawer 2006, 22).

4.2.3 Strategie BFE und Förderumfeld Schweiz

Der nationale Photovoltaikmarkt in der Schweiz wurde bislang nicht in der Weise durch Förderinstrumente gestützt wie etwa die beiden grössten Märkte in Deutschland und Japan oder auch florierende Märkte wie in Spanien und Italien (vgl. Fawer 2007, 15 ff.). In der Schweiz werden Photovoltaik-Anlagen derzeit vor allem im Kontext von Ökostromangeboten betrieben. In den kommenden Jahren ist aufgrund der geplanten Einführung einer Einspeisevergütung im Zuge der Revision der Energieverordnung (EnV) aber auch in der Schweiz mit einer deutlichen Zunahme geförderter PV-Anlagen zu rechnen.

Die Energieforschungsförderung in der Schweiz hat schon vor über 20 Jahren einen Schwerpunkt auf die Dünnschichttechnologie gelegt und dies bis heute beibehalten (siehe Abbildung 8). Grund für diese Schwerpunktsetzung war zum einen, dass in der Dünnschichtphotovoltaik ein grosses Potenzial gesehen wurde, während bei der herkömmlichen Technologie (kristallines Silizium) hinsichtlich der Kosteneinsparungspotenziale und Materialintensität die Grenzen des technologischen Fortschritts bereits absehbar schienen. Zum anderen gab es in der Schweiz keine Halbleiterindustrie oder Produktionskapazitäten für den Rohstoff Silizium.

In den 1990er Jahren wurde zudem die Förderstrategie verfolgt, Kostensenkungen in den Photovoltaikanlagen, d.h. bei Systemkomponenten wie Wechselrichtern oder im Bereich der Gebäudeintegration zu erreichen. Heute setzt die Forschungsförderung aber wieder stärker auf Forschungsaktivitäten im Bereich von neuen Basistechnologien (Zellen und Module). Ein Grund dafür ist, dass das Budget für Pilot- und Demonstrationsprojekte ab dem Jahr 2001 substantiell reduziert wurde und deshalb praxisnahe Projekte stark zurückgefahren werden mussten. Die finanzielle Förderung von Weiterentwicklungen am Ende der Wertschöpfungskette wurde mit anderen Worten deutlich reduziert, während für die Technologieförderung am Anfang der Wertschöpfungskette im Bereich Dünnschichttechnologien noch Gelder zur Verfügung stehen.

4.2.4 Fallstudie *Flexcell*

A) Kurzportrait

Im Mittelpunkt dieser Fallstudie steht die Entwicklung von Dünnschicht-Solarzellen auf flexibler Kunststoffolie (Produktname Flexcell). Flexcell-Solarzellen werden von der VHF-Technologies SA in Yverdon hergestellt. Das Unternehmen beschäftigt heute 35 Mitarbeiter und wurde in 2000 von drei Wissenschaftlern an der Ingenieursschule Le Locle als Spin-off gegründet. Das zugrundeliegende Know-how hat seinen Ursprung im Photovoltaik-Labor des Instituts für Mikrotechnik (IMT) der Universität Neuenburg. Der wichtigste Netzwerkpartner neben dem PV-Labor des IMT in Neuenburg ist die Ingenieursschule des Kantons Neuenburg in Le Locle. Im PV-Lab des IMT wurde ein Hochfrequenz-Abscheidungsverfahren entwickelt und patentiert, mit dem sich einzelne Schichten amorphen Siliziums auf das kostengünstige Trägermaterial Kunststoff aufbringen lassen. Dadurch sinken die Produktionskosten von Solarzellen substantiell. Aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften (dünn, leicht, unzerbrechlich, langlebig) erschliessen die Flexcell-Solarzellen zudem neue Anwendungsmöglichkeiten sowohl im Low-Power- (z.B. zusammenrollbares Ladegerät) als auch im High-Power-Bereich (z.B. PV-Modul-Integration in Fassadenkonstruktionen).

VHF-Technologies wurde im Jahr 2002 von der schweizerischen Förderagentur für Innovation (KTI) mit dem Qualitätslabel für Start-ups ausgezeichnet. Erste Produkte im Low-Power Bereich konnten 2003 am Markt eingeführt werden. In 2006 stieg der weltweit zweitgrösste Solarzellenherstellers Q-Cells bei VHF-Technologies mit 11 Mio. Franken ein. Mittlerweile wurde entschieden, eine Produktionsstätte (25 MW_p pro Jahr) in Yverdon zu bauen, nachdem diese nach ersten Planungen in Sachsen hätte errichtet werden sollen.

Neben einer intensiven und kontinuierlichen Förderung der Forschungsarbeiten seitens des BFE sind dem Innovationsprozess auch verschiedene projektbezogene Fördermittel (PSEL, KTI, BFE) zugute gekommen.

Die nachfolgende Analyse des Innovations- und Entwicklungsprozesses beruht zu wesentlichen Teilen auf Interviews mit D. Fischer (CTO VHF-Technologies SA, ehemals Wissenschaftler am IMT-PV-Lab), H. Keppner (Professor an der Ingenieursschule Le Locle, ehemals Oberassistent am IMT-PV-Lab) und A. Shah (ehemaliger Leiter des IMT und des IMT-PV-Labs). Die Interviews wurden in der ersten Jahreshälfte 2007 geführt. Der Informationsstand der Fallstudie ist Ende 2007.

B) Technologische Meilensteine

Technologisch gesehen beginnt der Flexcell-Innovationsprozess bereits Mitte der 1980er Jahre mit der Entwicklung eines Abscheidungsprozesses für amorphes Silizium an der Universität Neuenburg. Der erste technologische Meilenstein stellt sich Ende 1986 mit dem Very High Frequency-Verfahren (VHF-Verfahren, vgl. oben bei Technologie) ein. Mit der nunmehr fünffachen Rate lässt sich das amorphe Silizium bei 70 MHz aus der Plasmaphase auf ein Trägermaterial deponieren. [technologischer Meilenstein 1]

Während in Japan bei Fuji schon etwa 1991/92 erste flexible Solarmodule entstehen [Meilenstein 2, technologisches Umfeld], verfolgen Forscher am IMT, darunter insbesondere D. Fischer, seit etwa Mitte der 90er Jahre die Herstellung flexibler Solarzellen.

Ein weiterer wichtiger Meilenstein und Innovationsschub am IMT wird 1997/98 mit der erfolgreichen Abscheidung von amorphem Silizium auf einem Plastiksubstrat der Fläche 8 x 8 cm erreicht. [technologischer Meilenstein 3]

1999 erfolgt ein Upscaling auf eine Fläche von 30 x 30 cm. [technologischer Meilenstein 4]

Zu einem weiteren technologischen Durchbruch kommt es – bereits unter der Regie von VHF-Technologies – in 2001 mit der Inbetriebnahme einer ersten Kammer zur Folienbeschichtung. Im Gegensatz zu der bisherigen Beschichtung läuft das Trägermaterial von einer Rolle, amorphes Silizium wird darauf abgeschieden und die beschichtete Folie wird danach wieder aufgerollt (roll-to-roll-Prozess). Die Kammer hat eine Produktionskapazität von 30 kW pro Jahr. [technologischer Meilenstein 5]

Ebenfalls in 2001 werden die ersten flexiblen PV-Module für den Praxiseinsatz produziert. [technologischer Meilenstein 6]

In 2002 kommt es zu einem technologischen Rückschlag (negativer technologischer Meilenstein). Im Freien gehen Module kaputt, weil sich die Siliziumschicht vom Substrat ablöst. [technologischer Meilenstein 7]

Nachdem dieses Problem beseitigt ist, wird 2003 mit einem entrollbaren Ladegerät das erste, auf dem Markt erhältliche Produkt von VHF-Technologies lanciert. [technologischer Meilenstein 8]

Für die zweite Jahreshälfte 2007 ist ein weiterer Technologie-Meilenstein geplant. Dann soll der roll-to-roll-Prozess von einer Folienbreite von 30 cm auf eine Breite von 50 cm aufskaliert werden, um so in einer Anlage jährliche 7 MW Solarzellen zu fertigen. [technologischer Meilenstein 9]

C) Organisatorische Meilensteine

Die organisatorische Voraussetzung für den oben dargestellten technologischen Innovationsprozess ist zunächst die Berufung von A. Shah als Professor in Neuenburg 1979 und die Gründung des PV-Labs am Institut für Mikrotechnologie der Universität Neuenburg (IMT NE) im Jahre 1984/(85). [organisatorischer Meilenstein 1]

1988 kommt D. Fischer als Doktorand ans IMT. Er treibt nach seinem Doktorat aufgrund seiner eigenen Motivation und Präferenz für flexible Trägermaterialien die Entwicklung der Technologie voran und wird in der zweiten Hälfte der 1990er Jahre der zentrale Akteur für den Flexcell-Innovationsprozess am IMT. Meilensteincharakter hat seine Arbeit in einer von ihm geführten Forschungsgruppe. [organisatorischer Meilenstein 2]

1998 schliesst Fischer ein Zusatz-Studium 'Management of Technology' ab, bei dem er seinen zukünftigen Partner A. Closset kennen lernt. [organisatorischer Meilenstein 3]

Fischer, Closset und Torres (ehemaliger Mitarbeiter am IMT) ziehen in 2000 in Räumlichkeiten der Ingenieursschule in Le Locle und gründen dort das Unternehmen VHF-Technologies. [organisatorischer Meilenstein 4]

Ebenfalls in 2000 gelingt der Vertragsabschluss mit einem Business-Angel, der direkt ein Viertel des vereinbarten Risikokapitals bezahlt. [organisatorischer Meilenstein 5]

Nachdem weitere Zahlungen ausbleiben, wird ein neuer Kapitalgeber gesucht und 2001 mit der Richemont-Gruppe, einem Luxusgüter-Konzern, gefunden. Die Ansprüche des Business-Angels werden mit einem Management-Buyout abgelöst. [organisatorischer Meilenstein 6]

In der folgenden Zeit kommt es zu weiteren Verhandlungen und Gesprächen zwischen Vertretern von VHF-Technologies und Richemont. Die Verhandlungen laufen teilweise nicht reibungslos. Ein markantes Beispiel dafür stellt der Ausgang einer Investitionsplan-Sitzung mit Richemont am 11. September 2001 dar. Die Vertreter von Richemont erhalten während der Verhandlungen einen Anruf, dass es einen Anschlag auf das World Trade Center in New York gab und dass die Richemont-Gruppe mehrere Etagen verloren hätte. Richemont erbittet sich einen anderen Verhandlungstag und der Verhandlungsprozess verzögert sich um mehrere Monate. [organisatorischer Meilenstein 7]

Im Zeitraum von 2001 und 2002 kämpfen die Unternehmensgründer zudem mit internen organisatorischen Schwierigkeiten. Der neu dazu gestossene Direktor verlässt das Unternehmen nach kurzer Zeit wieder und die strukturellen Finanzierungsengpässe können nicht ausgeräumt werden. [organisatorischer Meilenstein 8]

In 2002 erhält VHF-Technologies nach einem mehrmonatigen Durchlauf von Evaluationen und Coachings das KTI-Start-up-Label, welches innovative Unternehmen mit realistischen Umsetzungsszenarien im Hightech-Bereich auszeichnet. [organisatorischer Meilenstein 9]

Zwischen Sommer 2003 und Sommer 2004 steckt VHF-Technologies in einer Talsohle und kann nahezu keinen originär unternehmerischen Umsatz generieren. 2004 bringen sich Richemont/Venfin (Venfin ist ein privates Beteiligungsunternehmen mit Sitz in Südafrika) nach einem zwischenzeitlichen Rückzug erneut mit einer Finanzierung in Höhe von 1 Mio. CHF ein. [organisatorischer Meilenstein 10]

Noch im gleichen Jahr entscheidet Richemont dann aber doch, die Zusammenarbeit mit VHF-Technologies zu beenden. Dies aufgrund der Erkenntnis, das technologische Feld der Photovoltaik zu wenig zu verstehen. [organisatorischer Meilenstein 11]

Als 2006 dann der zweitgrößte Solarzellenhersteller der Welt Q-Cells bei VHF-Technologies einsteigt, wird ein ausgesprochen wichtiger organisatorischer Meilenstein erreicht, mit dem sich die Chance auf einen endgültigen Durchbruch erhöht. [organisatorischer Meilenstein 12]

Im Herbst 2007 entscheidet VHF-Technologies gemeinsam mit Q-Cells, in Yverdon-les-Bains, dem Firmensitz von VHF-Technologies, eine 25 MW-Anlage zur Produktion von 500.000 qm Solarzellen pro Jahr bauen. Ursprünglich geplant war ein Werk mit mehreren Produktionslinien in der Größenordnung von 2 MW. Mit dieser Entscheidung werden im kommenden Jahr 80 neue Arbeitsplätze in der Schweiz geschaffen. Zudem nimmt Q-Cells seine Option wahr, den Anteil an VHF-Technologies auf 51 % zu erhöhen. [organisatorischer Meilenstein 13]

D) Umfeld Innovationsprozess Flexcell

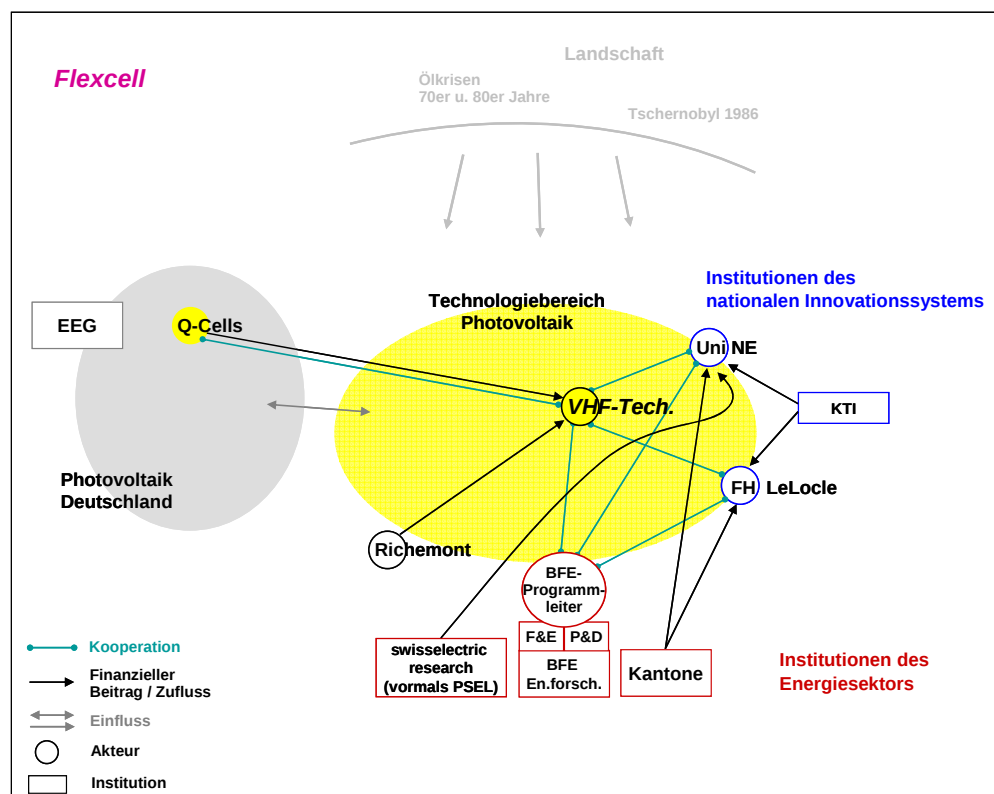


Abbildung 9: Zentrale Akteure und Institutionen für den Flexcell-Prozess

Am Innovationsprozess Flexcell waren, wie erwähnt, verschiedene Akteure massgeblich beteiligt, vgl. Abbildung 9. Dazu gehören die Universität Neuenburg und die Fachhochschule Le Locle, der Kapitalgeber Richemont und der Solarzellenhersteller Q-Cells. Darüber hinaus spielten das Bundesamt für Energie sowie die KTI eine wesentliche Rolle. Der PSEL Förderfonds bzw. swisselectric research ergänzte die beiden staatlichen Förderinstitutionen.

E) Förderfaktoren

Im Folgenden werden auf den Ebenen allgemeines Umfeld, Förderinstitutionen und Innovationssysteme sowie Organisation die für den Innovationsprozess förderlichen Faktoren aufgezeigt. Dabei wurden die Faktoren, die aus der Sicht der am Innovationsprozess Beteiligten besonders wichtig waren, in zeitlicher Reihenfolge nummeriert, vgl. hierzu auch die Abbildungen im Abschnitt 'Kernaspekte' am Ende der Fallstudie. Weitere Einflussfaktoren, die den Innovationsprozess ebenfalls positiv beeinflussten, aber nicht von zentraler Bedeutung waren, sind nachstehend ebenfalls aufgeführt.

- Umfeld und externe Investoren -

- **(8⁺) Q-Cells investiert in VHF-Technologies:** Wie schon bei den organisatorischen Meilensteinen angesprochen, investiert Q-Cells Mitte 2006 für den Lauf eines Jahres elf Millionen Franken in VHF-Technologies zur Industrialisierung der Flexcell-Technologie. Dieses Investment ist zentral für das Upscaling bei und das Wachstum von VHF-Technologies.
- **Wirkung des EEG in Deutschland auf europäischen Markt:** Als übergreifender Erfolgsfaktor für die europäische Photovoltaikindustrie wirkt seit 2001 vor allem das Erneuerbare-Energien-Gesetz in Deutschland. Von dem Marktschub profitieren auch die Zulieferer in der Schweiz.
- **Erhöhung des Budgets für Forschungsförderung aufgrund Umweltdiskussion Mitte 1980er:** Für die Dauer und das Mass der Förderung seitens des BFE ist massgeblich, dass infolge der Umweltdiskussion Mitte/Ende der 1980er Jahre (z.B. aufgrund Tschernobyl 1986) das Budget des Bundesamtes für Energie für die Energieforschung stark erhöht wird.

- Innovationssystem -

- **(1⁺) Kontinuierliche und punktuelle BFE-Förderung:** Das BFE fördert die Forschungsarbeiten am IMT einerseits kontinuierlich, andererseits aber auch mit projektbezogenen Fördergeldern, die - wie auch die Projektmittel der KTI - stärker punktuelle Wirkungen entfalten. Punktuelle Förderaspekte seitens des BFE sind etwa die Initiierung des IMT-PV-Labs und die Finanzierung des Patentes für den VHF-Prozess¹⁰. Der Zufluss dieser Mittel ist für den Innovationsprozess von zentraler Bedeutung
- **(3⁺) Förderprojekt PSEL:** Für die Erlangung des ersten technologischen Meilensteins 3, die Abscheidung von amorphem Silizium auf ein Plastiksubstrat (Technologieübertragung), stellt ein Förderprojekt des Projekt- und Studienfonds der Energiewirtschaft (PSEL) den entscheidenden Faktor dar [Förderung mit 150.000 CHF pro Jahr über 3 Jahre von 1996-1999].

¹⁰ Die PV-Gruppe am IMT ist weltweit die erste Gruppe, die auf Basis des VHF-Prozesses gute Solarzellen mit vernünftigen Wirkungsgraden macht.

- **(4⁺) KTI-Projekt mit Uhrenindustrie:** Weiterhin positiv beeinflusst wird der Prozess im Rahmen eines ‚artfremden‘ KTI-Projektes gemeinsam mit der Uhrenindustrie (EUREKA-Projekt Solinox). Dieses Projekt dient dazu, technologisch ein Upscaling zu erreichen (siehe technologischer Meilenstein 4).
- **(6⁺) Engagement von H. Keppner und Unterstützung der Ingenieursschule in Le Locle:** Das persönliche Engagement von H. Keppner, der seit 1998 Professor an der Ingenieursschule in Le Locle ist, hat einen wichtigen Einfluss auf den Innovationsprozess. Auf Initiative von H. Keppner hin ziehen die zukünftigen VHF-Technologies-Gründer in Räume der Schule, können dort in gewisser Masse die Infrastruktur nutzen und profitieren zum Teil auch von den Synergien zwischen Forschungsaktivitäten und der Lehre. Die Studierenden an der Schule erhalten etwa die Gelegenheit, Dinge wie beispielsweise die Abscheidung von amorphem Silizium praktisch miterleben. Im Gegenzug ergibt sich für VHF Technologies der Kontakt zu potenziellen Mitarbeitern.
- **(7⁺) Existenz rettende Wirkung von mehreren, kleineren KTI- und BFE-Projekten:** Mit von der KTI und dem BFE geförderten Projekten gelingt es VHF-Technologies, vor allem in den Jahren 2003 und 2004 zu überleben. Auch kleinere Mandate ergänzen den Finanzzufluss, so dass das junge Unternehmen gerade so der Insolvenz entgehen kann.
- **Wissens- und Erfahrungssammlung durch Forschungsaufenthalte:** Ein Faktor für die erfolgreiche Realisierung des VHF-Prozesses Ende 1986 sind unter anderem die Erfahrungen, die H. Curtins im Rahmen eines Post-Doc-Stipendiums vom Schweizer Nationalfonds für einen Forschungsaufenthalt in den USA machen kann. Zudem ist eine mehrmonatige Zusammenarbeit zwischen H. Curtins und Professor Veprek in Zürich entscheidend für den Aufbau der Hochfrequenz-Anregung.
- **Gute Unterstützung der BFE-Programmleitung:** Der Prozess wird an verschiedenen Stellen vom Programmleiter Photovoltaik des BFE unterstützt.

- Organisation -

- **(2⁺) Organisation Gruppenfinanzierung:** Für die erfolgreiche Arbeit der Dünnschichtgruppe am IMT ist elementar, dass es A. Shah immer wieder gelingt, die Finanzierung der Gruppe zu organisieren, die Gruppe damit über einen längeren Zeitraum zusammenzuhalten – sogar entgegen der Logik von Hochschulkarrieren.
- **(5⁺) Persönliches Engagement der VHF-Technologies-Initiatoren:** Die Initiatoren und Mitarbeiter von VHF-Technologies sind hoch motiviert und engagieren sich in einem Masse, in dem deutlich persönliche Grenzen erreicht oder gar überschritten werden. Dieses hohe Engagement ist für den Innovationsprozess von eminenter Wichtigkeit und verhindert den Abbruch des Prozesses.
- **Entschlossenheit Professor Shah:** Der Ausgangsfaktor, der zur Initiierung des Innovationsprozesses führt, ist die dezidierte Idee und das vehemente Engagement von A. Shah, sich für ein Photovoltaik-Labor einzusetzen. Die Motivation von A. Shah, eine Photovoltaik-Technologie aufzubauen, rührt im Wesentlichen daher, dass das Thema Energie in seinem Herkunftsland Indien seit der Ölkrise 1973 eine sehr wichtige Angelegenheit ist.
- **Winning Team:** Mit der kontinuierlichen Förderung auf einem soliden Niveau kommt am IMT ein ‚winning team‘ zusammen, in dem auch D. Fischer als eine der Schlüsselpersonen für den Flexcell-Prozess wirkt. Neben D. Fi-

scher ist für den Flexcell-Prozess am IMT im Besonderen H. Keppner in seiner Funktion als Oberassistent zentral. P. Torres, der später VHF-Technologies mit ausgründet, ist auch Wissenschaftler am IMT. Die stützende und anspruchsvolle Funktion des Kernteams ist ein tragendes Element für D. Fischer, länger am IMT zu bleiben, obwohl er schon 1988 mit der Neigung, Technologie umzusetzen, die Stelle in Neuenburg antritt. Die stabile Konstellation schafft eine gute Atmosphäre in der Gruppe, die Gruppe publiziert auf einem hohen Niveau, ist international angesehen und vernetzt.

- MoT-Abschluss von D. Fischer und Zusammentreffen mit A. Closset: Durch die Entscheidung von D. Fischer, 1998 eine Weiterbildung an der EPFL (MBA in Management of Technologie) zu machen, trifft er auf A. Closset, den heutigen CEO und Mitbegründer von VHF-Technologies SA. Dieses Zweierteam erweist sich über verschiedene Zusammensetzungen der Geschäftsführung hinweg als eine stabile und elementar wichtige Konstellation.

F) Hemmfaktoren

Der Flexcell-Innovationsprozess wird in seinem Verlauf aber auch zu unterschiedlichen Zeitpunkten und auf verschiedene Weise gebremst. Im Folgenden werden für die unterschiedlichen Ebenen die wesentlichen (mit einer roten Kennziffer versehen) und die ergänzenden hemmenden Einflussfaktoren beschrieben.

- Umfeld -

- (1) Art der Beteiligung von Kapitalgeber Richemont: Im Zusammenhang mit der ersten Investition von Richemont wirkt es sich als grosser Nachteil aus, dass Richemont seinen Geldzufluss über Wandelanleihen tätigt. Weil die Eigentümer von Wandelanleihen immer am längeren Hebel sind, und solange Anleihen vorhanden sind, keine weiteren Aktionäre und damit kein weiteres Geld reinkommen, zeigt sich diese Art der Beteiligung als blockierend.
- (3) Fehlendes Venture Capital und nachteiliges Investitionsklima: Eine Grundschwierigkeit nach der Gründung von VHF-Technologies bis zur Investition von Q-Cells ist die Beschaffung von Venturekapital. Gerade Ende der 1990er und Anfang der 2000er Jahre ist in der Schweiz kein guter Nährboden für Investitionen in Energietechnologien vorzufinden. Bei potenziellen Investoren mangelt es bezüglich Energiethemen an Interesse. In dieser Zeit fokussieren die Investoren auf die Felder der New Economy und das Venture Capital folgt dem Internethype. Dieses für die Photovoltaik nachteilige Investitionsklima wirkt sich auf den Innovationsprozess Flexcell deutlich verzögernd aus.
- (4) ROI-Logik Finanz- und Investitionssektor: Zudem sind die Horizonte von drei Jahren für Return on Investment (ROI) im Finanzsektor inkompatibel mit Photovoltaik-Technologie.
- Fehlende politische Unterstützung: Vor allem ab Mitte der 1990er Jahre fehlt für Solartechnologie die politische Unterstützung in der Schweiz. Die negative Volksabstimmung zum Solarrappen (1995) bzw. zur Förderabgabe für erneuerbare Energien (2000) ist dafür das prominenteste Beispiel.
- Nur eine Teilzahlung des ersten Businessangels: Der erste Businessangel von VHF-Technologies bezahlt lediglich die erste Tranche der versprochenen 1 Mio. Franken. Dass nach den ersten 250.000 CHF keine weiteren Zahlungen eingehen sorgt für Unruhe im Prozess. Bei VHF-Technologies

müssen wieder Ressourcen aufgewandt werden, um einen neuen Investor ausfindig zu machen.

- Abgebrochene Investitionsplansitzung und keine Entschlossenheit bei Investor: Wie schon oben erwähnt verläuft eine Investitionsplan-Sitzung mit Richemont am 11. September 2001 negativ. Zudem zeigt sich Richemont zwischen 2001 und 2003 hinsichtlich seiner Investitionen in Richtung Flex-cell unentschlossen und dem Engagement von Richemont fehlt die letzte Entschiedenheit.

- Innovationssystem -

- **(5)** Mangel an geeignet ausgebildeten Arbeitskräften: In einem späteren Stadium des Innovationsprozesses, zu einem Zeitpunkt als der Wachstumsprozess in Gang gebracht ist, erweist es sich aufgrund mangelnder Ausbildungsmöglichkeiten über entsprechende Studiengänge als sehr schwierig, geeignete Mitarbeiter (geeignete Absolventen) zur Fortführung des Innovationsprozesses zu finden.
- Hochschulausstattung: Neben der grundsätzlich sehr positiven Wirkung der BFE-Förderung in der zweiten Hälfte der 1980er Jahre und in den 1990er Jahren auf die Forschungsarbeiten am IMT, hätten die Forschungsaktivitäten am IMT, etwa nach der Entwicklung des VHF-Prozesses, mit der Möglichkeit, entsprechende Geräte anschaffen und den Prozess konsolidieren zu können, beschleunigt werden können. Das BFE sieht solche Anschaffungen nicht in seinem Zuständigkeitsbereich. Damit wirkt sich die (mangelnde) finanzielle Ausstattung der Universität Neuenburg hemmend auf den Innovationsprozess am IMT aus.
- Finanzierung Patente: Ein grundlegend offener Punkt im Zusammenhang mit Innovationsprozessen sind Finanzierungen von Patentanmeldungen. Auch im Zusammenhang mit den Arbeiten am IMT-PV-Lab oder an der Ingenieurschule Le Locle gibt es immer wieder die Frage, welche technologischen Entwicklungen patentwürdig seien und vor allem wie diese Patentierung zu finanzieren wären. Unabhängig von einem direkten Einfluss auf den Flexcell-Innovationsprozess beeinträchtigen solche Unsicherheiten die Technologieentwicklung an Hochschulen zu einem gewissen Grad.

- Organisation -

- **(2)** Verschiedene Faktoren bei VHF-Technologies:
 - Konstellation in der Führung von VHF-Technologies in 2001 und 2002 (drei Gründer sind einerseits im Verwaltungsrat sowie andererseits Aktionäre und Mitarbeiter unter damaligem CEO),
 - der zusätzliche CEO Barbal wird insofern zu früh geholt, als die Technologie noch nicht reif ist (Unzuverlässigkeit der Module),
 - weniger gute Basis zwischen CEO VHF-Technologies und dem zweiten Investor Richemont,
 - Unterschätzung der Schwierigkeiten bei technologischem Upscaling von kleinen auf grosse Flächen sowie
 - die persönlichen Fähigkeiten respektive Neigungen der Firmengründer: Ehemalige Wissenschaftler mit grossem Interesse an der Technologie sind plötzlich verpflichtet, reine Managementaufgaben zu übernehmen.

- IMT-interne Differenzen bezüglich Ausgründung: IMT-intern gibt es zu der Frage, wann und ob mit flexiblen Solarzellen eine Ausgründung stattfinden soll, unterschiedliche Meinungen und gewisse Differenzen.

G) Kernaspekte des Falls

Der Innovationsprozess Flexcell lässt sich in drei grosse Technologie-Phasen untergliedern. In der ersten Phase von Ende 1986 bis 1996 wird der Prozess zur Abscheidung von amorphem Silizium auf das Trägermaterial Glas initiiert, entwickelt und konsolidiert. Hier gilt es anzumerken, dass diese Phase nicht ausschliesslich dem Flexcell-Innovationsprozess zuzuschreiben, sondern auch als generelle Technologieentwicklungsphase am IMT zu verstehen ist. Ab Mitte der 1990er Jahre bis 1999 findet die Übertragung der a-Si-Technologie mit dem am IMT entwickelten VHF-Verfahren auf ein flexibles Trägermaterial statt. Ab dem Jahr 2000, dem Gründungsjahr von VHF-Technologies, schliesst sich eine Phase der Technologiediversifizierung (verschiedene Low-Power-Anwendungen, Vorbereitung auf High-Power-Anwendung) und des Upscalings an.

Massgeblich *förderlich* für den Innovationsprozess (siehe Abbildung 10) waren die kontinuierliche BFE-Förderung der Arbeiten am IMT (1⁺), einzelne Förderprojekte mit spezifischer Ausrichtung Richtung flexiblem Substrat (PSEL, KTI) (3⁺, 4⁺), die Unterstützung der Ingenieursschule in Le Locle (6⁺) und eine Reihe von kleineren KTI- und BFE-Projekten während einer für VHF-Technologies schwierigen Phase mangelnden Finanzzuflusses (7⁺). Auf der organisatorischen Ebene war zur IMT-Zeit wichtig, dass es immer wieder gelang, die Finanzierung der Forschungsgruppe zu organisieren (2⁺), und später der persönlich sehr weit reichende Einsatz der Initiatoren von VHF-Technologies (5⁺). Aus dem Bereich des Umfelds kam für den Innovationsprozess der wichtigste Beitrag mit der Investition von Q-Cells bei VHF-Technologies (8⁺).

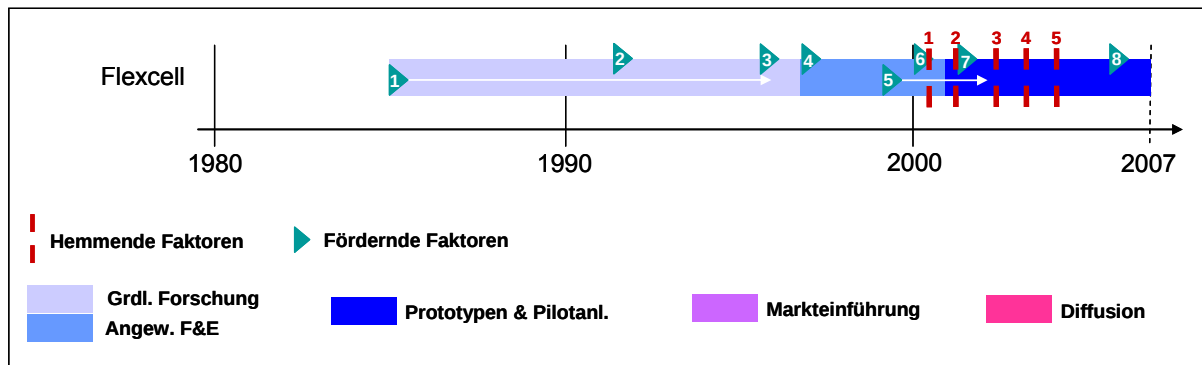


Abbildung 10: Innovationsphasen und zentrale Einflussfaktoren des Innovationsprozesses Flexcell im Überblick

Der vorliegende Fall ist u.a. durch die Herausforderung geprägt, wann und wie der Übergang von der Hochschule zur privatwirtschaftlichen Unternehmung am besten zu gestalten ist. Konkret geht es bei Flexcell u.a. um das für die industrielle Anwendung erforderliche technologische Upscaling, welches mit einem hohen Kapitalbedarf einhergeht, ohne dass gleichzeitig schon wesentliche Einkünfte erzielt werden. Entsprechend schwierig stellt sich die Zeit ab Ende 2001 dar, in der verschiedene Faktoren negativ auf den Entwicklungsprozess wirken, wodurch sich das Upscaling um 2-3 Jahre verzögert. Zum einen gibt es interne Organisationschwierigkeiten (2-). Zum anderen gelingt es bis 2006 nicht, einen kontinuierlichen und für das Upscaling ausreichenden Kapitalzufluss sicherzustellen, was unter

anderem an einem nachteiligen Investitionsklima (3-), der Investitionslogik des Finanzsektors (4-) und der Beteiligungsart (Wandelanleihen) des Kapitalgebers Richemont liegt (1-). Die finanziellen Engpässe sind z.T. Existenz bedrohend. Die Zeit von 2003 bis 2004 übersteht VHF-Technologies nur dadurch, dass das Unternehmen in verschiedene kleinere Entwicklungsprojekte eingebunden ist (gefördert u.a. durch das BFE und die KTI), und einzelne Aufträge von anderen Firmen bekommt. Als zu einem späteren Zeitpunkt der Wachstumsprozess bei VHF-Technologies einsetzt, stellt sich die Schwierigkeit, qualifizierte Mitarbeiter zu finden, als ein neues Hemmnis heraus (5-).

Die folgende Tabelle 5 legt dar, dass das BFE auf die zentralen Hemmfaktoren des Innovationsprozesses kaum oder keinen Einfluss nehmen kann. Möglicherweise wären etwa die Hemmfaktoren (2⁻) und (3⁻) durch ein Coaching oder durch aktive Vermittlungsaktivitäten abzuschwächen gewesen. In Bezug auf die zentralen Förderfaktoren wäre im Hinblick auf die Faktoren (4⁺) und (7⁺) möglicherweise eine gezieltere Abstimmung mit dem PSEL (heute swisselectric research) und der KTI von Vorteil gewesen. Ansonsten hat das BFE hier seinen Einfluss auf den Innovationsprozess bestens genutzt.

Tabelle 5: Realer und potenzieller Einfluss des BFE auf zentrale Einflussfaktoren des Innovationsprozesses Flexcell

Photovoltaik: Flexcell			
Zentrale Förderfaktoren		Zentrale Hemmfaktoren	
Nr. Beschreibung	Realer / Potenzieller Einfluss des BFE	Nr. Beschreibung	Realer / Potenzieller Einfluss des BFE
1 ⁺ Kontinuierliche und punktuelle BFE- Förderung	++ / ++	1 ⁻ Beteiligungsart Kapitalgeber	- / -
2 ⁺ Gruppenfinanzierung IMT	++ / ++	2 ⁻ Diverse organisatorische Schwierigkeiten bei VHF	- / o
3 ⁺ Förderprojekt PSEL	- / +	3 ⁻ Fehlendes Venturekapital und nachteiliges Investitionsklima	- / o
4 ⁺ KTI-Projekt mit Uhrenindustrie	- / o	4 ⁻ Investitionslogik Finanzsektor	- / -
5 ⁺ Persönliche Verausgabung VHF-Initiatoren	kE / o	5 ⁻ Mangel an geeigneten Arbeitskräften	- / -
6 ⁺ Unterstützung FH Le Locle	- / o		
7 ⁺ Reihe von kleineren KTI- und BFE-Projekten	+ / +		
8 ⁺ Q-Cells investiert in VHF-Technologies	- / o		
++ Grosser realer Einfluss + Realer Einfluss o Geringer realer Einfluss - Kein realer Einfluss kE Keine Einschätzung möglich		++ Grosser potenzieller Einfluss + Potenzieller Einfluss o Geringer potenzieller Einfluss - Kein potenzieller Einfluss	

In der nachstehenden Abbildung werden die zentralen Einflussfaktoren des Innovationsprozesses mit dem konzeptionellen Rahmen der Studie kombiniert.

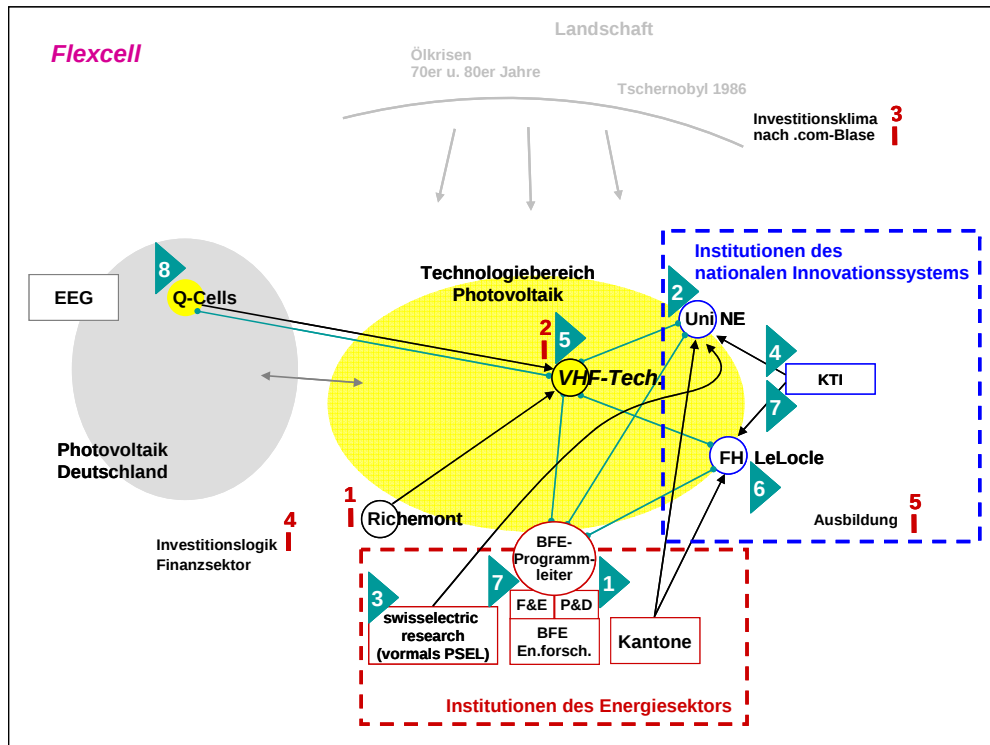


Abbildung 11: Verortung zentraler Einflussfaktoren des Innovationsprozesses Flexcell

Wie Abbildung 11 zeigt, ist der Grossteil der zentralen Förderfaktoren des Innovationsprozesses dem Innovationssystem zuzuschreiben. Neben der positiven Rolle des BFE sind die Förderinstitutionen KTl und swisselectric research wichtig. Zudem nehmen die beiden Hochschulen einen prominenten Part in dem Innovationsprozess ein.

4.2.5 Fallstudie *Oerlikon Solar*

A) Kurzportrait

In dieser Fallstudie geht es um die Entwicklung von Produktionsanlagen, mit denen amorphe und mikromorphe Solarzellen auf Siliziumbasis gefertigt werden können. Im Zentrum dieses Innovationsprozesses steht zum einen wiederum das IMT der Universität Neuenburg und zum anderen der Geschäftsbereich Solar des Industriekonzerns Oerlikon, welcher heute ca. 20.000 Mitarbeiter beschäftigt. Oerlikon (damals noch Unaxis) entschliesst sich Ende 2002 zum Einstieg in die am IMT entwickelte Technologie und tätigt in den folgenden Jahren Investitionen in der Grössenordnung von 15-20 Mio. CHF.

Zum Zeitpunkt des Einstiegs in die Photovoltaik gehört Oerlikon zu den weltweit führenden Herstellern von Produktionsanlagen für Flachbildschirme (Monitore, Notebooks, Fernseher). Das Unternehmen hatte seit über einem Jahrzehnt Erfahrung mit Technologien zur Abscheidung von amorphem Silizium und konnte davon

profitieren, dass diese Anlagen sehr ähnlich wie die Anlagen zur Produktion von PV-Dünnschichtmodulen funktionieren. In 2005 entschliesst sich Oerlikon aufgrund des harten Wettbewerbs aus dem Geschäft für Flachbildschirme auszusteigen.

Im Jahr 2006 gehen bei Oerlikon Solar die ersten Aufträge für komplette Produktionslinien ein. Die Geschäftseinheit Solar ist bis zu diesem Zeitpunkt auf über 130 Mitarbeiter angewachsen. Mittlerweile liefert das Unternehmen die so genannten KAI Produktionsanlagen an Solarzellenhersteller in Deutschland und Taiwan. Die derzeitige Auftragsentwicklung lässt eine weitere Expansion erwarten.

Im Fokus der Fallstudie liegt die Technologieentwicklung am IMT, aber auch der Übergang von der Hochschule zum Unternehmen. Auch dieser Innovationsprozess ist durch die starke öffentliche Förderung des IMT geprägt. Zudem spielte das BFE beim Technologietransfer vom IMT zu Oerlikon eine Rolle. Die späteren Entwicklungsaktivitäten bei Oerlikon wurden durch KTI-Projekte gefördert. Die solarbezogene Forschungs- und Entwicklungsarbeit bei Oerlikon wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Mikrotechnik der Universität Neuenburg gestartet. Auch eng zusammengearbeitet wird mit dem Zentrum für Plasmaphysik (CRPP) der Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) und Geschäftspartnern wie etwa dem Plasmatechnologie-Anbieter Roth & Rau.

Für die vorliegende Fallstudie dienen Interviews mit J. Meier (CTO Oerlikon Solar, ehemals Wissenschaftler am IMT-PV-Lab), U. Kroll (Managing Director Oerlikon Solar-Lab, ehemals Wissenschaftler am IMT-PV-Lab), R. Boomsma (ehemals Leiter der Display Division einschliesslich Solar), A. Buechel (ehemals Leiter der Business Unit Solar bei Oerlikon) und A. Shah (Professor am und ehemaliger Leiter des gesamten IMT und des IMT-PV-Labs). Die Interviews wurden in der ersten Jahreshälfte 2007 geführt. Der Informationsstand der Fallstudie ist Ende 2007.

B) Technologische Meilensteine

Der erste technologische Meilenstein stellt sich Ende 1986 mit dem Very High Frequency-Verfahren (VHF-Verfahren, vgl. oben bei Technologie) ein. Mit der nunmehr fünffachen Rate lässt sich das amorphe (und später das mikrokristalline) Silizium bei 70 MHz aus der Plasmaphase auf ein Trägermaterial deponieren. [technologischer Meilenstein 1]

In den ersten Jahren der 1990er trifft A. Shah auf einem Kongress in den USA zum ersten Mal auf Solarzellen aus mikrokristallinem Silizium, die allerdings nur sehr geringe Wirkungsgrade haben. J. Meier bringt die Idee ein, intrinsisches mikrokristallines Silizium als Absorbermaterial zu studieren und setzt dies trotz wissenschaftlicher Bedenken auch um. Am IMT gelingt es, dank solideren technologischen Voraussetzungen, sofort viel bessere Zellen herzustellen. [technologischer Meilenstein 2]

1994/1995 erreicht J. Meier erste publikationsfähige Resultate zu PV-tauglichem mikrokristallinem Silizium als Absorbermaterial, welche weltweit Aufsehen auslösen. Es zeigt sich, dass mikrokristallines Silizium eine Form von kristallinem Silizium darstellt. In diese Zeit fällt auch die Entwicklung der so genannten mikromorphen Dünnschichtsolarzelle, eine Tandemzelle, die die amorphe Zelle mit der neuen mikrokristallinen Bottomzelle kombiniert. Diese wird 1994 weltweit erstmalig durch das IMT vorgestellt. [technologischer Meilenstein 3]

Wenig später erzielt man am IMT auf einen Schlag ein Sprung beim Wirkungsgrad von mikrokristallinen Solarzellen von 4,5 % auf 7,5 %. Das gelingt dadurch, dass

der Sauerstoffanteil im mikrokristallinen Silizium mittels Gasreinigern reduziert werden kann. [technologischer Meilenstein 4]

Für die mikrokristalline Technologie gibt es im Jahr 1996 einen weiteren Meilenstein. In diesem Jahr wird ein stabilisierter Wirkungsgrad von 10,7 % erreicht und von unabhängiger Seite bestätigt. [technologischer Meilenstein 5] Damit sind forschungsmässig bereits viele der wesentlichen Entwicklungen in der Dünnschicht-technologie am IMT erfolgt.

Mit der Eröffnung eines Labors von Unaxis in Paris zur Weiterentwicklung der von Solems gekauften Technik wird 1997 der Ausgangspunkt für einen neuen Reaktor geschaffen. [technologischer Meilenstein 6]

Unaxis kauft Ende der 1990er Jahre die sogenannte Plasmabox, eine neue Reaktorkonfiguration zur Abscheidung von Silizium, von Solems in Paris und entwickelt auf dieser Basis den sogenannten KAI-Reaktor. In der folgenden Zeit wird eine Maschine zur Fertigung von LCD Bildschirmen konzipiert, deren Kernstück der erwähnte Reaktor ist. Die Maschinen werden zunächst vor allem nach Asien (Japan, Taiwan) verkauft. Dieser Technologie-Meilenstein ebnet den Weg für weitere Anlagenentwicklungen. [technologischer Meilenstein 7]

2000 präsentiert die Firma Kaneka auf einer Konferenz ein grossflächiges mikromorphes Solarmodul in der Konfiguration, die ursprünglich am IMT eingeführt wurde. [Meilenstein 8, technologisches Umfeld]

Die Resultate zu amorphem Silizium aus einem KTI-Projekt, in dem die Eignung der Display-Produktionsanlagentechnologie für eine Anwendung im Solarbereich gezeigt werden kann, liefern einen weiteren technologischen Meilenstein (2002). [technologischer Meilenstein 9]

Bei Unaxis selbst wird Anfang 2005 die Entscheidung gefällt, das Geschäft mit Produktionsanlagen für Displays einzustellen [technologischer Meilenstein 10].

Ebenfalls 2005 geht die KAI-Anlage für die Produktion von Dünnschichtphotovoltaikzellen mit amorphem Silizium in Fertigung. [technologischer Meilenstein 11]

Kaneka, ein konkurrierender Anbieter in Japan, hat inzwischen mit massiver staatlicher Unterstützung eine Pilotlinie für die Produktion grossflächiger, mikromorpher Tandemmodule aufgebaut und entwickelt Prototypen (90 x 45 cm) mit einem (Anfangs-)Wirkungsgrad von 13,4 %. Zudem existiert dort bereits eine Kleinserie, für die ein stabilisierter Wirkungsgrad von über 8 % bestätigt ist. [Meilenstein 12, technologisches Umfeld]

Ab Sommer 2007 kann Oerlikon zu seinen Produktionsanlagen die TCO-Technologie liefern. Mit den neuen TCO-Schichten ist es u.a. möglich, mehr Licht für die Umwandlung in Strom einzufangen. [technologischer Meilenstein 13]

Oerlikon Solar gibt im September 2007 bekannt, dass eine Anlage zur Produktion von mikromorphen Tandemzellen ihre Marktreife erreicht habe und ein erster Liefervertrag für eine solche Anlage vorliege. Im Labor hat das beste Modul eine Grösse von 1,4 qm und erzielt einen (Anfangs-)Wirkungsgrad von 9,46 %. [technologischer Meilenstein 14]

C) Organisatorische Meilensteine

Die organisatorische Voraussetzung für den oben dargestellten technologischen Innovationsprozess ist zunächst die Berufung von A. Shah als Professor in Neuenburg 1979 und die Gründung des PV-Labs am Institut für Mikrotechnologie der

Universität Neuenburg (IMT NE) im Jahre 1984/(85). [organisatorischer Meilenstein 1]

Mit der Eröffnung eines Labors von Unaxis in Paris zur Weiterentwicklung der von Solems gekauften Technik wird 1997 der Ausgangspunkt für einen neuen Reaktor geschaffen. [organisatorischer Meilenstein 2]

Am IMT sehen sich J. Meier und U. Kroll spätestens durch die Fortschritte bei Kaneka (vgl. technologischer Meilenstein 8) veranlasst, in Sachen Transfer der IMT-Dünnschichttechnologie Richtung Wirtschaft tätig zu werden. Nach ursprünglichen Erwägungen, eine Firma zu gründen und Venturekapital zu suchen, treten die beiden im September 2001 an Unaxis (später Oerlikon) heran (vgl. zentraler Förderfaktor 7). [organisatorischer Meilenstein 3]

R. Boomsma und A. Buechel sehen in dem Solarbereich eine Chance, erarbeiten in 2001/02 einen entsprechenden Businessplan und treten an den Verwaltungsrat von Oerlikon heran. Nach mehreren Anläufen und der notwendigen Ausdauer der beiden Fürsprecher gibt der Verwaltungsrat im Dezember 2002 grünes Licht für den Einstieg in das Solargeschäft. [organisatorischer Meilenstein 4]

Im Jahr 2003 folgen ein Lizenzvertrag zwischen Unaxis und der Universität Neuenburg bezüglich der relevanten Schutzrechte und die Inbetriebnahme des konzerneigenen Photovoltaik-Labors in Neuenburg. [organisatorischer Meilenstein 5]

Bei Unaxis wird Anfang 2005 die Entscheidung gefällt, das Geschäft mit Produktionsanlagen für Displays einzustellen [organisatorischer Meilenstein 6].

Mitte 2005 verändern sich die Beteiligungsverhältnisse bei Unaxis/Oerlikon, dadurch dass die Anlagegesellschaft Victory eine Mehrheit der Anteil übernimmt. Unaxis (ehemals Oerlikon-Bührle Holding) wird daraufhin in OC Oerlikon umfirmiert. [organisatorischer Meilenstein 7]

Ebenfalls 2005 wird zudem der Verkauf des Solarbereichs thematisiert. Es kommt allerdings nicht so weit. Stattdessen wird der Solarbereich zu der eigenständigen Geschäftseinheit Oerlikon Solar. [organisatorischer Meilenstein 8]

2006 gehen bei Oerlikon Solar die ersten Grossaufträge ein. [organisatorischer Meilenstein 9] Die deutsche ErSol Gruppe bestellt Produktionsanlagen für Dünnschichtsolarmodule mit einem Volumen von 33,6 Mio. CHF. Ebenfalls in diesem Jahr bestellt die deutsche Schott Solar GmbH zwei integrierte Produktionslinien (KAI 1200 PECVD) und die ‚related laser scribing systems‘ mit einem Auftragswert von mehr als 50 Mio. CHF. Weitere, z.T. auch noch grössere Aufträge folgen.

Im Frühjahr 2007 erweitert Oerlikon Solar seine Kompetenzen und erwirbt die Laser Technologie-Unternehmung Silas. Zudem erhält Oerlikon Solar im Sommer 2007 einen Lieferauftrag von CMC Magnetics Corp. aus Taiwan für eine Anlage, mit welcher der komplette Produktionsprozess für 40 MWp Dünnschichtsolarmodule pro Jahr gefahren werden kann. Damit registriert Oerlikon Solar den ersten Grossauftrag aus Asien. [organisatorischer Meilenstein 10]

Im Spätsommer 2007 wird zum einen von Inventux Technologies AG der erste Auftrag für eine Produktionslinie zur Herstellung von mikromorphen PV-Tandenzellen entgegen genommen [organisatorischer Meilenstein 11] und zum anderen die neu geschaffene Position ‚CEO von Oerlikon Solar‘ besetzt, um alle Solar bezogenen Aktivitäten in einer Hand zu haben.

D) Umfeld Innovationsprozess Oerlikon Solar

Der Innovationsprozess von Oerlikon Solar verläuft im Zusammenspiel mit besonders relevanten Akteuren und Institutionen. Wie Abbildung 12 zeigt, ist für diesen Innovationsprozess im Besonderen die Verbindung zu dem PV-Markt in Deutschland relevant. In der Schweiz ist neben dem IMT der Universität Neuenburg vor allem noch die das Zentrum für Plasmaphysik (CRPP) der EPFL von Bedeutung. Institutionell wird der Innovationsprozess in erster Linie durch die Unterstützung des BFE getragen. In einer späteren Phase wird für den Prozess auch die Förderung der KTI sehr bedeutend.

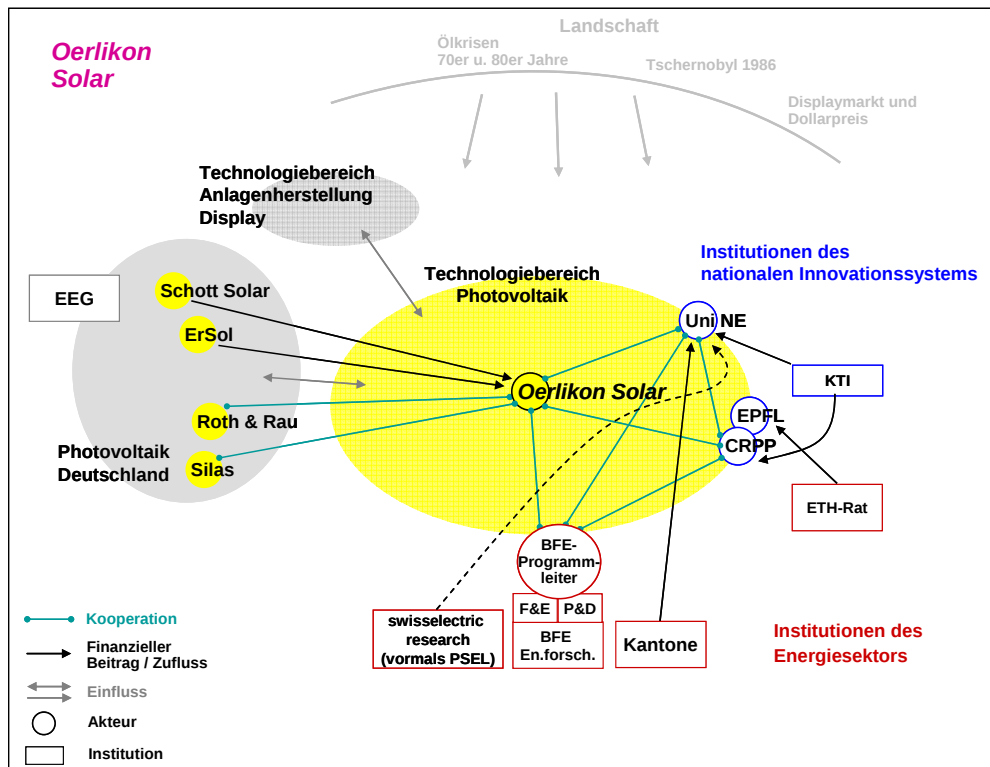


Abbildung 12: Wichtige Akteure und Institutionen für den Innovationsprozess Oerlikon Solar

E) Förderfaktoren

- Umfeld -

- **(2⁺) Gau in Tschernobyl bewirkt Erhöhung des BFE-Budgets:** Nach dem Gau im Atomkraftwerk in Tschernobyl wird das Budget für die Schweizer Energieforschung erhöht. Innerhalb weniger Jahre steigt das Budget des BFE von rund 5 Mio. CHF pro Jahr auf 30 Mio. CHF. Für das PV-Lab des IMT bedeutet das eine Steigerung des Förderbudgets seitens des BFE von ca. 0,5 auf 1,3 Mio. CHF pro Jahr.
- **Displaymarkt als Dollarmarkt und Dollarkurs:** Um das Jahr 2000 entwickelt sich der Markt für Flachbildschirme zunehmend ungünstig für Unaxis. So wirkt sich etwa der schwache Dollarkurs nachteilig aus: Da der Displaymarkt als Dollarmarkt funktioniert, erzielt Unaxis für verkaufte Anlagen zwar weiterhin denselben Preis in Dollar, aufgrund der Wechselkursveränderungen Erlöst Unaxis aber substantiell weniger Schweizer Franken. Dieser Ef-

fekt wird noch dadurch verstärkt, dass sich das Displaygeschäft sich nach und nach in Richtung Asien verlagert. Diese Entwicklungen führen dazu, dass sich Unaxis nach Alternativen zum Displaymarkt umsieht.

- *Innovationssystem* -

- **(1⁺) Kernfinanzierung des IMT durch BFE:** Die Förderung des BFE haben für das IMT den Charakter einer Grundfinanzierung, die zwar mit Zielvereinbarungen verbunden ist, aber einen gewissen Spielraum ermöglicht. Die KTI-Gelder sind dagegen ausschliesslich für spezielle Fragestellungen bestimmt.
- **(4a⁺) KTI-Projekt zwischen CRPP, IMT und Unaxis zur Adaption der Display-Produktionstechnologie für solare Anwendungen:** Ein KTI-Projekt zwischen dem CRPP, dem IMT, Unaxis und einem weiteren Industriepartner (damals RWE, heute Schott Solar) zeigt die Machbarkeit der Anpassung der Produktionstechnologie für Displays auf solare Anwendungen. Die Erkenntnisse aus diesem Projekt liefern insofern einen besonders wichtigen Beitrag, als ein Unaxis-internes Projekt zur Entwicklung von Produktionstechnologie für Dünnschicht-Silizium-Solarzellen zur gleichen Zeit eingestellt wird, weil dieser Entwicklungspfad Unaxis als zu steinig und langwierig erscheint.
- **(4b⁺) KTI-Projekt zwischen CRPP und Unaxis zur Sicherstellung grossflächiger Abscheidung:** Die KTI unterstützt Unaxis/Oerlikon mit zwei Projekten, die von strategischer Bedeutung sind. Neben der oben erwähnten Machbarkeitsstudie wird mit dem CRPP ein Projekt zur Entwicklung einer grossflächigen Abscheidung bei den gewünschten Frequenzen lanciert.
- **(6⁺) Kompetente Begleitung des Prozesses durch den BFE-Programmlinienleiter:** Immer wieder erwähnt im Zusammenhang mit der Zusammenarbeit zwischen dem IMT und Unaxis wird die unterstützende Begleitung durch den Photovoltaik Programmlinienleiter und auch durch das BFE selbst. Diese Begleitung spielt insbesondere für die Überzeugung des Unaxis Verwaltungsrats eine wichtige Rolle.
- **(7⁺) BFE-initiierte Begleitung zur Umsetzung der mikromorphen Silizium-Technologie:** Herr Schriber (BFE) initiiert etwa in 2001 eine sehr hilfreiche Unterstützung und beauftragt die Teras AG, die vom BFE ein grundsätzliches Mandat zur Begleitung von Technologieumsetzungen hat und sich bis dato auf andere Technologien fokussiert, mit der Begleitung des Vorhabens zur Technologieumsetzung von J. Meier und U. Kroll. In diesem Rahmen kommt es zu einem weiteren Besuch von J. Meier und U. Kroll gemeinsam mit Teras bei Unaxis.
- **Zusammenarbeit und Kommunikation zwischen BFE und IMT:** Die Zusammenarbeit zwischen dem Bundesamt für Energie und dem PV-Lab der Universität Neuchâtel wird durch gute Verbindungen von A. Shah zum BFE geprägt. Das gute Verständnis für die Technologien auf Seiten des BFE sowie der Rückhalt von G. Schriber (BFE) und S. Nowak (BFE-Programmlinienleiter Photovoltaik) beeinflussen den Innovationsprozess und die Förderentscheidungen positiv.
- **Ergänzende Förderung durch die KTI:** In der Förderungsdramaturgie unterstützt die KTI Unaxis/Oerlikon mit zwei Projekten, die von strategischer Bedeutung sind (vgl. 4a⁺ und 4b⁺). Daneben werden, nachdem Unaxis mit Solar gestartet hatte, in weiteren Projekten mit dem IMT, der EPFL und der Hochschule für Technik Chur NTB (Fragen der Messtechnik) weitere Fragen geklärt.

- Finanzierungslage ermöglicht Management der Forschungsaktivitäten seitens des Lab-Leiters: Die Finanzierungslage des IMT-PV-Labs ist dank des BFE vor allem Ende der 1980er und in der ersten Hälfte der 1990er Jahre sehr gut und diversifiziert sich Mitte der 1990er Jahre (z.B. mit EU-Projekten). Dieses Finanzierungsniveau ermöglicht etwa A. Shah die Forschungsgruppe auch tatsächlich zu leiten und an verschiedenen Punkten lenkend, beratend und überprüfend einzugreifen. Eine Förderung mittels kurz angelegter Projekte mit kleinen Förderungsbeträgen hätte hingegen eine solche moderierende Rolle verunmöglicht, da A. Shah damit stärker Akquiseprozessen gebunden gewesen wäre.
- Studie zur kostengünstigen Produktion von mikromorphen Solarzellen: Ein weiterer Beitrag für das Zustandekommen von Oerlikon Solar ist eine Studie des Ingenieurbüros Zühlke aus Zürich zu der Frage, unter welchen Umständen mikromorphe Solarzellen kostengünstig produziert werden können. Eine Finanzierung für diese Studie haben H. Keppner und J. Meier arrangiert (Finanzierung durch das BFE, den Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft (PSEL), Electricité Neuchâteloise SA (ENSA) und Fondation pour le Soutien à la Recherche Appliquée et Orientée (SOVAR / FSRAO)).
- In den 1990er Jahren inhaltliche Flexibilität bei KTI-Projekt(en): Auch die Unterstützung der KTI wird in Bezug auf den Innovationsprozess im Grossen und Ganzen gelobt. Positiv erwähnt wird die Flexibilität, unbürokratisch bei ungeplanten Projektverläufen die Projektzielrichtung ändern zu können. Etwa wird bei einem von der KTI geförderten Projekt, in dem das IMT-PV-Lab gemeinsam mit Unaxis ursprünglich schwerpunktmässig an der Schichtdeposition arbeiten wollte, die Möglichkeit offeriert, aufgrund der Anfrage eines potenziellen Kunden von Unaxis bezüglich der Abklärung von solarbezogenen Fragen, thematisch auf die neue Interessenlage zu schwenken. Damit ermöglicht die KTI eine Schwerpunktverlagerung.
- Anmeldung eines Patentes im Rahmen der BFE-Förderung: Die BFE-Förderung ermöglicht zudem nach Absprache die Finanzierung der Anmeldung eines Patentes für den VHF-Prozess. Ausnahmsweise übernimmt das BFE an dieser Stelle diese Unterstützungslücke. Damit kann die Schwierigkeit umgangen werden, die im Zusammenhang mit Finanzierungen von Patentanmeldungen für Hochschulen grundsätzlich bestehen kann, wenn keine Gelder dafür vorgesehen sind oder zur Verfügung stehen.

- Organisation -

- **(3⁺)** Winning team am IMT in der ersten Hälfte der 1990er Jahre: Vor allem zwischen den Jahren 1990 und 1996 arbeitet im PV-Lab ein sehr produktives und kreatives Team zu verschiedenen Aspekten der Dünnschicht-Silizium-Photovoltaiktechnologie. A. Shah spricht in diesem Zusammenhang von einem ‚winning team‘. Im PV-Lab wird in verschiedenen Teams gearbeitet. Die Beteiligten werden durch die Teamarbeit angespornt und in den einzelnen Teams werden, u.a. durch die jeweiligen Zusammensetzungen, Kreativitätspotenziale freigesetzt. Das ‚winning team‘ wird besonders auch durch die Person H. Keppner bedingt. Indem er als Oberassistent auch anderen den Vortritt lässt, funktioniert das Gesamtteam sehr gut und die einzelnen Wissenschaftler können ihren Neigungen nachgehen. Die Dünnschicht-Forschungsgruppe am IMT hat zu der Zeit mit etwa 20 Personen ei-

ne ideale Grösse, um sich auch in der Lage zu sehen, die Erfindungen weiter umzusetzen.

- **(4⁺) Realisierung von Werdegängen entgegen der klassischen Logik an Universitäten:** Entgegen einer gewissen Logik an Hochschulen im Hinblick auf Werdegänge und Qualifizierungen (Doktorarbeit, Post-Doc, Assistenzprofessur usw.) versucht A. Shah, die Mitarbeiter mit dem für den Forschungsprozess zentralen Wissen am IMT-PV-Lab zu halten. Eine hohe Fluktuation in der Gruppe wäre für den Innovationsprozess äusserst nachteilig, da das notwendige Know-how ständig wegfließen würde. Dieser Bruch der ‚Hochschullogik‘ stellt einen Spagat dar, der nur mit einer soliden Finanzierung möglich erscheint. Das notwendige Finanzierungsniveau wird vor allem von 1988 bis etwa 1998 durch das BFE ermöglicht. Diese Tatsache ist auch für die einschlägigen Personen der Grund dafür, solange/länger in der PV-Gruppe am IMT zu bleiben.
- **(5⁺) Technologische Voraussetzung und entsprechende Ressourcen bei Oerlikon kombiniert mit Solartechnologie des IMT:** Für die Entstehung von Oerlikon Solar sind die Vorarbeiten zu Dünnschichttechnologien am IMT die zentrale Voraussetzung. Zudem schlägt bei Oerlikon intern stark durch, dass auf vorhandene Kompetenzen aufgebaut werden kann („Technologie war quasi vorhanden“). Förderlich für den Innovationsprozess ist, dass sich durch die Kombination von bestehender Produktionstechnologie mit der neuen Solartechnologie die Komplexität reduzieren lässt. Die Aufskalierung von 1 cm² auf 30 x 30 cm, die zu der Zeit nicht als Aufgabe eines Forschungsinstitutes angesehen wird, erforderte weitere Forschungsgelder. Oerlikon hätte den solaren Technologiepfad nicht beschritten, wenn nicht schon KAI-Reaktoren existiert hätten. Damit zusammen spielt vor allem zur Zeit der Entscheidung für Oerlikon Solar, dass Unaxis besonders engagierte Mitarbeiter hat und über eine gute (finanzielle) Substanz verfügt [für die Initiierung in der Grössenordnung von 15-20 CHF].
- **(9⁺) Persönliches Engagement, Ausdauer, Überzeugung und Ruf der zentralen Akteure bei Unaxis:** Für A. Buechel, den Produktmanager Displays bei Unaxis, ist das Thema Solar von persönlichem Interesse. Das Zugeständnis seines Vorgesetzten, dem Leiter der Displays Division (zunächst des Vorgängers von R. Boomsma, dann von R. Boomsma selbst), eröffnet A. Buechel die Möglichkeit, Projekte bei Unaxis mit Bezug zu Solar mitzubetreuen. Nachdem im Jahr 2002 einige Erkenntnisse zum Solarbereich von strategischer Qualität (Solarkompatibilität der Display-Produktionsanlagen, grossflächige Abscheidbarkeit von Halbleitern bei entsprechenden Frequenzen) vorliegen, beauftragt der Business Unit Displays-Leiter R. Boomsma A. Buechel, mögliche Varianten zu konkretisieren und die Ausarbeitung eines Businessplans anzugehen. Das persönliche Engagement, die Ausdauer und Überzeugung von R. Boomsma und A. Buechel sind immens wichtig, um nach vier Anläufen vom Board grünes Licht für einen Solarbereich zu bekommen. Für R. Boomsma schlägt bei diesen Aktivitäten positiv zu Buche, dass das PV-Lab des IMT eine gute Reputation durch die Unterstützung seitens des BFE und der KTI hat. Auch der bilaterale Austausch mit S. Nowak, dem Photovoltaik-Programmleiter des BFE, ist für R. Boomsma hinsichtlich der Platzierung inhaltlicher Akzente gegenüber dem Verwaltungsrat von Unaxis sehr hilfreich.
- **Sammlung von wichtigen Erfahrungen für den VHF-Prozess:** H. Curtins, einer der drei Post-docs von A. Shah, die in den USA gewesen sind, wird am IMT angestellt. H. Curtins hat bis dato schon erste Erfahrungen zu a-Si

in den USA sammeln können. Etwa 1985/86 schickt A. Shah H. Curtins für einige Monate nach Zürich zu einem Plasmachemiker, Stan Veprek, um weitere Erfahrungen zu sammeln, die für den Aufbau einer Photovoltaiktechnologie grundlegend sind. A. Shahs Intention, H. Curtins zur Sammlung von Erfahrungen loszuschicken, bringt mit dem VHF-Prozess und dem dafür aufgebauten Gerät das erhoffte Ergebnis.

- Impuls aus dem Umfeld ermutigt IMT-Akteure, entschlossen Richtung Technologieumsetzung zu gehen: J. Meier, der sowieso sehr an der Umsetzung der Photovoltaiktechnologien des IMT interessiert ist, und U. Kroll sehen sich spätestens durch den externen Meilenstein des heutigen Technologieführers Kaneka im Jahr 2000 veranlasst, in die Offensive Richtung Markt zu gehen.
- Gute Kontakte zu Kunden: Für Entwicklungen im Zusammenhang mit den ersten Anlagen ist es vorteilhaft, in Kundennähe zu sein. Für den Innovationsprozess von Oerlikon Solar sind die geographische, kulturelle und Business-sprachliche Nähe zu den ersten Kunden in Deutschland förderlich.
- Räumliche Nähe des Oerlikon Solar-Labs zum IMT: Um einen intensiven Austausch zwischen dem Oerlikon Solar-Lab und dem PV-Lab des IMT pflegen zu können, wird für das Oerlikon Solar-Lab der Standort Neuenburg gewählt.
- Guter Kontakt zwischen Oerlikon Solar Lab und dem IMT-PV-Lab: Nach der Gründung des Konzern-eigenen Solarlabors besteht ein guter und enger Kontakt zwischen dem Oerlikon Solar Lab und dem PV-Lab des IMT. Das IMT erhält u.a. vom Oerlikon Solar Lab Direktmandate zur Klärung bestimmter Fragen.
- Kleines autonomes, motiviertes Team in der Business Unit Solar mit Budget und Handlungsspielraum, intensiver Zusammenarbeit mit Forschung, Businesspartnern und Kunden.

F) Hemmfaktoren

- Umfeld -

- Zu kleiner Heimmarkt: Grundsätzlich stellt die Grösse des Heimmarktes einen bremsenden Faktor dar. Selbst mit einem Schweizer Einspeisegesetz, wie es in Deutschland seit 2000 existiert, würde der nationale Markt vermutlich nicht für einen ausreichen, um der hier betrachteten Produktionstechnologie den notwendigen Nachfrageschub zu verleihen. Insofern ist es in diesem Fall wichtig, dass man sich von Beginn an auf Auslandsmärkte konzentriert hat.
- Image „grüner“ Energietechnologien: In der Zeit (2002), als sich das Board von Unaxis mit der Idee, in den Solarbereich einzusteigen, auseinandersetzt, wird es zum Teil noch problematisch für das Image eines Konzerns angesehen, Aktivitäten in dem so genannten „grünen Bereich“ zu verfolgen.

- Innovationssystem -

- **(1)** Fehlende Finanzmittel für schnellere Technologiekonsolidierung: Das BFE fördert das PV-Lab in der ersten 3-Jahres-Periode (1985-1988) mit einem jährlichen Betrag von 500.000 CHF. Dieser Förderungsumfang hilft zwar, den PV-Lab-Start solide in Gang zu bringen, trotzdem hätten nach der Entwicklung des VHF-Prozesses mehr Finanzmittel für eine zügigere Tech-

nologiekonsolidierung gebraucht werden können. Von Nachteil ist zu diesem Zeitpunkt auch, dass die Universität Neuenburg generell eine schwach finanzierte Hochschule ist und immer wieder die Frage aufkommt, in wessen Zuständigkeitsbereich die Anschaffung von Geräten fällt.

- **(2') Aufskalierung nicht Aufgabe der Universität:** Das IMT entscheidet 1996 nach dem Erreichen des Wirkungsgrades von stabilen 10,7 %, dass der Aufskalierungsprozess auf beispielsweise 30 x 30 cm nicht Aufgabe der Universitätsforschung sei. An dieser Stelle wird dadurch der Fluss des Innovationsprozesses gebrochen.
- **Förderinstitutionen z.T. abhängig von politischer Unterstützung:** Generell wird konstatiert, dass Förderungsinstitutionen wie die KTI beispielsweise eine Unterstützung einer Pilotierung in einem Bereich wie der Photovoltaik, für dessen Unterstützung politisch grundsätzlich der Wille fehlt, nur schwer begründen kann.
- **Zu formalisiertes Antrags- und Bewilligungsverfahren bei der KTI:** Das Prozedere im Zusammenhang mit einer KTI-Förderung wird als sehr aufwändig wahrgenommen und kann zu Verzögerungen führen. In dieser Zeit besteht Unsicherheit darüber, ob ein Projekt genehmigt wird oder nicht. Dieser Umstand kann dazu führen, dass in heissen Phasen des Innovationsprozesses wertvolle Zeit verloren geht. Der Nutzen eines solchen Projektes wäre dann sehr relativ, weil der Aufwand für einen Antrag sehr hoch ausfallen, während der Nutzen aufgrund der eher kurzen Förderungsdauer je nach Ausrichtung verhältnismässig gering sein kann. Die stark formalisierten Antrags- und Bewilligungsverfahren bedingen, dass die Fördermittel bei Weitem nicht den potenziell denkbaren Nutzen entfalten können.

- Organisation -

- **(3') Zunächst fehlender Glaube bei Unaxis an Zukunft des Solarmarktes:** Hemmend auf der Organisationsebene von Unaxis wirkt der fehlende Glaube an den Solarmarkt. Die Mitglieder des Verwaltungsrats müssen von dem Potenzial des Marktes und der Durchführbarkeit des Vorhabens, etwa im Hinblick auf technische Risiken usw., überzeugt werden. Hier spielt u.a. die Erfahrung von Unaxis mit vorangegangenen New Ventures eine Rolle, die nicht so gut ausgegangen sind.
- **(4') Nachteilige Entwicklung der Display Division und Verkauf derselben:** Nachdem bei Unaxis zugunsten des Solarbereichs entschieden wird, stellt sich ein internes Problem als grösstes Problem für den Innovationsprozess bei Unaxis dar. Die Display Division nimmt nicht die angenommene Entwicklung. Das hat etwa zur Konsequenz, dass der Leiter der Display Division und prominenteste Fürsprecher für Solar bei Unaxis, R. Boomsma, sowie der damalige CEO Kundert die Firma verlassen. Der Displaybereich bekommt nach und nach ein negatives Image. Für die Solarsparte, die quasi im Windschatten der Display Division gedeihen und sukzessive aus dem Geleitschutz herauswachsen soll, stellt diese Wendung eine Schwierigkeit dar. Erwünschte Synergien zwischen Display und Solar hinsichtlich der Supply Chain, der Weiterentwicklung, der gemeinsamen Administration usw. können nicht im vorgesehenen Mass genutzt werden. Die ursprüngliche Intention einer Prozessübertragung statt einer Prozessentwicklung und einer damit einhergehenden Risikominderung und eines Zeitgewinns kommt nicht zu Geltung. Auch zur Folge hat die Entscheidung, aus dem Displaygeschäft auszusteigen, dass gute und qualifizierte Mitarbeiter zur Konkurrenz abwan-

dern. [Der US-amerikanische Anlagenbauer Applied Materials ist mit demselben Konzept wie Oerlikon in die Solarbranche eingestiegen und profitiert in Zukunft weiterhin von dem Know-how-Transfer zwischen Display- und Solarsparte. Des Weiteren wechselt Winfried Hoffmann, langjähriger Geschäftsführer von Schott Solar, als CTO zu Applied Materials]

- Verunsicherung durch neue Beteiligungsgesellschaft und strategischer Zick-Zack-Kurs bei Unaxis: Die Beteiligung der österreichischen Beteiligungsgesellschaft führt zu Verunsicherungen. Negativ auf den Innovationsprozess wirken der strategische Zick-Zack-Kurs, den Unaxis vor allem in den Jahren 2004 und 2005 fährt, und die Zeiträume, die das Unternehmen für strategisch relevante Entscheidungen braucht.
- Negativer Verlauf der ersten Kontakte zwischen IMT und Balzers Process Systems (BPS, heute Oerlikon) Mitte und Ende der 1990er Jahre: Mitte der 1990er Jahre gibt es den ersten Kontakt zwischen dem IMT (A. Shah, H. Keppner und J. Meier) und Balzers, der vollständig negativ verläuft. 1999 wird dann ein KTI-Projekt zwischen IMT, CRPP und Balzers Process Systems (BPS, heute Oerlikon) vorbereitet. Dieses Projekt wird Anfang 1999 durch den damaligen neuen Forschungsleiter von BPS (Jérôme Perrin) initiiert. Nach der Bewilligung durch die KTI wird das Projekt von BPS eher stiefmütterlich behandelt. Grund dafür ist, dass J. Perrin kurz nach der Unterzeichnung des Vertrages mit dem IMT und der KTI, etwa Mitte 2000, seinen Job bei BPS aufkündigt. Das Resultat ist ein bewilligtes KTI-Projekt, einen Forschungsvertrag zwischen BPS und IMT/CRPP, aber letztlich kein eigentliches Interesse mehr an Solarzellen bei BPS.

G) Kernaspekte des Falls

Der Oerlikon Solar-Innovationsprozess ist stark geprägt durch die wissenschaftlichen Entwicklungen am IMT. Der Prozess kann in folgende Phasen unterteilt werden. Die Initiierungsphase von Anfang der 1980er Jahre bis 1985 wird durch die Aktivitäten von A. Shah hinsichtlich der Gründung eines Laboratoriums für Photovoltaik und des Aufbaus einer PV-Technologie an der Universität Neuenburg dominiert. In der Phase von 1985 bis 1987 wird der Reaktor aufgebaut und das VHF-Verfahren entwickelt (Prozessentwicklung). Zwischen 1988 und 1996 findet die technologische Konsolidierung des amorphen Siliziums, die Technologieentwicklung von mikrokristallinem Silizium und Technologiekombination von amorphem und mikrokristallinem Silizium zur mikromorphen Tandemzelle statt. In organisatorischer Hinsicht wird in dieser Zeit die Forschungsgruppe auf- und ausgebaut sowie stabilisiert. Die Jahre von 1997 bis 2002 stehen u.a. unter dem Zeichen des Technologietransfers, in denen Produktionsanlagen entwickelt werden und die Initiierung von Oerlikon Solar verfolgt wird. 2003 wird Oerlikon Solar ins Leben gerufen. Ab dann stehen die Weiterentwicklungen der amorphen und mikromorphen Technologie in Richtung Marktreife im Zentrum.

Wie in Abbildung 13 aufgetragen, sind auf der Ebene des Innovationssystems die Kernfinanzierung des IMT durch das BFE (1⁺), nicht zuletzt möglich durch die Erhöhung des BFE-Budgets nach Tschernobyl (2⁺), zwei strategisch wichtige KTI-Projekte (4⁺), eine vom BFE finanzierte und initiierte Umsetzungsstudie (7⁺) sowie die kompetente Begleitung des Innovationsprozesses durch den PV-Programmler des BFE (6⁺) zentrale förderliche Einflussgrößen für den Innovationsprozess. Auf Organisationsebene wirken vor allem positiv, dass die Technologien von Oerlikon und dem IMT kombinierbar sind (5⁺) und die Forschungsgruppe am IMT hervorragend zusammenspielt (3⁺). Zudem ist es zentral, dass es dem PV-

Lab-Leiter A. Shah gelingt, die Gruppe zusammenzuhalten und entsprechende Gelder zu akquirieren (4⁺). Ebenso so wichtig ist das persönliche Engagement von R. Boomsma und A. Buechel bei Unaxis für den Einstieg in die Photovoltaik (9⁺).

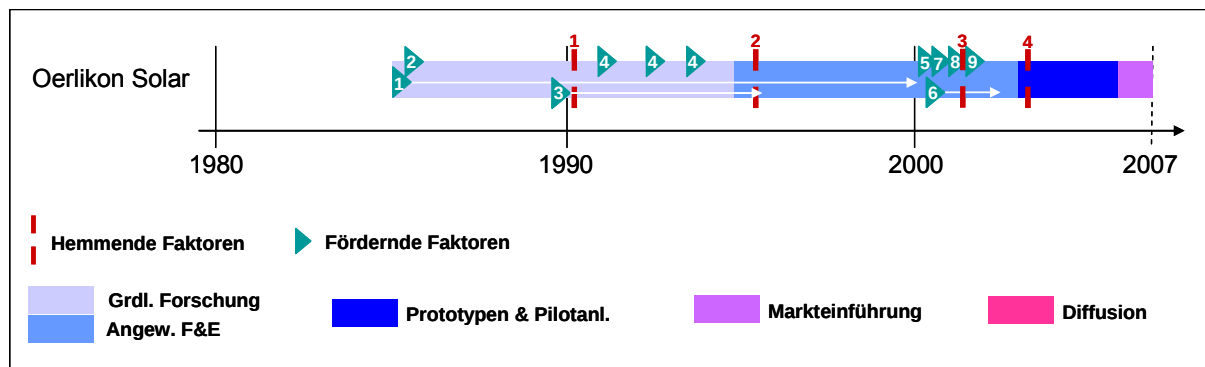


Abbildung 13: Innovationsphasen und zentrale Einflussfaktoren des Innovationsprozesses Oerlikon Solar im Überblick

Nach der Entwicklung des VHF-Prozesses an der Universität Neuenburg hätte eine zügige(re) Technologiekonsolidierung mit weiteren Finanzmitteln realisiert werden können (1⁺). In dem vorliegenden Innovationsprozess findet ab 1996 an verschiedenen Stellen ein Zeitverlust statt. Nachdem in diesem Jahr für die mikrokristalline Technologie ein stabilisierter Wirkungsgrad von 10,7 % von unabhängiger Seite bestätigt ist, wäre in der Nachbetrachtung ein konsequenterer Fortgang der Aufskalierung von Vorteil gewesen (2⁺). Hätte mit einem Demonstrator gezeigt werden können, dass die Abscheidung auf eine Fläche von 30 x 30 cm technologisch einschliesslich entsprechender Prozessschritte beherrscht wird (ähnlich wie am Forschungszentrum Jülich in Deutschland), wäre das ein wesentlich deutlicheres Signal gegenüber potenziellen Investoren gewesen als etwa eine 1 cm²-Zelle.

Nachdem schon erste Gespräche in den 1990er Jahren zwischen dem IMT und Oerlikon hinsichtlich eines Technologietransfers keinen Erfolg haben, fehlt Oerlikon (damals noch Unaxis) vor allem in den Jahren 2001 und 2002 der Glaube an einen Solarmarkt. Dieser zunächst fehlende Glaube kostet viel Überzeugungsarbeit und entsprechend Zeit (3⁺).

In neuerer Zeit ist mit dem amerikanischen Anlagenhersteller Applied Materials ernsthafte Konkurrenz auf den Markt getreten. Applied Materials kommt ebenfalls aus heute noch in der Flachbildschirmbranche. Das Unternehmen verfolgt das gleiche Konzept wie Oerlikon und hat massiv in diesen Weg investiert. Applied Materials kann im Gegensatz zu Oerlikon weiterhin von dem Technologietransfer zwischen dem Displaybereich und dem PV-Bereich profitieren (4⁺). Zwar scheint Applied Materials technologisch noch nicht ganz so weit zu sein, ist aber auf dem besten Wege aufzuholen. Durch eine direkte Weiterführung des Innovationsprozesses nach 1996 (vgl. (2⁺)) und eine frühere Einigung mit Oerlikon (vgl. (3⁺)) könnte heute möglicherweise noch ein grösserer Technologievorsprung gegenüber Applied Materials bestehen.

In der nachstehenden Tabelle werden die Einflussmöglichkeiten des BFE auf die wichtigsten Einflussfaktoren abgeschätzt.

Tabelle 6: Realer und potenzieller Einfluss des BFE auf zentrale Einflussfaktoren des Innovationsprozesses Oerlikon Solar

Photovoltaik: Oerlikon Solar			
Zentrale Förderfaktoren		Zentrale Hemmfaktoren	
Nr. Beschreibung	Realer / Potenzieller Einfluss des BFE	Nr. Beschreibung	Realer / Potenzieller Einfluss des BFE
1 ⁺ Kernfinanzierung des IMT durch BFE	++ / ++	1 ⁻ Fehlende Finanzmittel für schnellere Technologie-konsolidierung	o / +
2 ⁺ Erhöhung BFE-Budget nach Tschernobyl	kE / +	2 ⁻ Aufskalierung nicht Aufgabe der Universität	- / +
3 ⁺ Winning Team am IMT	o / o	3 ⁻ Zunächst fehlender Glaube bei Unaxis an Solarmarkt	o / o
4 ⁺ Realisierung von Werdegängen am IMT entgegen klassischer Logik an Unis	+ / +	4 ⁻ Nachteilige Entwicklung der Display-Division Unaxis und Verkauf derselben	- / -
5 ⁺ Voraussetzungen bei Unaxis/Oerlikon	- / -		
6 ⁺ Kompetente Begleitung durch BFE-Programmler	++ / ++		
7 ⁺ BFE-initiierte Technologieumsetzungsbegleitung	++ / ++		
8 ⁺ KTI-Projekt zwischen CRPP, IMT und Unaxis; KTI-Projekt zwischen CRPP und Unaxis	kE / +		
9 ⁺ Persönliches Engagement wichtiger Akteure bei Unaxis	o / o		
++ Grosser realer Einfluss + Realer Einfluss o Geringer realer Einfluss - Kein realer Einfluss kE Keine Einschätzung möglich		++ Grosser potenzieller Einfluss + Potenzieller Einfluss o Geringer potenzieller Einfluss - Kein potenzieller Einfluss	

Das BFE hat seine Einflussmöglichkeiten bezüglich des Innovationsprozesses Oerlikon Solar sehr gut genutzt. Bei den Punkten Technologiekonsolidierung (1⁺) und Aufskalierung (2⁺) hätte es allerdings noch Potenzial gegeben, die Unterstützung des Innovationsprozesses zu optimieren. Aus heutiger Sicht ist der Innovationsprozess Oerlikon Solar aber sowohl in technologischer als auch in wirtschaftlicher Hinsicht auf dem besten Wege zum Erfolg.

Abbildung 14 zeigt wiederum, wo die zentralen Einflussfaktoren für den Innovationsprozess zu verorten sind.

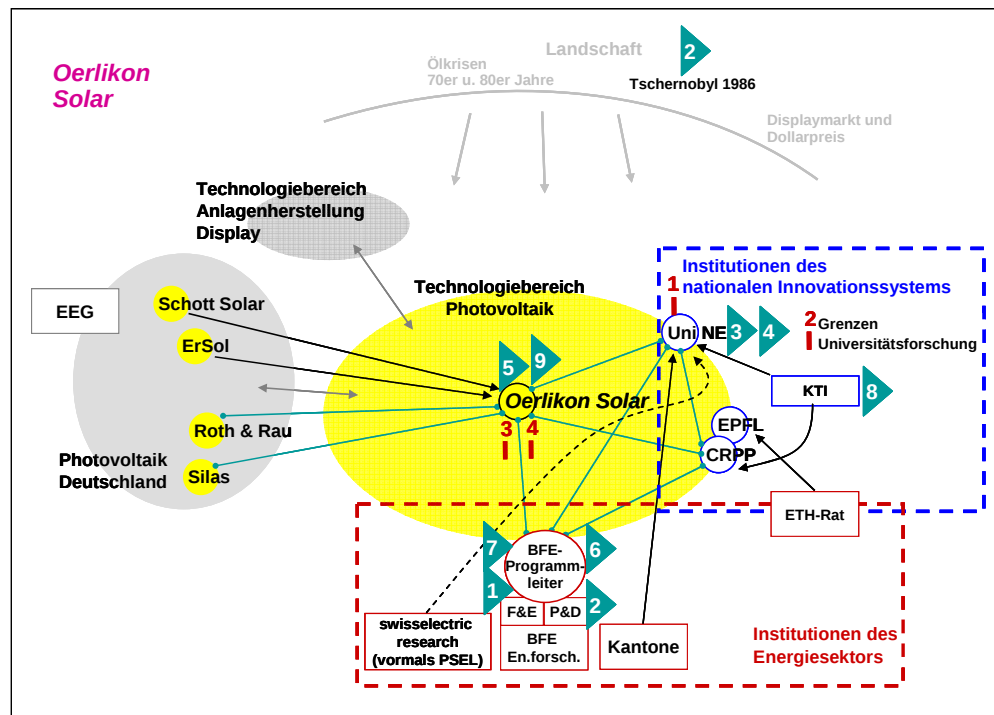


Abbildung 14: Verortung zentraler Einflussfaktoren des Innovationsprozesses Oerlikon Solar

4.2.6 Fallstudie *SolarMax*

Bei der dritten Fallstudie im Technologieberereich Photovoltaik steht die Entwicklung von Wechselrichtern, die den von den PV-Modulen erzeugten Gleichstrom in Wechselstrom umwandeln und in das Stromnetz einspeisen, im Vordergrund. Dabei geht es nicht - wie in den ersten beiden Fallstudien - um eine Technologieentwicklung im engeren Sinne, sondern um die (kontinuierliche) Übertragung von Neuentwicklungen - etwa im Bereich der Leistungshalbleiter - auf Produkte für die Photovoltaik. Die Fallstudie SolarMax unterscheidet sich auch insofern von den anderen Fällen, dass die Markteinführung des ursprünglichen Produkts schon viele Jahre zurück liegt.

A) Kurzportrait

Die Wechselrichter-Baureihe SolarMax ist eine Innovation der Sputnik Engineering AG. Die Firma wurde 1991 als Spin-off der Ingenieurschule Biel gegründet und ist seit über 15 Jahren Anbieter von Solar-Wechselrichtern. Die Solarwechselrichter von Sputnik werden für netzgekoppelte Photovoltaikanlagen gebaut und sowohl als String- als auch als Zentralwechselrichter angeboten. Die Sputnik AG beschäftigt heute 85 Personen und ist seit 2004 stark gewachsen. Neben der technologischen Weiterentwicklung gehören die Produktion der Wechselrichter, der Vertrieb und auch Reparatur und Service zu den Hauptaufgaben des Unternehmens. Eine Besonderheit der Sputnik AG ist, dass ein wesentlicher Teil der Produktion (Elektronik, Gehäuse) vorgelagert in anderen Firmen erfolgt.

Sputnik steht auf dem Wechselrichtermarkt unter anderem im Wettbewerb mit grossen Elektronikkonzernen wie etwa Siemens, Philips oder Sharp und agiert als einziges KMU unter den weltweit führenden Anbietern. Im Jahr 2005 stand Sputnik

in Europa nach der SMA Technologie AG und der Fronius International GmbH auf dem 3. Platz. Fast 95% des Umsatzes werden im Ausland erwirtschaftet, davon in Deutschland 74% und in Spanien 17%.

Lediglich in der Gründungszeit und in den ersten Geschäftsjahren wurde der Innovationsprozess durch öffentliche Fördergelder unterstützt. Hierbei war das BFE zentral. Die Fallanalyse basiert auf einem Interview mit einem der Geschäftsführer. Ergänzende Informationen flossen aus Gesprächen mit dem Bereichsleiter Photovoltaik beim BFE und dem Programmleitern ein. Das Interview fand im Frühjahr 2007 statt.

B) Technologische Meilensteine

Die technologischen Meilensteine des Innovationsprozesses werden im Folgenden vorgestellt.

Die späteren Gründer der Sputnik Engineering AG sind durch ihre Projektmitarbeit an der Ingenieurschule Biel Ende der 1980er Jahre an der Entwicklung des ersten Wechselrichters in der Schweiz beteiligt, der für netzgekoppelte Solaranlagen eingesetzt werden kann. Der Prototyp dieses Wechselrichters wird 1989 für Alpha Real produziert, eine Zürcher Firma, die Systeme und Produkte für Energie- und Messtechnik entwickelt und realisiert. 1990 baut eine Entwicklungsgruppe um Dr. V. Crastan (FH Biel) einen weiteren Solarwechselrichter-Prototyp, der in einer Demonstrationsanlage der Elektrizitätswerke der Stadt Biel zum Einsatz kommt. Wenig später im Jahr 1991 wird von Sputnik der weltweit erste komplett digital gesteuerte und geregelte Dreiphasen-Zentralwechselrichter für Grossanlagen auf dem Markt eingeführt, zunächst ohne Erfolg. 1992 werden die ersten fünf Geräte in der Schweiz verkauft. Noch im selben Jahr und im Jahr darauf (1992/1993) entwickelt Sputnik ein Kleingerät. 1994 ist das erste Gerät entwickelt und am Markt erhältlich. Es ist einer der ersten Wechselrichter, die ohne einen Transformator auskommen. Andere Hersteller sind zu dieser Zeit zwar mit vergleichbaren Geräten in der Testphase, keiner davon ist aber unter Einhaltung entsprechender Normen bereit für den Markteinstieg. Kurz darauf, 1995, entwickelt Sputnik zur Steigerung des Wirkungsgrades ein so genanntes Load-Share-Verfahren bei Zentralwechselrichtern. 1998 ist Sputnik die erste Firma, die zu ihren Wechselrichtern Kommunikationseinheiten anbietet. Das Unternehmen führt ein Servicepaket zur Fernüberwachung und Reaktionsgarantie auf dem Schweizer Markt ein. Im Jahr 2000 setzt Sputnik diese Entwicklungslinie fort und baut in Europa das erste Wechselrichtersystem, das an Feldbussysteme anschlussfähig ist. Im Zuge eines Geräte-Relaunchs entwickelt Sputnik 2003 für Stringwechselrichter das erste modulare Gerätekonzept in der Schweiz.

C) Organisatorische Meilensteine

Im Jahr 1991 entscheiden sich die drei Elektronikingenieure C. v. Bergen, P. Müller und E. Zahnd zur Selbstständigkeit und gründen Sputnik Engineering aus der Ingenieursschule Biel mit einem Lizenzvertrag aus. Der erste Firmensitz findet sich zuhause bei C. v. Bergen. Die Firma wird nach einer Zeit nur noch von C. v. Bergen und P. Müller weitergeführt. 1997 stellen die beiden Geschäftsführer von Sputnik einen weiteren Ingenieur an. Mit der Gründung der Tochtergesellschaft Sputnik Engineering GmbH im baden-württembergischen Stockach (Deutschland) 2001 schafft Sputnik einen Trittstein, mit dem der Vertrieb und die Kundenbetreuung in Deutschland neu organisiert werden. Das Jahr 2004 ist für Sputnik sehr turbulent. Nachdem im November 2003 der Mietvertrag für neue Räumlichkeiten unter-

schrieben wurde, zieht die Firma im April 2004 in das ehemalige Firmengebäude von Rolex ein. In dieser Zeit reorganisiert sich Sputnik, verdreifacht in 2004 die Mitarbeiterzahl und das Produktionsvolumen vervierfacht sich. 2006 setzt Sputnik mit der Gründung der Tochtergesellschaft Sputnik Engineering Iberica S.L. in Madrid einen weiteren organisatorischen Schritt im Kontext ihrer Expansionsstrategie um.

D) Umfeld Innovationsprozess SolarMax

Im Vergleich zu den beiden vorangegangenen Innovationsprozessen zeigt sich in Abbildung 15, dass der SolarMax-Prozess im Hinblick auf die Einbindung von Akteuren und Institutionen weniger komplex ausfällt. Wesentlicher Akteur für Sputnik Engineering und den technologischen Entwicklungsprozess ist die Fachhochschule Biel. Der Prozess ist in den ersten Jahren punktuell durch die beiden Institutionen KTI und BFE gestützt, kommt aber vor allem durch die Anbindung an den deutschen Photovoltaikmarkt in Fahrt.

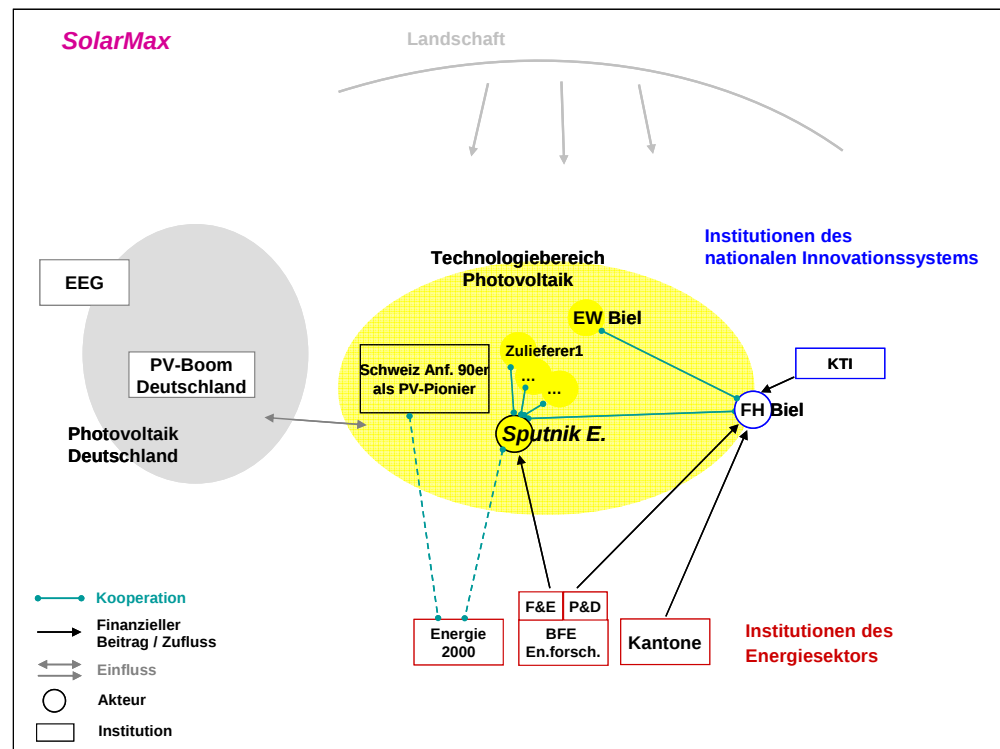


Abbildung 15: Wichtige Akteure und Institutionen für den Innovationsprozess SolarMax

E) Förderfaktoren

- Umfeld -

- (7*) Boom des Photovoltaikmarktes in Deutschland: Ein sehr stark förderlich wirkender Faktor ist grosse Nachfrage nach PV-Anlagen in Deutschland, die durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) der rot-grünen Regierung ausgelöst wird. Dieser Boom verstärkt sich 2003 noch einmal und bringt weitere Bewegung in das Geschäft von Sputnik.

- Schweiz als Pionier in der Photovoltaik und Energie 2000: Anfang und Mitte der 1990er Jahre hat die Schweiz in Bezug auf Photovoltaik eine Pionierrolle in Europa. Insofern ist zu dieser Zeit eine gewisse Aufbruchstimmung vorhanden. Vor dem Hintergrund der Umweltdiskussion in der zweiten Hälfte der 1980er Jahre, verstärkt durch den Reaktorunfall in Tschernobyl und die Diskussion um sauren Regen und Waldsterben, wird 1990 das Aktionsprogramm Energie 2000 vom Schweizer Bundesrat zur Verfolgung einer nachhaltigen Energieversorgung in der Schweiz initiiert. Damit zusammenhängende Initiativen wie etwa Aktivitäten in der Weiterbildung von Elektrikern zu Solarteuern löst eine positive Stimmung hinsichtlich alternativer Energien aus. Diese Ausgangslage hat für die Gründung von Sputnik und den Start des Innovationsprozesses einen ergänzend positiven Einfluss.
- Boomender PV-Markt 2004 und Rücklagenbildung: Der ausserordentliche Boom auf dem Photovoltaik-Markt in 2004 gewährt sehr gute Preise für die SolarMax-Geräte und erlaubt der Firma eine substanzielle Rücklagenbildung. Anbieter von Solarinvertern, die zu der Zeit noch nicht im Markt sind, konnten davon nicht profitieren.
- Vertriebsform für Solarinverter vorteilhaft für Boom: Da der Vertrieb von Solarinvertern über ein Grosshändlersystem läuft und über dieses System grössere Mengen gehandelt werden können, entsteht eine gewisse Sogwirkung, die den boomenden Markt entsprechend unterstützt.

- Innovationssystem -

- (1⁺) Unterstützung der Ingenieurschule Biel: Ein weiterer Faktor ist für den Innovationsprozess absolut zentral: das Unterstützungsspektrum der Ingenieurschule Biel. Ende der 1980er und Anfang der 1990er Jahre ist ein vergleichbares Unterstützungsniveau, wie es heute etwa über Spin-off-Parks geleistet wird, nicht selbstverständlich. Die Schule leistet zum Erfolg von Sputnik und deren Solarinverter-Baureihe folgende Beiträge:
 - Die Teilzeitanstellung von C. von Bergen einschliesslich der Möglichkeit zur Aufstockung der Anstellungsprozente und die Anstellung von P. Müller zu 100 % (beide heutige Geschäftsführer von Sputnik) an der Bieler Ingenieurschule ist für den Innovationsprozess von eminenter Wichtigkeit. Der Aufbau von Sputnik funktioniert nur, weil beide Gründer ihr Einkommen durch diese Anstellungen sichern können. Zudem begünstigt die Nähe zur Ingenieurschule den Wissenstransfer zwischen Hochschule und entstehendem Unternehmen.
 - Die Zusammenarbeit mit der Ingenieurschule und auch die unkomplizierte Begleitung von der Fachschule her sind sehr wichtig. Die Schule räumt C. von Bergen und P. Müller entsprechende Entscheidungsfreiheiten ein.
 - Ausgangslage für die Ausgründung: C. von Bergen und P. Müller profitieren von dem Know-how der Ingenieurschule und erhalten von dort die Lizenz für den Vertrieb des ersten Wechselrichters.
- (2⁺) Entwicklung eines dreiphasigen Wechselrichters in einem KTI-Projekt: Im Zuge eines KTI-Projekts (Start 1989) mit Beteiligung der Ingenieurschule Biel entsteht ein dreiphasiger Wechselrichter für eine grosse Versuchsanlage (netzgekoppelte photovoltaische 25 kW-Anlage der EW Biel). Dieses Projekt stellt einen wichtigen Erfolgsfaktor für den weiteren Innovationsprozess von Sputnik respektive SolarMax dar.

- (5⁺) Schlüsselprojekt mit BFE und sehr gute Zusammenarbeit zwischen Beteiligten: Im Rahmen eines BFE-Projekts (1994) werden die theoretischen Fachkenntnisse des damaligen Direktors der Ingenieurschule Biel mit den Einschätzungen und Erfahrungen hinsichtlich technologischer Anforderungen in der Praxis seitens der beiden Sputnik-Gründer zusammengeführt. Dieser Projektrahmen ermöglicht einen Wissenstransfer/-aufbau und führt zum weltweit ersten transformatorlosen, netzgekoppelten Solarwechselrichter. Für Sputnik ist dieser Förderkontext insofern sehr wichtig, dass ohne diese Unterstützung die technologische Entwicklung nicht hätte geleistet werden können. Zugunsten dieser Entwicklung wirkt zudem die sehr gute Zusammenarbeit zwischen dem Bundesamt für Energie, der Ingenieurschule Biel und Sputnik Engineering.
- Anstellung von zukünftigem Sputnik-Geschäftsführer an FH Biel im Rahmen eines KTI-Projekts: C. v. Bergen wird nach seinem Studienabschluss in den 1980er Jahren an der Ingenieurschule Biel im Rahmen eines öffentlich geförderten KTI-Projekts angestellt, das zusammen mit einem Industriepartner durchgeführt wird (Industriepartner zuständig für Leistungselektronik, FH zuständig für Steuer- und digitale Elektronik).
- BFE-Projekt: Einen eher kleinen Einfluss hat die Unterstützung des BFE 1996 für Arbeiten an dem Dreiphasen-Gerät.

- Organisation -

- (3⁺) Verbindliche und partnerschaftliche Zusammenarbeit zwischen den Sputnik-Gründern: Die beiden Gründer, die operativ tätig sind (C. von Bergen und P. Müller; der 3. Gründer ist auch an der Schule in Biel aber nicht operativ tätig), ergänzen sich gut, unterstützen sich gegenseitig und arbeiten partnerschaftlich miteinander. Dieser Umstand dient dem Innovationsprozess und stützt ihn in schwierigen Zeiten. Wichtig dabei ist, dass in dieser Zweierkonstellation eine grössere Verbindlichkeit gefordert ist als in einer Dreierkonstellation.
- (4⁺) Geringe Fertigungstiefe und Auslagerung: Grundausrüstung Sputnik: Sputnik fährt eine geringe Fertigungstiefe und hat einige Produktionsbereiche ausgelagert. Anfangs macht Sputnik aus der Not eine Tugend, da etwa Investitionen für teure Bestückungsautomaten zu gross wären. Diese Entscheidung bewährt sich noch heute, weil Sputnik dadurch seine Ressourcen auf die definierten Kernbereiche konzentrieren kann.
- (6⁺) Persönliche Verbundenheit mit dem Unternehmen: Persönliche Verbindungen mit der Firma ist ein zentraler positiver Faktor, der sich an verschiedenen Punkten festmachen lässt:
 - Die beiden Firmengründer sind von Anfang sehr überzeugt von ihren Aktivitäten und glauben an ihren Erfolg, auch trotz vieler ablehnender und skeptischer Haltungen Anfang der 1990er Jahre.
 - Die Mitarbeiter von Sputnik kennen C. von Bergen und P. Müller, begegnen ihnen täglich und wissen, dass die beiden Geschäftsführer voll und ganz hinter der Sache stehen. Diese Gewissheit fördert den Zusammenhalt und schafft eine vertrauensvolle Grundlage. Zudem wird der Kommunikation gegenüber den Mitarbeitern einen hohen Stellenwert beigemessen. Die Mitarbeiter von Sputnik Engineering sind zudem mit Herzblut dabei.
- Kundenfreundliche Ausrichtung der Technologie: Mit ihrer technologischen Ausrichtung verschafft sich Sputnik vor allem in den 1990er Jahren

ein Alleinstellungsmerkmal (USP). Über den Ansatz ‚connect and inject‘, wie er etwa bei Waschmaschinen bekannt ist, wird die Technologie sehr kundenfreundlich auf dem Markt platziert (Der Installateur der Solarinverter braucht für die Installation keinen Servicetechniker).

- Abrundung der Produktpalette: Etwa in 2000 erkennt Sputnik, dass der 3. Bereich von Sputnik, die Datenkommunikation und Zubehör, für (potenzielle) Kunden wichtig ist. Darin eingebettet findet sich beispielsweise eine Alarmerfunktion (Benachrichtigung per Sms oder E-Mail) beim Ausfall des Wechselrichters. Kunden wird damit in gewisser Weise ein Rundum-Sorglos-Paket angeboten, in das neben dem Service von Sputnik auch das Aufkommen für Ertragsausfälle eingeschnürt ist.
- Kooperation ermöglicht personelle Erweiterung: Die Kooperation mit der Solarfabrik in Freiburg im Breisgau (D) und ein Auftrag von deren Seite an Sputnik ermöglicht der Firma Ende der 1990er Jahre die Einstellung eines 3. Ingenieurs.
- Räumliche Voraussetzung für Wachstumsschub: Im Jahr 2004 kommt Sputnik zugute, dass die Firma schon einen neuen Sitz bezogen hat und über entsprechende Raumkapazitäten und -reserven verfügt, um den Boom bedingten, enormen Wachstumsschub verarbeiten zu können.
- Know-how-Vorsprung aufgrund des first movings: Aufgrund des frühen Einstiegs in die Technologie der Wechselrichter für netzgebundene Photovoltaiksysteme ist das Know-how bei Sputnik ausgeprägt und die Firma hat auf der technologischen Lernkurve einen Vorsprung gegenüber Akteuren, die später in das Business eingestiegen sind.

F) Hemmfaktoren

Im Gegensatz zu der Fülle an für den Innovationsprozess förderlichen Faktoren sind die Faktoren, die auf den Prozess einen eher negativen Einfluss nehmen oder nehmen könnten, sehr übersichtlich:

- In der ersten Hälfte der 1990er Jahre haben die Positionen potenzieller Geldgeber wie Banken (z.B. UBS) einen bremsenden Einfluss auf die Entwicklung bei Sputnik, weil diese der Unternehmung keinen Startkredit gewähren. Im Nachhinein ist dieser Einflussfaktor jedoch als minimal einzustufen ist.
- Während etwa das Aktionsprogramm Energie 2000 in den 1990er Jahren grundsätzlich ein gutes Klima für alternative Energien schafft, wird Solarstrom an sich von vielen Seiten nicht ernst genommen bzw. sogar ins Lächerliche gezogen. Einige EWs bremsen beispielsweise die Dynamik des Aktionsprogramms Energie 2000 aus und nehmen dadurch einen negativen Einfluss auf die Förderung erneuerbarer Energien.
- Als Sputnik 1994 in Amsterdam das neue Grundkonzept (trafloser Wechselrichter) vorstellt, ernten C. von Bergen und P. Müller zum Teil harsche Kritik und zum Teil Misstrauen von Seiten der Mitbewerber / Branche. Obwohl sich das Konzept heute durchgesetzt hat, haben diese Reaktionen zu der Zeit noch einen dämpfenden Effekt.
- Der Auftrieb in 2004 erfolgt in einem Masse, durch das den Innovationsprozess in eine, zumindest ansatzweise, Instabilität versetzt wird. Die Wachstumsgeschwindigkeit und der plötzlich vielfache Produktionsumfang werden 2004 sowohl durch externe aber auch interne Kapazitätsengpässe begleitet. Während extern Zulieferer nicht komplett mit dem möglichen Produktionsvo-

lumen mitgehen können, bringen intern das Wachstum ablauf- und aufbauorganisatorische Schwierigkeiten mit sich.

- Ein negativer Einfluss auf den im Laufe des Jahres 2004 übermässig stark beschleunigten Innovationsprozess kommt Ende 2004 durch den Silizium-Engpass ins Spiel. Damit erhält die sehr hohe Wachstumsdynamik einen Dämpfer.

G) Kernaspekte des Falls

Für die erste Phase von Ende der 1980er Jahre bis etwa 1994 des Innovationsprozesses SolarMax besteht ein guter Nährboden. In dem Gefüge zwischen Ingenieursschule in Biel, Bundesamt für Energie und Kontakten zur Industrie finden die Gründer von Sputnik unterstützende Beiträge auf mehreren Ebenen. Prinzipiell dazu kommt das Aktionsprogramm Energie 2000, mit dem auf politischer Ebene dem Thema Alternative Energien eine Resonanz eingeräumt wird.

In der zweiten Phase ab etwa 1994 bewältigt das Unternehmen sämtliche Herausforderungen aus sich heraus. Nach der Entwicklung des traflosen Gerätes mit Unterstützung des Bundesamtes für Energie (erste Phase) finanziert die Sputnik Engineering AG die Weiterentwicklung ihrer Produkte aus dem Cashflow. Das Unternehmen sieht die Arbeit an seinen Produkten nicht als Forschung im Sinne einer Hochschule sondern als Produktentwicklung und eigene Aufgabe an. Für Sputnik wären eine weitere öffentliche Förderung mit Blick auf die damit verbundene Offenlegungspflicht ungünstig gewesen, da Sputnik nicht patentiert.

Eine dritte Phase für den Innovationsprozess stellt die ausgeprägte Wachstumsdynamik ab 2003/04 dar. Mit der hohen Wachstumsgeschwindigkeit steigen die Anforderungen an das Management. In dem wachsenden Unternehmen gilt es in dieser Phase neue interne Strukturen und Institutionen zu schaffen. Während in der vorigen Phase noch am Pausentisch die wichtigsten Informationen zwischen den Mitarbeitern ausgetauscht werden können, ist nach einem Sprung der Mitarbeiterzahl eine wöchentliche Zusammenkunft der Mitarbeiter in einem grossen Saal notwendig. Neben dem Wandel in den Kommunikations- und Informationsstrukturen hat Sputnik zudem in den letzten Jahren aufgrund stärker ausdifferenzierter Aufbau- und Ablauforganisation Brücken bauen müssen zwischen den Abteilungen. Beispielsweise finden heute die originären Entwicklungen zu Wechselrichtern in einer anderen unternehmerischen Einheit statt als die Entwicklungen im Bereich der Datenkommunikation. Vor diesem Hintergrund erweitert sich der Innovationsprozess neben den Produktinnovationen vermehrt um die Dimension von Prozessinnovationen.

Der zentrale Erfolgsfaktor aus dem Umfeld für den Innovationsprozess ist der schnell wachsende Photovoltaik-Markt in Deutschland (7⁺) (vgl. Abbildung 16). Aus dem Innovationssystem wirken vor allem die Unterstützung der Ingenieurschule Biel (1⁺) und ein vom BFE unterstütztes Schlüsselprojekt positiv (5⁺). Zudem spielt ein KTI-Projekt zu Beginn des Innovationsprojektes eine wichtige Rolle für den Innovationsprozess (Entwicklung 3-phasiger Wechselrichter) (2⁺).

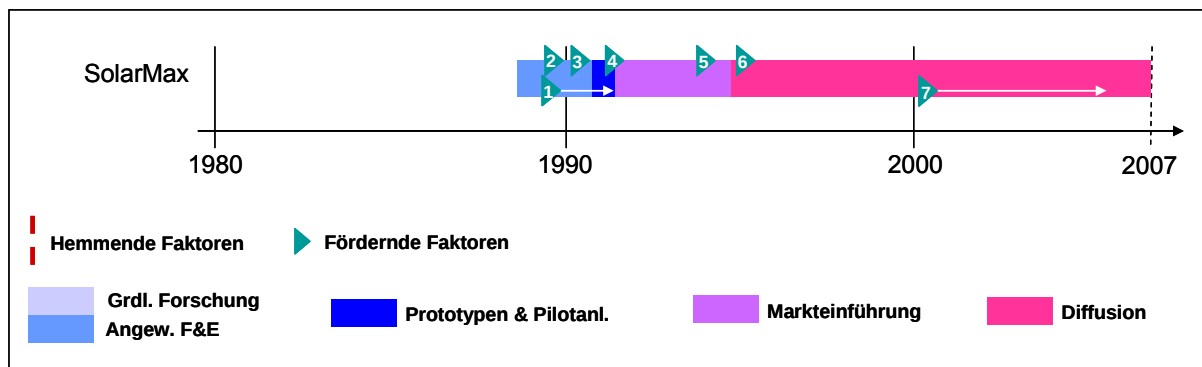


Abbildung 16: Innovationsphasen und zentrale Einflussfaktoren des Innovationsprozesses SolarMax im Überblick

Ansonsten sind es besonders Faktoren auf Organisationsebene, die für den Prozess fördernd wirken. Dazu gehören die sehr gute Partnerschaft zwischen den Sputnik-Gründern (3⁺), die Verbundenheit mit dem Unternehmen Sputnik, vor allem seitens der Gründer aber auch seitens der Mitarbeiter (6⁺), sowie die Auslagerung von Produktionsbereichen und die geringe Fertigungstiefe bei Sputnik (4⁺). Für den Innovationsprozess konnten keine Faktoren identifiziert werden, die eine zentral hemmende Wirkung hatten.

Die Rolle des Bundesamtes für Energie ist hinsichtlich des Innovationsprozesses SolarMax als gelungen einzustufen (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 7: Realer und potenzieller Einfluss des BFE auf zentrale Einflussfaktoren des Innovationsprozesses SolarMax

Photovoltaik: SolarMax			
Zentrale Förderfaktoren		Zentrale Hemmfaktoren	
Nr. Beschreibung	Realer / Potenzieller Einfluss des BFE	Nr. Beschreibung	Realer / Potenzieller Einfluss des BFE
1 ⁺ Unterstützung der Ingenieurschule Biel	- / o		
2 ⁺ KTI-Projekt Entwicklung 3-phasiger WR	- / o		
3 ⁺ Partnerschaft zwischen Sputnik-Gründern	- / -		
4 ⁺ Geringe Fertigungstiefe und Auslagerung	- / -		
5 ⁺ Schlüsselprojekt mit BFE	++ / ++		
6 ⁺ Verbundenheit mit Unternehmen	- / -		
7 ⁺ Boom PV-Markt in Deutschland	- / -		
++ Grosser realer Einfluss + Realer Einfluss o Geringer realer Einfluss - Kein realer Einfluss		++ Grosser potenzieller Einfluss + Potenzieller Einfluss o Geringer potenzieller Einfluss - Kein potenzieller Einfluss	

In Abbildung 17 ist dargestellt, wo die wichtigsten Förderfaktoren zu verorten sind. Es zeigt sich, dass neben dem BFE, der Hochschule in Biel und der KTI vor allem das Unternehmen selbst wichtige Impulse für den Innovationsprozess gab.

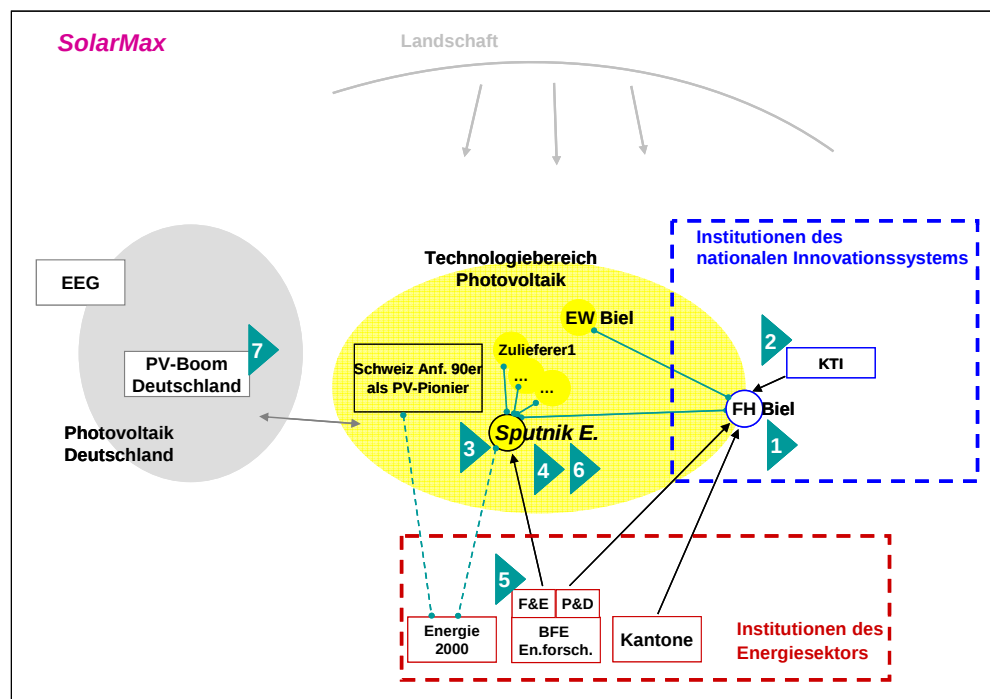


Abbildung 17: Verortung zentraler Einflussfaktoren des Innovationsprozesses SolarMax

4.2.7 Haupterkenntnisse Photovoltaik für die Innovationsförderung

Die Fallstudien aus dem Technologiebereich Photovoltaik haben alle drei einen ausgeprägten Bezug zum Thema Wissens- und Technologietransfer. Die Hochschulen hatten in diesen Innovationsprozessen eine prominente Rolle. Etwa wirkten sich die interne (meist positive) Teamdynamik und auch die Grösse der Forschungsgruppe Solar am IMT positiv auf die Resultate der Forschungs- und Entwicklungsarbeit aus. Die Kontinuität und langfristige Ausrichtung der Finanzierung des BFE hatte eine positive Wirkung auf die Stabilität der gesamten Gruppe. Gute Leute konnten durch eine Zukunftsperspektive gehalten und Kompetenzen konnten fortlaufend weiter entwickelt werden. Die positive Teamdynamik blieb über längere Strecken erhalten. Begünstigt wurde dies dadurch, dass eine gewisse Autonomie, Beweglichkeit und Unabhängigkeit der Forschungsgruppe herrschte, was sich aus Sicht der Interviewpartner förderlich für den Innovationserfolg darstellte. Auch bei dem Innovationsprozess SolarMax war die Rolle der Hochschule sehr förderlich für die erfolgreiche Entwicklung. Zugeständnisse wie etwa die Vertriebslizenz oder ein zeitweiliges Anstellungsverhältnis und eine gute persönliche Ebene waren eine wichtige Hilfe für den Ausgründungsprozess. Eine ähnliche Funktion übernahm die Ingenieursschule in Le Locle für den Flexcell-Innovationsprozess.

Die Überführung der Ergebnisse in die Praxis war in allen drei Innovationsprozessen eng mit den Personen gekoppelt, d.h. aus den Forschenden wurden Unter-

nehmer bzw. Mitarbeitende von Unternehmen. Die Herausforderungen lagen in der Übertragung der Technologien in die Unternehmenspraxis. Im Fall von Flexcell standen Themen wie Venturekapital und Managementaufgaben im Zentrum, hingegen galt es innerhalb des Innovationsprozesses Oerlikon Solar Überzeugungsarbeit in einem bestehenden Unternehmen zu leisten. Bei letzterem war es dem BFE eher möglich, mitzuhelfen und positiven Einfluss zu nehmen. Der Einstieg eines grösseren Unternehmens kann ein wesentlicher Schritt im Innovationsprozess sein. Hier wären unter Umständen zusätzliche Anreize von staatlicher Seite denkbar.

Während SolarMax im Prinzip mit einem zentralen Projekt effektiv unterstützt werden konnte, spielte bei den anderen beiden Innovationsprozessen die Kernfinanzierung des IMT seitens des BFE eine entscheidende Rolle. Hier scheint es wichtig zu sein, das Niveau der Unterstützung daran zu messen, inwieweit der Förderumfang einer Gruppe den kreativen Einsatz des Budgets ermöglicht. Es geht demnach nicht darum, möglichst viele Geldmittel zur Verfügung zu stellen, sondern der Gruppengrösse und dem Entwicklungsstadium der Technologie entsprechend zu fördern. Die beiden Innovationsprozesse in Verbindung mit dem IMT sind dafür positive Beispiele.

Für die Entwicklung von Basistechnologien ist sicherlich eine langfristig ausgerichtete, kontinuierliche Förderung als relevant zu erachten. Die Vergabe von Fördermitteln dürfte dabei optimalerweise nicht von technologischen Hypes oder politische Stimmungen beeinflusst werden. Dies kann sich nicht nur negativ auf die Kontinuität der Förderung auswirken, sondern birgt auch die Gefahr, dass man sich zu wenig an den grundsätzlichen Potenzialen der betreffenden Technologie(n) orientiert. Es wurde auch auf die grundsätzliche Bedeutung von finanziellen Spielräumen im Innovationsprozess hingewiesen. An die spezifischen Ergebnisse einzelner Projekte sollten seitens der Geldgeber nicht zu grosse Erwartungen geknüpft werden, so lange die grundsätzlichen Potenziale der betreffenden Innovation hoch sind. In Japan wurden beispielsweise Firmen über 10 Jahre intensiv betreut, um eine Tandemzelle marktauglich zu entwickeln. Diese Art von Förderung wird als wünschenswert angesehen.

Es wurde darauf hingewiesen, dass die Bedürfnisse hinsichtlich Förderungsdauer und Kontinuität je nach Technologie bzw. Innovation sehr verschieden sein können. Die verschiedenen Förderinstitutionen sollten in der Lage sein, unterschiedlichen Bedürfnissen Rechnung zu tragen. Zwischen Nationalfonds und KTI klafft eine Lücke in der Förderung für angewandte Forschung, die das BFE im Fall der Energieforschung ausfüllt. Die Unterstützung seitens des BFE kann auch die Legitimation von Innovationsaktivitäten erhöhen. Zudem ist es positiv zu beurteilen, dass die KTI für diese drei Innovationsprozesse wichtige Unterstützung eingebracht hat.

Aus Sicht der Förderempfänger spielt die Genehmigungs- und Abwicklungspraxis bei Förderanträgen eine wesentliche Rolle für die Attraktivität der Fördermittel. Hier könnte eine Optimierung des Verhältnisses zwischen Aufwand für einen Projektantrag und Förderdauer in Frage kommen. Die gängige KTI-Praxis, nur Löhne für Hochschulpartner zu finanzieren, kann sich unter Umständen nachteilig in einer marktnahen Phase des Innovationsprozesses auswirken.

Alle drei Innovationsprozesse aus dem PV-Bereich sind von einem sehr ausgeprägten persönlichen Engagement geprägt. Zudem haben die Innovationsprozesse Flexcell, Oerlikon Solar und SolarMax substanziell von dem Boom auf dem deutschen Solarmarkt profitiert.

Für Oerlikon Solar liegt zukünftig eine enorm grosse Herausforderung darin, gegenüber der Konkurrenz bestehen zu können. In den USA oder in Japan werden in vergleichbaren Innovationsprozessen direkt Unternehmen mit hohen Geldbeträgen gefördert. Gegenüber solchen Förderstrukturen hat Oerlikon zu bestehen.

Die SolarMax-Wechselrichter von Sputnik sind sowohl in technologischer als auch in wirtschaftlicher Hinsicht ein klarer Erfolg. Das Unternehmen hat wiederholt gezeigt, dass es hinsichtlich technologischer und produktbezogener Innovationen eine führende Rolle einnimmt. Die Herausforderungen in der Zukunft liegen in der Erschliessung weiterer europäischer Märkte. Während der Start auf dem deutschen Markt sprachlich und kulturell für Sputnik relativ gut gemeistert werden kann, stellt der Gang auf den spanischen, italienischen, französischen oder griechischen Markt bezüglich der Mehrsprachigkeit und der kulturellen Vielfalt eine grössere Herausforderung dar. Diese Sprünge sind für Sputnik aufgrund der kleinen Unternehmensgrösse schwierig. Grosse Unternehmen, die bereits in anderen Bereichen international arbeiten, haben bei dieser Art von Expansion Vorteile.

4.3 Technologiebereich Wärme-Kraft-Kopplung

Neben den erneuerbaren Energiequellen nimmt im Bereich der rationellen Energienutzung die Wärme-Kraft-Kopplung (WKK) eine zentrale Rolle in der energiepolitischen Diskussion ein. Der ökologische Vorteil der WKK liegt darin begründet, dass die bei der Stromproduktion anfallende Wärme ebenfalls energetisch genutzt wird und diese nicht wie in vielen konventionellen Grosskraftwerken nur ein unerwünschtes Nebenprodukt ist. Durch die gleichzeitige Nutzung von Strom (Kraft) und Wärme werden Gesamtwirkungsgrade um die 90 % erreicht, im Vergleich zu 33 % bis 45 % für die alleinige Produktion von Elektrizität. Die wirtschaftliche Situation von WKK-Anlagen hängt im Wesentlichen davon ab, wie hoch die Preise für Erdgas und Öl (konventionelle Wärmeerzeugung) liegen und welche Vergütung man für den erzeugten Strom erhält bzw. wie hoch die Stromkosten sind, die man mit der Eigenerzeugung substituieren kann.

In einigen europäischen Ländern erfuhr und erfährt Wärme-Kraft-Kopplung nicht zuletzt aufgrund staatlicher Förderung (Stromeinspeisung) einen Aufschwung mit viel versprechenden Prognosen. So rechnet man etwa in Deutschland bis zum Jahr 2020 mit einer Verdreifachung des WKK-Anteils an der Stromproduktion, von heute 12 % auf 36 % (vgl. Hafner 2007)¹¹. Dies umfasst sowohl die WKK in Grosskraftwerken, d.h. mit Fernwärmenutzung als auch in dezentralen Blockheizkraftwerken (Nahwärme).

In der nachfolgenden Fallstudie wird die Entwicklung des SwissMotors dargestellt. Der SwissMotor ist ein mit Erdgas betriebener Verbrennungsmotor für dezentrale Anwendungen in Blockheizkraftwerken (Grössenordnung 190 kW_{el}). Er zeichnet sich durch sehr ehrgeizige Abgaswerte und einen hohen Wirkungsgrad aus. Die Technologieentwicklung wurde wesentlich durch das Bundesamt für Energie unterstützt.

4.3.1 Beschreibung Technologie

WKK-Anlagen können zunächst in zwei grosse und kleine Anlagen unterteilt werden. Grosse Anlagen produzieren Strom in einem Leistungsbereich von etwa 1 bis 100 MW und kleine WKK-Anlagen, so genannte Blockheizkraftwerke, werden im Bereich von 10 kW bis etwa 1 MW eingesetzt. Grosse Anlagen arbeiten mit Gas- und / oder Dampfturbinen, während in Blockheizkraftwerke Gas-, Diesel- oder Zündstrahlmotoren, aber z. T. auch Brennstoffzellen oder Stirlingmotoren zum Einsatz kommen. Die verschiedenen Technologien befinden sich in unterschiedlichen Reifestadien. Gas- und Dampfturbinen sowie Verbrennungsmotoren sind weitgehend ausgereifte Technologien, Brennstoffzelle und Stirlingmotor hingegen noch in einem früheren Entwicklungsstadium.

Nachfolgend stehen gasmotorbetriebene Blockheizkraftwerke (BHKW) im Vordergrund. Brennstoff ist in der Regel Erdgas, es gibt aber auch Anwendungen mit Klärgas aus Abwasserreinigungsanlagen oder mit Biogas aus landwirtschaftlichen oder gewerblich-industriellen Biomassevergärungsanlagen. Mit Blick auf den Einsatz von Sondergasen stellt ein Katalysator einen Knackpunkt dar, weil vorab eine Gasaufbereitung benötigt wird, damit das Brennstoffgemisch für den Motor immer gleich ausfällt – etwa wegen des zu hohen Schwefelanteils beim Biogas. Diese

¹¹ Allerdings wird nicht in allen Prognosen mit einer Verdreifachung gerechnet, sondern eher mit einer Zunahme um gut das 2,5-fache (vgl. Horn et al. 2007, 18 ff.).

Gasaufbereitung schlägt sich mit etwa 30 % in den Investitionskosten nieder. Von daher ist die SwissMotor-Technologie in Bezug auf Sondergase eingeschränkt.

Um die diversen Abgasgrenzwerte einhalten zu können, wird bei motorischen Blockheizkraftwerken in der Regel ein Drei-Wege-Katalysator eingesetzt. Für den Betrieb mit Erdgas ist der Katalysator eine gute Lösung, beim Einsatz von Bio- oder Klärgas hingegen wird ein Katalysator durch die geringere Reinheit der Gase in kurzer Zeit zerstört. Daher sind bei der Verbrennung von Sondergasen andere Lösungen zur Einhaltung der Grenzwerte gefragt. Ein Ansatzpunkt ist hier die Verwendung von Magermotoren, bei denen der Luftanteil im Gas-Luft-Gemisch den für die Verbrennung notwendigen Anteil übersteigt ($\lambda > 1$). Je magerer die Verbrennung läuft, desto bessere Abgaswerte werden erreicht und desto kühler ist die Verbrennung. Allerdings gelangt man bei λ 1,7 oder 1,8 an Zündgrenzen.

Bis Ende der 1980er Jahre wurden Erdgasmotoren nur als λ -1-Motor, d.h. ohne Luftüberschuss betrieben. Anschliessend wurden verstärkt Magermotoren entwickelt. Vorreiter ist MWM (Sitz in Mannheim). In der Schweiz überträgt die Dimag (Sitz in Niederdorf) in den 1990er Jahren die Magermotortechnik auf kleinere Motoren. Dabei werden zunächst elektrische Wirkungsgrade von 30-31 % erreicht.

Zur Erhöhung des Wirkungsgrades können λ -1-Motoren mit einem Turbolader kombiniert werden, d.h. das Gas-Luft-Gemisch wird bereits mit einem bestimmten Druck in den Zylinder hinein gepresst. Dies bedingt jedoch auch einen grösseren Umsatz von Wärme und Energie (heissere Verbrennung). Die Folge ist eine höhere mechanische Belastung, was zu einem höheren Verschleiss bei Bauteilen im Motor und einem höheren Wartungsaufwand führt. Und es gibt noch einen zweiten Zielkonflikt. Wenn man den Wirkungsgrad steigert, steigen typischerweise die Abgasemissionen und umgekehrt gehen geringe Emissionen tendenziell mit einem geringeren Wirkungsgrad einher.

Die prinzipielle Entwicklung einer solchen Technologie wie dem SwissMotor stand in gewisser Weise unter einem schlechten Stern, weil schon verschiedene andere Hersteller von Motoren (z.B. Jenbacher) versucht hatten, in diese Richtung zu arbeiten, und im Wesentlichen Probleme hatten mit dem Verschleiss verschiedener Komponenten aufgrund der höheren Temperatur. Bei jenen Versuchen fehlte der kühlende Effekt, welcher durch die Abgasrückführung beim SwissMotor erreicht wird.

Der Einsatz von Gasmotoren in BHKWs ist durch einen Dauerbetrieb und sehr wenige Stillstandsphasen gekennzeichnet, im Unterschied etwa zu Dieselmotor (beispielsweise in Baufahrzeugen), die während ihres Betriebs wechselnden Lasten unterworfen sind (verschiedene Drehzahlen und Leerlaufanteile). Die hohe Dauerbelastung stellt eine eigene Herausforderung dar und erst ein Testbetrieb über mehrere hundert oder tausend Stunden zeigt, welche Komponenten der hohen Belastung standhalten und welche nicht. So sollen etwa Zylinderköpfe 12.000 Stunden halten, d.h. man benötigt 1,5 Jahre Testlaufzeit, bis man weiss, ob diese Anforderung erfüllt wird. Innovations- und Entwicklungsprozesse sind entsprechend zeitaufwändig. Allerdings bedingen die seltenen Stillstandsphasen auch, dass die Motoren nicht so oft abkühlen und damit einer geringen thermischen Belastung unterliegen. Das wiederum führt normalerweise zu einer hohen Lebensdauer und zu verlängerten Wartungsintervallen.

4.3.2 Markt und Situation in der Schweiz

In der Schweiz ist die Verbreitung der Wärme-Kraft-Kopplung, u.a. mit Verweis auf die bislang weitgehend CO₂-freie Stromversorgung, nicht stark vorangetrieben worden. Mit Ausnahme lokal begrenzter Investitionszuschüsse wie etwa in Basel oder Zug gibt es keine besondere Vergütung für den in WKK-Anlagen erzeugten Strom. Derzeit entfallen daher auf WKK-Anlagen nur etwa 3 % der schweizerischen Stromproduktion (vgl. Hafner 2007, Kaufmann & Gutzwiller 2005, 21). Dabei handelt es zum Grossteil um industrielle Gross-WKK-Anlagen und (stromproduzierende) Klein-WKK-Anlagen (Blockheizkraftwerke mit Gas- und Dieselmotoren und Gasturbinen mit einer elektrischen Leistung unter 1 MW_{el}). Bei den Klein-WKK-Anlagen handelt es sich insbesondere um dezentrale Anlagen in der Grössenordnung von 100-200 kW_{el} (vgl. Kaufmann & Gutzwiller 2005).

Der Markt für dezentrale WKK-Anlagen in der Schweiz ist klein. Dementsprechend gibt es zwar einige Händler für WKK-Anlagen, aber kaum Firmen, die im Bereich WKK eine eigene Technologie-Entwicklung verfolgen.

Die Stromerzeugung aus WKK-Anlagen ist „nach marktorientierten Bezugspreisen für gleichwertigen Strom“ zu vergüten (Energiegesetz). Die Energieversorger in der Schweiz kommen dieser Abnahmeverpflichtung mit unterschiedlichen Vergütungen nach und so ergeben sich substanziell unterschiedliche Tarife (vgl. Bättig 2003, 24).

Von zentraler Bedeutung für die Wärme-Kraft-Kopplung in der Schweiz sind auch die Abgasvorschriften. 1992 wurden mit der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) zunächst sehr restriktive Emissionswerte von 80 mg pro Normkubikmeter NO_x gefordert. Die LRV formulierte Mindestvorgaben, welche in den Kantonen Zürich und Basel daraufhin mit 50 bzw. 70 mg sogar noch verschärft wurden. Diese strengen Vorschriften sind ein wesentlicher Impuls für die Entwicklung des SwissMotors (s. u.), weil sie zunächst nur mit Hilfe eines Drei-Wege-Katalysators erfüllt werden können, welcher wiederum den Einsatz eines Lambda 1-Motors bedingt. Letztere haben jedoch einen schlechten Wirkungsgrad (s. o.), was wiederum nachteilig für die Wirtschaftlichkeit und die Energiebilanz der WKK ist.

Während dieses Dilemma also Mitte der 90er Jahre die Technologieentwicklung für den SwissMotor antreibt, wirkt es sich 1998 entsprechend negativ aus, dass im Zuge der Novellierung der LRV der nationale NO_x-Grenzwert auf 250 mg gelockert wird, auch wenn die Vorgaben für Zürich und Basel unverändert bleiben.

4.3.3 Strategie BFE und Förderumfeld

Verbrennungsmotoren wie der SwissMotor können verschiedene Förderprogramme des BFE ansprechen. Grundsätzlich sind sie in dem Förderprogramm „Wärme-Kraft-Kopplung, Verbrennung, Kraftwerk 2020“ zu verorten. Auf der Ebene des eigentlichen Verbrennungsprozesses wäre das Subförderprogramm „Verbrennung“ einschlägig. Umfassen Projekte jedoch einen breiteren Anwendungsbereich zur kombinierten Erzeugung von Wärme und Strom ist das Subförderprogramm „Wärme-Kraft-Kopplung“ treffend. Wird WKK-Technologie mit dem Einsatz von Wärmepumpen gekoppelt würde hingegen das Förderprogramm „Umgebungswärme“ greifen. Nicht zuletzt abhängig vom Substrat- oder Gaseinsatz kämen auch die BFE-Förderprogramme Biomasse und Holzenergie in Frage. Bei wirtschaftspolitischem Interesse kann im Zusammenhang mit der Gewinnung von Wärme respek-

tive Strom aus Gas zudem der Forschungs- und Entwicklungsfonds der Schweizer Gaswirtschaft (FOGA) ins Spiel kommen.

Seitens des BFE wurden zwischen 1995 und Anfang 2004 verschiedene Projekte im Zusammenhang mit dem SwissMotor gefördert. Insgesamt beläuft sich dieses Fördervolumen auf rund eine dreiviertel Million Franken. Auch der FOGA hat den Innovationsprozess SwissMotor finanziell unterstützt.

4.3.4 Fallstudie **SwissMotor**

A) Kurzportrait

Der SwissMotor ist ein mit Erdgas betriebener Verbrennungsmotor für dezentrale Anwendungen in Blockheizkraftwerken. Er zeichnet sich durch besonders gute Abgaswerte und einen hohen Wirkungsgrad aus. Bis 2005 wurden von der Firma Dimag/Menag¹² mit Sitz in Niederdorf etwa zwei Dutzend SwissMotoren verkauft. 2006 ging das Unternehmen aus verschiedenen Gründen in Konkurs.

Der Innovationsprozess SwissMotor beginnt 1995 mit Entwicklungen an der EPFL (Professor Favrat) in Zusammenarbeit mit den Unternehmen Dimag und Liebherr. 1997 wird mit Unterstützung des BFE ein Projekt gestartet mit dem Ziel, einen Gasmotor zu entwickeln, der ohne die Nachschaltung eines Katalysators die LRV-Abgasnorm für NO_x von 80 mg/Normkubikmeter einhält. Neben den oben genannten Partnern ist an diesem Projekt mit Professor Boulouchos auch das Institut für Energietechnik (IET) der ETH Zürich beteiligt. Dabei konzentrieren sich die beiden Hochschulen auf zwei unterschiedliche Konzepte. Während an der EPFL an der Verbesserung eines Magermotors gearbeitet wird, verfolgt die ETHZ eine neuartige Kombination aus Magermotor und Lambda-1-Konzept mit Turbolader und Abgasrückführung - der spätere SwissMotor. Letzterer unterschreitet schliesslich deutlich den geforderten LRV-Grenzwert und auch die noch strengeren Vorschriften in den Kantonen Basel und Zürich.

In der Zeit von 1999 bis 2002 entwickelt Dimag in enger Zusammenarbeit mit der ETH den SwissMotor in der ursprünglichen Grösse von 190 kW_{el} bis zur Serienreife weiter. Zwei Jahre später wird noch eine grössere Version mit 310 kW_{el} entwickelt und nach Korea verkauft. Dennoch verharrt der Absatz am Markt letztlich auf niedrigem Niveau, so dass der SwissMotor aus heutiger Sicht zwar als technologischer Erfolg, aber als wirtschaftlicher Misserfolg einzustufen ist.

Mittlerweile haben sich die Wirkungsgrade und Abgaswerte anderer Motortechnologien deutlich verbessert. Damit relativiert sich aus heutiger Sicht die Performance des SwissMotors (moving targets).

Seitens des BFE wurden zwischen 1995 und Anfang 2004 verschiedene Projekte im Zusammenhang mit dem SwissMotor gefördert. Insgesamt beläuft sich dieses Fördervolumen auf rund eine dreiviertel Million Franken. Auch der FOGA hat den Innovationsprozess SwissMotor finanziell unterstützt.

Für diese Fallstudien wurden Interviews geführt mit *Adrian Jaquiéry* (ehemals BHKW-Bereichsleiter Menag, heute Präsident des WKK-Fachverbandes Schweiz), *Karsten Lorenz* (ehemals Menag: Entwicklung und Technik, zuständig für Verkauf Deutschland; heute: Technischer Direktor SEnergie GmbH), *Martial Suchet* (Lieb-

¹² Die Firma Menag wurde 1970 als Metallbau Niederdorf AG gegründet. Sie übernahm 1998 die Dimag Dieselmotoren AG.

herr Machines Bulle, Hauptabteilungsleiter Vertrieb, Marketing, Service) und *Konstantinos Boulouchos* (Professor am Institut für Energietechnik der ETHZ).

B) Meilensteine

Der Entwicklungs- und Innovationsprozess SwissMotor dauert von Anfang der 1990er Jahre bis 2006. Die Anfangsphase des Prozesses (erste Hälfte der 90er Jahre) ist durch Studien und Entwicklungen an der EPFL gekennzeichnet, wo man sich darauf konzentriert, einen Dieselmotor der Firma Liebherr für den Betrieb mit Erdgas anzupassen. 1994 wird eine Machbarkeitsstudie vorgelegt, die auch wichtige Erkenntnisse hinsichtlich der Kosten umfasst. In 1995 erfolgt mit der Konzeption der Motorkonstruktion, der Beschaffung der entsprechenden Komponenten usw. ein erster Meilenstein. [technologischer Meilenstein 1]

Die Optimierungsarbeiten von Professor Favrat an der EPFL zeigen, dass mit der Magermotor-Technologie die Abgaswerte nur in einem begrenzten Rahmen von ca. 10 % zu verbessern sind. Auf Initiative des BFE wird 1995/96 der Einbezug der ETHZ initiiert, um weitere technologische Möglichkeiten auszuloten. Allerdings können die Arbeiten der ETHZ nicht gleich aufgenommen werden, da zu diesem Zeitpunkt noch eine Finanzierung fehlt. [organisatorischer Meilenstein 1]

Der zweite technologische Meilenstein wird Ende 1997 erreicht. Von Ende 1996 bis Ende 1997 werden das Magermotor-Konzept umgesetzt und der Gasmotor an der EPFL aufgebaut. Im Anschluss daran arbeitet die EPFL über die Optimierung dieser Technologie an der Vertiefung der Magermotor-Konzeption. Die originär SwissMotor-bezogenen Meilensteine bauen auf den Arbeiten an der EPFL auf. [technologischer Meilenstein 2]

Darauf folgt mit der Idee einer massiven Abgasrückführung der eigentliche Kern des SwissMotors. Die Abgasrückführung erlaubt trotz stöchiometrischen Betriebs die Maschine sehr hoch aufzuladen (Eingriff in chemische Kinetik). An der ETH Zürich wird mit einem Simulationsmodell das Potenzial für eine massive Abgasrückführung errechnet, mit dem Ergebnis sensationell niedriger Stickoxidwerte. Anfang 1998 findet das Konzept der Abgasrückführung nach einer einjährigen Phase seine Umsetzung. [technologischer Meilenstein 3]

Unabhängig von den Entwicklungsarbeiten an den beiden Hochschulen übernimmt 1998 die Menag (Metallbau Niederdorf AG) die Dimag Dieselmotoren AG. Etwas später wird unter Beteiligung zwei weiterer Firmen, die vor allem im Notstrombereich, aber auch im BHKW-Geschäft tätig sind, die Holding Metallbau Niederdorf geschaffen. Die Idee ist es, als grosse Gruppe und mit dem Know-how der Dimag sich als führender Anbieter von BHKWs in der Schweiz zu etablieren. [organisatorischer Meilenstein 2]

Bis Ende 1998 wird an der ETH das System der Abgasrückführung weiter optimiert und Anfang 1999 liegen Ergebnisse vor, die besser sind als in der Simulation errechnet. Der SwissMotor zeichnet sich durch extrem niedrige NOx-Werte und einen sehr hohen Wirkungsgrad aus. [technologischer Meilenstein 4]

Zwischen 1999 und 2001 findet der Technologietransfer von der ETH an die Firma Menag statt. In dieser Zeit werden weitere Teilprobleme gelöst, besondere Belastungsstellen und -ausmasse dokumentiert, die Prozessrobustheit geprüft sowie Tests mit unterschiedlichen Gasqualitäten gefahren. Im gleichen Zeitraum baut die Firma Menag einen BHKW-Vorserienprototyp auf und erreicht damit einen weiteren technologischen Meilenstein. [technologischer Meilenstein 5]

Mit der Lizenzvergabe in die USA wird ein weiterer organisatorischer Trittstein gesetzt. Mit Detroit Edison (DTE hat bis dato Energieversorgung von Detroit bis New York mit Grossanlagen getätigt) geht Menag 2001 eine Partnerschaft ein. Über eine Empfehlung des Departments of Energy wird herausgestellt, dass der SwissMotor die einzige Technologie ist, mit der die zukünftigen Vorschriften in Kalifornien einzuhalten sind. [organisatorischer Meilenstein 3]

2001 beginnt die Menag gemeinsam mit Liebherr den ersten 8-Zylinder-Motor zu gasifizieren und arbeitet daran, diesen für das SwissMotor-Konzept mit Abgasrückführung tauglich zu machen (50 Hz-Maschine mit 310 kW). Diese Motorversion läuft als Prototyp in einem Basler Spital. Nach Testläufen in Balsthal und in Liestal liegt 2002 die erste Serienmaschine der ursprünglichen Motorenversion (6 Zylinder, 190 kW) für den Markt vor. [technologischer Meilenstein 6]

2003/4 wird ein aufgerüsteter 8-Zylinder-Motor als 60 Hz-Maschine mit 330 kW elektrischer Leistung nach Korea verkauft. Bis etwa Ende 2003 / Anfang 2004 können etwa ein Dutzend SwissMotoren verkauft werden. [technologischer Meilenstein 7]

In 2006 muss die Menag Konkurs anmelden. Damit verschwindet das Unternehmen, welches die SwissMotor-Technologie vertreibt, vom Markt. Der Innovationsprozess kommt zum Stillstand. [organisatorischer Meilenstein 3]

C) Umfeld Innovationsprozess Swissmotor

Die folgende Abbildung greift auf, dass für den Innovationsprozess SwissMotor vor allem die beiden ETHs in Zürich und Lausanne Bedeutung hatten. Weiterhin waren die Förderinstitutionen BFE-Energieforschungsförderung und FOGA wichtig. In Bezug auf Emissionsgrenzwerte hatten zudem die Institutionen BAFU und diverse Kantone gewichtigen Einfluss auf den Prozess.

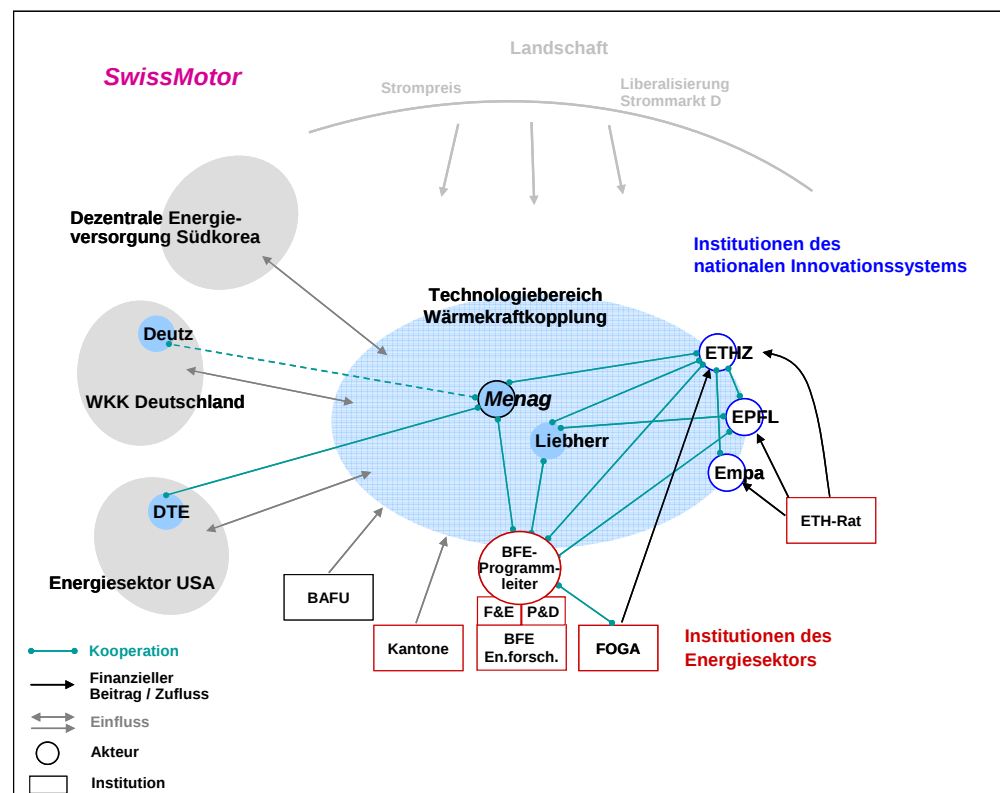


Abbildung 18: Wichtige Akteure und Institutionen für den SwissMotor-Prozess

D) Förderfaktoren

- Umfeld -

- **(1⁺) Abgasvorschriften Luft-Reinhalte-Verordnung:** Mit der neuen Fassung der LRV 1992 (Luft-Reinhalte-Verordnung) in der Schweiz stehen auf einmal wesentlich höhere Anforderungen hinsichtlich der zugelassenen Emissionswerte auf der Agenda. Die geforderten Grenzwerte orientieren sich an Low-NOx-Brennern wie sie im Fall von Gasturbinen eingesetzt werden. Technologisch sind die neuen Anforderungen sehr anspruchsvoll, weil ein Motor im Vergleich zu einem Brenner aufgrund der höheren Verbrennungstemperatur höhere Emissionswerte erzeugt.
- **(2⁺) Zürich als Zugpferd:** Die Stadt Zürich fungiert in diesem Kontext als Zugpferd und erlässt auf der Basis der LRV die weltweit schärfsten Vorschriften mit 50 mg NOx pro Normkubikmeter.
- **Abgasnormen in Südkorea:** In Südkorea werden ebenfalls sehr niedrige Abgaswerte gefordert. Die Abgaswerte sind für Mitbewerber von Menag bei einem Magermotor nur mit Katalysatoren einzuhalten. Diese Zusatzkomponenten müssen bei den Mitbewerbern kalkuliert werden und führen zu einem anderen Preisgefüge, was den SwissMotor preislich konkurrenzfähig macht.

- Innovationssystem -

- **(3⁺) Unterstützung des FOGA:** Die Einbindung des Forschungs- und Entwicklungsfonds der Schweizer Gaswirtschaft (FOGA) auf die Initiative des BFE hin ist für die ‚Zündung‘ des eigentlichen SwissMotor-Innovationsprozesses wichtig. Mit der finanziellen Unterstützung des FOGA wird das an der ETH eingesetzte Simulationsmodell zur Abgasrückführung finanziert (von etwa 1995 bis 1997). Diese Simulation bestätigt die prinzipielle Technologietauglichkeit.
- **(4⁺) Unterstützung des BFE:** Im Anschluss an die Finanzierung des FOGA entscheiden der BFE-Bereichsleiter A. Hintermann und der BFE-Programmler M. Zogg, den SwissMotor-Prozess zu unterstützen. Das BFE finanziert mit einem Betrag in der Grössenordnung von 250.000 CHF eine Weiterführung des Innovationsprozesses zum Aufbau eines Prüfstands. Diese Förderung ist ein zentraler Beitrag für den Innovationsprozess, weil die Entwicklung zu einem Zeitpunkt fortgesetzt werden kann, an dem die Finanzierung zunächst noch offen war.
- **Kooperationsbereitschaft EBM (Basel):** Für den ersten Prototyp kann in Liestal ein Dauertest gefahren werden. Die EBM in Basel (Stadtwerke) erkennt an, dass es sich um eine neue Technologie handelt und geht gewisse Risiken wie mögliche Ausfälle ein.
- **Einlenken und Engagement von BFE-Bereichsleiter „Verbrennung“:** Für den Teil des Innovationsprozesses, in dem die Technologie schon an die Menag übergeben ist und das Unternehmen den Markteintritt vorbereitet bzw. in den Markt eintritt, ist der Einsatz von A. Hintermann (BFE-Bereichsleiter) wichtig, der Gespräche mit Menag führt, um klarzumachen, dass eine längere Begleitung der ETHZ für den Innovationsprozess notwendig ist. Dieses Einlenken führt dazu, dass die Kompetenz von K. Boulouchos zunächst noch weiterhin dem Prozess zugute kommt, das Wir-Gefühl gefördert wird und Menag sich nicht schon in dieser Phase von der ETHZ löst.

- Kleinere Unterstützung des BFE: Das BFE ergänzt in der Phase der Technologieübergabe von der ETHZ an die Menag Energie AG die Unterstützung des FOGA mit kleineren Beträgen für Detailuntersuchungen. Während das BFE bis dato den Innovationsprozess aus dem Budget für „Verbrennung“ gespeist hat, regt M. Zogg (BFE-Programmleiter) dafür eine Unterstützung aus dem WKK/Umgebungswärme-Budget an, wodurch diese weitere Förderung möglich wird.
- Kleinere Unterstützung des FOGA: Nach der Bestätigung der im Simulationsmodell errechneten Werte mittels Prüfstand tritt der FOGA wieder in den Innovationsprozess ein. Zu diesem Zeitpunkt steht fest, dass das technologische Potenzial real erreicht werden kann. Insofern ist es für den FOGA nach zwischenzeitlicher Zurückhaltung wieder von Interesse, die Technologie zu unterstützen. Im Wechselspiel mit dem BFE werden einzelne Schritte der Technologieübergabe unterstützt (bspw. Finanzierung von sechs Arbeitsmonaten an der ETHZ für den SwissMotor). Von Vorteil an diesem Punkt ist die sehr offene und informelle Kommunikation zwischen M. Zogg (BFE-Programmleiter) und M. Seifert (FOGA).
- Kooperative Geste seitens der Empa: 1998/99 kommt ein weiterer Akteur des nationalen Innovationssystems ins Spiel. Für den SwissMotor gibt es zu dieser Zeit nur eine geeignete Versuchsstrecke in der Schweiz, über die das Bundesforschungsinstitut Empa aus dem ETH-Bereich verfügt. Die Empa bietet den Prüfstand auf dieser Versuchsstrecke an und stellt diese Infrastruktur zu einem ‚freundschaftlichen‘ Preis zu Verfügung.
- Gewinnbringende Zusammenarbeit zwischen den beiden ETHs: Trotz einem gewissen Konkurrenzverhältnis zwischen der ETHZ und der EPFL gibt es in der Zusammenarbeit keine Probleme. Im Gegenteil profitiert und lernt die ETHZ von den Erfahrungen der EPFL mit der Gasifizierung eines Liebherr-Motors und dem Prüfstand des selbigen. Die parallele Entwicklung von zwei Technologiepfaden (EPFL: Optimierungsarbeit einer bestehenden Technologie, ETHZ: Entwicklung einer neuen Technologie) eröffnet die Möglichkeit, sich für den besten technologischen Weg entscheiden zu können.
- Einbindung des FOGA durch BFE: Für den SwissMotor-Prozess ist die teilweise Beteiligung der Gaswirtschaft relevant. Das BFE setzt sich als Vermittler für die Einbindung des FOGA (Forschungs- und Entwicklungsfonds der Schweizer Gaswirtschaft) ein. Der FOGA wird gemeinsam vom BFE und der ETHZ angesprochen.
- Gute Kenntnis der Forschungsszene bei BFE-Zuständigen führt Einbindung der ETHZ in das Projekt: BFE-Bereichsleiter A. Hintermann und BFE-Programmleiter M. Zogg haben gute Kenntnis von K. Boulouchos' Forschungsfokus zu neuen Konzepten im Bereich der Verbrennungssysteme (LVV der ETHZ). Auf Initiative des BFE wird der Einbezug von Professor Boulouchos realisiert und damit dem Projekt eine weitere Stossrichtung gegeben.

- Organisation -

- Partnerschaft mit DTE: Detroit Edison (DTE) sieht, dass Grosskraftwerke alleine nicht die Zukunft sind, und arbeitet im Rahmen einer neuen Abteilung in Technologien für dezentrale Energieversorgung (BHKWs, Brennstoffzellen, Mikroturbinen usw.). Im Zuge dessen wird die Partnerschaft mit Menag eingegangen. DTE wiederum verfügt über ein weltweites Netz von Partnern, u.a. Samsung (grosser Industriebetrieb mit Energieabteilung) in Korea.

Samsung ist zu der Zeit daran beteiligt, in Südkorea eine dezentrale Energieversorgung auszubauen. Diese Zusammenarbeit ermöglicht den Zugang zum südkoreanischen Markt, auf dem schliesslich rund ein Dutzend SwissMotoren abgesetzt werden kann.

- Erfahrungswerte von Menag für das Aussprechen von Garantien: Beim Verkauf eines neuen Motors bzw. eines BHKW ist es zentral, Kunden Garantieren auszusprechen. Menag setzt im Falle des SwissMotors auf Erfahrungen mit anderen Motoren. Diese Erfahrungswerte helfen, bezüglich des Markteintritts nicht so viel Zeit zu verlieren mit zeitintensiven Tests, die abschliessende Gewissheit bringen würden. Hier werden Performancekriterien etablierter Motoren angelegt (Wirkungsgrad, Standzeit, Zuverlässigkeit usw.). Zum Beispiel wird SwissMotor-Kunden angeboten, dass im Falle eines Versagens der Zylinderköpfe vor der geplanten Laufzeit von 12.000 Stunden, prozentuale Preisanpassungen gewährt werden.
- Pragmatismus bei Menag: Günstig auf den Innovationsprozess wirkt 1999 die schnelle Reaktion der Menag, als sie relativ pragmatisch das Know-how der ETHZ übernimmt und zum Aufbau eines Prototypen führt. Menag kann diesbezüglich auf Erfahrungen im Bereich der Motorenkonstruktion zurückgreifen. Hier kommt die Stärke eines KMU zum Tragen, flexibel zu sein.
- Persönliches Interesse von Professor Boulouchos (ETHZ): Von Seiten K. Boulouchos besteht Interesse an der Teilnahme am SwissMotor-Projekt. Gemeinsam mit einem Diplomanden hat Konstantinos Boulouchos schon die Idee der Abgasrückführung parat, mit der die Herausforderung der niedrigen Abgaswerte technologisch angegangen werden kann. Hinzu kommt, dass die Integration in das Projekt die Gelegenheit bietet, sein Labor auf-/ auszubauen.
- Voraussetzungen am ISE (EPFL): Professor Favrat hat zu diesem Zeitpunkt bereits in einem Projekt mit Renault einen Gasmotor (weiter-) entwickelt und hat die notwendigen Instrumente, um eine vollständige Prüfstelle in seinem Institut bereitstehen.
- Projektdefinition und -antrag seitens Professor Favrat (EPFL): Professor Favrat schreibt die Anforderungen für technologische Entwicklungsschritte auf und arbeitet eine erste Projektdefinition aus, um bei Förderinstitutionen einen Projektantrag eingeben zu können. Dieser Schritt ist insofern ein wichtiger Beitrag zur Initiierung des Prozesses, als dass ein KMU wie Dimag / Menag immer wieder Berührungspunkte gegenüber Förderinstitutionen haben.
- Kontaktaufnahme von Liebherr zur EPFL: Aufgrund dessen, dass Liebherr in Bulle keine Linie zur Produktion von Gasmotoren und dort auch keine Ingenieure mit Erfahrung in dem Bereich hat, nimmt Liebherr bezüglich der Gasifizierung eines Motors Kontakt zu Professor Favrat (EPFL) auf.
- Dimag/Menag sucht Kontakt zu Liebherr: Da Dimag/Menag neben einem Motor von Deutz für einen niedrigen Leistungsbereich noch einen Motor will, geht die Firma 1995 auf Liebherr zu. Die Einbindung dieses grossen Akteurs wirkt sehr positiv auf den Innovationsprozess, etwa weil weitere Kontakte geknüpft werden (bspw. von Liebherr zur EPFL oder von der EPFL zum BFE). Zudem hat Liebherr in Bulle eine Fabrikation, Prüfstände, Einrichtungen für Leistungs- und Abgasmessungen usw. Die Firma Liebherr unterstützt die ETHZ mit Material und Ingenieursleistungen (Ressourcen von Liebherr). Diese ergänzenden Rollenteilungen kommen dem Prozess zugute.

te. Dimag hat 1995 die Generalvertretung für MWM. Da in der Motorenproduktpalette von MWM zwischen 60 kW und 120 kW eine Leistungslücke besteht, Dimag aber diesen Leistungsbereich abdecken möchte, sucht die Dimag Kontakt zu einem anderen Motorenanbieter. Vor diesem Hintergrund ist die Dimag motiviert, mit Liebherr zusammenzuarbeiten und eine gemeinsame Entwicklung zu starten.

E) Hemmfaktoren

- Umfeld -

- **(5)** Strommarkliberalisierung in Deutschland und Preiskampf zwischen Stromversorgern: Die Strommarkliberalisierung in Deutschland ab dem Jahr 1998 führt dazu, dass in den ersten Jahren keine neuen Ausschreibungen für BHKWs mehr aufgesetzt und bestehende BHKWs stillgelegt werden. Grund dafür ist, dass Stromanbieter aufgrund eines verschärften Preiskampfes mit ihren Kunden längerfristige Verträge (ca. 3-5 Jahre) mit (sehr) niedrigen Strompreisen abschliessen. Diese Entwicklung führt zu einem substantiellen Dämpfer für den BHKW-Markt in Deutschland, weil die Stromgestehungskosten aus Blockheizkraftwerken höher sind als die Strompreise, die sich in den ersten Jahren der Markttöffnung bilden. Während Dimag/Menag in ihren besten Zeiten über 80 BHKWs pro Jahr verkauft (hauptsächlich nach Deutschland), bricht diese Zahl in 2000/2001 auf 20-25 pro Jahr ein. Die Entwicklung und Markteinführung des SwissMotors bei der Menag fällt in diese Zeit.
- Basel II: Im Zuge von Basel II (Mindesteigenkapitalforderungen bei Kreditvergabe etc.) werden Unternehmen mit nicht so guten Zahlen die Kreditlimite gekürzt. Dieser Effekt trifft auch die Menag.

- Innovationssystem -

- **(2)** Interessenpolitik seitens der Industrie und Rolle BAFU: Das substantielle Interesse aus dem industriellen Umfeld an einer Rücknahme der Verschärfung der Grenzwerte beeinflusst die Entscheidungen beim BUWAL (heute BAFU). In der LRV von 1998 werden die Grenzwerte für NOx daher wieder gelockert, wodurch ein wesentlicher Vorteil für den SwissMotor wegfällt. Auch der Schweizer WKK-Fachverband trägt diese Grenzwertlockerung mit. Damit wirkt er mit seinem Handeln kontraproduktiv auf den Entwicklungsprozess SwissMotor.
- **(8)** SwissMotor als Nischenprodukt: Der SwissMotor ist mit seiner speziellen Ausrichtung auf strenge Abgasgrenzwerte ein Nischenprodukt. Der Schweizer Heimmarkt, in dem ca. 30-40 BHKWs pro Jahr abgesetzt werden, ist für einen derart speziellen Motortyp zu klein. Es kommt hinzu, dass die LRV kantonal unterschiedliche Abgasgrenzwerte zulässt, wodurch auch innerhalb der Schweiz die Nachfragebedingungen sehr verschieden sind. Auch im Ausland sind unterschiedliche Anforderungen an Abgaswerte zu finden und die Zahl der potenziellen Absatzmärkte ist klein.
- Keine initiiierende Finanzierung des BFE: Zwar initiiert das BFE die Integration der ETHZ in das SwissMotor-Projekt, kann die Arbeiten dort aber nicht gleich finanziell unterstützen, sondern muss zuerst nach einer Alternativfinanzierung suchen. Entsprechend verzögert sich der wirkliche Einstieg der ETHZ.

- Skepsis der Projektpartner gegenüber den Simulationsergebnissen der EHTZ: Nachdem an der ETHZ in dem eigens dafür aufgebauten Simulationsmodell die Emissionswerte und der Wirkungsgrad des SwissMotors berechnet worden sind, stossen die errechneten Ergebnisse auf Skepsis der Projektpartner (Menag, Liebherr) und -unterstützer (FOGA, BFE). Prinzipiell sind in einem industriellen Umfeld gerechnete Ergebnisse alleine noch nicht überzeugend für eine Entscheidung. Dafür müssen Ergebnisse auf der Umsetzungsebene vorliegen.
- Förderungsunterbruch seitens FOGA: Nach der Simulation gibt der FOGA für die Umsetzung des Abgasrückführung-Konzepts keine finanziellen Beiträge.
- Keine direkte finanzielle Unterstützung der ETHs seitens der beteiligten Unternehmen: Zudem tragen die am Projekt beteiligten Industriepartner nicht mit originär finanziellen Beträgen zu den Entwicklungen an den Hochschulen bei, sondern unterstützen die Entwicklungsarbeiten an der Hochschule lediglich mit Eigenleistungen (z.B. Material aber kein cash).

- Organisation ETHZ -

- (1') Fehlende eigentumsrechtliche Regelung zwischen Beteiligten und zu frühe Ergebnispublikation seitens der ETHZ: Die Ergebnisse aus dem Simulationsmodell werden sehr früh von der ETHZ publiziert, so dass bestimmte Aspekte der Technologie anschliessend nicht mehr direkt patentierbar sind. Die restlichen Aspekte werden nicht auf den Namen der ETHZ patentiert, teilweise aber von der Menag. Damit entfällt zu einem späteren Zeitpunkt die Möglichkeit, die SwissMotor-Technologie mit einem anderen Unternehmen zu vertreiben.
- (4') Fehlendes Augenmerk auf weiteren Innovationsprozess: An der ETHZ besteht nach der Technologieübergabe an die Menag der Eindruck, dass die Menag die Technologie im Griff hat. Erst einige Zeit später zeigt sich, dass es diesbezüglich Schwierigkeiten gibt. In der Zwischenzeit fehlt ein weiterer Austausch zwischen der Hochschule und dem Unternehmen, über den K. Boulouchos an der ETHZ weiter informiert gewesen wäre, wie die Menag die neue Technologie handhabt. Somit hat K. Boulouchos beispielsweise keine Möglichkeit, auf die einfache Übertragung der SwissMotor-Technologie in der ursprünglichen Grössenordnung von 190 kW_{el} auf über 300 kW_{el} beratend und lenkend einzuwirken.
- Absprung Technologie-Know-how-Träger: Der Doktorand an der ETHZ (ehemaliger Diplomand), der bis dahin die Rechnungen zur Abgasrückführung durchführte, verlässt aufgrund der unklaren Finanzierungslage (nach Ausstieg FOGA, vor Einstieg BFE) die Hochschule. Damit gehen dem Entwicklungsprozess wesentliche Kompetenzen und auch Know-How verloren.
- Einzelgefertigte Motorkomponenten: Die ETHZ hat einen Turbolader auf dem Prüfstand, der optimal für den SwissMotor ausgelegt ist und speziell für das Entwicklungsprojekt angefertigt wurde. In der Praxis ist ein Turbolader mit dieser Qualität nicht zu einem angemessenen Preis zu bekommen. Das führt dazu, dass im Nachgang verschiedene Serienturbolader auf dem Prüfstand getestet werden müssen, um ein vertretbares Ersatzprodukt zu identifizieren.

- Organisation Menag -

- **(3[°]) Unterschätzung der Technologie-Übergabe seitens Menag:** Auf der Organisationsebene der Menag kommt ein strukturelles Problem zum Tragen im Zusammenhang mit der Umsetzung einer neuen, komplexen Technologie. Das KMU unterschätzt letztlich die Bedeutung der Übergabephase, ihm fehlen die entsprechenden Ressourcen, um die Technologie adäquat aufzubauen, Personal zu schulen, Langzeituntersuchungen vorzunehmen und die Arbeiten weiterhin wissenschaftlich abstützen zu lassen.
- **(6[°]) Ausbleibende Reaktion des Managements von Menag auf drastische Marktveränderungen:** Das Management der Menag reagiert ab 2000 nicht adäquat auf den Markteinbruch in Deutschland. So hält man etwa weitgehend am Personalstand fest und steigt auch nicht in den alternativen Klärgasmarkt ein. Als der Markt in 2003/4 wieder anzieht, fehlen der Menag Reserven. In dieser Erholungsphase können die Anbieter von BHKWs ihre Produkte nur mit geringen Margen verkaufen.
- **(7[°]a) Fehlende Kontaktpflege von Menag zur ETHZ:** Schon bald nach der Technologieübergabe pflegt die Firma keinen aktiven Kontakt mehr mit der ETHZ und wendet sich dorthin lediglich noch mit Fragen zu konkreten Problemen. Das Verständnis der Menag von der ETHZ ist vergleichbar mit der Funktion eines Ingenieurbüros. Eine weiter andauernde Zusammenarbeit im Rahmen eines Förderprojekts, in dem die Kompetenz der ETHZ für den Wissenstransfer hätte genutzt werden können, wäre in an dieser Stelle hilfreich gewesen.
- **(7[°]b) Unfares Verhalten von Menag gegenüber ETHZ:** Die Menag lässt einige Technologieaspekte (etwa Regelung der Abgasrückführung) patentieren, ohne die ETHZ davon in Kenntnis zu setzen oder das abzusprechen. Dieses Vorgehen wirkt sich negativ auf das Vertrauensverhältnis aus. Des Weiteren nimmt die Menag Preise für den SwissMotor entgegen, ohne den Beitrag der ETHZ zu erwähnen.
- **(9[°]a) Verzettelung, mangelnde Bündelung der Ressourcen sowie strategische Entscheidungen:** Infolge von fraglichen Managemententscheidungen gerät die Menag in Liquiditätsengpässe. Die Menag spielt als KMU auf zu vielen Feldern und es fehlt eine strategische Bündelung der Ressourcen (Mitbewerber haben über die Entscheidungen den Kopf geschüttelt). Darüber hinaus setzt die Menag auf eine hohe Fertigungstiefe und hält dafür entsprechende Maschinen vor (z.B. Werkzeuge zur Fertigung von Schallhauen). Dies führt zu schlechten Werkzeugauslastungen, teilweise zu einem veralteten Maschinenpark und zu hohen Preisen von Einzelkomponenten, was vor allem bei ungünstigen Marktverhältnissen als Nachteil durchschlägt. Des Weiteren werden nicht so lukrative Märkte vernachlässigt (aufgrund des Schweizer Preisniveaus), die die Dimag in mehrjähriger Arbeit aufgebaut hatte (z.B. Klärgas-BHKW-Markt Deutschland), trotz denkbarem Verbesserungspotenzial der Technologie und damit 10-15%igem Kosteneinsparungspotenzial. Stattdessen wird der Fokus auf den Aufbau neuer Märkte im Ausland gelegt. Dieses Vorhaben ist für das KMU Menag kostenspielig.
- **(9[°]b) Organisationsstruktur:** Nach dem Übergang von der Firma Dimag zur Menag und der Beteiligung anderer Unternehmen wirkt sich die neu geschaffene Organisationsstruktur (eigene AGs als profit center) negativ auf die Situation des Unternehmens aus (z.B. Trennung zwischen Service und Produktion und die damit verbundenen Reibungen). Ein System, das vorher jahrzehntelang funktionierte, in dem die Personen auf Zuruf miteinander ge-

arbeitet haben, wird aufgebrochen und der damit verbundene „Dimag-Geist“ verändert (aus dem Miteinander wurde eher ein Gegeneinander). Mit den veränderten Mehrheitsverhältnissen finden auf Personalebene gewisse Umbrüche statt (z.B. werden Stellen neu mit Personen besetzt, die relativ wenig Erfahrung im BHKW-Bereich haben, auch auf der Ebene von Führungskräften).

- Technologie-Übertragung ohne wissenschaftliche Abstützung: Die Menag unterschätzt den Entwicklungsaufwand, der für verschiedene Applikationen (Upscaling von 200 kW auf 300-400 kW) notwendig ist. Die Firma die ursprüngliche Technologie ohne wissenschaftliche Begleitung und Prüfung auf andere Motorgrößen. Die Menag liefert Kunden suboptimal konfigurierte Motoren, weil sie eine zu grosse Palette an Leistungsanwendungen bieten möchte. Es gibt etwa Schäden, weil die Menag den gleichen Katalysator sowohl für einen grösseren als auch für einen kleineren Motoren einsetzt.
- Zu geringe Ressourcen für Marktvolumen in Korea: Der Markt in Korea hätte für die Menag ein grosses Feld darstellen können (mehrere hundert Aggregate pro Jahr). Der Menag fehlen, u.a. auch nach den Absatzeinbrüchen ab 2000, die Finanzmittel und die Kapazitäten für eine solche Gröszenordnung.

F) Kernaspekte des Falls

Die Technologieentwicklungen im Zusammenhang mit den SwissMotor können in drei Phasen eingeteilt werden. In einer ersten Phase (1994 - 1997), in der wichtige Vorarbeiten für den SwissMotor im engeren Sinne geleistet werden, wird an der Gasifizierung eines Magermotors gearbeitet. Die zweite Phase (1997 - 2001) zeichnet sich durch Entwicklung und Umsetzung des eigentlichen SwissMotor-Konzepts aus. In der Phase ab etwa 2001 bis zur Insolvenz von Menag 2006 wird der SwissMotor in seiner Grundversion serienreif in den Markt eingeführt. Zudem versucht die Menag in dieser Phase grössere Varianten des SwissMotors zu entwickeln und auf den Markt zu bringen.

Zu den wesentlichen Faktoren, die auf den SwissMotor-Prozess förderlich haben, zählen die strenge LRV von 1992 (1⁺), die noch darüber hinaus gehenden Zürcher Emissionsvorschriften (2⁺) und die Unterstützung seitens des BFE (4⁺). Zudem war die Förderung durch den FOGA (Forschungs- und Entwicklungsfonds der Schweiz. Gasindustrie) wichtig (3⁺). Damit sind die ersten beiden Phasen vor allem durch fördernde Faktoren gekennzeichnet.

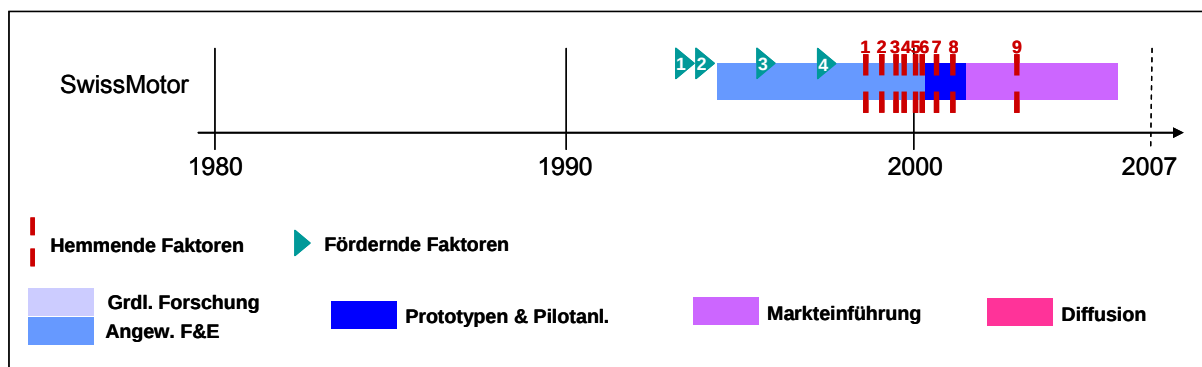


Abbildung 19: Innovationsphasen und zentrale Einflussfaktoren des Innovationsprozesses SwissMotor

In der dritten Entwicklungsphase wirkten sich die Strommarktliberalisierung in Deutschland und der damit zunächst verbundene Nachfragerückgang nach BHKWs (5) sowie die geringe Anzahl an Absatzmärkten für die neu geschaffene Technologie (8) negativ aus. Ebenfalls sehr nachteilig waren in diesem Zusammenhang die Interessenpolitik der Industrie und die Rolle des BAFU, die zur Auflockerung der Emissionsgrenzwerte in der LRV 98 führten (2). Auf Organisationsebene haben im Zusammenhang mit der ETHZ zwei Aspekte den Prozess gehemmt: Zum einen gab es keine eigentumsrechtliche Regelung zwischen den Beteiligten (v.a. ETHZ und Menag) (1) und zum anderen konnte die ETHZ auf den weiteren Innovationsprozess in einer späteren Phase keinen lenkenden Einfluss mehr nehmen (4). Damit zusammen hängt, dass die Zusammenarbeit zwischen der ETHZ und der Menag nicht optimal verlief (7). Zudem hat die Menag die Anforderungen im Zusammenhang mit der Übergabe einer solchen Technologie wie dem SwissMotor unterschätzt (3). Seitens der Menag mangelte es ausserdem an einer gezielten Bündelung der Ressourcen (z.B. mit Blick auf den ausländischen Markt in Südkorea) (9). Hinzu kommt, dass das Unternehmen ungünstige strategische Entscheidungen getroffen hat (9). Insbesondere unterblieb eine Reaktion des Managements auf drastische Veränderungen auf dem Markt infolge der Liberalisierung (6).

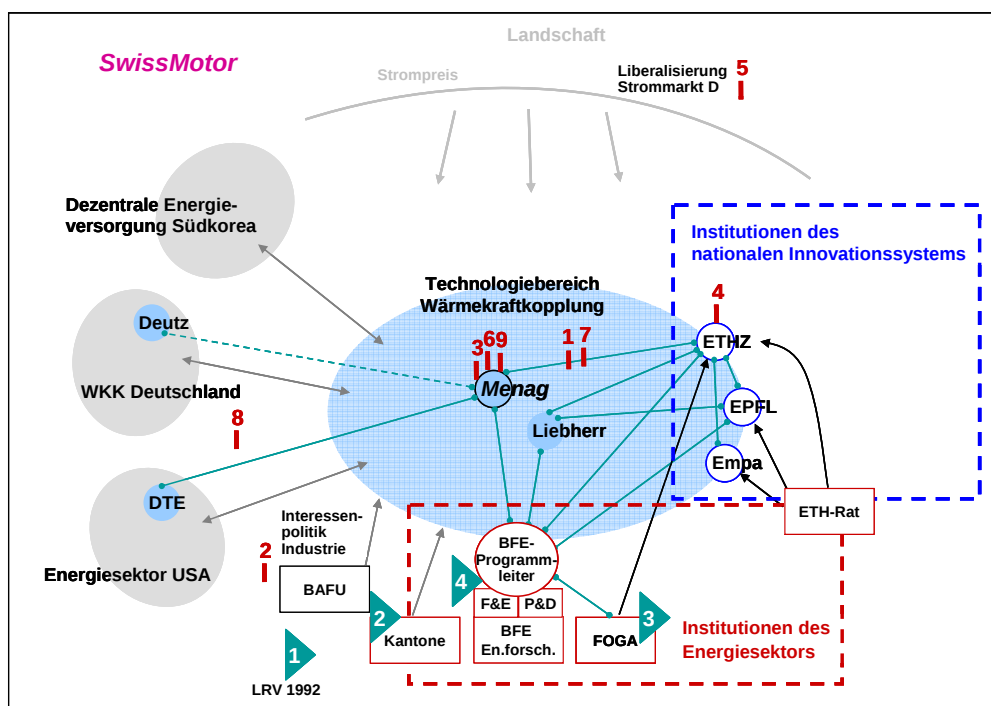


Abbildung 20: Verortung zentraler Einflussfaktoren des Innovationsprozesses SwissMotor

In Abbildung 20 werden die zentralen Einflussfaktoren des Innovationsprozesses mit dem konzeptionellen Rahmen der Studie kombiniert.

Vor dem Hintergrund von Abbildung 20 sind in Tabelle 8 die Einflussmöglichkeiten des BFE thematisiert. Im Bereich der Förderfaktoren ist die Rolle des BFE positiv zu beurteilen, in dem Sinne, dass das BFE dort, wo sein Einfluss gross sein kann, auch tatsächlich gut eingewirkt hat. In Bezug auf die Hemmfaktoren wäre für das BFE vor allem eine Einflussnahme möglich gewesen hinsichtlich der Hemmfaktoren (1) und (7). Bei (1) hätte das BFE die Projektpartner bezüglich einer eigentumsrechtlichen Regelung unterstützen können und bei (7) wäre etwa mit einem (After-) Projektcoaching oder einer weniger fragmentierten Forschungsförderung

die Kooperation zwischen Menag und der ETHZ zu beeinflussen gewesen. Ebenfalls mittels eines Coachings und einem Innovationsverantwortlichen bei der Firma Menag hätten die Hemmfaktoren (2⁻) und (3⁻) möglicherweise abgeschwächt werden können.

Tabelle 8: Realer und potenzieller Einfluss des BFE auf zentrale Einflussfaktoren des Innovationsprozesses SwissMotor

Wärme-Kraft-Koppelung / Verbrennung: SwissMotor			
Zentrale Förderfaktoren		Zentrale Hemmfaktoren	
Nr. Beschreibung	Realer / Potenzieller Einfluss des BFE	Nr. Beschreibung	Realer / Potenzieller Einfluss des BFE
1 ⁺ LRV 1992	- / o	1 ⁻ Keine eigentumsrechtliche Regelung zwischen Beteiligten	o / +
2 ⁺ Emissionsvorschriften Zürich	- / o	2 ⁻ Interessenpolitik Industrie, Rolle BAFU, LRV 1998	- / o
3 ⁺ Unterstützung des FOGA	++ / ++	3 ⁻ Unterschätzung Technologie-Übergabe seitens Menag	o / +
4 ⁺ Unterstützung BFE	++ / ++	4 ⁻ Fehlendes Augenmerk auf weiteren Innoprozess seitens ETHZ	o / +
		5 ⁻ Strommarktliberalisierung in Deutschland	- / -
		6 ⁻ Ausbleibende Reaktion des Menag-Managements auf drastische Marktveränderungen	- / -
		7 ⁻ Nicht optimale Kooperation zwischen Menag und ETHZ	+ / ++
		8 ⁻ Geringe Anzahl an Absatzmärkten	- / -
		9 ⁻ Mangelnde Ressourcenbündelung bei Menag sowie strategische Entscheidungen	- / -
++ Grosser realer Einfluss + Realer Einfluss o Geringer realer Einfluss - Kein realer Einfluss		++ Grosser potenzieller Einfluss + Potenzieller Einfluss o Geringer potenzieller Einfluss - Kein potenzieller Einfluss	

4.3.5 Haupteckennisse SwissMotor für die Innovationsförderung

Eine zentrale Erkenntnis aus der Fallstudie ist, dass der Innovationsprozess SwissMotor zu früh abgebrochen ist.

Mit dem SwissMotor ist man technologisch neue Wege gegangen und hat dabei auch gute Ergebnisse erzielt. Letztlich fehlten aber noch ausgeprägte Praxiserfahrungen, um zu einer abschliessenden Bewertung zu kommen. Für die Forschungs- und Entwicklungsschritte im Innovationsprozess des SwissMotors waren die ver-

schiedenen Förderbeiträge unabdingbar, da ohne diese Beiträge die Entwicklungsleistung aus eigenen Kräften der Industriepartner nicht machbar gewesen wäre (Verhältnis Marktpotenzial zu Entwicklungskosten). Eine Unterstützung für Forschungs- und Entwicklungsprojekte kann gerade für kleine und mittlere Unternehmen eine sehr gute Hilfe sein, weil anschliessende Pilotanlagen oft schon sehr viel Geld kosten können.

Ein technologiespezifisches Charakteristikum ist sicherlich, dass es bei der Entwicklung von Blockheizkraftwerken langer Testläufe bedarf und es in Bezug auf Verschleisserscheinungen gewisse Unwägbarkeiten geben kann. Diese grundsätzliche Eigenart der Technologie (Bedarf an Langzeiterfahrungen) gepaart mit einer technologischen Neuentwicklung bringt insbesondere dann Schwierigkeiten mit sich, wenn nur auf weit entfernten, internationalen Märkten (hier: Südkorea) eine ausreichende Nachfrage vorhanden ist.

Für die Bewertung der Aktivitäten rund um die SwissMotor-Technologie lassen sich verschiedene Punkte berücksichtigen. Zum Beispiel kann in die Betrachtung einfließen, dass es Konzerne gibt, die Millionenbeträge in Problemlösungen für Verbrennungsmotoren investieren. Gegen solche Konzerne gilt es im Rahmen einer Entwicklung in einem eher KMU-bezogenen Kontext zu bestehen. Ein weiterer Punkt ist, dass technologische Innovationen mit hohen Entwicklungskosten oft grössere, über den Heimmarkt hinausgehende Märkte brauchen, um nicht in einem Nischenmarkt zu stagnieren. Grundsätzlich spielte die Menag als KMU weitgehend auf einem Feld mit grossen Playern wie Jenbacher, Deutz oder Caterpillar. Diesbezüglich spielten immer wieder fehlende Ressourcen und Reserven eine Rolle. Zudem ist eine Technologie, deren technologische Qualität von bestimmten Sonderkomponenten (z.B. spezielle Zündkerze, die zehnmal teurer ist als eine konventionelle Zündkerze) abhängt und ausserdem in relativ kleinen Stückzahlen produziert wird, schwer in Konkurrenz zu setzen mit Produkten, die auf etablierten Komponenten aufbauen und in einer wesentlich grösseren Stückzahl produziert werden.

Der Innovationsprozess SwissMotor hätte eine konstante und länger dauernde Unterstützung in dem Netz der Hochschulen, Industrieunternehmen und forschungsfördernden Institutionen gebraucht. Im Gegensatz zu einem Grossunternehmen, bei dem eine eigene hochschulnahe Forschung etabliert ist und an das die Technologie-Übergabe von der Hochschule in einer früheren Phase möglich sein kann, weil die Ansprechpartner in den Entwicklungsabteilungen die Hochschulforschung eher verstehen, beinhaltete die Übergabe der Technologie an Menag ohne weitere Einbettung in ein Projekt oder ohne weiteren Austausch mit der Hochschule ein gewisses Risiko. Die tendenzielle Gefahr in diesem Zusammenhang ist, dass KMUs ihre Technologiekompetenz überschätzen und zu geringe Kapazitäten für eine solide Technologieübernahme haben. Menag hatte zur Blütezeit 200 Mitarbeiter und lediglich 1,5 Personen in der Entwicklung. Insofern kann es den Bedarf an einer KMU-spezifischen Sonderphase bzw. mehrstufigen Forschungsförderung und einer strukturierten Übergabe der verschiedenen Phasen geben. Beispielsweise hätte das BFE 2001 den Prozess an die KTI übergeben können, etwa zur Durchführung des businessorientierten Aufbaus eines Portfolios von zwei, drei Produktkategorien.

Mit Blick auf die öffentliche Förderung stehen folgende Fehler im Mittelpunkt. Ein Fehler in dem Prozess bestand darin, sich vor dem Hintergrund öffentlicher Förderung nicht auf eigentumsrechtliche Regelung zu einigen (vgl. (1¹)). Zudem war die ETHZ nach 2001 zu wenig nah an dem weiteren Prozess (vgl. (3¹), (4¹), (7¹)). Wei-

terhin wäre eine stärkere Einbindung der Gas- und WKK-Wirtschaft und anderer Ämter vorteilhaft für den Innovationsprozess gewesen (vgl. (2)).

Nichtsdestotrotz wird durch den SwissMotor-Prozess auch die Stärke der Ressortforschung betont. Die Vernetzungsfunktion des BFE (z.B. Einbindung der ETHZ und später des FOGA) und das teilweise schnelle Einspringen kam dem Prozess zugute. Ohne das Engagement des BFE wäre das SwissMotor-Projekt nicht so gestartet worden. Für ein mittelständisches Unternehmen wie die Menag wäre ein solches Technologierisiko nicht einzugehen gewesen.

4.4 Produktbereich Wärmepumpen-Tumbler

Wärmepumpen zählen ebenfalls zu den Energieeffizienztechnologien. Wärmepumpen nutzen Wärme auf einem niedrigen Temperaturniveau aus einer äusseren Wärmequelle (z.B. Aussenluft, Erdboden). Mittels Energiezufuhr, meist in Form von Elektrizität, findet in der Wärmepumpe eine Temperaturerhöhung statt. Dabei ist die zugeführte elektrische Energie wesentlich kleiner (Faktor 3-4) als die letztlich auf dem gewünschten Temperaturniveau verfügbare Wärmeenergie. Wärmepumpen sind seit vielen Jahren in unterschiedlichen Anwendungen im Einsatz, typischerweise als Heizung für Wohnhäuser. Die Technologie ist weitgehend ausgereift.

Im Folgenden geht es um einen speziellen Anwendungskontext der Wärmepumpentechnologie: das Wäschetrocknen. Wäschetrocknen hat sich in den vergangenen Jahren sehr verändert. Nachdem lange Wäschetrocknen auf der Leine im Mittelpunkt stand, hat die maschinell unterstützte Trocknung von Wäsche zunehmend an Bedeutung gewonnen. Dabei lassen sich drei Verfahren bzw. Gerätetypen unterscheiden. Raumlufttrockner dienen zur Trocknung von auf Leinen aufgehängter Wäsche in einem Trocknungsraum. Bei Trockenschränken handelt es sich um eine Kammer, in der die Wäsche aufgehängt und mit Luft aus einem Gebläse getrocknet wird. In Trommelwäschetrocknern (Tumbler) wird die Wäsche nicht aufgehängt, sondern ‚als bunter Haufen‘ in einer langsam rotierenden Trommel ebenfalls mit warmer Luft aus einem Gebläse getrocknet. Zu den Vorteilen maschineller Wäschetrocknung zählen eine höhere Geschwindigkeit, Wetterunabhängigkeit und - bei Tumbler - ein geringerer Platzbedarf. Dem stehen ein hoher Energieaufwand sowie die Kosten für die Anschaffung der Geräte gegenüber. Der Energieaufwand kann durch den Einsatz einer Wärmepumpe erheblich reduziert werden.

In den Fallstudien werden nachfolgend die Entwicklungsprozesse von zwei Wärmepumpen-Tumbler (WPT) nachgezeichnet. Beide Geräte sind für den Einsatz in Gemeinschaftswaschräumen von Mehrfamilienhäusern bzw. für gewerbliche Zwecke konzipiert und wurden vor einigen Jahren von den Schweizer Unternehmen V-Zug und Schulthess auf den Markt gebracht. Der Marktanteil von Wärmepumpen-Tumbler liegt heute in der Schweiz bei ca. 6 % (Europa 0,6 %) (vgl. FEA 2007). Bislang wurden schätzungsweise 2.000 bis 2.500 Geräte im Mehrfamilienhausbereich (MFH) sowie 5.000 Stück im Einfamilienhausbereich (EFH) verkauft. Während das MFH-Segment eher stagniert, verzeichnet der EFH Bereich zweistellige Zuwachsraten.

Bei Wärmepumpen-Tumbler in Mehrfamilienhäusern handelt es sich derzeit um ein Nischenprodukt. Eine grundsätzliche Herausforderung bei der Verbreitung ist der Mehrpreis der Geräte. Im Vergleich zu herkömmlichen MFH-Tumbler ohne Wärmepumpe kosten die Geräte je nach Referenzgerät bis zu gut 50 % mehr. Dieser Mehrpreis bei der Anschaffung rechnet sich wirtschaftlich v. a. dann, wenn die Geräte häufig im Einsatz sind und die vermiedenen Energiekosten verstärkt zu Buche schlagen. Dies ist bei gemeinschaftlich genutzten Geräten in Mehrfamilienhäusern oder gewerblichem Einsatz der Fall, hingegen weniger im EFH Bereich.

Die Entwicklung von Wärmepumpen-Tumbler für Mehrfamilienhäuser wurde durch das BFE gefördert. Zudem gibt es z. T. marktseitig Zuschüsse beim Kauf von WPT durch Aktionsprogramme von städtischen Stromsparfonds, sowohl für Geräte in Einfamilien- als auch in Mehrfamilienhäusern.

Nach Ausführungen zu Produkt, Markt und Technologie werden im Folgenden die beiden Innovationsprozesse MFH-Wärmepumpen-Tumbler bei Schulthess und V-

Zug dargestellt. Für die beiden vorliegenden Fallstudien wurden fünf Interviews geführt mit: *J. Nipkow* (ARENA - Arbeitsgemeinschaft Energie-Alternativen; SAFE - Schweizerische Agentur für Energieeffizienz), *J. Ruosch* (EWZ Stromsparerfonds), *C. Daneffel* [Leiter Forschung und Entwicklung] und *H.-P. Caderas* [Export und Product Manager] (Schulthess), *J. Werner* [Leiter Entwicklungs-Departement] (V-Zug) sowie *E. Schwarzwald* (Ernst Schwarzwald Thermomodul Consulting).

4.4.1 Beschreibung Technologie

Bei den Trommelwäschetrocknern sind heute neben den Wärmepumpen-Tumbler Ablufttumbler und Kondensationstumbler auf dem Markt vertreten. Bei Ablufttumbler wird die Feuchtigkeit, die der Wäsche entzogen wurde, per Abluftschlauch ins Freie geführt. Hingegen wird bei Kondensationstrocknern die Luft geräteintern in einem Kreislauf geführt. Die warme Luft, mit der Feuchtigkeit aus der Wäsche transportiert wird, wird mit kühler Luft in Kontakt gebracht, so dass die Feuchtigkeit kondensiert. Danach wird die abgekühlte Luft wieder erwärmt und abermals Richtung Wäsche geführt. Die entstehende Abwärme wird dabei vollständig an den umgebenden Raum abgegeben. Dagegen wird bei Wärmepumpen-Tumbler ein Teil dieser Abwärme wieder für den Trockenvorgang genutzt, was zu einer deutlichen Energieeinsparung führt. Ein Wärmepumpen-Tumbler ist kompatibel mit dem Minergie-Standard.

Neben dem geringeren Energieverbrauch haben WPT gegenüber konventionellen Geräten weitere Vorteile. So ist die Trocknung aufgrund niedrigerer Temperaturen für die Wäsche schonender. Dementsprechend ist ein WPT im Gegensatz zu herkömmlichen Tumbler für alle Textilien geeignet. Wärmepumpen-Tumbler haben zudem den Vorteil, dass der umgebende Raum nicht aufgeheizt wird. Das Gerät kann somit im Gegensatz zu einem Luftkondensationstrockner, der den Raum aufheizt, auch in einem kleinen Raum stehen, was Platzvorteile bringt.

Nachteilig ist hingegen, dass WPT einem höheren Wartungsaufwand haben. So gilt es etwa mit einer entsprechenden Wartung der Filtration zu vermeiden, dass die feinen Lamellen des Wärmetauschers mit Flusen verstopfen. Diesbezüglich besteht die Schwierigkeit darin, die Nutzer dieser Geräte zu einem der Technologie entsprechenden Verhalten zu motivieren (z.B. die regelmässige Reinigung von Filtern). Wenn die Filter permanent verstopft sind, folgt ein Leistungsrückgang des Tumbler, was letztlich die Benutzerakzeptanz absenkt. Darüber hinaus dauert der Trockenvorgang etwas länger, d.h. ein Kondensationstrockner trocknet Wäsche mit einer Restfeuchte von 43 % in 48 Minuten, während ein WPT 60 Minuten benötigt. Dementsprechend ist das Zusammenspiel von Waschmaschine und Tumbler essenziell. So dauert beispielsweise das Trocknen in einem WPT in Kombination mit einer Waschmaschine, die gewaschene Wäsche mit 70 % Restfeuchte ausgibt, doppelt so lange wie der Waschvorgang. Moderne Waschmaschinen mit einer demgegenüber deutlich gesteigerten Schleudereffizienz erlauben eine Reduktion der Restfeuchte auf 43% und entsprechend kürzere Trocknungszeiten (s.o.).

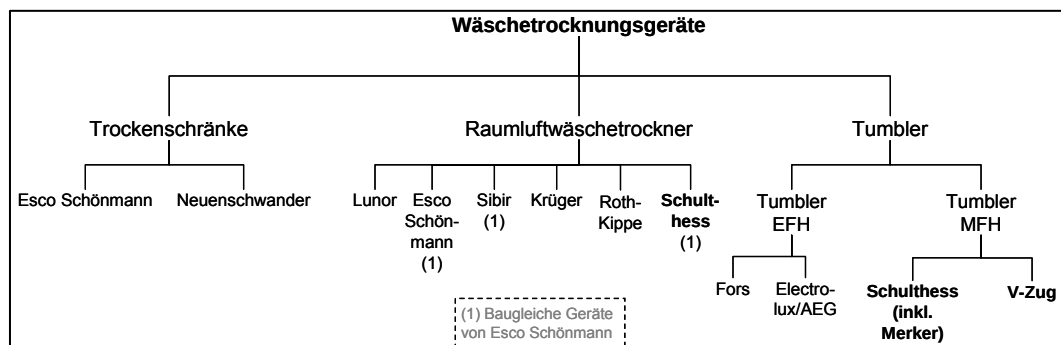
Um den Zeitnachteil von WPT wett zu machen, wurden weitere Entwicklungsanstrengungen unternommen. So arbeitete die Firma Thermomodul Consulting seit Ende 1993 an der so genannten HED-Technologie (HED: High Efficiency Dehumidification of Air), die sich durch einen zusätzlichen Wärmetauscher (Zwischenwärmetauscher) auszeichnet, welcher mit der Wärmepumpe zusammengebracht wird. Mit dieser Technologie lässt sich der Energieverbrauch von Wärmepumpen-Tumbler noch weiter reduzieren und der Trocknungsprozess verkürzen. Nachteile dieser

Technologieerweiterung im Vergleich zu den heutigen WPT Versionen sind der höhere Platzbedarf und zusätzliche Kosten. Ab Mitte der 1990er Jahre wurden seitens Thermodul Consulting wiederholt Versuche unternommen, zusammen mit Herstellern von Wäschetrocknungsgeräten (V-Zug, Miele, Schulthess) und dem Technikum Winterthur die HED-Technologie in Verbindung mit Wärmepumpen für MFH-Tumbler umzusetzen. Zwischen 1994 und 1997 gab es mit Miele und vor allem mit V-Zug Versuche, die im Falle von V-Zug zu zwei Prototypen führten. Anhand dieser Prototypen konnte nachgewiesen werden, dass das Ziel, bei gleicher Trocknungszeit den Stromverbrauch zu halbieren, erreicht wurde. Dennoch kam die HED-Technologie aufgrund der erwähnten Nachteile bei keinem der drei Hersteller V-Zug, Miele und Schulthess zur Anwendung.

4.4.1 Markt und Situation in der Schweiz

Der Markt für Haushaltsgeräte wie Waschmaschinen oder Tumbler ist ein seit langem etabliertes Geschäft, bei dem nationale und internationale Anbieter in Konkurrenz zueinander stehen. Marken bzw. Firmennamen haben einen wichtigen Einfluss auf die Kaufentscheidung als Garant für die Qualität der in der Regel langlebigen Geräte. Gleichzeitig gewinnen in den letzten Jahren auch Umweltkriterien wie Wasser- und Energieverbrauch beim Kauf zunehmend an Bedeutung.

Die folgende Abbildung listet die Marktakteure im Bereich Wäschetrocknung in der Schweiz auf, welche energieeffiziente Geräte anbieten.



Quelle: Eigene Darstellung nach www.topten.ch

Abbildung 21: Nach www.topten.ch geprüfte Anbieter von Wäschetrocknungsgeräten für Haushalte in der Schweiz

Bei den nachfolgend betrachteten WPT handelt es sich um Geräte für den (halb-)gewerblichen Einsatz bzw. die Verwendung in Gemeinschaftstrockenräumen von Mehrfamilienhäusern. In beiden Anwendungsbereichen kommen Geräte zum Einsatz, die in der Regel eine höhere Ladekapazität haben als Tumbler für Einzelhaushalte (z.B. 6,5 statt 5 kg). Die Anwendungen sind prädestiniert für die neue Technologie, weil sich aufgrund der hohen Nutzungshäufigkeit die Mehrkosten für die Wärmepumpe aufgrund der eingesparten Strombezugskosten schneller amortisieren.

In der Schweiz sind in Mehrfamilienhäusern in der Regel Gemeinschaftswaschküchen mit gemeinsam genutzten Geräten zu finden. Dieses Phänomen ist eine Spezialität der Schweiz, die in dieser Regelmässigkeit in keinem anderen Land vorkommt. Die Geräte in Gemeinschaftswaschküchen müssen so ausgelegt sein, dass sie kurze und häufig aufeinander folgende Trocknungszyklen ermöglichen und von unterschiedlichen Personen bedient werden (können). MFH-Tumbler sind

ein Investitionsgut für rund 15 Jahre. Sie sind etwa sechsmal häufiger im Einsatz als Geräte in EFH.

Bezüglich der Gemeinschaftswaschküchen ist jedoch insofern eine Veränderung in Sicht, da bei Neubauten heute vermehrt Etagen oder sogar die einzelnen Wohnungen mit Waschgeräten (Waschmaschine und Tumbler) ausgestattet werden, u.a. weil der umbaute Raum für Gemeinschaftswaschküchen teuer ist. Für die Verbreitung von Wärmepumpen-Tumblern erscheint diese Entwicklung zunächst nachteilig, da gerade in Mehrfamilienhäusern der höhere Preis wegen der Nutzungsintensität durch die geringeren Stromkosten amortisiert werden kann. Gleichzeitig ist aber auch zu beachten, dass bei der Wäschetrocknung auch in Zukunft Geräte für Gemeinschaftswaschräume eine Rolle spielen werden, da es in bestehenden Gebäuden noch zahlreiche Trockenräume gibt, die auch so erhalten bleiben dürften.

Im Mehrfamilienhaus-Umfeld spielt die Dauer der Wasch- und Trocknungsvorgänge (Programmzeiten) eine zentrale Rolle. Für Tumbler sind daher die Programmzeiten von Waschmaschinen eine wichtige Referenzgrösse. Aber auch im gewerblichen Bereich ist die Geschwindigkeit des Trocknungsdurchgangs wichtig. Hier sind etwa Trocknungszeiten von gut 30 Min. eine wichtige Orientierungsmarke.

Neben der Geschwindigkeit der Geräte ist die Energieeffizienz ein zunehmend wichtiges Unterscheidungsmerkmal für die Produktdifferenzierung (vgl. etwa Öko-Institut 2004 und 2006). Um den Energieverbrauch bei der Kaufentscheidung stärker in den Vordergrund zu rücken hat die Europäische Union eine Richtlinie zur Kennzeichnung von Elektrogeräten entsprechend ihrer Energieeffizienz erlassen. In der Schweiz werden seit 2002 auf Basis der Energieverordnung, in der auf die EU-Richtlinie Bezug genommen wird, der Energieverbrauch und weitere Geräteeigenschaften von Elektrogeräten mit der 'energieEtikette' ausgezeichnet. Wärmepumpen-Tumbler sind die einzigen Geräte, die in die Klasse A eingestuft werden. Ihr Stromverbrauch liegt sogar nur bei 60 % des Klasse A-Grenzwertes von 0,55 kWh pro Kilogramm Wäsche.

Bisher haben die beiden Hersteller V-Zug und Schulthess zu geringe Stückzahlen verkauft. Damit sich die Entwicklung von MFH-WPT für die Hersteller rentiert, müssten statt einigen Hundert einige Tausend dieser Geräte verkauft sein.

4.4.2 Strategie BFE und Förderumfeld

Technologisch gesehen liegen Wärmepumpen-Tumbler in der Schnittmenge der BFE-Förderprogramme Umgebungswärme, Wärme-Kraft-Kopplung und Kälte und Elektrizitätstechnologien/-anwendungen. Wärmepumpen sind im erstgenannten Programm ein prominentes Förderungsobjekt. Die Schweiz spielt in der Forschung und Entwicklung von Wärmepumpen auch weltweit in der Spitze mit. In 2005 verfügte nur das Programm Umgebungswärme über 1,8 Mio. CHF für F+E und 3,7 Mio. CHF für P+D. Die CORE plädiert in dem „Konzept der Energieforschung des Bundes 2008-2011“ angesichts der Bedeutung und des Potenzials der Nutzung von Umgebungswärme für eine Erhöhung der F+E-Mittel auf 6 Mio. CHF jährlich. Die P+D-Mittel sollten nach Einschätzung der CORE zudem in der Grössenordnung von 3 Mio. CHF pro Jahr gehalten werden. Hier ist zu bemerken, dass die CORE schon im Energieforschungskonzept 2004-2007 exakt diese Zahlen empfohlen hat.

In dem breiten Forschungsprogramm Elektrizitätstechnologien und -anwendungen sind in den letzten Jahren Forschungsaktivitäten in der Grössenordnung von 7 Mio.

CH pro Jahr unterstützt worden. Hier lautet die Empfehlung der CORE, die P+D-Mittel von nur 100.000 CHF in 2005 auf 2 Mio. CHF jährlich zu erhöhen.

Zudem können Kantone zur Erreichung und Umsetzung von eigenen Energiezielen in diesem Feld mit Geldmitteln tätig sein. Hier haben sich in den letzten Jahren die Kantone Zürich, Basel-Stadt, Basel-Land sowie die Stadt Zürich an Projekten des BFE beteiligt. Neben der öffentlichen Hand können auch Hersteller und private Organisationen F+E-Aktivitäten im Bereich Wärmepumpen verfolgen. Wärmepumpen-Hersteller fokussieren ihre F+E-Aktivitäten dabei auf kommerzielle Ziele und die Stärkung der Marktposition.

Die beiden nachstehend vorgestellten Innovationsprozesse zu Wärmepumpen-Tumbler wurden durch das BFE zwischen 1994 und 2004 mit rund 220.000 CHF unterstützt.

4.4.3 Einflussfaktoren Ebene Produktbereich

Im diesem Abschnitt wird - abweichend von der Gliederung der vorangegangenen Fallstudien - zunächst eine Reihe von Einflussfaktoren diskutiert, welche auf der Ebene des Produkt- bzw. Technologiebereichs angesiedelt sind und dementsprechend auf beide Innovationsprozesse gewirkt haben.

A) Förderfaktoren

- Umfeld -

- Förderungswürdigkeit WPT und Rückendeckung Umweltorganisationen: Die Förderungswürdigkeit von Strom verbrauchenden Trommelwäschetrocknern wird von verschiedenen Anspruchsgruppen (z.B. Genossenschaften oder Umweltverbänden) kontrovers diskutiert. Entscheidend ist dabei die Frage der Referenz, d.h. geht es um den Vergleich mit herkömmlicher Wäschetrocknung ohne Geräteeinsatz oder um den Vergleich mit weniger effizienten konventionellen Tumbler. Im ersten Fall führen auch WPTs zu einer Steigerung des Stromverbrauchs, im zweiten Fall zu einer Senkung. Da aber ein Trend in Richtung maschineller Wäschetrocknung auszumachen ist, setzt sich zunehmend die Erkenntnis durch, dass das dann wenigstens mit möglichst energieeffizienten Geräten geschehen sollte. Damit ist etwa für Stromsparerfonds die Legitimation gegeben, zur Verbreitung von Wärmepumpen-Tumbler beizutragen. Auch Umweltorganisationen wie beispielsweise der WWF heissen mittlerweile aufgrund der Argumentation, dass Tumbler heutzutage zum Ausstattungsstandard gehören, die Förderung von WPTs gut. Zudem geht aus einer Befragung für ewz hervor, dass Personen, die sonst keinen Tumbler kaufen würden, ihre Entscheidung auch aufgrund der Förderung kaum ändern würden.
- Genossenschaften als Pionierkunden: Organisationen wie z.B. Bauge nossenschaften, die sich nicht ausschliesslich an ökonomischen Ziele orientieren, nehmen WPTs eher auf als Organisationen, die nach rein wirtschaftlichen Zielen arbeiten.
- Einstellungen von Schweizer Konsumenten: Investitionen in Qualität und Umweltschutz werden in der Regel von einem Grossteil der schweizerischen Konsumenten begrüsst. Zudem besteht gegenüber technologischen Neuerungen eine gewisse Offenheit.

- Innovationssystem -

- Startpunkt für den Einsatz von Wärmepumpen in der Wäschetrocknung: 1991 initiierte die Stadt Zürich ein Untersuchungsprojekt zur Aufbereitung der Grundlagen, Rahmenbedingungen usw. für Raumlüftwäschetrockner mit Wärmepumpe. Dies war die erste systematische und neutrale Untersuchung bezüglich des Einsatzes von Wärmepumpen zur Wäschetrocknung.
- Förderaktionen ewz Stromsparfonds: Eine erste Förderaktion beim Kauf von WPTs lief von Anfang 2006 bis Frühjahr 2007, eine zweite wurde am 1. Juni 2007 gestartet und läuft bis zum 31. Mai 2010 bzw. bis zur Ausschöpfung der Mittel. Im Rahmen dieser Aktion werden WPT in Mehrfamilienhäusern mit 600 CHF und in Einfamilienhäusern mit 300 CHF unterstützt. Der Förderbeitrag für Mehrfamilienhäuser reduziert die Mehrkosten von WPTs gegenüber herkömmlichen Kondensationstrocknern um etwas weniger als die Hälfte.
- Stadt Zürich: Technologiedemonstration und weitere Verbesserungen: In einer Demonstrationsübung von J. Nipkow, V-Zug und Schulthess für die Stadt Zürich führen die beiden Hersteller ihre Geräte den hauptverantwortlichen Hauswarten für Liegenschaften der Stadt Zürich vor (Meinungsführer in Sachen Technologie). Diese Interaktion nimmt wichtige Aspekte (Flusenproblematik) auf, die an den Geräten noch verbessert werden.
- Technologietests des ewz Stromsparfonds: Der ewz Stromsparfonds setzt sich gemeinsam mit der Stadt Zürich dafür ein, dass schon entwickelte Geräte verbessert werden (z.B. Filter). Er lässt Messungen bei Wärmepumpen-Tumblern vornehmen (z.B. zum Energieverbrauch, zu Angaben von Restfeuchte usw.) und teilt den Herstellern daraufhin Ansatzpunkte für Verbesserungen mit.

B) Hemmfaktoren

Für die beiden ausgewählten Innovationsprozesse der Wärmepumpen-Tumbler im MFH-Bereich sind vor allem Faktoren im Marktumfeld hemmend. Die wichtigsten Hemmfaktoren sind gekennzeichnet (siehe rote Elemente).

- Umfeld -

- **II** Investor-Nutzer-Dilemma: Ein energiesparendes Gerät wie der Wärmepumpen-Tumbler in MFH nützt ökonomisch den Mietern und nicht dem Vermieter. Letzterer trifft aber die Kauf- bzw. Investitionsentscheidung. Bei einer rein eigen-ökonomisch orientierten Entscheidung des Investors ist daher kein Anreiz vorhanden, ein teureres, energieeffizientes Gerät zu kaufen.
- **II** Mangelnde Sensibilisierung: Derzeit ist die Sensibilisierung auf dem schweizerischen Markt, vor allem im MFH-Segment, noch sehr gering. Der Kreis informierter und sensibilisierter Abnehmer beschränkt sich im Wesentlichen auf Akteure, die für städtische Liegenschaften, Genossenschaften oder Bauten mit Minergie-Standard Investitionsentscheidungen treffen.
- Skepsis gegenüber Förderaktion: Aus verschiedenen Richtungen (z.B. Wohnbaugenossenschaften, Umweltverbände) kommt der Vorwurf, dass eine Förderung von Wärmepumpen-Tumbler zu beitragen würde, den Ausstattungsgrad mit Tumbler und damit den Stromverbrauch an sich zu erhöhen (siehe auch ersten Förderfaktor weiter oben unter A).
- Fehlender Marktdruck: Für die Entwicklung eines sehr energieeffizienten Tumblers gibt es keinen Druck auf der Nachfrageseite. Die Entwicklung hät-

te zwischen Mitte der 1990er und Anfang der 2000er Jahre auch ein Jahr früher oder später gemacht werden können.

- Trend zu Etagengeräten: Der Trend, in Mehrfamilienhäuser etagenweise Wäscheherätesets zu installieren, ist für innovative Geräte wie den WPT nachteilig, da in diesem Bereich die Präferenz auf preiswerten Produkten liegt.
- Kein Auslandsmarkt, Preis und Serviceerprobtheit: Im Ausland sind WPT bisher weniger gefragt. Dafür gibt es verschiedene Gründe. Möglicherweise spielt der Energieverbrauch von Elektrogeräten zum Teil noch eine geringere Rolle oder die Zahlungsbereitschaft bzw. -fähigkeit für hochwertige, teure Produkte ist nur begrenzt vorhanden. Zwar gibt es etwa in Deutschland einen Premiummarkt, der sich aber nicht im Bereich von Wäscheheräten, sondern mehr im repräsentativen Bereich wie der Küche bewegt. In Italien gibt es beispielsweise generell sehr wenige Tumbler. Grundsätzlich scheinen die Wärmepumpen-Tumbler für Mehrfamilienhäuser von Schweizer Herstellern für ausländische Märkte zu teuer zu sein. Für den Schritt auf ausländische Märkte müssten in Bezug auf Mehrfamilienhäuser im Besonderen Serviceverfügbarkeit und Vertriebspartner erprobt sein.

- Innovationssystem -

- Zeitlich begrenzte Förderaktion: Nachdem ein privater Immobilienverwalter auf den Stromsparerfonds zugegangen ist mit dem Vorhaben, 150 Wärmepumpen-Tumbler in den entsprechenden Liegenschaften zu installieren, ist das Budget der ersten Aktion des Stromsparerfonds zur Förderung der Verbreitung von Wärmepumpen-Tumbler aufgebraucht und es muss eine zweite Aktion geplant und beantragt werden.

- Organisation -

- Bedingte Kompatibilität bestehender Gerätegeneration und neuer Technologie: Typischerweise gehören Haushaltsgeräte einer Gerätegeneration an, die alle 8-10 Jahre erneuert wird. Je nach Hersteller befinden sich die Gerätegenerationen in einem unterschiedlichen Stadium. Die Einbindung einer grundlegend neuen Technologie wie der Wärmepumpe in bestehende Modelle einer Generation kann vor diesem Hintergrund gewisse Kompromisse verlangen und Optimierungen nur bis zu einem gewissen Grad zulassen, da bestimmte Eckpunkte (z.B. Gehäuseformat) schon fest definiert sind. Damit ist das Zeitfenster für eine grundlegende Erneuerung eines Gerätes meist klein.

4.4.4 Fallstudie **MFH-Wärmepumpen-Tumbler bei Schulthess**

A) Kurzportrait

Die Schulthess Maschinen AG ist einer der beiden massgeblichen Schweizer Anbieter von Waschtechnik und bietet seit 2004 Wärmepumpen-Tumbler an, darunter - als einziger Anbieter - auch Geräte für den gewerblichen Einsatz. Die Schulthess Maschinen AG ist Teil der Schulthess Group, zu der auch die stark wachsende Geschäftssparte Wärme-/Kältetechnik gehört. Schon 1999 ist Schulthess in den Bereich der Wärme- und Kältetechnik eingestiegen, um ein zweites Standbein aufzubauen.

Der Entwicklungsprozess für WPTs beginnt Mitte 1994 mit einer vom BFE geförderten Machbarkeitsstudie. Die technologische Umsetzung verzögert sich anschliessend aber um mehrere Jahre, weil eine Neuentwicklung zeitlich nicht mehr mit der Lancierung einer neuen, firmenweiten Gerätegeneration kompatibel war. Seit Mitte der 1990er Jahre baut Schulthess zudem, u.a. auf Basis einer Kooperation mit den Kulmbacher Klimageräte-Werken (KKW) in Bayern, Kompetenzen im Bereich Wärmetechnik auf. In 2000 übernimmt man die Alpha-InnoTec, die sich mit der Herstellung von Wärmepumpen für das Segment Heizungen befasst und ein Jahr zuvor aus der KKW GmbH (heute: Glen Dimplex Deutschland GmbH) ausgegründet wurde. Aufgrund von Synergiepotenzialen zwischen den Bereichen Haushaltsgeräte und Wärmepumpen wird 2002 die Entwicklung eines Wärmepumpen-Tumblers wieder aufgegriffen. Es kommt zu einer zweiten Förderung seitens BFE mit dem Ziel, einen Tumbler mit im Gehäuse integrierter Wärmepumpe zu entwickeln. Das Gerät „Spirit Topline TWP 6706“ wird 2004 am Markt eingeführt und kostet heute 6.450,- CHF. Sein Stromverbrauch beträgt 0,34 kWh pro Kilogramm Wäsche. Die Unterstützung des BFE für diese Innovation beläuft sich auf etwa 160 Tsd. CHF, darüber hinaus kamen rund 46 Tsd. CHF vom Kanton Zürich.

B) Technologische Meilensteine

Der Innovationsprozess gliedert sich in fünf technologische Meilensteine. Im Januar 1996 hat Schulthess als Ergebnis eines vom BFE geförderten Projekts Grundlageninformationen (u.a. Kosten) dazu vorliegen, was mit dem Stand der Technik in Sachen MFH-Wärmepumpen-Tumbler möglich ist [Meilenstein 1]. Etwa 1997/98 erfolgt mit der Markteinführung von Luftkondens trocknern ein erster Technologiesprung, bei welchem die Trocknungsdauer deutlich verkürzt und der Wasserverbrauch vermieden wird [technologischer Meilenstein 2]. Während dieser Zeit tritt die Fortführung der Wärmepumpen-Technologie zunächst wieder in den Hintergrund, weil sie noch nicht in die neue Gerätegeneration integriert werden kann. Erst nachdem diese neue Generation ab 2002 stabil auf dem Markt ist, wird die Entwicklung WPT-Technologie wieder aufgenommen. Im zweiten BFE-Projekt (Dez. 2002 - 2004) wird das Ziel verfolgt, die Wärmepumpe in das Gehäuse des Tumblers zu integrieren und nicht mit einem separaten Aufsatz zu arbeiten. In 2003 ist dieses Ziel und damit ein weiterer technologischer Meilenstein erreicht [technologischer Meilenstein 3]. Daraufhin wird eine Nullserie mit etwa 15 Geräten produziert, die in Feldtests zum Einsatz kommen. 2004 geht Schulthess mit seinen WPT auf den Markt [Meilenstein 4]. Nachdem in 2006 der Wartungsaufwand an der ersten WPT-Serie noch einmal verkleinert werden kann, wird seit 2007 an einer Gerätegeneration gearbeitet, bei der zum ersten Mal von Beginn an WPT im Sortiment und kritische Bereiche wie Wartung (Stichwort MFH-Tauglichkeit) verbessert sind. Mit dem Abschluss dieser Entwicklungen und einer zunehmenden Standardisierung der Geräte steht aller Voraussicht nach noch 2008 ein weiterer Meilenstein bevor [technologischer Meilenstein 5].

C) Organisatorische Meilensteine

Zwei organisatorische Veränderungen sind als Meilensteine von Bedeutung. Nach der Börsenkotierung von Schulthess im Jahr 1998 besteht ein erhöhter Wachstumsdruck. Da im angestammten Bereich von Schulthess, den Waschmaschinen, mit einem überschaubaren/begrenzten Wachstum zu rechnen ist, setzt Schulthess auf das Zugpferd Wärmepumpen-Technologie. Der erste organisatorische Meilenstein wird 1999 gesetzt, als Schulthess mit der Firma Novelan in Dällikon ein Un-

ternehmen kauft, das bis dahin zu Siemens gehörte und in Irland gebaute Wärmepumpen vertrieben hat. Ein zweiter organisatorischer Meilenstein erfolgt 2000 mit der Übernahme des deutschen Wärmepumpenherstellers Alpha-Innotec. Dieses Unternehmen wurde 1999 gegründet und hatte 2007 schon 360 Mitarbeiter.

D) Umfeld Innovationsprozess Schulthess

In der folgenden Abbildung sind die zentral am Innovationsprozess beteiligten Akteure sowie die einflussreichsten Institutionen dargestellt.

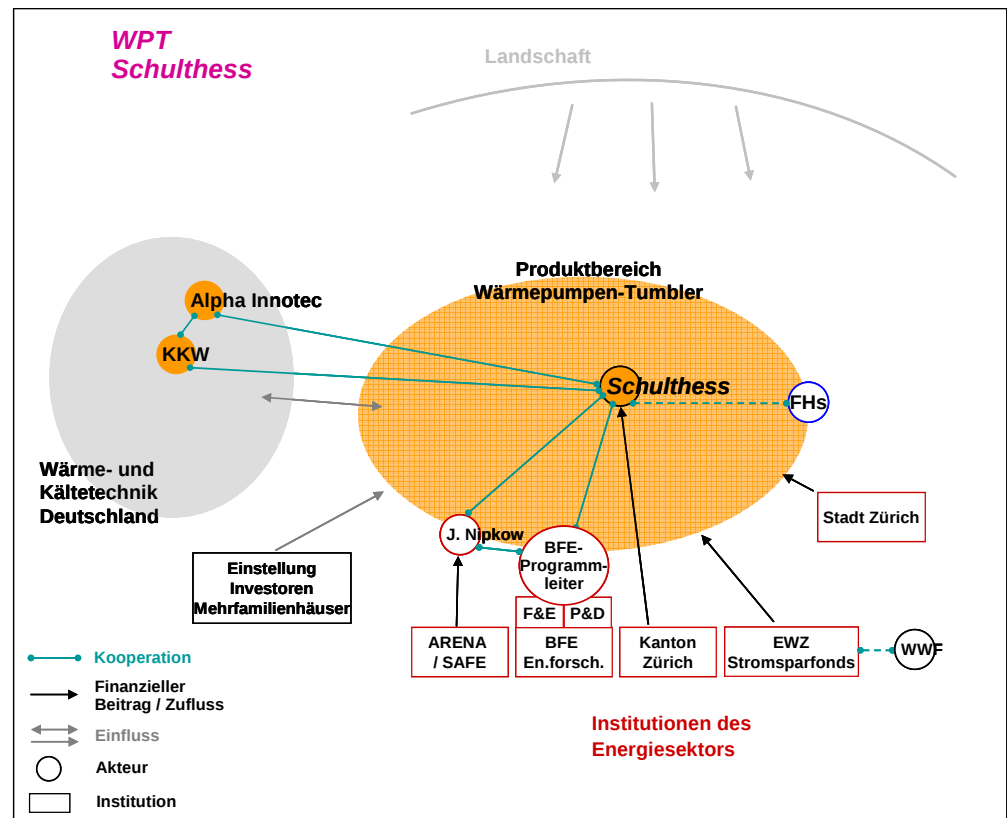


Abbildung 22: Zentrale Akteure und Institutionen für den Innovationsprozess bei Schulthess

Wie mit den grünen Verbindungslinien gekennzeichnet, sind vor allem die Akteure Alpha Innotec (KKW-Spin-off), J. Nipkow und Vertreter des BFE zentral für den Innovationsprozess bei Schulthess.

E) Förderfaktoren

- Innovationssystem -

- **(1[†]) BFE-Fördergelder:** Schulthess erhält für die Entwicklung der Wärmepumpen-Tumbler-Technologie Fördergelder vom BFE. Das erste Förderprojekt Mitte der 90er Jahre zeigt den prinzipiellen Weg und die Machbarkeit auf. Ohne Unterstützung des BFE wären die Kosten für diese Entwicklungsleistung für Schulthess in dieser Zeit zu hoch gewesen. Beim zweiten Projekt ab 2002 geht es um die konkrete Entwicklung eines gehäuseintegrierten WP-Tumblers.

- (2*) Impuls und Technologie-Know-how von ARENA: Der Kontakt zu J. Nipkow (ARENA / SAFE), welcher schon aus anderen Projekten besteht, führt dazu, dass Schulthess nach intensivem Austausch zum Schluss kommt, in dem Bereich Wärmepumpen und Tumbler aktiv zu werden (1994). Für die Umsetzung des ersten BFE-Projektes bei Schulthess ist vor allem die Fachkompetenz von J. Nipkow wichtig.
- Initiierung durch Netzwerkkontakte: Für die Entwicklungen im Zusammenhang mit Wärmepumpen-Tumbler braucht Schulthess 1994 Unterstützung. Durch den Kontakt zu J. Nipkow und dessen Vernetzung (u.a. BFE, Kanton Zürich) werden entsprechende Förderbeiträge aktiviert. In Zusammenarbeit mit J. Nipkow wird ein Projekt konzipiert und ein Antrag beim BFE eingegeben, der dort Unterstützung findet. Für die Zusammenarbeit mit J. Nipkow besteht eine gute Vertrauensbasis, u.a. weil er bei öffentlichen Stellen entsprechend akzeptiert/angesehen ist.
- Förderung Kanton Zürich: Der Kanton Zürich richtet Mitte der 1990er Jahre Forschungs- und Entwicklungsunterstützungsgelder für WP-Tumbler aus und unterstützt gemeinsam mit dem BFE die Entwicklungen bei Schulthess. Die Machbarkeitsuntersuchung von 1994 bis 1996 bei Schulthess (vgl. (1)) wird vom Kanton Zürich mit mehreren zehntausend Franken gefördert.
- Initiierung einer Kooperation durch erstes BFE-Projekt: Bei Schulthess bringt das erste BFE-Projekt 1994 den Kontakt zu den Kulmbacher Klimage-rätewerke (KKW). Aus diesem Kontakt wird später eine enge Zusammenarbeit mit dem KKW-Spin-off Alpha-InnoTec, die bis zur Übernahme führt.

- Organisation -

- Wettbewerb: Das WPT-Entwicklungsprojekt des Hauptkonkurrenten V-Zug und die Markteinführung dieses WPT 2001 begünstigt, dass Schulthess Ende 2002 die Aktivitäten Sachen WPT wieder aufnimmt, um in dieser Hinsicht nicht den Anschluss zu verlieren.
- Kompetenzerweiterung mit Kooperationen: Schulthess arbeitet eng mit der KKW zusammen, welche aufgrund eigener Forschung auf dem Gebiet der Wärmepumpen über entsprechende Erfahrung verfügt und diese in das erste, vom BFE geförderte Entwicklungsprojekt bei Schulthess mit einbringt.
- Frühe Einbindung von Lieferanten im Entwicklungsprozess bei Schulthess: Ein Business Re-Engineering bei Schulthess bedingt die frühe Einbindung von Lieferanten in den Entwicklungsprozess. Diese können in der Folge mehr zum Entwicklungsprozess beitragen, als etwa nur in Bezug auf Werkzeuge für schon bestehende Maschinen Detailfragen zu behandeln. Darüber hinaus arbeitet man eher konzeptionell zusammen.
- Feldtests bei unterschiedlichen Kunden: Schulthess realisiert Feldtests bei verschiedenen Kunden und in verschiedenen Segmenten (MFH- und Gewerbebereich). Die unterschiedlichen Tests bringen wertvolle Erfahrungen und zeigen Aspekte auf, die zu verbessern sind (z.B. Wartungsanleitungen mit Visualisierung oder konstruktive Veränderung im Filtrationsbereich). Zudem können diese Erfahrungen auch generell eingebracht werden in die Entwicklung einer neuen Gerätegeneration.
- Einbindung von Praktikern mit Expertenwissen: Schulthess beteiligt verschiedene Personen (z.B. Hauswarte) an einem kontinuierlichen Produktverbesserungsprozess und lädt diese u.a. zum Firmensitz nach Wolfhausen zur gemeinsamen Diskussion der Erfahrungen aus der Praxis. Damit werden

Akteure eingebunden, die regelmässig mit den Geräten zu tun haben, und entsprechende Praxiserfahrungen berücksichtigt.

F) Hemmfaktoren

- Organisation -

- **(1) Mangelnde Passung mit Gerätegenerationen:** 1994 ist bei Schulthess die Entwicklung einer neuen Gerätegeneration im Gange (Generation Spirit). Für diese Generation sind zu der Zeit bereits Luftkondensrockner vorgesehen, um die hohen Wasserverbräuche von Wasserkondensrocknern zu vermeiden. Die Geräte der neuen Generation kommen 1997/98 auf den Markt. Aufgrund des Generationswechsels und des schon eingeschlagenen technologischen Pfads mit Luftkondensrocknern findet sich für die WPT-Technologie noch kein Gelegenheitsfenster. Die Aktivitäten im Zusammenhang mit der Lancierung der neuen Gerätegeneration stellen die Hauptaufgabe der Entwicklungsabteilung dar. Aus diesem Grund kann den Erkenntnissen der Machbarkeitsuntersuchung von J. Nipkow nicht so viel Aufmerksamkeit geschenkt werden.
- **Rentabilitätslogik:** Bei Schulthess gibt es zwischen 1996 und 2002 einen sechsjährigen Unterbruch, bei dem die WPT-Technologie intern nicht weiterverfolgt wird. Dieser Hergang rührt auch daher, dass der Markt für WPT in diesen Jahren (2. Hälfte der 1990er Jahre) noch nicht reif ist (fehlende Anbieter, Standards usw.) In dieser Zeit findet der Börsengang von Schulthess statt. Ein erhöhter Druck in Sachen Rendite ist die Folge. Diese Entwicklung ist nicht unbedingt förderlich für das Verfolgen einer Nischen-Technologie, wie es der WPT Ende der 1990er Jahre noch ist.
- **Unternehmensinterne Umstrukturierung:** Ein Business Re-Engineering bei Schulthess (von einer tayloristischen Aufteilung der Unternehmensbereiche zu einer Spartenorganisation wie Haushaltgeräte-, Gewerbemaschinenfertigung usw.) Mitte der 1990er Jahre bindet für einige Zeit neben der Entwicklung einer neuen Gerätegeneration die Aufmerksamkeit und entsprechende Ressourcen.

4.4.5 Fallstudie **MFH-Wärmepumpen-Tumbler bei V-Zug**

A) Kurzportrait

V-Zug ist (nach eigenen Angaben) der führende Schweizer Hersteller und Anbieter von Küchen- und Waschraumapparaten. Das Unternehmen baut seine Geräte im Bereich Wäschetechnik für Haushalte (Wohnung, Einfamilienhaus und Gemeinschaftswaschraum). In der Firmengeschichte von V-Zug findet sich eine Reihe von Beispielen für den frühen Einstieg in neue Technologien. V-Zug ist das erste Unternehmen, das in der Schweiz einen Wärmepumpen-Tumbler in sein Produktangebot bringt.

Beginn der technologischen Entwicklung bzw. des Innovationsprozesses ist das Jahr 1998. Durch die Zusammenarbeit mit der Störi Mantel Wärmetechnik AG gewinnt V-Zug den Zugang zu entsprechenden Fachkenntnissen im Bereich der Wärmetechnik. Der Trommelwäschetrockner mit Wärmepumpe von V-Zug differenziert sich von den anderen auf dem Markt erhältlichen Produkt durch zwei

Punkte: Der Unimatic TW 282 leistet unter den Wärmepumpen-Tumbler die schnellste Trockenzeit und ist mit 0,28 kWh/kg Wäsche das energieeffizienteste Gerät dieser Art. Der Unimatic TW 282 ist seit 2001 auf dem Markt eingeführt und kostet heute 6.750,- CHF. Die Wärmepumpe ist durch einen separaten Aufsatz mit dem Gerät verbunden. Die Unterstützung des BFE für diese Entwicklung umfasste 60.000,- CHF.

Der Innovationsprozess MFH-Wärmepumpen-Tumbler bei V-Zug ist der einzige der 10 vorliegenden Fallstudien, für den keine Hemmfaktoren identifiziert werden konnten, die nur den spezifischen Prozess gelten.

B) Technologischer Meilenstein

Ende 2001 hat V-Zug einen Wärmepumpen-Tumbler in einem zeitlichen Rahmen von etwa zwei Jahren entwickelt. Die Firma integriert die Wärmepumpe allerdings nicht im bestehenden Gerät, sondern entwickelt aus praktischen Gründen einen Aufsatz mit einer Wärmepumpe, sodass Hauswarte bei Wartungen (einmal pro Monat Filterreinigung) gut arbeiten können (MFH-Tauglichkeit). Diese Entwicklung liegt in einem günstigen Zeitfenster, da V-Zug in 2001 die Unimatic Waschautomaten und Wäschetrockner in einem neuen Design herausbringt.

C) Umfeld Innovationsprozess V-Zug

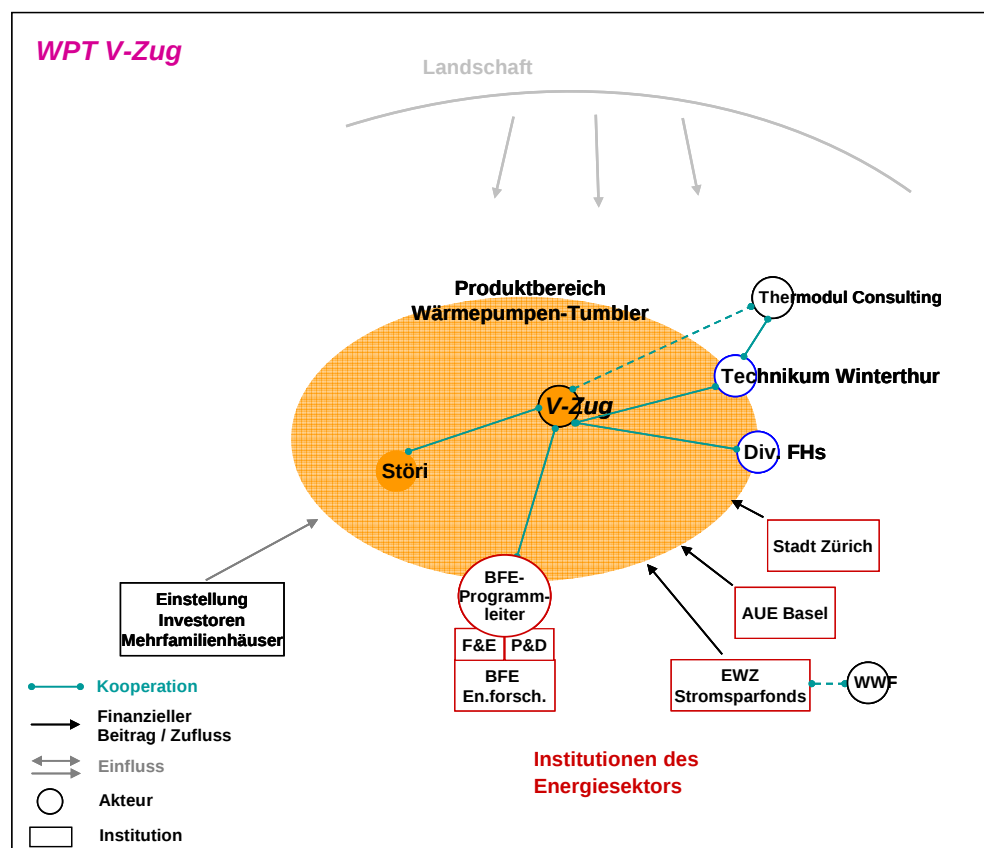


Abbildung 23: Zentrale Akteure und Institutionen für den Innovationsprozess bei V-Zug

Auf Akteursebene sind für den Innovationsprozess bei V-Zug vor allem die Firma Störi Mantel Wärmetechnik AG und Vertreter des BFE zentral. Zudem spielen die Städte Zürich und Basel eine sehr wichtige Rolle für den Prozess.

D) Förderfaktoren

- Innovationssystem -

- **(1⁺) BFE-Unterstützung:** Bei V-Zug findet die WPT-Entwicklung im Rahmen eines BFE-Projektes statt (Laufzeit: 1.8.1999 - 15.4.2001). In diesem Projekt wird bei V-Zug das wesentliche Know-how erarbeitet. Wichtig an dieser Unterstützung durch das BFE ist nicht nur die materielle Zuwendung, sondern vor allem die Präsenz des Bundes in Form eines Geldbetrages.
- **Förderungaktion AUE Basel-Stadt:** Die ersten Wärmepumpen-Tumbler für MFH überhaupt (von V-Zug und AEG) werden im Zuge einer Aktion des Amtes für Umwelt und Energie (AUE) in Basel-Stadt unterstützt. Allerdings hält sich der Umfang der Unterstützung im Hinblick auf die Anzahl in Grenzen. Zwischen Ende Januar 2001 und Juni 2002 wurden 100 Effizienzklasse A-Wäschetrockner mit bis zu 500 Schweizer Franken bzw. höchstens 30 % des Verkaufspreises gefördert.

- Organisation -

- **Vorerfahrungen bei V-Zug:** Die Idee zu Wärmepumpen-Tumbler gibt es bei V-Zug schon seit Mitte der 1990er Jahre. Der Entwicklung bei V-Zug kommt zugute, dass das Unternehmen an Erfahrungen aus einer Reihe an Vorstudien anknüpfen kann (z.B. Wärmepumpen für Raumlufthrockner Ende 1980er / Anfang 1990er oder Versuche gemeinsam mit Thermodul Consulting und dem Technikum Winterthur). Auch wenn die Vorarbeiten zunächst nicht zu einem umsetzbaren Konzept geführt haben, hat V-Zug durch die Vorstudien einen Überblick über das technologische Umfeld bekommen.
- **Unternehmensphilosophie und Innovationsmanagement:** V-Zug sieht sich als führender Anbieter von Waschraumapparaten in der Schweiz in einer gewissen Verantwortung gegenüber der Gesellschaft stehend und den Einsatz von Wärmepumpen in Tumbler als Gelegenheit, technologisch zu lernen. Aus der Sicht von V-Zug gehören Wärmepumpen-Tumbler die Zukunft. Die Firma orientiert sich grundlegend an mittel- und langfristigen Entwicklungen. Im Rahmen eines Innovationsmanagements werden mögliche Themenfelder abgesucht, die Ideen aller Mitarbeiter genutzt, eine Innovationsplanung für die nächsten 10 Jahre aufgesetzt und gegebenenfalls ein Projekt auf der Grundlage eines Innovationskonzepts initiiert. In einer frühen Entwicklungsphase, die bei V-Zug intern als „Innovationsphase“ bezeichnet wird, gelten andere Spielregeln als bei späteren Entwicklungen. In dieser frühen Phase sind explizit auch Misserfolge vorgesehen.
- **Ausgangslage bei V-Zug:** Im Unternehmen schon vorhandene Werkzeuge wie etwa Stanz- und Biegemaschinen ermöglichen es, ohne allzu grosse Investitionen die Entwicklung des WPT voranzutreiben.
- **Kompetenzerweiterung mit Kooperationen:** V-Zug holt sich durch die Partnerschaft mit der Firma Störi Mantel Wärmetechnik das Know-how im Bereich von Kältemitteln in sein Entwicklungsprojekt.

E) Kernaspekte der beiden Fallbeispiele

Die beiden Entwicklungen von Wärmepumpen-Tümlern haben einen wesentlichen Unterschied. Während der Innovationsprozess bei V-Zug eine straight forward-Entwicklung ist, teilt er sich bei Schulthess in zwei Phasen.

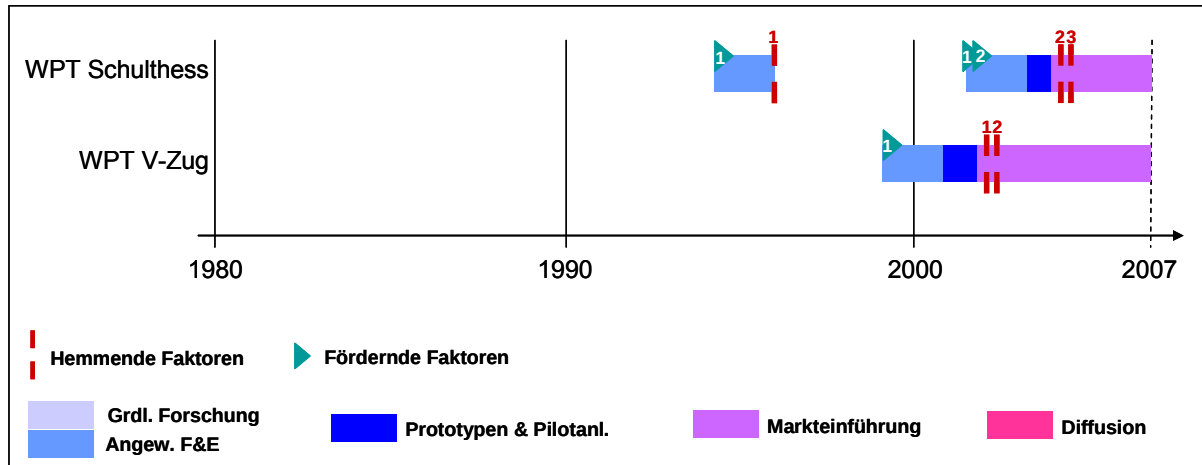


Abbildung 24: Innovationsphasen und zentrale Einflussfaktoren der Innovationsprozesse WPT Schulthess und WPT V-Zug im Überblick

Bei Schulthess wird schon Mitte der 1990er Jahre in einem BFE-geförderten Projekt die prinzipielle Machbarkeit der Wärmepumpen-Tumbler-Technologie untersucht (1⁺). Hier sind insbesondere der Impuls und das technologische Know-how von J. Nipkow (ARENA - Arbeitsgemeinschaft Energie-Alternativen) relevant (2⁺). Obwohl die Machbarkeit in dem ersten Projekt hinsichtlich verschiedener Aspekte (z.B. Kosten) aufgezeigt werden kann, ruht die weitere Entwicklung aufgrund verschiedener Aspekte sechs Jahre. Die Firma nimmt erst 2002 die WPT-Aktivitäten wieder auf. Neben anderen Faktoren wie zum Beispiel die Börsenkotierung von Schulthess spielt eine zentrale Rolle, dass in der Zeit des Entwicklungsprojektes MFH-Wärmepumpen-Tumbler die Entwicklung und Lancierung einer neuen Schulthess-Gerätegeneration auf Hochtouren läuft (1⁻) bei Schulthess). Dieser Aspekt ist im Hinblick auf die Einbindung neuer Technologien in bestehende Geräte (z.B. Waschmaschine, Tumbler) zentral. Generell werden bei Herstellern von Wäschegegeräten wie V-Zug oder Schulthess Gerätegenerationen etwa in 8-10-Jahres-Zyklen erneuert. Insofern gibt es für radikalere Innovationen nur kleine Gelegenheitsfenster. V-Zug wählt mit der Variante, die Wärmepumpeneinheit in einem separaten Aufsatz mit dem Tumbler zu kombinieren, einen Weg, der es erlaubt, die Innovation ausserhalb des Gelegenheitsfenster eines Gerätegenerationenwechsels einzubinden. V-Zug knüpft in der zweiten Hälfte des Jahres 1999 im Rahmen eines BFE-Projektes (1⁺) an einen Wissensstand an, der im Laufe der 1990er Jahren über diverse Entwicklungskontexte geschaffen wurde (u.a. mit Thermomodul Consulting), und führt die Entwicklung des Unimatic TW in etwa zwei Jahren durch (Tumbler mit bester Energieeffizienz und kürzester Trocknungszeit; Wärmepumpeneinheit in separatem Aufsatz). Markant an dem Fallbeispiel von V-Zug ist, dass keine rein prozessspezifischen hemmenden Einflussfaktoren auffallen.

Die technologische Entwicklung und Reife der beiden MFH-Wärmepumpen-Tumbler sind positiv zu bewerten. Ansatzpunkte zur Optimierung der Geräte gibt es noch im Wartungsbereich. Das Nadelöhr, das dieser Innovation einen breiten

Durchbruch erschwert, ist auf der Marktseite zu verorten. Dort sind Hemmnisse wie fehlende Sensibilisierung von Kunden, u.a. bedingt durch fehlende Vorschriften für energieeffiziente Geräte, zu finden ((2¹) bei V-Zug und (3¹) bei Schulthess). Des Weiteren liegt ein Haupthemmnis darin, dass denjenigen, die über den Kauf von Geräten für Gemeinschaftswaschräume entscheiden, der Nutzen von Strom sparenden Geräten nicht zugute kommt ((1¹) bei V-Zug und (2¹) bei Schulthess). Dieses Problem, das auch in anderen Fällen von energieeffizienten Technologien als so genanntes Vermieter-Mieter-Dilemma bekannt ist, ist eine grundsätzliche Herausforderung für die Energiepolitik. Aufgrund der marktseitigen Hemmnisse ist der Markt für Wärmepumpen-Tumbler im Mehrfamilienhaus-Bereich bis heute zu klein, um Geräte-Stückzahlen abzusetzen, die auf Seiten der Hersteller auch profitabel sind. Sowohl bei V-Zug als auch bei Schulthess schreibt man mit den WPT-Geräten bis heute keine schwarzen Zahlen. Man betrachtet das unternehmerische Engagement in diesem Bereich als einen Beitrag für mehr Energieeffizienz und als grundsätzliche Technologieneuorientierung.

Die folgenden Abbildungen zeigen, wo die zentralen Einflussfaktoren auf die beiden Innovationsprozesse im Bereich der MFH-WPT zu verorten sind.

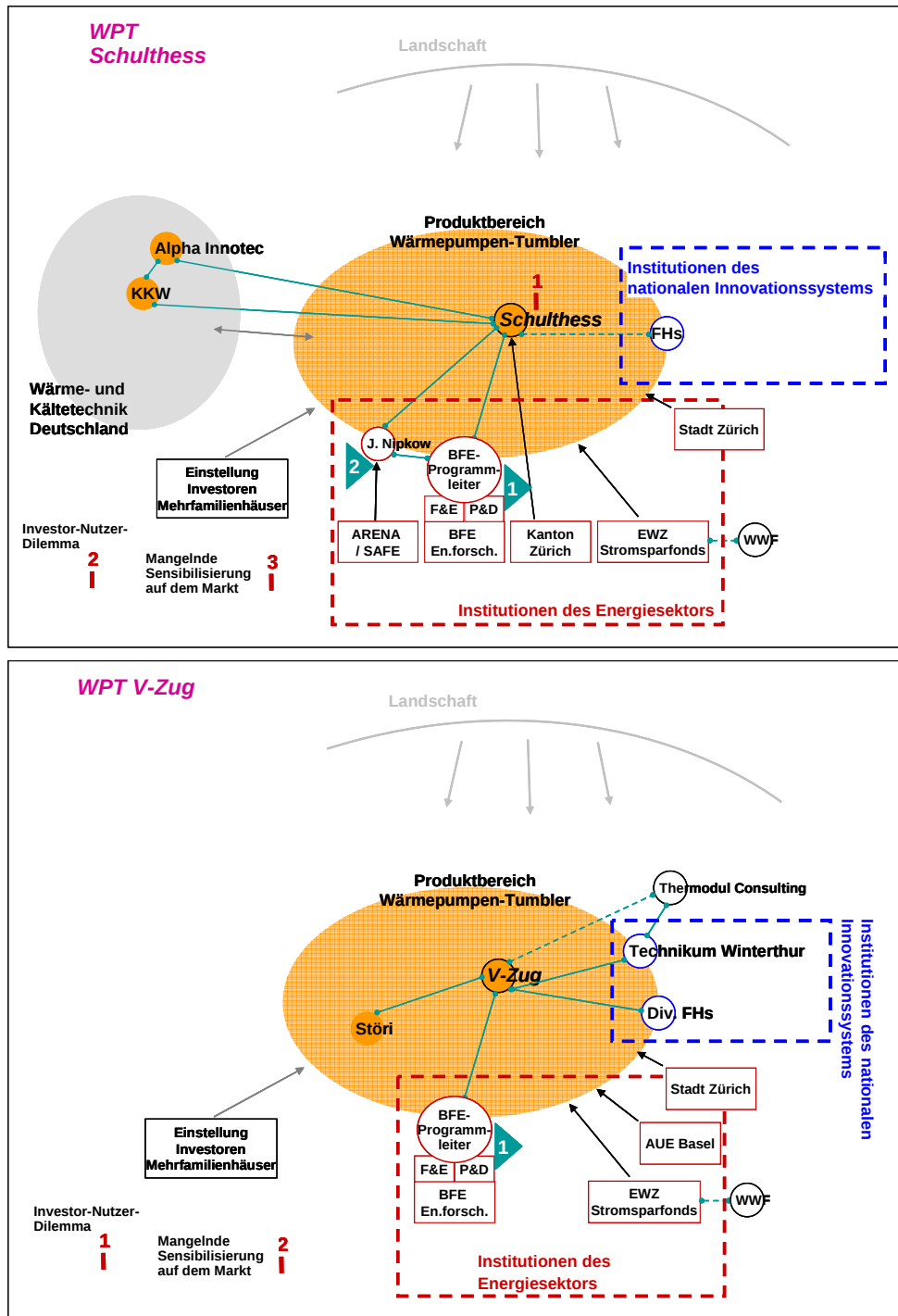


Abbildung 25: Verortung zentraler Einflussfaktoren der Innovationsprozesse WPT Schulthess und WPT V-Zug

Tabelle 9: Einflussmöglichkeiten des BFE auf zentrale Einflussfaktoren der Innovationsprozesse WPT Schulthess und WPT V-Zug

Wärmepumpen-Tumbler / Haushaltsgeräte: Schulthess			
Zentrale Förderfaktoren		Zentrale Hemmfaktoren	
Nr. Beschreibung	Realer / Potenzieller Einfluss des BFE	Nr. Beschreibung	Realer / Potenzieller Einfluss des BFE
1 ⁺ BFE-Unterstützung	++ / ++	1 ⁻ Mangelnde Passung mit Gerätegeneration	- / +
2 ⁺ Impuls und Tech-Know-how ARENA	kE / +	2 ⁻ Investor-Nutzer-Dilemma	- / o
		3 ⁻ Mangelnde Sensibilisierung auf dem Markt	kE / +
++ Grosser realer Einfluss + Realer Einfluss o Geringer realer Einfluss - Kein realer Einfluss kE Keine Einschätzung möglich		++ Grosser potenzieller Einfluss + Potenzieller Einfluss o Geringer potenzieller Einfluss - Kein potenzieller Einfluss	

Wärmepumpen-Tumbler / Haushaltsgeräte: V-Zug			
Zentrale Förderfaktoren		Zentrale Hemmfaktoren	
Nr. Beschreibung	Realer / Potenzieller Einfluss des BFE	Nr. Beschreibung	Realer / Potenzieller Einfluss des BFE
1 ⁺ BFE-Unterstützung	++ / ++	1 ⁻ Investor-Nutzer-Dilemma	- / o
		2 ⁻ Mangelnde Sensibilisierung auf dem Markt	kE / +
++ Grosser realer Einfluss + Realer Einfluss o Geringer realer Einfluss - Kein realer Einfluss kE Keine Einschätzung möglich		++ Grosser potenzieller Einfluss + Potenzieller Einfluss o Geringer potenzieller Einfluss - Kein potenzieller Einfluss	

Wie Tabelle 9 zeigt, hat das BFE dort, wo es grossen Einfluss nehmen kann, auch entsprechend gewirkt. Weiteren Einfluss hinsichtlich der Sensibilisierung der Marktteilnehmer könnte das BFE etwa über Aktivitäten innerhalb von EnergieSchweiz wahrnehmen. Der Einfluss des BFE in dieser Hinsicht ist jedoch als nicht sehr gross einzustufen, weil das Programm EnergieSchweiz oftmals indirekt wirkt.

4.4.6 Haupteckensteine Wärmepumpen-Tumbler für die Innovationsförderung

Von den befragten Personen wird das weitere Entwicklungs- und Marktpotenzial von WPT als hoch eingeschätzt. Zwar ist heute der Marktanteil dieses Produktes eher noch gering, doch wird erwartet, dass diese Technologie in Zukunft eine Markt bestimmende Rolle einnehmen wird.

Die Untersuchung der beiden Prozesse hat gezeigt, dass die jeweils projektbezogene, punktuelle Unterstützung deutliche Fortschritte gebracht hat. Eine Unterstützung der öffentlichen Hand in der Grössenordnung von mehreren 10.000 Franken macht im Vergleich zu den Investitionen der Unternehmen selbst zwar eher einen

kleinen Anteil aus, aber die Präsenz des BFE hat insbesondere für die Legitimität der Innovations- und Entwicklungsprozesse einen wesentlichen Einfluss. Darüber hinaus hat sich in beiden Fällen gezeigt, dass die Beteiligung des BFE auch im Hinblick auf ergänzende und weiterführende Förderquellen von Vorteil ist.

Zudem wurde deutlich, dass im Fall von etablierten Märkten und Firmen die Einführung von innovativen Technologievarianten mit den unternehmensinternen Zyklen von Gerätegenerationen zeitlich kompatibel sein muss (vgl. etwa (1) in der Fallstudie Schulthess). Solche Aspekte könnten bei der Förderung von Entwicklungen im Bereich von Elektrogeräten seitens des BFE berücksichtigt werden.

Generell scheint es so, als müsste die Technologie für Nutzer gebräuchlicher und üblicher werden. Im Einfamilienhausbereich könnte eine weitere Verbreitung stattfinden. Möglicherweise könnte im Zusammenhang mit CO₂-Reduktions- oder Energiesparprojekten auf kantonaler Ebene, im Rahmen derer etwa Eigentümer von Liegenschaften hinsichtlich des Energieverbrauchs bewertet werden, der Technologie ein Schub verliehen werden. Ein strukturelles Hemmnis für die Diffusion von WPT besteht im MFH-Bereich, weil Vermieter bzw. Wohnbaugesellschaften beim Kauf Mehrkosten zugleich aber nicht den Nutzen der Energieeinsparung haben. An diesem Punkt sind Lösungsansätze durch marktseitige Regulierung und/oder eine neue Serviceorientierung der Hersteller denkbar. Die Hersteller könnten etwa über ein Contracting die Serviceleistung „Wäschetrocknung“ anstelle der Geräte verkaufen. Zudem gibt es nach Ansicht unserer Interviewpartner einen Bedarf nach Marketingaktivitäten und Medienberichten mit dem Ziel einer Sensibilisierung der Vermieter.

Schliesslich könnten weitere Impulse durch Vorschriften zustande kommen. So wird etwa die Muken (Musterenergie-VO der Kantone) von 2000 im Jahr 2008 überarbeitet. Zudem werden im Minergie-Standard A (A+/++)-Geräte als Vorgabe möglich. Bezüglich des Zielwerts der SIA Norm 380-4 für elektrische Energie im Hochbau von 2006 werden zudem A-Wäschetrockner gefordert.

Die beiden Fallstudien haben gezeigt, dass das BFE in diesen Innovationsprozessen eine förderliche Rolle gespielt hat. Zur Auflösung der bestehenden Hemmnisse könnte das BFE beitragen.

4.5 Technologiebereich Umrichter

Das hier beleuchtete Technologiefeld unterscheidet sich in verschiedener Hinsicht von den übrigen Technologiebereichen und Fallstudien:

- Die Fallstudien fokussieren stärker die Innovationsprozesse auf Unternehmensebene im Bereich der Umrichtertechnologie und weniger eine einzelne spezifische Technologie in diesem Technologiefeld.
- Das Bundesamt für Energie (BFE) spielt in Bezug auf die Technologie- und Innovationsförderung bei den hier betrachteten beiden Fallstudien keine (Drivetek AG) oder nur eine untergeordnete Rolle (Vivatec GmbH).
- Die Umrichtertechnologie ist in einem sehr fortgeschrittenen Reifestadium des Innovationsprozesses. Die applikationsspezifische Umsetzung spielt eine wichtigere Rolle als Forschung und Entwicklung.

Umrichter werden in einer grossen Vielzahl von Anwendungsbereichen eingesetzt. Bei der Komponentenherstellung (z.B. Halbleiter) sind global agierende Grosskonzerne marktbestimmend.

Primärer Zweck von Umrichtern (auch Strom-, Frequenz-, Wechsel- oder Gleichrichter genannt) ist die Umwandlung bzw. Anpassung von Spannungseigenschaften in elektrischen Kreisläufen. Dazu gehört etwa die bedarfsgerechte, drehzahlvariable Stromversorgung von elektrischen Antrieben oder die Umwandlung des Gleichstroms aus Solarzellen zur Einspeisung in das Stromnetz. Bei Antrieben wird eine Steigerung der Energieeffizienz, bei der Photovoltaik die Nutzung erneuerbarer Energiequellen ermöglicht.

In der Schweiz fällt gemäss Aussagen von BFE-Experten beinahe die Hälfte des landesweiten Stromverbrauchs im Zusammenhang mit elektrischen Antrieben an. Damit kommt Umrichtern bzw. *effizienten Antrieben* eine sehr zentrale Bedeutung im Bereich der Energieeffizienz zu.

4.5.1 Beschreibung Technologie

Umrichter dienen der Spannungsumwandlung in Stromkreisen. Sie wandeln beispielsweise Gleichspannung in Wechselspannung um oder erlauben die Änderung von Wechselspannungen und Frequenzen. Mittels moderner und hochqualitativer *Leistungselektronik* können schon bei tiefen Nennlasten (von 20 bis 50%) hohe Wirkungsgrade erzielt werden.

Aufgrund von Fortschritten in der Leistungselektronik und bei digitalen Signalprozessoren erschliessen elektronische Umrichter heute eine sehr breite Palette von Anwendungsmöglichkeiten. Daher wird der Ersatz von Transformatoren oder mechanischen Lösungen zur Stromwandlung immer wirtschaftlicher. Zugleich gehen mit dem vermehrten Einsatz von elektronischen Umrichtern oft deutliche Energieeinsparungen einher, was sich wiederum positiv auf die Wirtschaftlichkeit, aber auch auf die Umweltbilanz von Prozessen auswirkt.

Anwendungsbereiche finden sich in erster Linie bei *drehzahlvariablen Antrieben*, also bei Motoren, Pumpen, Personen- und Lastaufzügen, Ventilatoren, Lokomotiven, Skiliften etc. – überall dort, wo Tempoveränderungen von zentraler Bedeutung sind. Vor der Integration von 4-Quadrantenstellern verpuffte bei Bremsprozessen elektrische Energie ungenutzt als Wärme.

Im Motorenbereich sind gemäss Aussage des BFE-Programmleiters ‚Elektrizität‘ Roland Brüniger ca. 45% des gesamtschweizerischen Energiekonsums zu lokalisieren. Dies impliziert – bereits unter konservativen Annahmen zum *Effizienzsteigerungspotenzial* von Umrichtern – ein enormes Sparpotenzial von bis zu 5'000 Gigawattstunden jährlich im Bereich Motoren und Antriebe (vgl. auch BFE 2007).

In heutiger Zeit ebenfalls flächendeckend werden – u.a. in allen Rechenzentren – so genannte USV-Anlagen (USV = Unterbrechungsfreie Stromversorgung), welche oft in hohem Mass teillastabhängig sind, verwendet. Hier sind Umrichter, welche zudem eine echte Speicherfunktion haben (Batterie), eine zentrale Technologie. Ein beträchtliches Energiesparpotenzial – unter anderem auch dank effizienten Umrichtern – kommt als freiwillige, europäische Vereinbarung zwischen der EU und der herstellenden Industrie im ‚code of conduct‘ für USV-Anlagen zum Ausdruck. Ein anderes Beispiel für die breiten Anwendungsmöglichkeiten ist die Stromnetzanbindung von Computern – ein modernes Netzschaltteil ist eigentlich ein kleiner Umrichter.

Darüber hinaus sind Umrichter, wie bereits erwähnt, im gesamten Bereich der erneuerbaren Energien relevant. Ein typisches Anwendungsgebiet ist die Photovoltaik, bei welcher Gleichstrom in Wechselstrom umgeformt werden muss, oder die Netzanbindung von Windparks.

Eine zentrale aktuelle Entwicklung ist die Verstärkung des so genannten ‚Packagings‘: Während früher stets diverse Einzelkomponenten in komplexen Arbeitsschritten zusammengefügt wurden, werden heute vermehrt verschiedene Komponenten integriert (‚Packaging‘). In diesem Bereich sind auch die in den Fallstudien untersuchten Firmen aktiv. Generell hat sich die Umrichtertechnologie bereits weit entwickelt und es ist damit zu rechnen, dass sie sich bei steigenden Energiepreisen und Effizienzansprüchen weiter verbreiten wird.

4.5.2 Markt und Situation in der Schweiz

Marktumfeld – Akteure auf Marktseite in der Schweiz

Die Umrichtertechnologie befindet sich heute in einem ziemlich weit entwickelten Reifestadium, so dass es einige Standardprodukte gibt, welche von grossen Industriekonzernen und Umrichter-Produzenten wie Siemens, Fujitsu, ABB oder Alstom hergestellt werden. In kleineren Leistungsbereichen, welche bspw. für die Photovoltaik von Bedeutung sind, agieren verschiedene erfolgreiche und in den letzten Jahren stark wachsende Firmen wie SMA (in Deutschland) oder Sputnik Engineering (in der Schweiz). Letzteres Unternehmen wird auch in einer spezifischen Fallstudie beim Technologiebereich Photovoltaik näher vorgestellt (vgl. 4.2.6).

Auf den ersten Blick betrachtet ist auch der Umrichtermarkt weit entwickelt und hoch kompetitiv. Dies trifft jedoch eher auf international ausgerichtete Grosskonzerne zu, welche in der Massenproduktion von Komponenten und grossen Umrichteranlagen tätig sind. Der Spezialisierungsgrad von kleinen Unternehmen – wie den hier betrachteten Drivetek AG und Vivatex GmbH – ist allerdings sehr ausgeprägt, so dass sich diese in spezifischen Marktnischen relativ gut behaupten können und keinem überaus starken Konkurrenzdruck ausgesetzt sind. Gerade hier sind aber auch starke, konjunkturbedingte Schwankungen am Markt beobachtbar, da die F+E-Ausgaben potenzieller Kunden treibende Faktoren für den Geschäftsgang sind.

Bezüglich der Wettbewerbsintensität ist Folgendes zu beobachten: Je grösser der Leistungsbereich, desto weniger dynamisch (und kleinräumig) ist der entsprechende Markt für Umrichter. Grosse Kunden wie z.B. Elektrizitätswerke legen Wert auf zuverlässige und relativ günstige Technologie von Herstellern mit hoher Reputation. Hier wird weniger ‚experimentiert‘ als bspw. im Bereich der Unterhaltungselektronik. Folglich sind in diesem Leistungssegment – anders als im Bereich erneuerbare Energien – keine ‚Garagenfirmen‘ aktiv und Konzerne konkurrieren insbesondere über die Zuverlässigkeit.

Insbesondere die grossen Anbieter von Umrichtern resp. Umrichterkomponenten sind meistens gleichzeitig in verschiedenen Anwendungsbereichen (Antriebsumrichter, Hochstromumrichter etc.) und auf den internationalen Märkten tätig und agieren teilweise global. Kleinere Anbieter wiederum versuchen sich durch spezifische, anwendungs- resp. umsetzungsspezifische Problemlösungskompetenzen und insbesondere in Nischenmärkten (Erneuerbare Energien etc.) zu positionieren.

Hinsichtlich der Kostenstruktur produzieren auf globaler Ebene zurzeit chinesische Konzerne am günstigsten, allerdings sind deren Produkte gemäss Expertenmeinungen noch immer mit Qualitätsproblemen behaftet. Ebenfalls international sehr konkurrenzfähig sind Anbieter aus Japan, Frankreich und Italien.

KMUs wie die Drivetek AG oder die Vivatec GmbH kaufen die von Grossunternehmen produzierten Komponenten, entwickeln und assemblieren diese im Kundenauftrag zu einem System resp. einer Anlage und verkaufen zuletzt das gesamte ‚Produkt‘ (die spezifische ‚Umrichteranlage‘) an einzelne Kunden.

Diese Marktsegmente des Anlagebaus sind sehr heterogen mit jeweils hohem Spezialisierungsgrad. Als Mehrwert bringen diese kleineren Unternehmen also in erster Linie Engineering- resp. Anwendungs-Know-how mit ein. Die Innovationsaktivitäten fokussieren heute also in erster Linie auf die Systemintegration und sind oft sehr spezifisch resp. kundenorientiert.

Auf der Zulieferseite ist in erster Linie der *Halbleiterbereich* von zentraler Bedeutung für Anbieter von Umrichteranlagen. Der Halbleitermarkt ist in höchstem Ausmass international orientiert, auch kleinere Anbieter von Umrichtern beziehen die Halbleiter meist von global agierenden Grosskonzernen.

Zu den wichtigsten Zulieferern von Halbleitern gehören unter anderem Siemens, Fuji, Mitsubishi und SGS Thomson – ABB stellt ausschliesslich Halbleiter im hohen Leistungsbereich her, diese jedoch in sehr hohen Stückzahlen. Auch bei den passiven Komponenten stehen grosse Unternehmen als Zulieferer im Vordergrund.

Der Prozessorenmarkt ist zwar hinsichtlich der erforderlichen Stückzahlen etwas kleiner, aber ebenfalls eindeutig international ausgerichtet. Hier werden die kleineren Schweizer Umrichterfirmen primär von Texas Instruments, Infineon und Motorola beliefert. Auf der Prozessor-Zuliefererseite ist (im Gegensatz zum Halbleitermarkt) kein klarer Trend in Richtung Osten feststellbar, da diese sehr komplexe Technologie bereits heute mit enorm hohen Automatisierungsgrad produziert wird.

Das Anwendungswissen bezüglich Umrichterlösungen ist gemäss Expertenaussagen unter Ingenieuren noch zu wenig ausgereift resp. verbreitet. Grundsätzlich gilt, dass jüngere Ingenieure die Umrichtertechnologie aus der Ausbildung besser kennen und entsprechend Akzeptanz und Vertrauen in Umrichter höher sind. Ein aktiveres Marketing und Markt-Scanning wäre hier eventuell sinnvoll.

Akteure und Netzwerke auf Hochschuleseite in der Schweiz

Schweizweit sind rund ein halbes Dutzend Dozenten im Umrichterbereich tätig, so dass die Nachfrage der Hochschulen bei der Aus- und Weiterbildung sowie der Forschung kaum vollständig aus dem nationalen Nachwuchs gedeckt werden kann. Es sind folglich in absehbarer Zukunft durch die Fachhochschulen auch keine grundlegend neuen Impulse für die Umrichtertechnologie zu erwarten.

Die Fachhochschulen haben meist einen stark *applikationsspezifischen Fokus* (bspw. Antriebsbereich in Biel, Automatisierungsbereich in Winterthur, etc.). Gleichzeitig weisen die Fachhochschulen eine regionale Ausrichtung und Ausstrahlung aus.

Die Eidgenössischen Technischen Hochschulen ETHZ resp. EPFL sind eher in Richtung Grundlagenforschung ausgerichtet und entsprechend wissenschaftlich fundiert – gleichzeitig allerdings oft nicht ausgesprochen markt- und umsetzungsorientiert. In der fachlichen Orientierung der Institute zeigt sich auch die persönliche Prägung der Lehrstuhlinhaber. So gab es an der ETH bspw. einen Wechsel von Prof. Stemmler, welcher von der ABB kam und im grossen Leistungsbereich arbeitete, zu Prof. Kolar, der sich auf kleinere Leistungsbereiche konzentriert und den Lehrstuhl gleichzeitig kontinuierlich vergrössert hat. Problematisch in Bezug auf die zukünftige Breite des Forschungs- und Ausbildungsangebots wirkt sich u.a. der Abbau des Lehrstuhls für Motorenbau an der ETH Zürich aus.

Auch die EPF Lausanne ist aktiv auf dem Feld Umrichtertechnologie und Halbleiter. Dort ist Prof. Rufer (ebenfalls mit ABB-Background und guten Industriekontakten) tätig. Er konzentriert sich stärker auf den grossen Leistungsbereich.

Kurzexkurs: Die Fachhochschule Biel

Exemplarisch wird hier kurz die Situation an der Fachhochschule Biel beleuchtet. Dort findet generell eine starke Förderung von technologisch innovativen Projekten im Bereich Umrichtertechnologie statt. Für die interne Know-how-Förderung (welche einem Peer Review unterliegt) werden jährlich 30'000 bis 40'000 Franken ausgegeben. Dazu kommen externe Forschungsförderbeträge von bis zu 150'000 Franken pro Jahr.

Zur Förderung neuer Unternehmen sind an der Fachhochschule Biel zwei Institutionen vorhanden. Dies ist einerseits der Spin-off-Park, welcher Jungunternehmen Infrastruktur zu vergünstigten Konditionen anbietet. Ebenfalls werden Lizenzierungen und Patentierungen teilweise exklusiv mit solchen Unternehmen abgeschlossen. In Zusammenarbeit mit der Berner Kantonalbank wurde die STI (Stiftung Technologische Innovation) gegründet, welche neue Unternehmen mit bis zu 300'000 Franken Venture Capital unterstützt.

Strategisches Ziel ist es, einen Gürtel von Unternehmen um die Fachhochschule Biel herum zu schaffen. Dies gelang bspw. im Fall der Drivetek AG, welche schon vor der Existenz des Spin-off-Parks entstand. Die klassischen Förderinstrumente von KTI und BFE konzentrieren sich gemäss Prof. Vezzini dagegen eher auf etablierte Unternehmen. Ausführlicher wird die Zusammenarbeit zwischen der Drivetek AG und der Fachhochschule Biel weiter unten in Abschnitt 4.5.5 C) dargestellt.

4.5.3 Strategie BFE und Förderumfeld

Das BFE spielt bei der Forschungs- bzw. Technologie- und Innovationsförderung der beiden hier näher betrachteten Fallstudien der Drivetek AG und der Vivatex GmbH keine bzw. nur eine untergeordnete Rolle.

Die Umrichtertechnologie ist dem BFE-Forschungsprogramm Elektrizitätstechnologien und -anwendungen zugeordnet. Gemäss Programmleiter Roland Brüniger, dem für dieses Programm zuständige BFE-Programmleiter, fliessen jährlich ca. 300'000 bis 400'000 CHF BFE-Gelder für Forschungsaktivitäten in den Motorenbereich, in welchem auch Umrichter eine bedeutende Rolle spielen. Wie in anderen Technologiebereichen werden von Seiten BFE keine P+D-Projekte mehr finanziert. Allfällige Projekte zur Markterschliessung und -umsetzung werden durch Energie Schweiz unterstützt.

Aufgrund des hohen Reifestadiums der Technologie verlagert sich der Fokuspunkt der Förderung immer stärker in Richtung *Umsetzung*, weshalb Energie Schweiz auch stärker auf den Plan gerufen wird. Ebenfalls intensiven, regelmässigen Kontakt hat Roland Brüniger mit Swiss Electric Research und verschiedenen kantonalen Stromsparfonds (wie ZH, BS).

Gemäss Brüniger wird es auch bei BFE-Forschungsprojekten gerade im industriellen Bereich sehr begrüsst, wenn die Industrie involviert ist – dies ist jedoch (im Unterschied zur KTI-Förderung) keine zwingende Voraussetzung. Die konkrete Marktumsetzung ist zwar nicht das primäre resp. unmittelbare Ziel des BFE, allerdings soll sie durch die geförderten Projekte zumindest initiiert resp. überhaupt ermöglicht werden.

Das BFE konzentriert sich auch bei der Umrichtertechnologie primär auf angewandte Forschung – mit dem Ziel, durch die Herstellung von Prototypen und Funktionsmustern die Machbarkeit resp. Umsetzbarkeit technologischer Innovationen zu zeigen. Die KTI hingegen fördert stets möglichst marktnah. Die Unterstützung der Umsetzung von Umrichtertechnologie am Markt obliegt folglich eher der KTI sowie dem Programm Energie Schweiz als dem BFE.

Momentan werden von Seiten KTI jedoch keine konkreten Umrichterprojekte durchgeführt. Hingegen wird zurzeit durch das BFE bspw. in einem Projekt mit einem Schweizer Lifthersteller die Anwendung eines neuen, sehr effizienten Umrichters getestet. Daneben fördert(e) Brüniger u.a. Projekte mit Umrichtertechnologien in den Bereichen Kleinwasserkraftwerke und Photovoltaik. Weiter unterstützte Herr Brüniger mit seinem Forschungsprogramm auch die Firma IDS AG im Technopark Zürich, welche weltweit in der Energie- und Automationstechnik tätig ist, in einem langfristigen Projekt hinsichtlich eines energieeffizienten Integralmotors.

Das BFE ist im Bereich Antriebe ebenfalls relativ aktiv bei der Schaffung formeller und informeller Netzwerke in Forschung und Wirtschaft. Herr Brüniger hat bspw. eine ‚Trend-Watching-Gruppe Elektronische Antriebe/Motoren‘ als Netzwerk aufgebaut. Dieser Insiderkreis, welcher ca. 15 bis 20 Personen umfasst, trifft sich halbjährlich zu einem intensiven Erfahrungsaustausch.

Öffentlich und eher unregelmässig wird zudem alle fünf bis sieben Jahre eine Konferenz zu den neuesten Entwicklungen im Bereich Antriebe veranstaltet. Die erste dieser Veranstaltungen wurde 1997 in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich, die zweite 2003/04 gemeinsam mit Swissem organisiert. Die Relevanz der bisherigen F+E-Unterstützung durch das BFE für den Innovationsprozess Umrichter wird von den befragten Experten als relativ hoch eingeschätzt. Konkrete Quantifizierung

gen des Mehrwerts aus der BFE-Förderung sind allerdings gemäss BFE-Experten kaum möglich.

Wirksamkeitsanalysen auf Einzelprojektebene wären gemäss den befragten BFE-Verantwortlichen zu kostenintensiv. Dies sieht man bspw. bereits bei Energie Schweiz und der KTI – wo die Projektevaluation direkter möglich sein sollte, da man konkrete marktrelevante Impacts als Resultat will. Dennoch ist Brüniger überzeugt, das BFE sei für verschiedene Firmen im Kontext von Umrichtern von entscheidender Bedeutung gewesen (bspw. für IDS).

Die vom BFE praktizierte Form der Förderung ist (auch bei der Unterstützung privatwirtschaftlicher Akteure) wettbewerbspolitisch kaum problematisch, da in der Schweiz die sog. ‚vorwettbewerbliche Forschungsförderung‘ (bis zur Prototypphase) akzeptiert ist und demnach auch Legitimität genießt. Entsprechend müssen die zentralen Forschungsergebnisse auch publiziert werden. Mit diesen Publikationen sind die Projekte für das BFE abgeschlossen. Zwar wird stets versucht, die nachgelagerte Umsetzung anzuschieben und die involvierte Industrie zur Markumsetzung zu motivieren – ein eigentliches, weiterlaufendes Innovationscoaching ist hier (anders als bspw. bei der KTI) eher kein Thema.

4.5.4 Generelle Einflussfaktoren

Dieser Abschnitt fasst stichwortartig generelle Einflussfaktoren auf die Innovationsprozesse der beiden betrachteten Fallstudien zusammen. Es wird zwischen fördernden und hemmenden Einflussfaktoren unterschieden. Detailliertere Ausführungen finden sich in den vorangehenden Abschnitten. Wichtige generelle Einflussfaktoren fliessen jeweils bei den Kernaspekten der Fälle ein.

A) Generelle Förderfaktoren

- Umfeld -

- Wachstumsmärkte bei erneuerbaren Energien: Das Marktwachstum bei erneuerbaren Energien (Windkraft, PV-Anlagen) fördert auch die Entwicklung und das Angebot von Umrichteranlagen.
- Dynamik und Förderung des internationalen Photovoltaikmarktes seit 2000: Wie auch bei weiteren Fallstudien darauf hingewiesen wird, stärkt insbesondere Deutschland seit einigen Jahren durch verschiedene energiepolitische Märkte den Markt für erneuerbare Technologien und damit indirekt auch den Markt für ein wichtiges Segment der hier betrachteten Firmen im Bereich der Umrichtertechnologien.

- Innovationssystem -

- Wachsender Nischenmarkt: Im Bereich der Umrichtertechnologie besteht neben den grossen Produzenten (vgl. ABB, Alstom etc.) ein wachsender Nischenmarkt im Bereich Effizienzsteigerungen von Antrieben durch die Umrichtertechnologie in kleineren Leistungsbereichen.

B) Generelle Hemmfaktoren

- Umfeld -

- Im internationalen Vergleich schwächere Marktentwicklung und Förderung erneuerbarer Energien in der Schweiz: Im Vergleich zum europäischen Umfeld, wird in der Schweiz die Entwicklung erneuerbarer Energien stärker den Marktkräften überlassen und in geringerem Ausmass durch spezifische energiepolitische Instrumente gefördert (z.B. Windkraft, Photovoltaik). Dementsprechend geringer sind auch die inländischen Impulse aus dem Umfeld der erneuerbaren Energien für die Umrichtertechnologie.
- Generell zu kurze Zeithorizonte auf Investorenmenseite und „Innovationsaversion“: Die technologische Entwicklung und die Marktumsetzung erfordern von Seiten möglicher Investoren bzw. Kapitalgeber einen längeren Zeithorizont und eine geringere Risikoaversion.

- Innovationssystem -

- **(1)** Finanzierung P+D-Projekte und Marktumsetzung schwierig: Risikoaversion bei potenziellen Investoren oder Kunden und Zurückhaltung bei der Finanzierung führen dazu, dass P+D-Projekte zu wenig stark unterstützt werden.
- Hohe technologiebedingte Kosten: Im hier betrachteten Nischenbereich der Umrichtertechnologien werden vorwiegend nicht standardisierte Engineering-Dienstleistungen angeboten.

4.5.5 Fallstudie **Drivetek**

A) Kurzportrait

Im Rahmen dieser Studie wurde mit Herrn Peter Baumann, Geschäftsleitungsmitglied und CTO der Firma Drivetek AG, ein zweistündiges Interview geführt, gefolgt von mehreren (telefonischen und schriftlichen) Nachfragen und Ergänzungen. Ebenso wurde auch Prof. Andrea Vezzini von der FH Biel als Verwaltungsratspräsident der Drivetek AG und Experte bezüglich des Technologiebereichs Umrichter befragt.

Zentrale technologische und marktliche Aspekte aus Sicht von Forschung und Entwicklung und der Hochschulen sind in einem rund dreistündigen Expertengespräch mit Dr. Adrian Omlin, Dozent im Bereich Elektrotechnik, Integrale Intelligenz und effiziente Energiesysteme der Hochschule Luzern eingeflossen.

Unternehmensgeschichte Drivetek AG

Drivetek AG ist im *Engineering* von Antriebstechniken für verschiedene Applikationen tätig. Der Kern der Innovationsprozesse der Drivetek AG liegt in der Integration verschiedener Kompetenzen und damit in der Systemkompetenz. Drivetek ist in der Entwicklung von Hardware, Software und elektrischen Maschinen tätig.

Das Unternehmen wurde 2002 von damals 7 Personen gegründet. Ausschlaggebend für die Gründung der Drivetek AG war mitunter, dass viele Unternehmen zwar gerne mit Prof. Andrea Vezzini, nicht unbedingt jedoch mit einer Hochschule

zusammenarbeiten wollten, da Letztere kein Wirtschaftspartner im eigentlichen Sinn ist und ausserhalb von privatwirtschaftlichem Konkurrenzdruck steht.

Praktisch das gesamte Drivetek-Team war zuvor in der Entwicklungsabteilung der Firma Ecopower (im BHKW- und WKK-Bereich) tätig. Ecopower wurde dann in der Schweiz – primär infolge von schlechtem Marketings – aufgelöst und ist nun in Deutschland erfolgreich tätig (vgl. <http://www.ecopower.de>). In jener Zeit erkannten die heutigen Drivetek-Mitarbeiter, dass Drehzahlvariabilität ein hohes Effizienzsteigerungspotenzial hatte, und um dieses zu realisieren brauchte es wiederum die Umrichtertechnologie.

Unternehmenstätigkeit Drivetek

Die Firma Drivetek AG bietet gemäss eigenen Angaben zu 80% Dienstleistungen und nicht in erster Linie ein (innovatives) Produkt an – man verkauft also Innovation als Dienstleistung. Dies erschwert den Wachstumsprozess etwas, da man stets nur die aktuelle Kapazität verkaufen kann und keine ‚Massenproduktion‘ i.e.S. möglich ist.

Die Umrichtertechnologie hat eine essenzielle Bedeutung für Drivetek. Praktisch bei allen elektrischen Maschinen und Motoren, welche in Projekten bearbeitet werden sind die Leistungs- und Steuerkomponenten von Umrichtern zentral. Bearbeitet werden ca. sieben bis zehn grosse (und mehrere kleine) Kundenprojekte pro Jahr mit einem Projektvolumen von jeweils ca. 150'000 bis 200'000 Franken. Diese stammen aus dem Bereich effiziente Antriebe und erneuerbare Energien.

Die Herstellung eigener Prototypen und Produkte (i.S.v. standardisierten Umrichterlösungen) ist schwierig. Drivetek strebt dies nun jedoch an, allerdings sind eigene, ‚vorgefertigte‘ Produkte gemäss Vezzini frühestens in fünf Jahren zu erwarten. Auch das Marketing ist schwierig, eben gerade weil kein eigentliches und konkretes Produkt vorhanden ist. Entsprechend sind Kundenreferenzen, Messen und dergleichen relevanter.

Insbesondere Energietechnologien sind für Drivetek wichtig, um neue Marktfelder zu erschliessen; gleichzeitig will man jedoch auch wieder vermehrt den Industriesektor mit kleineren, effizienteren Umrichtern bearbeiten. Ohnehin attraktiv und wichtig ist in diesem Kontext der Fahrzeugbereich, wo es gilt, alte Antriebe durch Neuere zu ersetzen.

Innovation hat einen sehr hohen Stellenwert sowohl in der Unternehmenskultur wie auch in jedem einzelnen Projekt – die meisten Mitarbeiter der Drivetek AG üben F+E-Tätigkeiten aus. Die eigene Forschung und Entwicklung macht finanziell etwa 7% des Umsatzes aus. Das interne Innovationsmanagement umfasst dabei die Formulierung von Jahreszielen, die Verwaltung und Dokumentation der Innovationen sowie den Aufbau eines Knowledge-Managements (als wiki-basierte, lokale Datenbank).

Übernahmeangebote kamen bisher nicht. Die Mitarbeiter und der Verwaltungsrat haben die Mehrheit an der eigenen Firma, was Unabhängigkeit, Stabilität und Sicherheit gibt. So kann das Risiko von Übernahmen gering gehalten werden. Auch die Kunden möchten nicht, dass Drivetek in Zukunft bspw. von einem Konkurrenten (der Kunden) geschluckt wird.

Prof. Andrea Vezzini gehören 20% der Drivetek AG, er fungiert als Verwaltungsratspräsident und brachte insbesondere anfangs viele Projekte und Privatvermögen mit ein. Die Gründer konnten relativ günstig Infrastruktur aus stillgelegten Fir-

men übernehmen, welche dann bei der (Spin-Off)-Gründung der Drivetek AG verwendet wurden.

B) Technologische und organisatorische Meilensteine

Rund zehn Jahre vor Drivetek wurde Sputnik Engineering gegründet durch zwei damalige Assistenten der HTA Biel, welche Mitte der 1990er-Jahre an der HTA Biel angestellt waren und sich dann selbstständig machten. Das Wachstum jener Firma entwickelte sich nach 2003 explosionsartig. In der Startphase von Drivetek leistete Sputnik einen kleinen Teil des Startkapitals für Drivetek (zu Sputnik vgl. auch Abschnitt 4.2.6). Unter anderem dank Sputnik Engineering und der Drivetek AG entstand eine lokale Szene hinsichtlich erneuerbarer Energien und alternativer Antriebssysteme rund um die HTA (heute: Fachhochschule) Biel.

Zu den bisherigen technologischen Meilensteinen in der Unternehmensgeschichte der Drivetek AG gehörten die folgenden erfolgreichen Projekte:

- Ein Auftrag für einen Antrieb in Motorsegelflugzeugen wurde via HTA Biel akquiriert. Aufgrund dieses Projekts kommen noch heute Anfragen aus dem Flugzeugbereich.
- Immer wieder helfen auch BHKW-Aufträge (v.a. in Deutschland existieren bereits mehrere hundert BHKWs). Hier helfen insbesondere Weiterentwicklungen (infolge der früheren Tätigkeit der Drivetek-Mitarbeiter bei Ecopower).
- Im Automotive-Bereich konnte eine Lenkhilfe entwickelt werden zum Ersatz eines hydraulischen Antriebs.
- Ein Erfolgsbeispiel ist auch das so genannte ‚Inverter Module‘, welches maximal 1.5 kWel mit einer Frequenz zwischen 20 und 500 Hz aufnimmt und Elektrizität mit einer Spannung von 230 Volt (50 Hz) abgibt.

Heute wird das Unternehmen durch eine 3-köpfige Geschäftsleitung geführt, in der auch der Interviewpartner im Rahmen dieser Studie, Herr Peter Baumann, sitzt und als COO/CTO zeichnet (zuständig für Operations, Projektleitung, Koordination).

C) Umfeld Innovationsprozess Drivetek

Marktumfeld

Der Markt, in welchem sich Drivetek betätigt, ist demjenigen von Vivatec (vgl. Abschnitt 4.5.6) grundsätzlich ähnlich und durch verschiedene *Merkmale* charakterisierbar. Einerseits stehen die konkurrierenden, meist kleinen bis mittelgrossen Unternehmen unter einem hohen Kostendruck, da die Kunden oft nicht ausreichend zahlungsbereit sind. Investitionen in Forschung und Entwicklung führen demgemäss kurzfristig nicht immer zu Konkurrenz- und Wettbewerbsvorteilen. Zurzeit wächst der Markt, da die Elektronik resp. die eingesetzten technologischen Komponenten kontinuierlich günstiger werden.

Drivetek positioniert ihre Dienstleistungen dank folgender Charakteristika erfolgreich am Markt: Guter Wirkungsgrad zu günstigem Endpreis; individuelle, kunden-spezifische Lösungen (keine Standardmodelle) sowie eine ausgereifte Technologie. Zu den Haupttätigkeitsbereichen gehören Energietechnologien sowie die Vorentwicklungs- und Zuliefererstufe der Automobilindustrie. Die generelle Marktpositionierung konzentriert sich auf den kleinen Leistungsbereich bis max. 100 kWel

(meist aber nur bis max. 30 kWel). Für eine noch klarere Marktpositionierung werden momentan Standardisierungen angestrebt.

Wichtigste Konkurrenten der Drivetek AG sind Schmidhauser AG (Romanshorn), Brusa AG (Neudorf), Microbeam (Yverdon-les-Bains) und Etel (Môtiers). Zühlke Engineering AG hat zwar Schweizer Niederlassungen in Bern und Zürich, ist jedoch eher im grossen Leistungsbereich tätig. Es sind also verschiedene Firmen in ähnlichen Bereichen tätig, der Konkurrenzdruck ist jedoch für Drivetek nicht ausgesprochen hoch, d.h. es ist noch keine ausgeprägte Marktsättigung oder Verdrängung beobachtbar. So kommen auch viele Aufträge aus Deutschland, der USA oder China. Eine gewisse Konkurrenzsituation im Bereich der angewandten F+E bei Motoren und Elektrotechnik ergibt sich mit den Eidgenössischen Hochschulen in Zürich (ETHZ) und Lausanne (EPFL).

Hochschulumfeld

Drivetek arbeitet einerseits relativ stark mit Partnerfirmen (wie Texas Instruments oder Semikron) zusammen. Andererseits besteht eine enge Bindung an die FH Biel und partiell auch an andere Hochschulen und Labors. Persönliche Kontakte spielen in beiden Bereichen des Innovationsnetzwerks eine fundamentale Rolle. Im Folgenden wird die Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Biel eingehender beschrieben.

Die Verlinkung zur Bieler Fachhochschule und Prof. Vezzini (VR-Präsident der Drivetek AG und Professor für Industrieelektronik) ist seit der Unternehmensgründung zentral für Drivetek. Drivetek profitiert projektspezifisch von der Zusammenarbeit mit der FH Biel. Nutzenfaktoren für Drivetek sind hierbei:

- Von der HTA kommt aktueller wissenschaftlicher Input (über Semesterarbeiten, Vorträge etc.). Für den kurzfristigen Projektablauf sind resp. waren Semesterarbeiten jedoch nur beschränkt hilfreich. Andererseits kam bspw. das Drivetek-Produkt 'Powertracker für Solarfahrzeuge' ursprünglich von der Fachhochschule Biel.
- Drivetek partizipiert – vorerst während fünf Jahren – am Science-Park und erhält dadurch vergünstigten Zugang zu Infrastruktur, wissenschaftlicher Begleitung und dergleichen.
- Nicht zuletzt kann man bei der Suche neuer Mitarbeiter direkt Prof. Vezzini anfragen, welcher für Drivetek eine Vorselektion vornehmen kann.

Heute werden an der Fachhochschule Biel Projekte im Bereich angewandter Forschung bearbeitet, welche vom Bund (via BFE oder KTI) gefördert werden. Hier besteht weiterhin Potenzial zur Zusammenarbeit zwischen der FH Biel und Drivetek. Der Entwicklungsteil, welcher vom Markt abgedeckt werden kann, wird heute von Drivetek bearbeitet. Diese direkte Bindung zwischen Drivetek und Hochschule wird somit schwächer, was jedoch gemäss Drivetek und der FH Biel gewünscht ist und keineswegs negativ zu werten sei.

Zusammenarbeit mit unterstützenden Organisationen

Informelle und eher konsultative Kontakte mit dem BFE gab es bislang nur bei wenigen Projekten. Forschungs- und Entwicklungsgelder via Fachhochschule zu akquirieren wäre grundsätzlich jedoch durchaus eine *interessante Option*. Die Projektorganisation bei geförderten Projekten dürfte aber gemäss Aussage von Herrn Baumann aufgrund der multiplen Akteure schwerfällig sein. Daraus können sich allenfalls gewisse Interessenskonflikte ergeben, da sowohl die FH als auch Drive-

tek daran interessiert sind, in das Know-how der eigenen Mitarbeiter zu investieren.

Exemplarisch werden von Drivetek auch die Projektanträge der KTI genannt, welche sehr kompliziert seien („Wer soll diese nun genau stellen?“, etc.). An solchen Anträgen besteht kein starkes Interesse, da gemäss Einschätzung von Drivetek der administrative Aufwand zu gross und die Notwendigkeit von finanziellen Eigenbeiträgen problematisch seien („Wir wären lieber nur Auftragnehmer“). Da das Tagesgeschäft schon sehr zeitintensiv ist, darf der administrative Aufwand bei einer Förderanfrage nicht zu hoch sein. Zudem ist bei KTI-geförderten Projekten eine Zusammenarbeit mit einer Hochschule, z.B. FH Biel, notwendig.

Die Drivetek AG profitiert von der Förderung also hauptsächlich indirekt via Kunden, welche ihrerseits gefördert werden. So begünstigen bspw. staatliche Förderungen von Energietechnologien – wie die BHKW-Förderung in Deutschland (positiv für Drivetek) oder die PV-Förderung (positiv z.B. für Sputnik Engineering) – ebenfalls den Markt für Umrichtertechnologien.

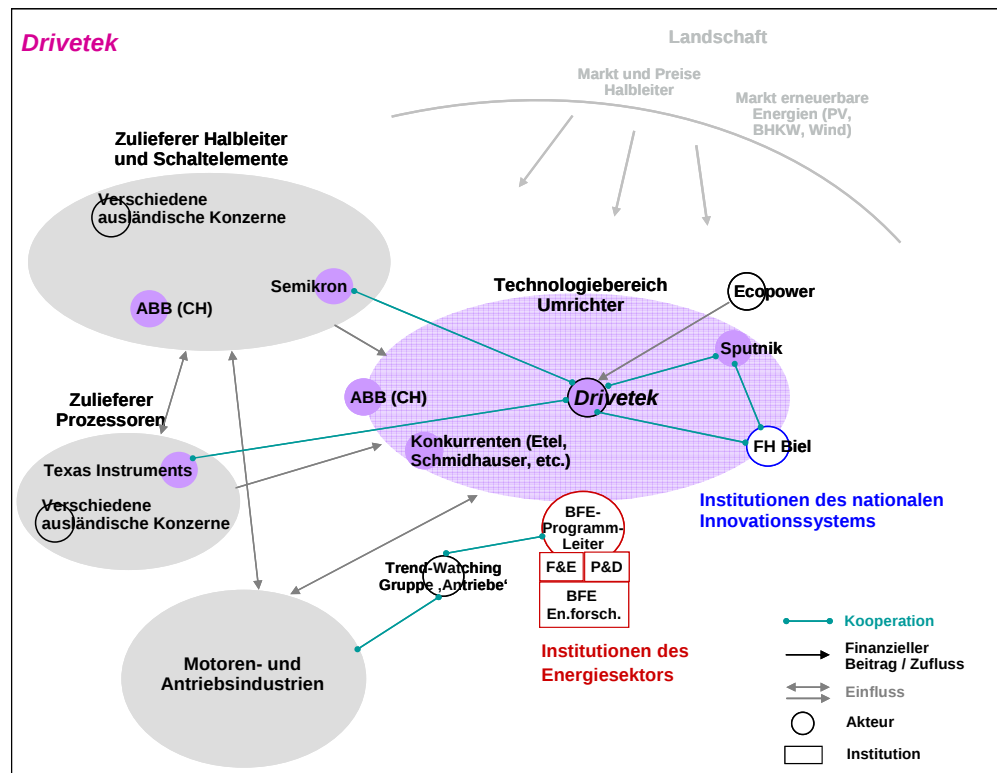


Abbildung 26: Wichtige Akteure und Institutionen für den Innovationsprozess Drivetek

Aus Sicht von Drivetek wäre auch eine direkte Förderung (Darlehen oder Förderbeiträge) für Prototypen in neuen und bislang unbearbeiteten Märkten interessant. Staatliche oder weitere Förderorganisationen könnten zudem auch weitere technologische *Initialentwicklungen* unterstützen. Einerseits ist ein erhebliches Kundeninteresse und -potenzial für die Umrichtertechnologie vorhanden. Die Komplexität der Technologie könnte jedoch zu Informationsasymmetrien zwischen Geldgeber und gefördertem Unternehmen führen, welche in einer hohen Risiko- und Innovationsaversion resultieren kann.

Längerfristiges Ziel bei der Drivetek AG ist letztlich die Entwicklung von technologischen *Systemen* mit den notwendigen Dienstleistungen. Im Moment konzentriert sich Drivetek vor allem auf modulare Komponenten. Diese Neuausrichtung führt

längerfristig zu neuen Geschäftsmöglichkeiten und -märkten für Drivetek. Dazu sind jedoch zuerst noch eingehende Marktanalysen nötig, wobei aus Sicht von Drivetek eine staatliche Förderung sinnvoll wäre.

D) Förderfaktoren

- Innovationssystem -

- **(1⁺) Enge Verbindungen zur FH Biel:**
 - Die Pionierarbeit im Bereich Photovoltaik an der Fachhochschule Biel (1990er Jahre) und in deren Umfeld ermöglichte die Gründung von Drivetek (Spin-off) und wirkt im gesamten Geschäftsfeld nach (vgl. auch Sputnik und Solarmax).
 - Auch heute bestehen einige Synergien und Informationsspillovers (Wissenschaftlicher Input) mit der Forschung an der FH Biel (Prof. Vezzini). Die FH Biel ist im Bereich der angewandten Forschung – wie Drivetek – im kleinen Leistungsbereich tätig.
 - Mitarbeiter werden oft aus dem Hochschulumfeld von Vezzini rekrutiert, um den Bedarf an Ingenieuren mit spezifischem Know-how im Umrichterbereich zu decken.
 - Zugang zu Infrastruktur der FH Biel, heute u.a. auch zum Science-Park. Die enge Verbindung zur FH Biel spielte insbesondere in der Phase der Unternehmensgründung (Spin-off) eine wesentliche Rolle.
 - Die Bindung zwischen der Drivetek AG und der FH Biel ist seit jüngerer Zeit weniger stark, was auch die zunehmende Unabhängigkeit des Unternehmens reflektiert.
- **(2⁺) Strategische Partnerschaften mit Zulieferern sind für Innovationsprozesse wichtig:** Innovationsprozesse werden getragen und gefördert durch den wechselseitigen Wissens- und Technologietransfer. Bei Drivetek sind Semikron (Halbleiterhersteller; Umrichter ohne Software) und Texas Instruments (Zulieferer) zentral. Ziel ist eine Ergänzung der strategischen Interessen. Insbesondere als kleines Unternehmen muss man eng den globalen technologischen Markttrends folgen können – diese selbst mitzubestimmen ist sehr schwierig. Dementsprechend sind strategische Partnerschaften mit Zulieferern essenziell.
- **(3⁺) Teilnahme an Technologiekonferenzen:** Wichtig ist zudem die Teilnahme an Technologiekonferenzen (im Falle von Drivetek durch Prof. Vezzini und weiterer Mitarbeiter) und Messen (durch Mitarbeiter des Unternehmens), wo es von Vorteil ist, wenn man als Partner von grossen Unternehmen wie Texas Instruments auftreten kann.
- **(4⁺) Starke Kundenbindung resp. -orientierung:** Durch den hohen Stellenwert applikationsspezifischer Lösungen bei Drivetek sind die Kunden wichtige Treiber für technologische Entwicklungen und Innovationen. Das Vertrauen der Kunden in die produktspezifischen Lösungen von Drivetek ist essenziell,
- **Geringe Standardisierung und hohe Problemlösungskompetenz:** Der Standardisierungsgrad bei Umrichteranlagen im vorliegenden Nischenmarkt ist vergleichsweise tief. Dies ist auf die jeweils spezifischen Anforderungen bei der Applikation und Umsetzung zurückzuführen. In der Regel werden Umrichter kundenspezifisch entwickelt und auf die jeweiligen Anlagen ange-

passt oder standardisierte Umrichter entsprechend der jeweiligen Kundenanforderungen eingesetzt. Ein grosser Teil der heutigen Entwicklungen im Umrichterbereich sind Engineeringleistungen, welche die Integration verschiedener Komponenten – Hardware, Software sowie Motoren – beinhalten. Eine Stärke der Drivetek AG liegt dementsprechend nicht primär bei der Forschung und Entwicklung im Umrichterbereich an sich, sondern beim System-Engineering („Packaging“ einzelner Komponenten) und der Problemlösungskompetenz. Die Entwicklung wird eher von Drivetek geleistet, die Forschung eher von FH und den ETH.

- Organisation -

- **(5⁺) Flexibles und rasches Agieren:** Rasches Agieren und Flexibilität sind in diesem Nischenmarkt unabdingbar, um die technologischen und wirtschaftlichen Kundenbedürfnisse zu erkennen und auf diese reagieren zu können. Sowohl Drivetek als auch Vivatec sind flexibel und rasch in ihren technologischen Leistungen und können Umrichteranlagen mit allen Komponenten (Steuerung, Halbleiter, etc.) integriert anbieten. Ausländische (bspw. deutsche) Firmen hingegen spezialisieren sich viel stärker oder bieten standardisierte Produkte an, was im grossen deutschen Markt auch besser funktioniert.
- **Durchhaltewille und Einsatzbereitschaft:** Die Drivetek AG, als noch relativ junger Spin-off der FH Biel, hat schon nach wenigen Jahren die Gewinnzone erreicht. Dennoch waren nach der Gründung Durchhaltewillen und Einsatzbereitschaft aller Mitarbeiter zentral, um trotz den grossen finanziellen Restriktionen das Unternehmen weiterzuführen. Dazu gehört auch die Begeisterung im Team.
- **Vielfältige persönliche Kontakte:** Die persönlichen Kontakte der Unternehmensträger und Mitarbeiter, v.a. zur FH Biel, spielen für die technologische und die Unternehmensentwicklung eine fundamentale Rolle.
- **Unabhängigkeit (Unternehmensstruktur):** Die Mitarbeiter und der Verwaltungsrat haben die Mehrheit an der eigenen Firma, was Unabhängigkeit, Stabilität und Sicherheit gibt. So kann das Risiko von Übernahmen gering gehalten werden. Im Vordergrund steht organisches Wachstum von Innen. Es ist keine Expansion mit Risikokapital geplant.

E) Hemmfaktoren

- Innovationssystem -

- **Beschränkte Patentierbarkeit:** Die Drivetek AG hat erst wenige eigene Patente, da die technologische Entwicklung oft in Zusammenarbeit mit Kunden bzw. Zulieferern erfolgt. Zudem ist bei den applikationspezifischen Dienstleistungen eine Patentierung kaum möglich.

- Organisation -

- **(2⁻) Schwieriger Wachstumsprozess und Transitionsphase:** Der Übergang von einer kleinen und sehr flexiblen Firma bis zur weiteren Etablierung (ab ca. zehn Mitarbeitern) beinhaltete verschiedene Hindernisse. Diese Transitionsphase benötigte eine Anpassung und Professionalisierung der Unternehmensstruktur, eine Formalisierung der Geschäftsprozesse und die Einführung interner Überwachungsinstrumente zur Reduktion der Fehlerquo-

ten. Wichtig ist, dass dadurch keine Verlangsamung und kein Qualitätsverlust entstehen. Nicht (allein) Kreativität, sondern vor allem ein gewisser Grad an Unternehmensstruktur ist in dieser Phase ausschlaggebend, welche sich auch bei Drivetek erst festigen musste.

- **(3⁺) Fehlende Prototypen und Produkte:** Es sind noch zu wenige eigene Produkte zu Demonstrations- und Marketingzwecken im Portfolio von Drivetek. Solche Prototypen wären markt- und verkaufsfördernd. Drivetek konnte jedoch bisher schon bei knapp zehn grossen und mehreren kleinen Projekten wertvolle Umsetzungserfahrungen sammeln und gleichzeitig ihren Bekanntheitsgrad überregional erhöhen.
- **(4⁺) Schwierige Identifikation potenzieller Kunden:** Eine Hauptschwierigkeit ist es, erstens die relevanten Kunden überhaupt zu identifizieren und zweitens an diese auch ‚ranzukommen‘, da noch nicht viel Werbung betrieben wird (auch das ‚Türklinen-Putzen‘ ist nur beschränkt erfolgreich). Bewährt haben sich auch in dieser Hinsicht die Partnerschaften – so ist Drivetek bspw. auf Listen von Semikron und Texas Instruments. Weiter begann Drivetek mit eigenen Messe-Auftritten. Es ist jedoch ein noch aktiveres Markt-Scanning erforderlich.
- **Fehlende Kooperationen auf Kundenseite:** Ein weiteres Problem ist die fehlende Kooperation auf Kundenseite, wo in gemeinsamer Zusammenarbeit Entwicklungsprojekte gestartet werden könnten. Bei verstärkten kundenseitigen Kooperationen könnten sich wertvolle Synergien ergeben, welche sich kostenseitig vorteilhaft auswirken.
- **Wenig langfristige Kundenbeziehungen:** Einzelne grössere Kunden entwickeln manchmal die Technologie ‚In-house‘ weiter (v.a. im Automotive-Bereich) und bauen parallel eigene Entwicklungsabteilungen auf. Auch hier zeigt sich das Problem fehlender Patentierbarkeit.

F) Kernaspekte des Falls

Die Drivetek AG ist eine relativ junge Firma, welche 2002 aus dem Umfeld der Fachhochschule Biel als Spin-off gegründet worden ist. Der Innovationsprozess Drivetek lässt sich in zwei Hauptphasen unterteilen. Eine erste Phase umfasst die angewandte F+E an der Fachhochschule Biel. Diese Aktivitäten fokussierten u.a. auf Möglichkeiten des Packagings von Umrickerkomponenten. Dieses Umfeld war ein wichtiger Anstoss für die Ausgründung der Firma und die Markteinführung der Technologie in der zweiten Phase des Prozesses. Unter anderem wurde ein Auftrag für einen Antrieb in Motorsegelflugzeugen über die Fachhochschule akquiriert. Das Netzwerk und die Nähe zur Fachhochschule Biel sind auch heute noch mitentscheidende Faktoren für den Erfolg von Drivetek. Es bestehen wichtige Forschungssynergien und qualifizierte Mitarbeiter werden oft aus dem Umfeld der FH Biel rekrutiert (1⁺).

Der Bereich Entwicklung ist bei Drivetek deutlich stärker ausgeprägt als die Forschungskomponente. Die Teilnahme an Technologiekonferenzen – in Zusammenarbeit mit der FH Biel – sowie an Technologiemesen – als Partner von weltweit tätigen Unternehmen – sind mitentscheidende Erfolgsfaktoren (3⁺). Auch strategische Partnerschaften mit Zulieferern sind für die Innovationsprozesse bei Drivetek fundamental wichtig (2⁺).

Drivetek bietet hauptsächlich eine marktnahe und kundenspezifische Umsetzung im Bereich der komponentenbezogenen Entwicklung von Umrickern an. Eine grosse Stärke von Drivetek und seiner Innovationsprozesse liegt in der projektspe-

zifischen Problemlösungskompetenz und damit beim System-Engineering. Drivetek ist flexibel und rasch in seinen technologischen Leistungen und kann Umrichteranlagen mit allen Komponenten (Steuerung, Halbleiter, etc.) integriert anbieten (5⁺). Eine hohe Kundenorientierung ist ein wichtiger Treiber für die technologischen Entwicklungen und die Innovationsprozesse (4⁺).

Innovationserfolge resultieren primär durch erfolgreich durchgeführte Projekte am Markt. Die Innovationsprozesse bei Drivetek sind somit stark marktgetrieben und die Forschungs- und Technologieförderung seitens BFE und KTI spielte bei den Innovationsprozessen von Drivetek keine Rolle.

Der Übergang von einer kleinen und sehr flexiblen Firma zum heutigen Unternehmen benötigte eine Anpassung und Professionalisierung der Unternehmensstruktur, eine Formalisierung der Geschäftsprozesse und die Einführung interner Überwachungsinstrumente zur Reduktion der Fehlerquoten. Diese schwierige Transitionsphase hatte auch Rückwirkungen auf den Wachstumsprozess. Externe Unterstützung im Rahmen eines Coachings wäre u.U. hilfreich gewesen (2⁻).

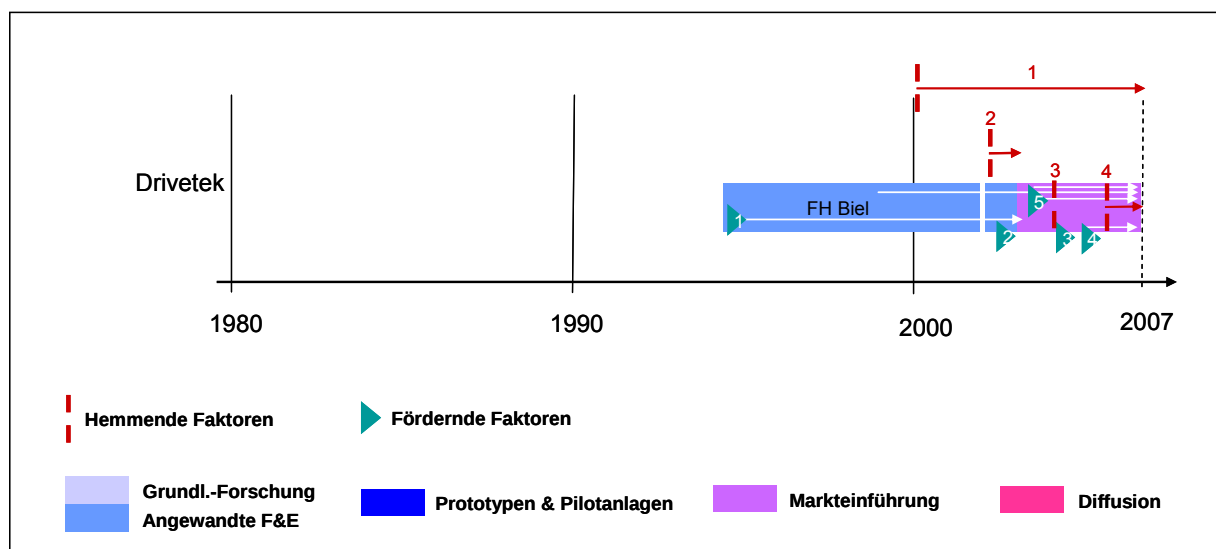


Abbildung 27: Innovationsphasen und zentrale Einflussfaktoren bei Drivetek im Überblick

Wesentliche *Innovationshindernisse* bestehen zudem auch durch *fehlende P+D-Projekte und Prototypen* (3⁻). Unsicherheit bezüglich Marktentwicklung und fehlende Risikobereitschaft bei Kunden können zu einer *suboptimalen Finanzierung* von P+D-Projekten führen (1⁻).

Im kleinen Leistungsbereich in welchem Drivetek tätig ist, ist der Konkurrenzdruck eher gering. Problematischer ist die Markterschliessung resp. das Finden potenzieller Kunden (4⁻).

Die Innovationsprozesse bei Drivetek befinden sich in einem vergleichsweise hohen Reifestadium. Im Vordergrund steht die Marktumsetzung. Wie die Fallstudie und die Tabelle 10 zeigen, hat das BFE bei den Innovationsprozessen von Drivetek keinen Einfluss ausgeübt. Es bestehen bei den identifizierten und wichtigen Hemm- und Förderfaktoren kaum Einflussmöglichkeiten des BFE. Ein möglicher und identifizierter Ansatzpunkt für die Förderung durch das BFE besteht in der Finanzierung von P+D-Projekten.

Drivetek wird auch zukünftig versuchen, *aus eigener Kraft kontinuierlich zu wachsen*. Bis in ca. vier Jahren will man 20 Prozent des Umsatzes durch Lizenzen und

des Verkauf von kleinen Serien resp. Modulgruppen generieren. Es wird – wie auch bei Vivatec (vgl. nachfolgende Fallstudie) – *keine Expansion mit Risikokapital* angestrebt. Ziel ist vielmehr eine stetige Diversifikation in Märkte, in denen das Potenzial der Umrichtertechnologie noch wenig bekannt bzw. erschlossen ist.

Die in Tabelle 10 und Abbildung 27 dargestellten wichtigen Förder- und Hemmfaktoren werden in Abbildung 28 den Akteuren und Institutionen des Innovationsprozesses zugeordnet.

Tabelle 10: Realer und potenzieller Einfluss des BFE auf zentrale Förder- und Hemmfaktoren des Innovationsprozesses Drivetek

Umrichter: Drivetek			
Zentrale Förderfaktoren		Zentrale Hemmfaktoren	
Nr. Beschreibung	Realer / Potenzieller Einfluss des BFE	Nr. Beschreibung	Realer / Potenzieller Einfluss des BFE
1 ⁺ Enge Verbindungen zur FH Biel	- / o	1 ⁻ Finanzierung P+D und Marktumsetzung schwierig	- / +
2 ⁺ Strategische Partnerschaften mit Zulieferern	- / -	2 ⁻ Schwieriger Wachstumsprozess und Transitionsphase	- / o
3 ⁺ Teilnahme an Technologiekonferenzen	- / o	3 ⁻ Fehlende Prototypen resp. 'Produkte'	- / o
4 ⁺ Starke Kundenbindung resp. -orientierung	- / -	4 ⁻ Identifikation potenzieller Kunden	- / -
5 ⁺ Flexibles und rasches Reagieren	- / -		
++ Grosser realer Einfluss + Realer Einfluss o Geringer realer Einfluss - Kein realer Einfluss		++ Grosser potenzieller Einfluss + Potenzieller Einfluss o Geringer potenzieller Einfluss - Kein potenzieller Einfluss	

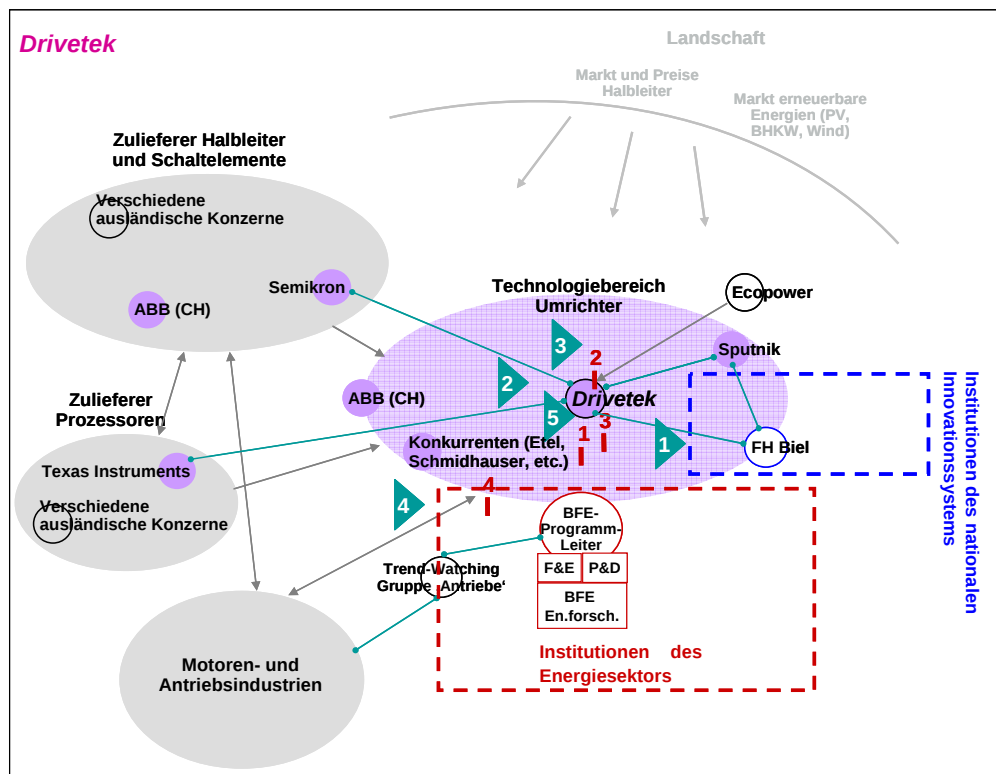


Abbildung 28: Verortung zentraler Einflussfaktoren des Innovationsprozesses Drivetek

4.5.6 Fallstudie **Vivatec**

A) Kurzportrait Vivatec

Bei der Firma Vivatec GmbH wurde ein persönliches zweistündiges Interview mit dem Geschäftsführer und Gründer, Herr Ralph Niederer, durchgeführt. Hinzu kamen zusätzliche telefonische und schriftliche Nachbefragungen bezüglich offener Punkte sowie den zentralen Kennzahlen, welche zu Vivatec verfügbar sind.

Zentrale technologische und marktliche Aspekte sowie wichtige Elemente aus Sicht der Forschungs- und Technologieförderung sind aus den Expertengesprächen mit Dr. Adrian Omlin, Hochschule Luzern und Roland Brüniger, Programmleiter BFE eingeflossen (vgl. auch Fallstudie Drivetek in Abschnitt 4.5.5).

Unternehmensgeschichte Vivatec (resp. Technocon)

Ralph Niederer gründete 1995 mit zwei weiteren Personen die Spin-off-Firma Technocon, welche aus einem anderen Unternehmen am Technopark Zürich hervorging und 2004 Konkurs anmeldete. Das in dieser Fallstudie vertieft beleuchtete Unternehmen Vivatec wurde nach dem Konkurs von Technocon gegründet. Das BFE-Projekt bzw. die Weiterführung des Projektes bei Technocon war kein Anlass zur Gründung der Vivatec GmbH. Vivatec besteht heute aus Ralph Niederer und zwei weiteren Mitarbeitern.

Gemäss Ralph Niederer kann Vivatec nicht als direkte Nachfolgefirma von Technocon betrachtet werden und verfolgt auch eine eigenständige Geschäfts- und Finanzierungsphilosophie, weshalb sich vorliegende Fallstudie primär auf Vivatec (nicht auf Technocon) konzentriert.

Die Vivatec GmbH ist eine noch sehr junge Firma und weist noch geringe Absatz- resp. Verkaufsaktivitäten auf. Die Phase der Marktumsetzung steht noch bevor. Neben den Erkenntnissen zum firmeninternen Innovations- und Marktumsetzungsprozess lieferten die Gespräche mit Ralph Niederer interessante Einsichten zu generellen Aspekten der Innovationsprozesse beim Technologiebereich Umrichter. Diese zusätzlichen Informationen fliessen in den einleitenden sowie den schlussfolgernden Teil dieses Technologiebereiches.

Unternehmenstätigkeit Vivatec

Die *applikationsspezifische* Entwicklung von Umrichtern ist das Kerngeschäft der Vivatec GmbH. Die angebotenen Umrichter beruhen auf einem individualisierten, firmeneigenen Konzept. Grundsätzlich sind für die weitere Geschäftstätigkeit von Vivatec eher hohe Leistungsbereiche zwischen 500 kWel und 5 MWel interessant. Wichtige Geschäftsfelder für Vivatec sind erneuerbare Energien (Windkraft) sowie effiziente Antriebe.

Die Kernkompetenz von Vivatec liegt bei der Umsetzung von individuellen Kundenbedürfnissen und der Problemlösungskompetenz. Vivatec verfügt über kein standardisiertes und fertiges ‚Produkt‘. Die entsprechenden Marketinginstrumente sind noch in Entwicklung. Standardisierungsbestrebungen gibt es jedoch beim Kernmodul der Umrichter (mit Steuerungselementen und Hardware).

Die Vivatec GmbH ist ein Engineering-Unternehmen, d.h. praktisch alle Fertigungsleistungen werden eingekauft. Fundament einer erfolgreichen Unternehmensaktivität ist eine gute technologische Basis. Die technologische Weiterentwicklung von Vivatec beruht auf dem Zusammenbau von Leistungselektronik und Steuerung. Wichtige technologische Zielsetzungen bestehen in einer Erhöhung der Zuverlässigkeit sowie gleichzeitig auch in Kostensenkungen.

Ralph Niederer weist auf verschiedene Komponenten eines firmeninternen ‚Innovationsmanagements‘ hin: Dazu gehören einerseits eine detaillierte Dokumentation der Umrichtertechnologie von Vivatec, und andererseits der Einsatz von Simulationsanlagen für Messungen und Berechnungen. Die Simulationsmodelle wurden durch das BFE gefördert. Ebenso sind die Zusammenarbeit und der Kontakt mit Lieferanten zentral für den Austausch von Wissen und Know-how. Man trifft sich rund zwei Mal pro Jahr zum Austausch mit dem Ziel, möglichst früh zu wissen, welche neuen technologischen Möglichkeiten entstanden sind und wohin sich die Technologie entwickelt.

B) Technologische und organisatorische Meilensteine

Im Jahr 1995 wurde IDS Integral Drive Systems AG gegründet. Diese Firma ist in den Branchen Elektronik, Mechatronik, Sensorik und Materialtechnik tätig und im Technopark domiziliert. IDS ist ein sehr schnell wachsendes, weltweit tätiges Unternehmen und fokussiert hauptsächlich auf den Bereich der Energieumwandlung für regenerative Energiesysteme (Windanlagen, Wasser-Treatment, Solarsysteme etc.).

Die IDS AG, mit einem geschätzten Umsatz von rund 50 Mio. CHF (2007), entwickelt und produziert Energiesysteme im Bereich von 1 kWel bis 200 MWel für un-

terschiedliche Netzspannungen und Anwendungen. IDS installiert jährlich ca. 5000 MW Umrichterleistung und ist damit einer der wichtigsten Produzenten von Umrichtern resp. Umrichteranlagen.

Im Gründungsjahr von IDS (1995) wurde durch den Ausstieg von Ralph Niederer und eines weiteren Partners aus IDS der Spin-off Technocon gegründet. Technocon war ebenfalls im Technopark Zürich angesiedelt. Technocon erlebte bald eine intensive Wachstumsphase, beschäftigte zuletzt 15 Mitarbeiter und erwirtschaftete rund 6 Mio. CHF Jahresumsatz. Eine Kernkompetenz von Technocon lag bei der Energieumwandlung (mittels Umrichteranlagen) im Bereich der Windkraft.

2004 ging Technocon Konkurs, weil ein wichtiger Kunde im Bereich der Windenergie zuvor Konkurs anmelden musste. Noch im selben Jahr gründete Niederer mit zwei Mitarbeitern die Firma Vivatec GmbH. Die Gründe waren: Überzeugung in den Markt, die eigenen Kompetenzen und Möglichkeiten sowie die fehlende Lust, wieder Angestellter zu werden.

Technocon war grundsätzlich – auch gemäss Expertenmeinungen – sehr gut positioniert. Wichtige Konkurrenten waren nicht, wie anfangs befürchtet, die ABB, sondern viel eher kleine ‚Garagenfirmen‘ im In- und Ausland sowie Hochschulen, welche ebenfalls Engineering-Aufträge dieser Art ausführen. Technocon hatte jedoch gemäss Adrian Omlin, Dozent für Energietechnik an der Hochschule Luzern, ausreichend Alleinstellungsmerkmale, um wettbewerbsfähig zu sein. Zudem war Technocon in einer spezifischen Marktnische tätig.

Persönlich wird Ralph Niederer als umgänglicher, offener und direkter Typ beschrieben, welcher leicht Kontakte knüpfen kann. Diese Fähigkeit wirkt sich vorteilhaft für die Netzwerkbildung aus. Niederer habe zudem ein sehr gutes, pragmatisches Gespür zur Differenzierung von relevanten und unwichtigen Aspekten seiner Tätigkeit. So fokussierte er bislang meist auf die am Markt tatsächlich nachgefragten Aspekte und vernachlässigt irrelevante Details.

Die Zukunft der Vivatec GmbH ist gemäss der Einschätzung von Ralph Niederer zum heutigen Zeitpunkt noch sehr ungewiss resp. offen und dürfte insbesondere von den (potenziellen) Kunden abhängen. Zielmärkte für die Zukunft sind der industrielle Antriebsbereich und sowie die Windenergie. Bei der Windenergie kommt evtl. im asiatischen Raum ein grösseres Projekt zustande.

C) Umfeld Innovationsprozess Vivatec

Marktumfeld

Alle technischen Entwicklungen bei Technocon resp. Vivatec wurden im Rahmen von Kundenaufträgen durchgeführt, d.h. die Entwicklung der Firma wurde direkt durch die Kundenbedürfnisse gesteuert. Als kleine und in Marktnischen tätige Firma ist die Grösse oder das Wachstum des gesamten Marktes für Umrichter nicht entscheidend.

Längerfristige Partnerschaften und Netzwerke haben sich meist durch konkrete Projekte ergeben, beispielsweise mit Akteuren oder Kunden aus den Bereichen Windenergie, Vergnügungsparks etc. Konkrete Aufträge kommen vor allem von Firmen mit denen über längere Zeit eine engere Beziehung gepflegt wurde.

Der Absatzmarkt und damit auch die technologischen Entwicklungen sind für Vivatec stark kundenseitig gesteuert und hängen stark von kundenbezogenen Entscheidungsprozessen ab. Ebenso ist auch das Wachstum von ausgewählten Nischenmärkten – zum Beispiel dem Markt für Windkraftanlagen – für Vivatec ent-

scheidend. Gleichzeitig sind generell die Anforderungen an Energieeffizienz und Netzverträglichkeit kontinuierlich gestiegen.

Kundenbezogene Zielgruppen sind primär Anwender von Umrichteranlagen mit spezifischen Problemlösungsanforderungen. Dabei sind grundsätzlich zwei Kundengruppen zu unterscheiden:

- Kunden, die Umrichter für Einzelprojekte benötigen. Das Hauptproblem für Vivatec liegt darin, immer wieder neue Kunden zu finden und Kontakte aufzubauen.
- Eine zweite Kundengruppe fragt höhere Stückzahlen nach. Diese Kundengruppe, zu welcher bislang hauptsächlich Windkraft-Firmen (beispielsweise in Holland und Italien) gehören, ist ökonomisch interessanter.

Bei der Zulieferung von Halbleitern gibt es keine engen strategischen Kollaborationen. Vivatec setzt Komponenten von verschiedenen Herstellern ein, um auf der Einkaufsseite eine möglichst grosse Flexibilität beizubehalten. Bei den Halbleitern werden die Zulieferer von Vivatec also flexibel eingesetzt. Die Umrichter weisen bewusst ein einfaches Design auf, um diese Flexibilität zu gewährleisten. Momentan ist vor allem Fuji (Japan) ein wichtiger Zulieferer, aber auch ABB (CH) oder Siemens (D) sind weitere mögliche Optionen.

Strategische, auf Langfristigkeit angelegte Zusammenarbeitsformen pflegt man hingegen insbesondere mit Firmen der Mikroprozessortechnik. Von Indel (Russikon) setzt Vivatec regelmässig technologisch wichtige Bausteine wie Rechnerkarten und Betriebssysteme ein. Solcept (Wetzikon) wiederum liefert Know-how im Bereich Prozessorenteknik.

Hochschulumfeld

Technocon hat teilweise mit der ETH Zürich (Institut für Elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnik EEH, Prof. Herbert Stemmler) zusammengearbeitet. Bis vor ca. fünf Jahren wurden in Zusammenarbeit mit Technocon auch Diplomarbeiten an der Fachhochschule MuttENZ durchgeführt.

Die Intensität der Zusammenarbeit mit Hochschulen ist jedoch seit einiger Zeit *rückläufig*. Die Zusammenarbeit beruhte stark auf persönlichen Netzwerken aus der Studienzeit, welche durch Wechsel an den Hochschulen heute weniger ausgeprägt sind. Der neue ETH-Professor für Leistungselektronik und Messtechnik, Johann W. Kolar, beschäftigt sich vor allem bei kleineren Leistungsbereichen, beispielsweise bei der Photovoltaik. Die Abteilung Elektrotechnik an der Fachhochschule in MuttENZ wurde an die Fachhochschule in Windisch verlagert.

Gleichzeitig sind die Hochschulen heute als Partner für Vivatec aus verschiedenen Gründen weniger attraktiv. Die Vivatec GmbH hat seinen Standort heute in Basel. Die Wege nach Zürich sind damit länger geworden. Der Einkauf von Hochschulleistungen benötigt heute mehr finanzielle Mittel. Zudem lief der Wissens- und Technologietransfer auch oftmals eher in Richtung Hochschule, da Technocon/Vivatec mikrothematisch meist kompetenter sind. Eine interessantere Option ist es, künftig direkt Hochschulabgänger (Absolventen oder Mittelbau) anzustellen und das Know-how der Hochschulen auf diese Weise zu ‚akquirieren‘.

Zusammenarbeit mit unterstützenden Organisationen

Grundsätzlich beurteilt Ralph Niederer eine weitere Unterstützung resp. Förderung der Finanzierung für die Marktumsetzung und den Markteintritt als wichtig, aber nicht unverzichtbar

Technocon wurde in der Zeit vor dem Konkurs für die Optimierung eines Umrichters (1.2 MWel; für Windkraftanlage) bzgl. Materialien und Wirkungsgrad vom BFE gefördert. Ursprünglich wurden Technocon 296'000 CHF gesprochen, bezahlt wurden bis zum liquiditätsbedingten Konkurs von Technocon 256'000 CHF.

Die restlichen 40'000 CHF kamen anschliessend Vivatec und zwei weiteren Partnern für die Beendigung der Projektarbeiten zu. Gebaut worden wäre der Umrichter jedoch gemäss Aussage von Niederer auch ohne die erhaltenen Fördergelder, da ein entsprechender Kundenauftrag bereits vorlag. Die Förderung ermöglichte jedoch präzisere Messungen und Dokumentationen. Zudem war dadurch ein Vergleich zwischen ex-ante Berechnungen und ex-post Messungen möglich, durch welchen die Präzision der Berechnungen nachgewiesen werden konnte.

Da die Unterstützung des BFE vor allem auf den Wirkungsgrad ausgerichtet war, erlaubten die zusätzlichen Fördermittel, (a) mehr Zeit für die Optimierung des Wirkungsgrades aufzuwenden, als dies ohne Förderung möglich gewesen wäre, und (b) den Wirkungsgrad des Umrichters genauer zu messen und zu dokumentieren. Das BFE könnte gemäss den befragten Personen noch wesentlich aktiver sein bei der Unterstützung von P+D-Anlagen. Solche Pilotanlagen würden eindeutig verkaufsfördernd wirken.

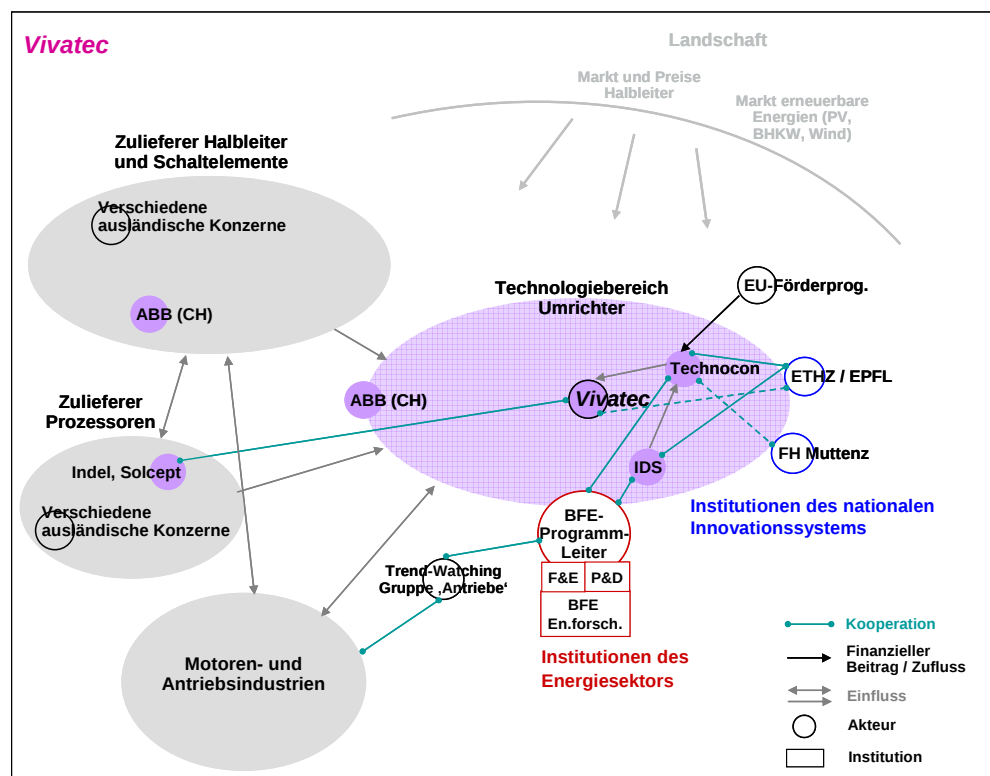


Abbildung 29: Wichtige Akteure und Institutionen für den Innovationsprozess Vivatec

Mit der KTI gab es bislang keine Zusammenarbeit. Die von der KTI verlangte 50%-Hochschulbeteiligung ist im Umrichterbereich und beim Anlagebau von spezifischen Applikationen unrealistisch. Zudem ist die KTI-Förderung gemäss Niederer zu stark produktorientiert und die Förderanträge sind nur mit hohem Zeitaufwand zu erledigen.

Eine zukünftige Zusammenarbeit mit Vivatec bzw. eine Förderung von Seiten BFE ist für Roland Brüniger, Programmleiter Elektrizität beim BFE, durchaus vorstellbar,

allerdings habe das BFE in den letzten drei bis vier Jahren nichts mehr von Ralph Niederer gehört.

D) Förderfaktoren

- Innovationssystem -

- **(1⁺) Strategische Zusammenarbeit auf Zuliefererseite bei Mikroprozessoren:** Bei den Zulieferern von Mikroprozessortechnik setzt Vivatec auf strategische, langfristige Zusammenarbeitsformen, da hier der Wissens- und Technologietransfer essenziell ist.
- **(2⁺) Ausreichend Alleinstellungsmerkmale:** Die Vorgängerfirma Technocon und die heutige Vivatec GmbH hatten bzw. haben ausreichend Alleinstellungsmerkmale, um sich von der ohnehin kaum vorhandenen Konkurrenz abzugrenzen. Vivatec verfügt heute über eine interessante Technologie, welche bspw. auch für eine Lizenzproduktion gut geeignet wäre, wodurch sich die Firma gut am Markt positionieren kann.
- **(3⁺) Starke Kundenbindung resp. -orientierung:** Die Bedeutung einer engen Kundenbindung als wichtiger Treiber für technologische Entwicklungen und Innovationsprozesse ist ähnlich wichtig wie bei Drivetek. Durch den unternehmerischen Schwerpunkt bei applikationsspezifischen Lösungen sind die Kunden wichtige Treiber für technologische Entwicklungen. Individuelle Problemlösungen ‚aus einer Hand‘ sind gefordert. Eine starke Kundenorientierung bezüglich der technologischen Umsetzung ist somit entscheidend für Markterfolg und Innovationsprozess.
- **Externe Unterstützung:** Unterstützungsleistungen durch das BFE oder andere Organisationen sind für die Marktumsetzung und den Markteintritt wichtig, aber nicht unverzichtbar. Die kundenseitige Nachfrage ist bedeutend wichtiger. So war die Förderung durch das BFE bei der Unternehmensgründung von Vivatec vergleichsweise gering und resultierte noch aus der Konkursmasse des BFE-Forschungsprojektes bei der Vorgängerfirma Technocon. Die BFE-Förderung von Technocon ermöglichte exaktere Methoden zur Messung und Optimierung des Wirkungsgrades. Der Kundenauftrag an Technocon wäre auch ohne BFE-Förderung durchgeführt worden.
- **Keine strategische Zusammenarbeit auf Zuliefererseite bei Halbleitern:** Vivatec versucht bezüglich der Zulieferung von Halbleitern flexibel zu bleiben, d.h. die Komponenten sollen substituierbar sein. Ziel ist deshalb ein möglichst einfaches Design der Umrichteranlage.
- **Geringe Standardisierung aber gleichzeitig hohe Problemlösungskompetenz bei Umrichteranlagen:** Auch bei Vivatec ist der Standardisierungsgrad vergleichsweise tief und ist auf die spezifischen Anforderungen bei der Applikation und Umsetzung zurückzuführen. In der Regel werden Umrichter kundenspezifisch entwickelt und auf die jeweiligen Anlagen angepasst. Die Standardisierung wurde insofern verbessert, dass weitgehend identische Module als Hardware-Basis (Leistungsteil und Regelung) verwendet werden können. Wie bei Drivetek liegt eine Stärke von Vivatec beim System-Engineering („Packaging“ einzelner Komponenten) und der Problemlösungskompetenz – wiederum abgestimmt auf die jeweiligen Kundenbedürfnisse.

- Organisation -

- **(4⁺) Flexibles und rasches Agieren:** Rasches Agieren und Flexibilität in diesem Nischenmarkt sind unabdingbar um die technologischen und wirtschaftlichen Kundenbedürfnisse zu erkennen und auch darauf reagieren zu können. Auch Vivatec ist flexibel und rasch in seinen technologischen Leistungen und kann gleichzeitig auch Umrichteranlagen mit allen Komponenten (Steuerung, Halbleiter, etc.) integriert anbieten. Deutsche Firmen hingegen spezialisieren sich viel stärker oder bieten standardisierte Produkte an, was im grossen deutschen Markt auch besser funktioniert.
- **(5⁺) Persönlichkeit von Ralph Niederer in Kleinst-Firma:** Der Geschäftsleiter der Vivatec GmbH, Ralph Niederer, wird als umgänglich, pragmatisch, offen, direkt, networking-orientiert charakterisiert. Er hat ein gutes Gespür zur nachfrageorientierte Vermarktung der eigenen Technologie.
- **Wissenschaftliche Verbindung zur ETH Zürich:** Die Grundausbildung an der ETH sowie der berufliche Einstieg via ABB erwiesen sich als unternehmens- und netzwerkfördernd.

E) Hemmfaktoren

- Umfeld -

- **(2⁻) Grosse Abhängigkeit von einzelnen Kunden und vom Markt für erneuerbare Energien:** Vivatec möchte künftig weniger von Einzelkunden abhängig sein und sich damit von Technocon unterscheiden. Dazu ist jedoch stärkeres Wachstum erforderlich, was ohne raschere Marktdurchdringung nicht möglich ist. Zudem hat Vivatec im Unterschied zu Drivetek keinen direkten Zugang zum Photovoltaikmarkt.

- Innovationssystem -

- **Geringe Zusammenarbeit mit Hochschulen:** Die Zusammenarbeit mit den Hochschulen (ETH, FH MuttENZ) wird heute zurückgefahren, weil der konkrete und umsetzungsorientierte Innovationsnutzen für Vivatec oft zu gering ausfiel. Oft profitierten die forschungsorientierten Hochschulen stärker von der Praxiserfahrung von Vivatec als umgekehrt.
- **Zuverlässigkeit der Software:** Ein weiterer kritischer Unsicherheitsfaktor bei Umrichtern ist die Software, welche zuverlässig laufen muss. Dieser Bereich macht ca. 80 Prozent der Arbeit von Vivatec aus: Das Betriebssystem wird zwar eingekauft, die Anwendungssoftware jedoch selbst geschrieben.

- Organisation -

- **(3⁻) Kapitalbeschaffung:** Vivatec legt hohen Wert auf Unabhängigkeit von einem spezifischen Fremdkapitalgeber, wie einer bestimmten Bank o.ä. Gemäss Niederer sei dieses Abhängigkeitsverhältnis heute nicht mehr sinnvoll, da die Beeinflussung des Innovationsprozesses zu stark sei. Geldgeber wollen ‚Resultate‘ innert bestimmter Fristen, welche jedoch aufgrund der starken Kundenabhängigkeit ex ante in diesem Markt kaum abschätzbar bzw. realisierbar seien.
- **(4⁻) Noch keine relevante Marktumsetzung und Probleme bei der Marktdurchdringung:** Vivatec ist eine sehr junge und kleine Firma (etwas mehr als zwei Vollzeitstellen). Es liegen bislang kaum Aufträge und kaum mit Kunden realisierte Projekte vor. Schwierig ist es – insbesondere bei Einzelprojekten

– mögliche Kunden zu erreichen um dadurch ein Netzwerk aufzubauen. Folglich ist die Markteinführung eine der kritischsten Phasen im Innovationsprozess von Umrichtertechnologien. Auch beim vom BFE geförderten Technocon-Projekt war es nicht möglich, höhere Stückzahlen zu erreichen.

- Aufwändige Beschaffungsprozesse auf Zuliefererseite: Mit erheblichem zeitlichem und kommunikativem Aufwand verbunden ist die Beschaffung von Bauteilen und Elektronikkomponenten. Die entsprechenden Lieferzeiten sind teilweise sehr lang, was zu kritischen Lieferengpässen führen kann.

F) Kernaspekte des Falls

Die Firma Vivatec GmbH und deren Gründung sind stark an die Person von Ralph Niederer gebunden, und die Firma ist aus dem Konkurs der Vorgänger-Firma Technocon hervorgegangen. Persönliche Erfahrungen und Know-how aus der Forschungs- und Entwicklungstätigkeit spielen eine wesentliche Rolle (5⁺) und aufgrund der noch kleinen Firmengröße ist ein flexibles Reagieren auf sich ändernde Marktbedürfnisse möglich (4⁺).

Vivatec ist noch im Aufbau und positioniert sich als Engineering-Unternehmen, d.h. praktisch alle Fertigungsleistungen werden eingekauft. Die erfolgreiche Positionierung in einem Nischenmarkt ist entscheidend für den Innovationserfolg. Vivatec verfügt im Prinzip über genügend Alleinstellungsmerkmale, um sich von der Konkurrenz in den kleinen Nischenmärkten abzugrenzen (2⁺).

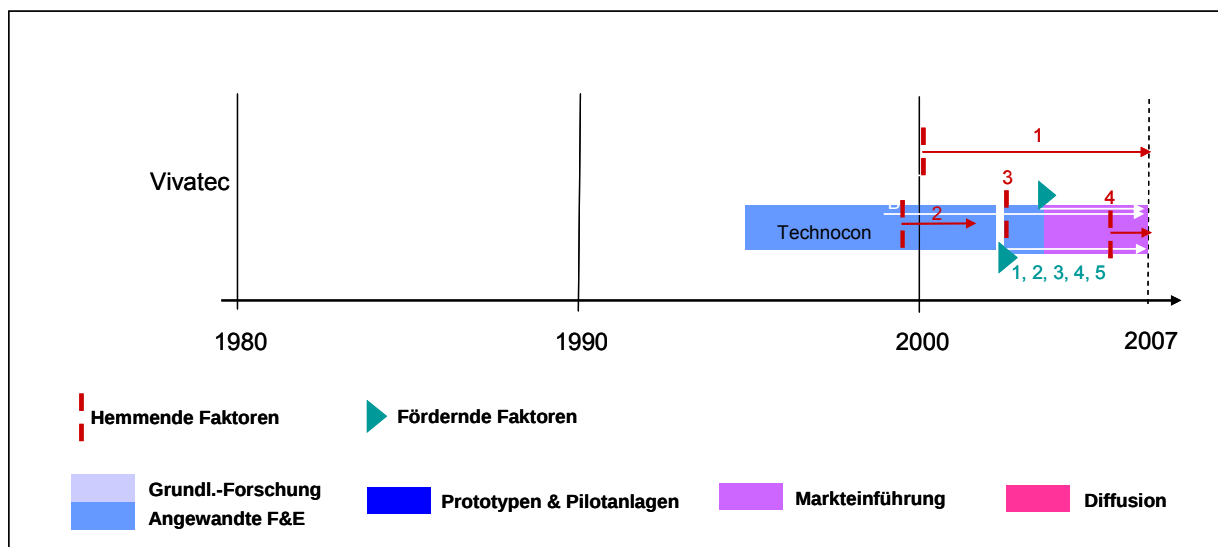


Abbildung 30: Innovationsphasen und zentrale Einflussfaktoren bei Vivatec im Überblick

Die Vivatec GmbH ist eine junge und sehr kleine Firma. Sie ist noch nicht stark am Markt positioniert und es liegen bislang *wenige tatsächlich realisierte Umsetzungsprojekte* vor. Dementsprechend sind der zukünftige Erfolg von Vivatec und damit die erfolgreiche Umsetzung von Innovationsprozessen stark auf potenzielle Kunden und das Wachstum in den relevanten Märkten, insbesondere Windenergie, ausgerichtet (3⁺). Gleichzeitig ist der Konkurrenzdruck in den Marktfeldern, in welchem sowohl Vivatec als auch Drivetek tätig sind eher gering.

Innovationserfolge bei Vivatec – wie auch generell bei Umrichteranlagen – sind in der Regel inkrementell und konkret an einzelne Projekte gebunden. Die BFE-Förderung der Vorgängerfirma Technocon setzte bei einem wichtigen angewand-

ten Forschungsfeld (der Messung und Optimierung des Wirkungsgrades) an und war an einen konkreten Kundenauftrag gebunden. Das Projekt per se wäre jedoch gemäss Niederer auch ohne BFE-Förderung durchgeführt worden.

Tabelle 11: Realer und potenzieller Einfluss des BFE auf zentrale Förder- und Hemmfaktoren des Innovationsprozesses Vivatec

Umrichter: Vivatec			
Zentrale Förderfaktoren		Zentrale Hemmfaktoren	
Nr. Beschreibung	Realer / Potenzieller Einfluss des BFE	Nr. Beschreibung	Realer / Potenzieller Einfluss des BFE
1 ⁺ Strategische Zusammenarbeit bzgl. Mikroprozessoren	- / -	1 ⁻ Finanzierung P+D und Marktumsetzung schwierig	- / +
2 ⁺ Ausreichend Alleinstellungsmerkmale	o / o	2 ⁻ Starke Abhängigkeit von Kunden und vom Markt für erneuerbare Energien	- / o
3 ⁺ Starke Kundenbindung resp. -orientierung	- / -	3 ⁻ Kapitalbeschaffung	- / o
4 ⁺ Flexibles und rasches Agieren	- / -	4 ⁻ Fehlende Marktumsetzung und -durchdringung	- / o
5 ⁺ Persönlichkeit und Networking des Geschäftsführers	- / -		
++ Grosser realer Einfluss + Realer Einfluss o Geringer realer Einfluss - Kein realer Einfluss		++ Grosser potenzieller Einfluss + Potenzieller Einfluss o Geringer potenzieller Einfluss - Kein potenzieller Einfluss	

Im Vordergrund steht die Marktumsetzung, wichtiger wären daher P+D-Anlagen. Hier besteht nach Aussagen von Vivatec das grösste Handlungsfeld für eine externe Förderung (1⁻).

Das Hauptproblem von Vivatec ist die nachhaltige Marktumsetzung und – durchdringung sowie die entsprechende Kapitalbeschaffung (3⁻) (4⁻). Die Firmenentwicklung wird sehr stark durch die Nachfrage und spezifische Kundenbedürfnisse gesteuert. Damit ist auch die erfolgreiche Umsetzung von Innovationen stark abhängig von der Kundennachfrage bzw. den jeweiligen Kundenbedürfnissen (2⁻).

Die Zusammenarbeit mit Zulieferern spielt für den Innovationsprozess eine verhältnismässig geringe Rolle. Insbesondere hinsichtlich Halbleiter sucht Vivatec eine möglichst hohe Flexibilität bei der Auswahl von Zulieferern. Demgegenüber plegt das Unternehmen enge und strategisch ausgerichtete Zusammenarbeitsformen bezüglich der Mikroprozessortechnologie (1⁺).

Vergleichbar mit der Fallstudie Drivetek, befinden sich die Innovationsprozesse bei Vivatec in einem vergleichsweise hohen Reifestadium. Im Vordergrund steht die Marktumsetzung. Wie Tabelle 11 zeigt hat das BFE die Innovationsprozesse bei Vivatec weder gefördert noch gehemmt. Ein möglicher und identifizierter Ansatzpunkt besteht bei der Finanzierung von P+D-Projekten.

Die in Tabelle 11 und Abbildung 30 dargestellten wichtigen Förder- und Hemmfaktoren werden in Abbildung 31 wichtigen Akteuren und Institutionen des Innovationsprozesses zugeordnet.

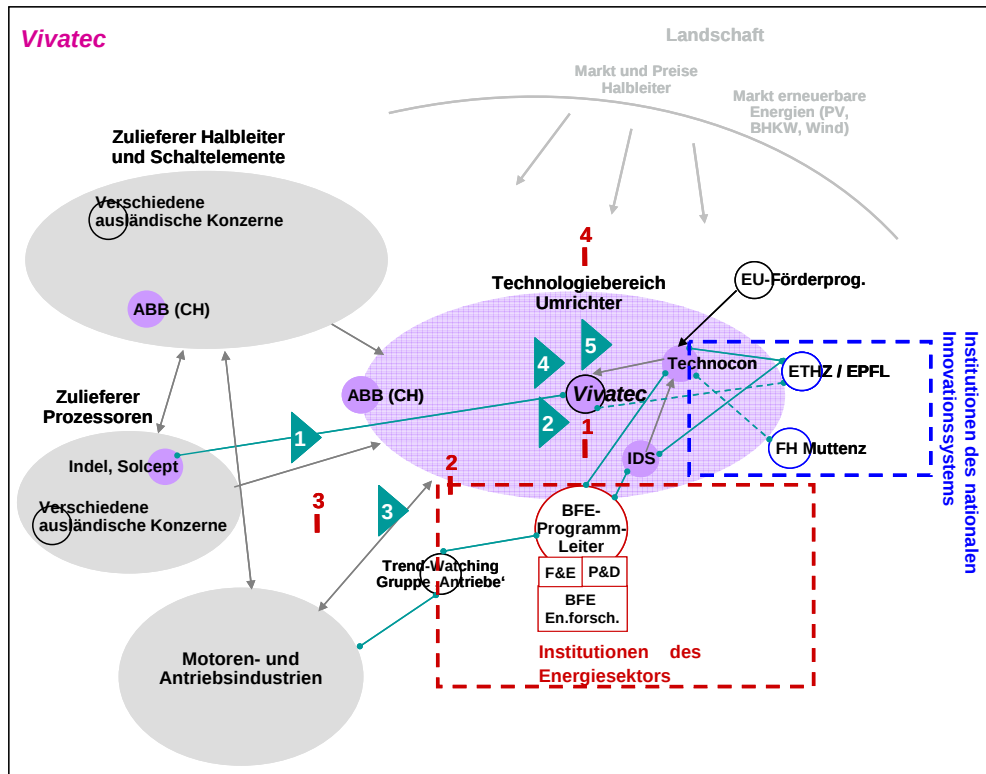


Abbildung 31: Verortung zentraler Einflussfaktoren des Innovationsprozesses Vivatec

4.5.7 Haupterkenntnisse Umrichter für die Innovationsförderung

Umrichter werden heute aus zwei Gründen immer bedeutender: Einerseits werden wichtige Elemente der Leistungselektronik (Halbleiter, Dioden) kostengünstiger, andererseits ist auch eine stetige Verbesserung der Steuerung resp. Intelligenz bei den Mikroprozessoren zu beobachten. Damit geht eine Kostenverschiebung von der Maschinenentwicklung hin zur Elektronik einher. Die technologische ‚Alternative‘ zum Umrichter, das direkte Anhängen des Motors an ein Netz, bedingt eine komplexere Konstruktion der Maschinen. Der generierte Kundennutzen ist ein wichtiges Element für die spezifischen Entwicklungen von Umrichtern.

Ein wichtiger und gleichzeitig kritischer Punkt ist es, relevante Kunden zu jenem Zeitpunkt anzugehen, wenn neue Anlagen geplant oder entwickelt werden. Die Hauptschwierigkeit in diesem Markt ist es, im richtigen Moment – d.h. wenn in der Entwicklungsphase die wichtigen Entscheide fallen – beim Kunden den ‚Fuss in der Tür‘ zu haben. Gleichzeitig wird in den Gesprächen angedeutet, dass auch die grundsätzliche Sensibilisierung bezüglich Energieeffizienz und sinnvoller Umrichterlösungen in den relevanten Wirtschaftszweigen oder Bereichen zum Teil noch zu wenig ausgeprägt ist.

Umrichter werden stets in Verbindung mit bestimmten Antrieben und Anlagen verwendet, sie sind überhaupt erst im Kontext einer spezifischen Applikation von Nutzen. Entscheidend ist gerade bei der Marktdurchdringung mit Umrichtern deren Preis- resp. Kostenentwicklung der verschiedenen Umrichterkomponenten. Die Fallstudien zeigen, dass Kunden bzw. die Nachfrage die Entwicklung der Technologie und der Innovationsprozesse stark beeinflusst. Das Problem, an Kunden zu

gelangen resp. diese zu finden, ist bei kleinen Firmen (wie Vivatec GmbH oder Drivetek AG) deutlich ausgeprägter als bei Grossanbietern (wie der ABB). Die Kunden von Grosskonzernen wie der ABB sind meist ebenfalls grosse Unternehmen mit mehreren eigenen Spezialisten, welche die Anwendungsmöglichkeiten von bereits Umrichtern ausreichend kennen. Die weitere Markterschliessung ist aber auch im Hochleistungssektor (resp. bei grossen Umrichteranbietern) von Bedeutung, denn das potenzielle Anwendungsgebiet von drehzahlvariablen Antrieben und Umrichtern ist breit und wird zum heutigen Zeitpunkt erst partiell bedient.

An Schweizer Hochschulen wurden bereits in den 1970er-Jahren Veranstaltungen im Bereich Leistungselektronik, welcher auch die Umrichtertechnologie abdeckte, angeboten. Elektroingenieure kommen also früh in ihrem Werdegang mit Umrichtern in Kontakt. Eine spezielle Sensibilisierung bezüglich des Energiesparpotenzials dank der Leistungselektronik erfolgt aber nicht im notwendigen Ausmasse und wäre zu verstärken. Gemäss Expertenmeinungen sollte dessenungeachtet die primäre Sensibilisierung vordringlich auf Ökonomen, Maschinen- und Verfahreningenieure zielen. Aus Hochschulen kommen zudem auch wichtige Impulse für Unternehmensideen und technologische Entwicklungen. Die in den Fallstudien untersuchten KMU's bzw. der persönliche Werdegang der Gründer wird stark durch hochschulische Impulse geprägt.

Ein zentraler technologischer Entwicklungstreiber ist die Komponentenentwicklung im Markt, welche eine kostengünstigere und effizientere Produktion erlaubt. Wichtige Komponenten sind hierbei insbesondere Halbleiter. Auf Seite der Ansteuerung der Halbleiter zeichnet sich ein Trend zur kompletten Integration der Intelligenz in die Halbleiter ab. Ziel ist es, so wenige Schnittstellen zu übergeordneten Reglern wie möglich zu erhalten. Die Kunden wünschen sich oftmals ‚alles aus einer Hand‘, gerade bzgl. Schlüsselkomponenten wie Halbleiter. Bei den Reglern repr. Controllern findet ein Trend hin zur Digitalisierung statt. Kritisch ist dann v.a. die Modul-Entwicklung: ‚Packaging‘ wird von Experten als relevantestes Thema der heutigen Umrichterindustrie bezeichnet.

Auf der Zuliefererseite versucht man ein möglichst hohes Mass an Flexibilität und Wahloptionen zu erhalten, indem Leistungen nicht unbedingt intern eingekauft werden müssen. Dennoch hat man oft einen engeren Draht zu den Zulieferern, die man bereits kennt (intern oder extern). Es existiert jedoch keine organisierte Interessensgruppe für die Umrichtertechnologie, eben gerade weil diese stets Mittel zum Zweck ist und ihre Anwendungen notwendigerweise Anlage-getrieben sind. Deshalb müssen auch unterschiedlichste Anlagenproduzenten speziell angesprochen und vom Nutzen der Umrichter überzeugt werden.

Das momentane Reifestadium der Technologie ist sehr weit fortgeschritten. Wichtiger als die innovative Aktivität per se sei es deshalb, die Technologie sattelfest im Griff zu haben (technologische Kompetenz). Aus Sicht der befragten Firmen besteht ein weiterer Bedarf an P+D-Anlagen bzw. Unterstützung.

Der Markt für Umrichter wird in Zukunft grundsätzlich an Bedeutung gewinnen, je stärker Energieeffizienz in den Fokus unternehmerischen Handelns kommt. Standardprodukte und insbesondere Komponenten werden jedoch in absehbarer Zeit weiterhin primär im Osten (v.a. in China) produziert. Technologisch spezifischere und innovativere Lösungen dürften dagegen eher der Schweiz resp. in Europa hergestellt werden.

Lessons-to-Learn resp. Implikationen für die Förderung

Wie erwähnt sind Umrichter nie Selbstzweck, sondern stets Mittel zum Zweck – ein Frequenzumrichter macht bspw. nur mit einem Motor Sinn. Deshalb gilt es sowohl für staatliche wie auch für private Akteure, die jeweiligen Applikationen zu bewerben. Im neuesten 5-Jahres-Programm des BFE sind Umrichter im Kontext von energieeffizienten Motoren (Bereich ‚Effiziente Nutzung‘) ein wichtiges Thema. Die beiden Fallstudien haben gleichzeitig auch gezeigt, dass nur wenige direkte Ansatzpunkte zur Förderung von Umrichtern bestehen.

Das BFE fokussiert daher seine künftige Förderung im Umrichterbereich auf Antriebe (Motoren), selbst hier ist jedoch eine Konzentration auf spezifische Applikationen unerlässlich. Wichtig ist hierbei insbesondere die integrierte Systembetrachtung, bei welcher Frequenzumrichter stets im Kontext effizienter Motoren betrachtet werden. Die Marktumsetzung sollte insbesondere von Energie Schweiz unterstützt werden.

Eine staatlich gelenkte Entwicklung scheint für verschiedene Experten (wie Prof. Vezzini) schwierig umsetzbar, einzig auf Bildungs- und Promotionsseite sei dies sinnvoll zur Sicherstellung eines adäquat ausgebildeten Nachwuchses. Ziel der Förderagenturen muss es sein, Bewusstsein zu schaffen und für sinnvolle Einsatzmöglichkeiten zu sensibilisieren, denn Umrichter sind isoliert (ausserhalb eines Anwendungskontexts) betrachtet ‚nutzlos‘. Das BFE sollte sich in Zukunft vermehrt konzentrieren, wie die Entwicklungen umgesetzt und an den Markt gebracht werden. Evtl. wäre es besser, weniger Projekte längerfristig zu fördern. Zudem wäre es interessant auch neue Anwendungen, zum Beispiel im Bereich erneuerbarer Energie, zu fördern.

Mögliche interessante Anwendungsbereiche, welche im Kontext von Umrichtern spezifisch gefördert werden könnten, sind u.a. die Photovoltaik sowie der Einsatz in Fahrzeugen und Haustechnik. In den Bereichen Photovoltaik, BHKW und Windenergie hat man gemäss den befragten Experten gegenüber Deutschland oder Dänemark einiges verschlafen. Die Förderung von neuen Energietechnologien kann indirekt auch die Entwicklung von Umrichtern stimulieren. So ist eine generell dezentralere Energieversorgung nützlich für Anbieter von Umrichterlösungen.

Entscheidend wird sein, was sich finanzieren lässt und wo man passende Kunden findet. Ein Hauptproblem auf der Finanzierungsseite in beiden Fallstudien ist, dass die Geldgeber oft genaue Termine resp. Fristen für angestrebte Umsätze etc. verlangen. Das Entwicklungs-Timing ist jedoch – v.a. in einem frühen Unternehmensstadium (wie bei Vivatec und Drivetek) – kaum genügend exakt prognostizierbar. Entsprechend reden Geldgeber und Umrichterfirma oft aneinander vorbei. Die Schwierigkeit ist letztlich das ‚Zusammenspiel‘ resp. die Synchronisierung von Kundenseite und Finanzierungsseite.

Die Suche nach langfristig orientiertem Kapital ist entscheidend. Die Wirtschaft kennt den Bereich neuer Energien noch zu wenig, was ein Vertrauensproblem schafft. Dieses zu überwinden erfordert natürlich einen bestimmten Zeitaufwand. Hier könnte das BFE eine bedeutende Vermittlungs- resp. Scharnierrolle spielen.

Weiterer Forschungsbedarf besteht u.a. im Bereich der Leistungshalbleiter, welche einen wichtigen Bestandteil der Umrichter darstellen. Sie ermöglichen kompaktere und günstigere Bauweisen und dadurch auch die Erschliessung neuer Anwendungs- resp. Marktfelder. Der Innovationsprozess verläuft jedoch auch hier eher im Sinne einer kontinuierlichen Verbesserung mit gelegentlichen, durchbruchartigen neuen Anwendungsmöglichkeiten.

4.6 Technologiebereich Holzvergasung

Holz ist – neben Grünabfällen aus Haushalten und der Landwirtschaft – eine wichtige Biomasse-Ressource und gleichzeitig auch ein CO₂-neutraler Energieträger. Es gibt grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten, Holz energetisch zu nutzen.

Im Vordergrund stehen die Holzverbrennung und die Holzvergasung. Feste bzw. verholzte Biomasse kann jedoch im Gegensatz zu Grünabfällen nicht vergärt werden. Zum heutigen Zeitpunkt ist die Holzverbrennung im Vergleich zur Holzvergasung kostengünstiger, technologisch weniger anspruchsvoll und weit verbreiteter für die Wärmeproduktion.

Im Gegensatz zur Holzverbrennung ist die technologische Entwicklung bei der Holzvergasung zur *motorischen Nutzung* noch weniger weit entwickelt und etabliert. Bei der Holzvergasung können Holzschnitzel und -reste (Nutzholz) sowie Altholz (Abfallholz) verwendet werden.

Eine Kombination der Holzvergasung mit einer nachgeschalteten, gasmotorischen Umwandlung des Holzgases in Strom und Wärme erlaubt eine gekoppelte Bereitstellung von Wärme und Kraft – *Wärme-Kraft-Kopplung (WKK)*. Sie ist insbesondere auch für kleinere Anlagen bis 2MWel. Leistung und eine dezentrale Nutzung von Strom und Wärme aus Biomasse geeignet. Holzgas kann zudem, bei einer Umwandlung, für andere Zwecke, beispielsweise als Treib- oder Werkstoff verwendet werden. Formen der ‚gemischten‘ Vergasung (Holz und übrige Biomasse), sind bis heute technologisch noch nicht soweit.

Sowohl in der Schweiz als auch im Ausland befinden sich die Anlagen im Stadium von Pilot- und Demonstrationsanlagen. Die Marktreife ist (Ende 2007) noch nicht wirklich gegeben. Der nächste Entwicklungsschritt besteht in der Etablierung eines störungsfreien Dauerbetriebes. Hauptprobleme bestanden lange Zeit bei der Entstehung von Teer und kondensierbaren Kohlenwasserstoffen, der Entstehung von Partikeln und Staub, bei Sicherheitsaspekten, sowie bei der automatischen Steuerung. Bei den zu Beginn des Jahres 2008 neu gebauten Anlagen in Stans/Oberdorf (Pyroforce/CTU) und Wila (Woodpower/dasagren) wird sich zeigen, welche Probleme grundsätzlich gelöst worden sind. Die Holzvergasung ist eine Nischentechnologie sowohl in technologischer Hinsicht als auch hinsichtlich der Markteinführung. Die Nutzung von Holzgas in Gasmotoren ist im Vergleich zur Vergärung bei der Biomasse noch in einem Entwicklungsrückstand.

In der Schweiz waren bis vor kurzem zwei Unternehmen bzw. Unternehmensgruppen mit der Entwicklung und dem Bau von Holzvergasungsanlagen beschäftigt: Pyroforce Energietechnologie AG / Conzepte Technik Umwelt (CTU) und Dasag Renewable Energy AG (dasagren) / Woodpower AG. Gemäss den Aussagen der Hersteller und Anlagenbauer in der Schweiz steht die Holzvergasung kurz vor der Markteinführung. Kurz vor Beendigung der Studie hat die Firma dasagren die Unternehmenstätigkeit vorübergehend oder dauerhaft aufgegeben und steht eventuell vor der Liquidation.

4.6.1 Beschreibung Technologie

Ein wichtiger Teil der technologischen Entwicklung fand bereits vor 1945 statt. Im 19. Jahrhundert wurden erste kommerzielle Vergaser zur Erzeugung von Heizgas aus Torf und Kohle entwickelt. Ein Höhepunkt der Verbreitung von Holzvergäsern war gegen Ende des 2. Weltkrieges die Produktion von Fahrzeugmotoren, welche mit Holzgas betrieben worden sind. Die Technik der Holzvergasung wurde auf-

grund von niedrigen Kosten für die Biomasse und Arbeitskräften, fehlender Umweltauflagen sowie der Möglichkeiten einer dezentralen Energieversorgung in der Folge vor allem in Entwicklungsländern – zum Beispiel in Indien – vorangetrieben.

Erst das wachsende Interesse an erneuerbaren Energien nach den beiden Ölkrisen hat die Weiterentwicklung der Holzvergasungstechnik in Teilgebieten gefördert (u.a. Gasreinigung, Emissionen, Integration Gasmotoren, Steuerung und Integration von Systemkomponenten).

Bei der Erzeugung von Holzgas soll ein möglichst grosser Anteil der Energie des Brennstoffes Holz durch eine verfahrenstechnische chemische Reaktion auf das brennbare Gas übertragen werden. Der Brennstoff wird in der Regel über einen luftdichten Abschluss in den Vergaser eingebracht. Hier findet eine Umsetzung des eingebrachten Brennstoffes mit dem Vergasungsmittel (Luft oder Dampf) in das Produktgas statt. Im Reaktor finden verschiedene chemische Prozesse statt (vgl. z.B. Steinbrecher, Walter 2001; Timmerer, Lettner 2005):

- *Trocknung*: Verdampfung des im Holz enthaltenen Wassers
- *Pyrolyse*: Komplizierte chemische Zersetzung des Holzes in verschiedene Bestandteile: Schwelgas (Kohlenwasserstoffe, CO_2 , Methanol, Teer, Säuren) sowie Kohlenstoff (Kohle). Die Pyrolyse verläuft je nach Temperatur unterschiedlich.
- *Oxidation*: Oxidation des Kohlenstoffs und des Wasserstoffs zur Deckung des Wärmebedarfs der Reduktionsreaktion und der Aufspaltung der Kohlenwasserstoffe.
- *Reduktion*: Reduktion der Oxidationsprodukte CO_2 und H_2O an der glühenden Holzkohle und Entstehung des Holzgases.

Das Produktgas enthält beim Verlassen des Reaktors verschiedene Schadstoffe. In der Folge wird das Holzgas einer trockenen (heissen) oder nassen Reinigung unterzogen, so dass es auch in einen Gasmotor verwendet werden kann (Wärme-Kraft-Kopplung). Bei der Gasreinigung und bei der Kühlung entstehen Emissionen (Abwasser, Rückstände), welche aufbereitet werden müssen. Das Ziel eines möglichst hohen Heizwertes des Generatorgases hängt von verschiedenen Einflussfaktoren ab: Holzbeschaffenheit, Feuchtigkeit, Oberfläche, etc.

Es können verschiedene Technologien unterschieden werden:

- *Stationäre oder Festbettvergaser*: Diese Technologie wird v.a. im tieferen und mittleren Leistungsbereich bis ca. 2 MWel eingesetzt. Diese eignen sich insbesondere für dezentrale Holzvergasungsanlagen.
- Grössere Anlagen mit *Wirbelschichtvergasern* (>20 MWel).

Die Vergasung von Holz ist vor allem deshalb interessant, weil bei der motorischen Nutzung des erzeugten Gases in Wärme-Kraftkopplungsanlagen ein etwa doppelt so hoher Stromnutzungsgrad erreicht werden kann als mit dem Dampfprozess bei direkter Verbrennung (Binggeli 2004). Insbesondere werden im Vergleich zu WKK-Anlagen bei Verbrennungsprozessen auch im tieferen Leistungsbereich hohe energetische Wirkungsgrade erzielt. (vgl. auch Timmerer und Lettner 2005).

Zum Erreichen eines hohen *Nutzungsgrades* und damit des kommerziell erfolgreichen Betriebs einer Anlage ist neben der Stromerzeugung auch die Verwendung der entstehenden Wärme wichtig. Die Holzvergasung muss gekoppelt sein an eine sinnvolle Wärmenutzung. Diese Prozesswärme entsteht kontinuierlich (beim Holztrocknungs- und beim Vergasungsprozess) und kann in Wärmenetze eingespeist werden, um bspw. Gewächshäuser, Lagergebäude oder Wohneinheiten zu

heizen. Wichtig ist jedoch, dass es sich beim Abnehmer um einen kontinuierlichen Verbraucher handelt (Bandabnahme).

Bei der Holzvergasung kann grundsätzlich und abhängig von der regionalen Verfügbarkeit sowohl Altholz als auch Frischholz genutzt werden. In Deutschland bspw. wird die Frischholznutzung subventioniert, da zu wenig Altholz vorhanden ist. Die Verfügbarkeit von Altholz in der Schweiz kann entsprechend als Erfolgsfaktor betrachtet werden. Zudem werden momentan auch Testvergasungen von weiterer Biomasse (z.B. brikettiertes Gras) vorbereitet.

Das BFE und die befragten Unternehmen schätzen den für die Schweiz für die Wirtschaftlichkeit der Energieproduktion sinnvollen Leistungs- und Abnehmerbereich auf 350 kW bis 2 MWel ein. Demzufolge konzentrieren sich die Forschung und Entwicklung sowie die Herstellung und der Anlagenbau bei der Holzvergasung in der Schweiz bislang vor allem auf Anlagen im kleineren Leistungsbereich. Dies sind in der Regel Festbett-Vergaser. Gleichzeitig hat das Paul Scherrer Institut (PSI) ein Verfahren zur Produktion von synthetischem Erdgas (SNG) entwickelt, welches sich sauber verbrennen und problemlos mit Erdgas mischen und über bestehende Gasnetze verteilen lässt (katalytische Methanierung). Dieses Verfahren wurde in Zusammenarbeit mit der technischen Universität Wien, dem Biomassekraftwerk Güssing (A) und zwei Anlagenbauern in Österreich und der Schweiz (CTU AG, Winterthur) entwickelt (Energie-Spiegel 2006).

Grosse Anlagen mit Wirbelschicht-Technologie gibt es bereits einige in nordischen Ländern (Grossbritannien, Skandinavien). Momentan ist jedoch primär das neue, in Güssing installierte Vergasungsverfahren im Fokus des internationalen Interesses. Durch diese Technologie hat das Gas einen höheren Brennwert. In der Schweiz forscht das Paul Scherrer Institut (PSI) im Bereich Wirbelschicht-Vergaser, für welche auch in der Schweiz gemäss BFE-Experten möglicherweise ein bis zwei Standorte denkbar sind.

Bei den heute bestehenden Pilot- und Demonstrationsanlagen ist gemäss BFE das Problem der Schadstoffe bzw. Emissionen (fest, flüssig oder gasförmig) noch nicht vollständig gelöst und es existiert noch ein gewisser Wissens- und Forschungsbedarf. Die Schadstoffproblematik sollte aber gemäss der Anlagenbauer und der Experten in absehbarer Zeit entschärft werden können. Dazu ist eine umfassende Betrachtung des gesamten Prozesses (inkl. Reinigungsverfahren und Trocknungsanlagen) unumgänglich. Solche Untersuchungen zum energetischen und emissionsbezogenen Prozess liegen im Fokus künftiger Förderaktivitäten des BFE.

Neben den anfallenden Emissionen bleiben gewisse Sicherheitsfragen hinsichtlich der Holzvergasung bis heute zum Teil ungeklärt. Gefährlich ist hierbei, dass der Prozess humantoxisch ist und zudem Explosionen möglich sind. Diese Unsicherheit stellt für die Abnahme und Bewilligungspraxis der zuständigen Behörden ein zusätzliches Erschweren dar. Bei den Anlagen der neuesten Generation in Wila und Stans/Oberdorf (vgl. einzelne Fallstudien dasagren und Pyroforce) sind Fortschritte zu verzeichnen. Darüber hinaus ist man hierzulande mit hohen ästhetischen Ansprüchen konfrontiert, währenddem in Deutschland solche Anlagen mit sehr einfachen Gebäuden realisiert werden.

Die technologische Entwicklung startete in der Schweiz in den späten 1980er-Jahren über erste Kontakte zur International Energy Agency (IEA) sowie erste Versuche mit Holzvergäsern im Jura. Zur selben Zeit wurden in Indien am international renommierten Indian Institute of Science in Bangalore Pilotversuche mit Holzvergasungsanlagen durchgeführt und mit dem Bau von dezentralen Holzver-

gasungsanlagen begonnen. Diese waren an die spezifische Situation in Entwicklungsländern angepasst. (vgl. Fallstudie dasagren in Abschnitt 4.6.6).

Anfang der 1990er-Jahre starteten erste F+E-Projekte in der Schweiz (Ensofor, JUCH), das Paul Scherrer Institut (PSI) begann die Entwicklung der Holzvergasungstechnologie und es wurden gleichzeitig einige Dissertationen zu ausgewählten technologischen Aspekten abgeschlossen.

Eine erste P+D-Phase wurde in der zweiten Hälfte der 1990er-Jahre mit dem Pilotvergaser der Firma Xylowatt in Châtel-St.-Denis eingeleitet (vgl. Fallstudie dasagren). In diesem Zeitraum wurde auch von der Pyroforce in Emmenbrücke eine erste Versuchsanlage in Betrieb genommen (vgl. Fallstudie Pyroforce in Abschnitt 4.6.5). Die Forschung an den Hochschulen hatte nur einen sehr geringen Impact auf die Anlagen in der Schweiz. Es wurden während der 1990er-Jahre einzelne Dissertationen an der ETH Zürich und am Paul Scherrer Institut verfasst. Beispielsweise wurden der Abscheidegrad verschiedener Reinigungsverfahren in der Gasreinigung bestimmt und Richtlinien für die Teer- und Partikelmessung entworfen.

Ab 2000 wurde der Schwerpunkt der technologischen Entwicklung und auch der BFE-Förderung weniger auf F+E-Aktivitäten als vielmehr auf P+D-Projekte und die Sammlung von Betriebserfahrungen gelegt. Es wurden P+D-Anlagen in Bulle (Xylowatt / Menag) sowie von Pyroforce / CTU in Spiez konzipiert und erstellt. Die Anlage in Spiez hat heute den mehr oder weniger störungsfreien Dauerbetrieb erreicht. Das grösste Problem ist heute die fehlende Wirtschaftlichkeit.

2003 hat das Parlament das damals bestehende P+D-Förderungsprogramm gestrichen. Dies hat in der Folge die Umsetzungsphase der Technologie erschwert. In der ersten Hälfte 2007 nahm die Firma Woodpower in Kooperation mit dasagren die Holzvergasungsanlage in Wila (ZH) erstmals in Betrieb. Gleichzeitig erstellten Pyroforce / CTU, eine grössere Anlage in Stans-Oberdorf, welche im Dezember 2007 erste Testversuche aufgenommen hat.

In den letzten Jahren waren weniger technologische Entwicklungen zu beobachten, sondern primär eine Verbesserung des Engineerings beim Anlagenbau, d.h. eine Optimierung des Gesamtsystems sowie Verbesserungen und Kostensenkungen bei einzelnen Komponenten. Der technologische Entwicklungsstand dürfte sich gemäss Aussagen der befragten Experten zwischen 60 und 80 Prozent befinden. Im tieferen Leistungsbereich, welcher für entstehenden Markt der Holzvergasung als sinnvolles Zielsegment beurteilt wird, gehören die hier betrachteten KMUs (Pyroforce, Dasagren) und deren Kooperationspartner (Woodpower, CTU) international zu den technologisch führenden und innovativsten Technologieanbietern. Gemäss Aussagen des BFE im Herbst 2007 – und entgegen des deutlich spürbaren Optimismus auf Seiten der befragten Unternehmen – ist die Technologie beim heutigen Stand der Technologie jedoch heute noch nicht vollständig marktfähig. Die beiden neuerstellten Anlagen in Stans/Oberdorf (Pyroforce, CTU) und Wila (dasagren, Woodpower) werden über die Marktfähigkeit der Holzvergasungsanlagen in der Schweiz weitere wichtige Erkenntnisse liefern.

4.6.2 Marktsituation in der Schweiz

Marktumfeld und -entwicklung

Ein wichtiger treibender Faktor für die Holzvergasung ist das Marktpotenzial für erneuerbare Energien. Dieses wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Dazu

gehören insbesondere die Preisentwicklungen bei den fossilen Energieträgern, die Investitionen in erneuerbare Technologien sowie die regulatorischen Rahmenbedingungen im Bereich Energie-, Umwelt und Förderpolitik. Zudem spielen auch Erwartungen über künftige Politikansätze oder die Ankündigung neuer energiepolitischer Instrumente (CO₂-Abgabe, kostendeckende Einspeisevergütung) eine wichtige Rolle für die weitere Entwicklung und die Umsetzung der Technologie (Investitionsanreize).

Auf der Beschaffungs- und Kostenseite sind die Verfügbarkeit der notwendigen Rohstoffe (Biomasse/Holz), sowie die relativen Beschaffungspreise im Vergleich zu den übrigen Energieträgern relevant. Für die Markteinführung sind ferner auch Unsicherheiten oder Erschwernisse bei Bewilligungen und der Raumplanung zu berücksichtigen.

Die ökonomischen Rahmenbedingungen, das politische Umfeld wie auch die Nachfrage nach erneuerbaren Energie haben sich in den letzten zwei bis drei Jahren für die Holzvergasung in der Schweiz in eine positive Richtung verändert. Die Haupteinflussgrösse ist der Preis des erzeugten Stroms, Der Absatz der Wärme ist hingegen nicht per se rentabel, da der Holzpreis vom Ölpreis abhängig ist.

Für die künftigen Perspektiven der Holzvergasung ist zudem, neben der angesprochenen Entwicklung des Strompreises und der CO₂-Problematik, die Entwicklung des Ölpreises zentral. Die Holzvergasung ist in bedeutendem Ausmass von der Entwicklung des Ölpreises abhängig. Steigende Ölpreise bzw. längerfristige Erwartungen über steigende Preise stimulieren die Investitionen und schaffen eine wichtige Voraussetzung für einen kommerziell möglichen Betrieb von Holzvergasungsanlagen.

Die materielle Ausgestaltung der Einspeisevergütung für Strom beeinflusst den Markteintritt bzw. den kommerziellen Betrieb der Holzvergasungsanlagen. In der Schweiz beginnen sich die Rahmenbedingungen für erneuerbare Energien wie beispielsweise die Holzvergasung erst langsam zu ändern, währenddem dies bspw. in Deutschland schon 2004 mit dem Erneuerbare-Energie-Gesetz (EEG) geschah. Das EEG in Deutschland gewährt den Betreibern von Energieanlagen über einen bestimmten Zeitraum eine zusätzliche Vergütung für den erzeugten Strom. Um den Markteintritt bzw. einen kommerziellen Betrieb der Anlagen zu ermöglichen, orientiert sich die Vergütung auch an den Erzeugungskosten der verschiedenen Energietechnologien. In Deutschland hat das EEG signifikant zur Erhöhung der Investitionssicherheit im Bereich erneuerbare Energien beigetragen.

In der Schweiz waren im Jahr 2007 die Einspeisevergütungen nur etwa halb so hoch wie in Deutschland. Gleichzeitig sind das Preisniveau und die Investitionskosten deutlich höher. Das Parlament in der Schweiz verbesserte 2007 mit der Revision des Energiegesetzes die Marktchancen für erneuerbare Energien und damit auch für die Holzvergasung. Neben der Abnahmeverpflichtung werden die Netzbetreiber den durch die Nutzung von erneuerbaren Energie gewonnen Strom neu degressiv vergüten. Die Einspeisevergütung liegt damit für kleinere Anlagen und damit für Holzvergasungsanlagen mit geschätzten 22 – 26 Rp. deutlich höher als heute (15 Rp pro KW/h). Die technologieabhängige und für kleinere dezentrale Energieerzeuger vorteilhaftere Einspeisevergütung wird für einen zusätzlichen Marktschub sorgen.

Zurzeit ist infolge des Ölpreisanstiegs eine Verschärfung der Konkurrenz auf den Energiemärkten beobachtbar. Eine Folge des starken Nachfrageanstiegs bei der Biomasse Holz ist eine deutliche Verschärfung des Wettbewerbs um den Brennstoff Holz, welcher gerade in flacheren Regionen (kostenseitig günstiger) bereits

stark genutzt ist. Die Holzvergasung steht beispielsweise in Konkurrenz zur Pelletfeuerung sowie auch zu Spanplattenproduzenten, etc. Es ist zu erwarten, dass sich auch Preise und Märkte für Altholz bilden werden.

Die erwartete Nettoentwicklung der Relativpreise zwischen einzelnen Energieträgern (bspw. Öl und Holz) ist mit einer grossen Unsicherheit behaftet, da die infolge des generellen Rohstoffpreisanstiegs und der dadurch induzierten Nachfrage nach Biomasse (wie Holz) auch der Holzpreis mittelfristig ansteigen dürfte. Dass der Holzpreis (mit Verzögerung) der Ölpreisentwicklung folgt, war in den letzten Jahren auch empirisch beobachtbar.

Generell ist der Technologiebereich Holzvergasung bezüglich der Marktumsetzung, im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern, (noch) weniger weit entwickelt. Ebenso sind die Wettbewerbsintensität und die Konkurrenz sowohl auf nationaler und internationaler Ebene eher schwach ausgeprägt. Dies liegt u.a. an einer vergleichsweise geringen Zahl an Unternehmen im Bereich Holzvergasung. Zudem waren die in der Schweiz tätigen Unternehmen bislang hauptsächlich mit der technologischen Weiterentwicklung und der Konsolidierung des ‚Standes der Technik‘ beschäftigt. Im Vordergrund standen die Sammlung von Betriebserfahrungen und Betriebssicherheit sowie die Gewährung eines möglichst störungsfreien Langzeitbetriebes. Im Bereich Holzvergasung kann daher nicht von einer funktionierenden Konkurrenz gesprochen werden, zumal bis heute (noch) keine ausländischen Unternehmen auf den schweizerischen Markt drängen. Eine Intensivierung des Wettbewerbs – d.h. auch eine höhere Anzahl an Anbietern – würde sich stimulierend auf den Innovations- und Marktdurchdringungsprozess auswirken.

In Deutschland gibt es insgesamt ca. 50 Firmen, welche sich mit Holzvergasung beschäftigen, aber grossteils mit erheblichen Problemen (Betriebssicherheit) zu kämpfen haben. Der internationale Markt ist auch für Experten intransparent und über die Beurteilung des wirklichen ‚Standes der Technik‘ besteht kein Konsens.

Gemäss Technologie- und Marktrecherchen von Pyroforce (vgl. Fallstudie) und Recherchen im Rahmen der vorliegenden Studien gibt es nur wenige ausländische Anbieter, welche Langzeit-Betriebserfahrung aufweisen und somit erfolgreich am Markt tätig sind. Dies wird auch durch das BFE bestätigt.

In einem 2004 publizierten Positionspapier schätzt das BFE das Marktpotenzial in der Schweiz auf ca. 50 bis 100 Standorte für kleinere, dezentrale und stationäre Holzvergasungsanlagen. Diese Grössenordnung entspricht in etwa auch der heutigen Einschätzung.

Die Investitionskosten in Holzvergasungsanlagen im für die Schweiz wichtigen, tieferen Leistungsspektrum betragen 5-7 Mio. CHF pro Holzvergasungsanlage. Bis die Anlagen kommerziell ausgereift sind, braucht es noch einige Jahre. Langfristig dürfte der Brennstoff Holz rund 60% der Betriebskosten ausmachen.

Aufgrund der bis vor kurzem fehlenden betrieblichen Erfahrungen im Langzeit-Bereich und der fehlenden Marktreife waren bis 2007 mögliche Investoren oder potenzielle Anwender zurückhaltend. Obwohl grundsätzlich im Energiebereich viel Geld vorhanden wäre, gab es nur wenig Venture Capital für den (nur langfristig attraktiven) Anlagenbau im Bereich Holzvergasung. Diese zurückhaltende investoren- und kundenseitige Haltung ist einerseits zurückzuführen auf die längerfristige Rentabilität solcher Anlagen, bei kurzfristigeren Rentabilitätshorizonten, und andererseits auf die lange Zeit fehlenden Betriebserfahrungen und dem damit verbundenen Investitionsrisiko. Ein grosser Teil des bei der Holzvergasungstechnologie eingesetzten Investitionskapitals stammt daher aus eigenen finanziellen Mitteln.

International sind mehrere Dutzend Firmen bei der Entwicklung der Holzvergasung und im Anlagenbau tätig, wovon jedoch, gemäss Expertenmeinung, die meisten kaum über Umsetzungs- resp. Betriebserfahrungen verfügen (vgl. auch Steinbrecher, Walter 2001). Allein in Deutschland gibt es rund 50 Firmen, welche sich mit Holzvergasung beschäftigen. Diese dürften allerdings grossteils mit erheblichen Problemen zu kämpfen haben, da sie z.B. kaum auf Referenzlisten geführt werden. Beispielsweise hat eine der bekanntesten deutschen Firmen Mothermik Mitte 2007 Insolvenz beantragt. Zukunftsmärkte sind für die Schweiz vor allem Italien und insbesondere Deutschland, wo die Einspeisevergütungen wesentlich attraktiver ausgestaltet sind (nicht so in Frankreich). In Deutschland bspw. dürfte das Marktpotenzial etwa zehnmal höher (bei 500 bis 1000 Anlagen) liegen. Ein möglicher Treiber der Entwicklung könnte auch ein Trend zu stärker abgekoppelten regionalen Netzen sein, welche den Strom längerfristig evtl. günstiger bereitstellen können. Der deutsche Markt wird, wegen seiner geografischen Nähe und des grösseren Marktpotenzials in zunehmendem Masse auch für die Schweizer Anlagenbauer interessant.

Beim Vergleich der beiden Märkte Schweiz und Deutschland fällt insbesondere auf, dass Akteure in der Schweiz trotz der relativ tieferen Einspeisevergütung mit höheren Investitions- und Sicherheitsansprüchen konfrontiert sind. Währenddem Anlagen in Deutschland dank tieferen Baukosten, Strom- und Holzpreisen nach ca. sieben Jahren abgeschrieben sind, braucht es in der Schweiz dazu gemäss Experteneinschätzung mehr als 15 Jahre.

Allgemein kann für den Holzvergasungsbereich festgehalten werden, dass Firmen in Deutschland und der Schweiz bisher nur wenige Betriebserfahrungen sammeln konnten. Eine Anlage müsste im Minimum drei bis fünf Jahre laufen, bis sie als ‚Viable Technology‘ für den Markt bezeichnet werden kann. In der Schweiz dürften die ersten Systeme in den nächsten Jahren technologisch weitgehend ausgereift und auf dem Markt erhältlich sein.

Ein wichtiges zentrales Charakteristikum des Schweizer Holzvergasungsmarktes ist ferner, dass in der Schweiz bei der Entsorgungsfrage sicherheitstechnische Vorschriften virulenter sind als im Ausland. Heute werden die einzelnen Anlagen fallweise konzessioniert und es fehlt eine zumindest teilweise standardisierte Typenprüfung. Gerade im Hinblick auf Umweltfragen und Sicherheitsaspekte sowie auch bei der Raumplanung besteht heute noch eine grosse Unsicherheit, auch von Seiten der kantonalen Behörden, wie die Technik der Holzvergasung behandelt werden soll.

Zudem sind eigentumsrechtliche Regelungen bei der Holzvergasung schwierig. Das generelle Problem des Anlagenbaus in der Holzvergasung ist, dass man zwar spezielle Maschinen, Katalysatoren oder Einzelkomponenten patentieren lassen kann, nicht aber ein gesamtes Verfahren. Verfahrenspatente zu erhalten ist also sehr schwierig, da nicht der Vergasungsprozess per se, sondern nur bestimmte Teile von Apparaten patentiert werden können.

Akteure und Netzwerke

Neben den genannten Unternehmen, welche im Kern die Entwicklung der Holzvergasung betreiben und im Anlagenbau tätig sind, sind auf Zuliefererseite (Biomasse) für die Holzvergasung ähnliche Akteure relevant wie bei der Holzschnitzelfeuerung. Dazu gehören die Holz- und Forstwirtschaft sowie die Bauwirtschaft (Altholz). Durch den Einsatz von Altholz kann auch die günstigste Form von Biomasse genutzt werden, auch wenn Altholz in Zukunft an Wert zunimmt. Auf der Abnehmer-

seite ist neben dem Strommarkt auch der Wärmemarkt bzw. die Wärmeversorgung von wesentlicher Bedeutung.

Für die Holzvergasung gibt es in der Schweiz keine spezielle Interessensgemeinschaft, welche die Technologie gegen Aussen vertritt. Der Verein Holzenergie Schweiz konzentriert sich stark auf den Wärmemarkt und nicht auf die Stromproduktion und die Holzvergasung ist dort praktisch nicht vertreten. Der Biomasse-Verband wiederum fokussiert primär auf flüssige Biomasse.

Auf internationaler Ebene haben sich innerhalb der Internationalen Energieagentur (IEA) drei Arbeitsgruppen für die Bereiche Verbrennung, Vergasung und Vergärung etabliert, in denen auch das BFE finanziell und inhaltlich beteiligt ist. Das Ziel dieser Zusammenarbeit ist in erster Linie ein aktiver Informations- und Erfahrungsaustausch – momentan läuft ein Projekt zu ‚Health and Safety‘ in der Holzvergasung. In den 1990er-Jahren gab es über Hari Sharan zudem eine starke Vernetzung zwischen der Schweiz und Indien (vgl. Fallstudie dasagren in Abschnitt 4.6.6).

Die Holzvergasung ist der Schweiz auf Hochschuleseite praktisch nicht verankert. Zwischen 1990 und 2000 wurden drei Dissertationen im Bereich Holzvergasung verfasst (PSI und ETHZ), welche vom BFE unterstützt worden sind. Auch die Auflösung des Biomassezentrums an der ETH Zürich im Jahr 2000 war kein merklicher Rückschlag für die Holzvergasung, da die Industrie die bestehenden Technologien selbst weiter entwickelt. Ausser dem PSI beschäftigt sich die Forschung an Hochschulen heute nur noch sehr marginal mit der Holzvergasungstechnologie und hat(te) kaum einen Impact auf die Entwicklung der Anlagen in der Schweiz: Heute am aktivsten hinsichtlich der Forschung (Wirbelschichtvergasung, Methanierung von Holzgas) ist das Paul Scherrer Institut, welches quasi auch als ‚Auffangbecken‘ für das aufgelöste Biomassezentrum fungierte.

Ein Teil des forschungsbezogenen und umfeldbezogenen Know-hows des Biomasse Zentrums der ETHZ findet sich heute im Ingenieurunternehmen Verenum in Zürich wieder (PD Dr. Thomas Nussbaumer). Er ist heute an der ETH Zürich und an der HTA Luzern sowie an den Fachhochschulen in Burgdorf und MuttENZ als Privatdozent für das Fachgebiet Energie aus Biomasse tätig. Zudem publiziert Nussbaumer seit 1990 intensiv (über 100 Publikationen) über verschiedene Aspekte der Holzvergasung.

An den Fachhochschulen ist die Holzvergasung sowohl in der angewandten Forschung und Entwicklung als auch in der Lehre praktisch nicht vertreten. Die angewandte F+E der Holzvergasung und die Valorisierung der Technik auf dem Markt wären prädestiniert, stärker an den Fachhochschulen präsent zu sein.

4.6.3 Strategie BFE und Förderumfeld

Das BFE hat in einer ersten Förderphase zwischen den späten 1980er- und den 1990er-Jahren verschiedene Grundlagenprojekte im Bereich Forschung und Entwicklung unterstützt. So wurden insbesondere Xylowatt (Vorgängerfirma von dasagren) und Pyroforce gefördert, wobei Letztere selbst mit F+E begonnen und erst später um einen Förderbeitrag ersucht haben.

Seit Mitte der 1990er-Jahre werden stärker P+D-Projekte gefördert und es wird weniger auf Forschung und Entwicklung fokussiert. Weiter gab es anfangs auch eine Zusammenarbeit mit dem Biomassezentrum der ETHZ welches 2000 aufgelöst und zum PSI übersiedelt wurde. Als Daniel Binggeli im Jahr 2000 beim BFE

den Bereich Holzvergasung übernahm, wurde der Förderschwerpunkt zu P+D-Anlagen und zum Gewinn weiterer Betriebserfahrungen gelegt. Im Vordergrund steht die Erreichung eines möglichst störungsfreien Dauerbetriebes. Für die konkrete Markteinführung werden keine Förderbeiträge gesprochen.

2004 stellten die Verantwortlichen beim BFE fest, dass die kritische Masse für weitere wesentliche Fortschritte im Innovationsprozess vor allem im Hinblick auf die Etablierung und Durchsetzung der Technologie sowie hinsichtlich der Markteinführung in der Schweiz nicht vorhanden ist. Die Technologie sei gemäss Expertenbeurteilung trotz verschiedener, vom BFE unterstützter und geförderter P+D-Anlagen noch nicht markt- und umsetzungsfähig, dazu seien noch mehrere weitere Pilotanlagen nötig. Die Unterstützung des BFE für P+D-Anlagen vermochte allerdings das fehlende private Risikokapital nicht zu ersetzen. 2003 wurden vom Parlament die Gelder für P+D-Projekte gestrichen, so dass heute keine neuen P+D-Fördergelder zur Verfügung stehen.

Gemäss dem Konzept der Energieforschung 2008-2011 (BFE 2007) stehen künftig bei der Holzvergasung technische Weiterentwicklungen im Hinblick auf den Gewinn zusätzlicher Betriebserfahrungen, auch hinsichtlich der Kostensituation im Vordergrund um damit auch verlässlichere Wirtschaftlichkeitsrechnungen durchführen und die Investitionssicherheit verbessern zu können.

Durchschnittlich wurden von Seiten des BFE rund 30 bis 40 Prozent an die F+E-Aufwendungen bezahlt, d.h. private Investoren steuerten einen wesentlichen Anteil selbst dazu bei. Bei den P+D-Projekten lag der Anteil der öffentlichen Finanzierung deutlich tiefer. Seit 1992 unterstützt das BFE den Holzvergasungsbereich durchschnittlich mit ca. 0.4 Mio. CHF pro Jahr (relativ konstante Entwicklung), was einem Anteil von weniger als 4 Prozent an den totalen BFE-Ausgaben für Biomasse entspricht. Rund 40 Prozent der Ausgaben für Vergasung wurden für wissenschaftliche Grundlagenprojekte resp. -studien (F+E, teilw. P+D) ausgegeben. Dieses finanzielle Fördervolumen ist relativ gering. Zudem wurde seit 2004 – abgesehen von einem Zertifizierungsprozess bei Pyroforce und einem Projekt beim PSI (mit 400'000 CHF gefördert) – praktisch nichts mehr unterstützt.

Die Verantwortlichen auf Seite des BFE halten fest, dass zur Umsetzung von Holzvergasungsprojekten private Industriepartner und Investoren unabdingbar sind, da der Bund maximal 40 bis 80 Prozent an Studien-Kosten tragen kann. Wären zusätzliche Bundesgelder vonnöten – bspw. bei Grossprojekten wie einem Wirbelschichtvergaser im hohen Leistungsbereich, welche mehrere Mio. CHF kosten – müssten diese vom Parlament gesprochen werden.

Für die Förderung der Markteinführung kann mittel- bis längerfristig auch auf das Programm Energie Schweiz (Holzenergie) zugegriffen werden, sobald die Technologie einigermassen einwandfrei funktioniert. Dort stehen heute zusätzliche Fördergelder zur Verfügung für Information, Beratung, Machbarkeitsstudien, Netzwerkbildung u.ä. Allerdings finden sich im Bereich Holzvergasung bei Energie Schweiz (abgesehen von Marketingmassnahmen und Planertagungen) keine Aktivitäten hinsichtlich der Markteinführung.

Neben direkten finanziellen Unterstützungsleistungen finden sich weitere immaterielle Formen der Förderung durch das BFE im Bereich Holzvergasung. So beeinflusst das BFE auf politischer Ebene die Rahmenbedingungen – bspw. über Strategieformulierungen (Nachhaltigkeit, erneuerbare Energien, Energiepolitik). Ebenfalls übt das Engagement des BFE in ein Förderprojekt (auch wenn diese finanziell nicht erfolgsentscheidend ist) eine Signalwirkung für private Industriepartner und Investoren aus.

Nicht zuletzt ist das BFE auch bei der (indirekten) Vernetzung verschiedener Akteure am Markt aktiv und wird bezüglich entsprechender Informationen auch immer wieder direkt angefragt. So kommt dem BFE eine Vermittlungs- und Kommunikationsrolle zwischen den oft kleinräumig und familiär organisierten Einzelprojekten zu. Ein eigentliches Innovationscoaching, welches (neben der Begleitung eines Forschungsprojekts) auch auf eine Optimierung des Managements hinwirken würde, ist jedoch, gemäss Eigenverständnis, keine Kernaufgabe des BFE.

Zurzeit zielt die Förderpolitik auch darauf ab, gute Markt- resp. Rahmenbedingungen zu schaffen. Konkurrenzfähige Energiepreise und Gestehungskosten sind von entscheidender Bedeutung für einen erfolgreichen Innovations- und Markteinführungsprozess. Wie sich eine geplante technologieabhängige Einspeisevergütung auswirken wird, wird sich erst in Zukunft zeigen.

Die Bedeutung der BFE-Förderung für die privaten Akteure (resp. deren zusätzlichen Nutzen) ist jedoch schwierig einzuschätzen. Nach Einschätzung des BFE wären die Anlagen in Châtel St. Denis, Bulle, Spiez, Wila und Stans ohne die (früheren) Aktivitäten des BFE nicht zustande gekommen. Nichtsdestotrotz gibt es zurzeit kaum mehr ein Impact von Förderagenturen (wie dem BFE oder Energie Schweiz) auf die Holzvergasung – diese wird also momentan de facto dem Markt überlassen.

4.6.4 Generelle Einflussfaktoren

Dieser Abschnitt fasst stichwortartig generelle Einflussfaktoren auf die Innovationsprozesse der beiden betrachteten Fallstudien zusammen. Es wird zwischen fördernden und hemmenden Einflussfaktoren unterschieden. Detailliertere Ausführungen finden sich in den vorangehenden Abschnitten. Wichtige generelle Einflussfaktoren fliessen jeweils bei den Kernaspekten der Fälle ein.

A) Generelle Förderfaktoren

- Umfeld -

- **(1⁺) Marktpotenzial erneuerbare Energien:** Ein wichtiger treibender Faktor für die Holzvergasung ist das Marktpotenzial für erneuerbare Energien. In jüngerer Zeit haben sich die ökonomischen Rahmenbedingungen, das politische Umfeld sowie das Interesse an beziehungsweise die Nachfrage nach erneuerbaren Energien in den letzten zwei Jahren generell verbessert.

- Innovationssystem -

- **(2⁺) Einspeisevergütung:** In der Schweiz trägt die geplante Erhöhung der Einspeisevergütung zur Erhöhung der Investitionssicherheit im Bereich erneuerbarer Energien bei.
- **Beträchtliches Potenzial in der Schweiz für Holzvergasungsanlagen:** In der Schweiz besteht ein beträchtliches Potenzial an Holzvergasungsanlagen (50-100 Anlagen) im tieferen Leistungsbereich (bis max 1MW).

B) Generelle Hemmfaktoren

- Umfeld -

- **(1^o) Ölpreisabhängigkeit des Holzvergasungsmarktes:** Mitentscheidend für die Perspektiven der Holzvergasung ist die Entwicklung des Ölpreises.
- **Wesentlich höhere Einspeisevergütungen in Deutschland:** In der Schweiz beginnen sich die Rahmenbedingungen für erneuerbare Energien wie bei der Holzvergasung erst langsam zu ändern.

- Innovationssystem -

- **(2^o) Mangelndes Investitionskapital:** Aufgrund der mangelnden Betriebs- erfahrungen und des eher hohen Risikos fehlt die kritische Masse an Investi- tions- und Risikokapital um der Holzvergasung generell schneller zum Durchbruch auf dem Markt zu verhelfen.
- **(3^o) Wenig Betriebserfahrungen:** Bis Ende 2007 ist bei der Technologie der Holzvergasung im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien ver- gleichsweise wenig Betriebserfahrung gesammelt worden.
- **Mangelnde Konkurrenz und intransparenter Markt:** In der Schweiz ist zurzeit bei der Holzvergasung praktisch kein Wettbewerb vorhanden.
- **Fehlende finanzielle Förderung von P+D-Anlagen:** Das Parlament stellte vor einigen Jahren die finanzielle Unterstützung von P+D-Programmen ein.
- **Keine Lobby für Holzvergasung bei Holzenergie Schweiz:** Beim Verein Holzenergie Schweiz ist die Holzvergasung bis heute praktisch nicht vertre- ten.
- **Fehlende Verankerung an Hochschulen in der Schweiz:** Seit 2000 keine F+E mehr an der ETH Zürich. Auch an den Fachhochschulen ist die Holz- vergasung praktisch nicht vertreten.
- **Fehlende Typenprüfung anstatt fallweise Konzessionierung:** Fallsweise Konzessionierung mindert Investitionssicherheit und Marktumsetzung.

4.6.5 Fallstudie **Pyroforce / CTU**

A) Kurzportrait

Ein zweistündiges Interview wurde geführt mit Herrn Herbert Gemperle (Gründer und Geschäftsführer von Pyroforce Energietechnologie AG) und Herrn Andreas Müller (F+E). Auf dieses Gespräch folgten mehrere telefonische und schriftliche Nachfragen und Präzisierungen. Zudem wurde ein längeres Interview beim strate- gischen Kooperationspartner CTU-Concepte Technik Umwelt (CTU) mit Herrn Martin Schaub, Geschäftsführer, geführt.

Unternehmensgeschichte und -tätigkeit

Vorgängerfirmen der heutigen Pyroforce Energietechnologie AG waren erstens die Hydrotect Ingenieurunternehmung AG. Diese wurde 1974 durch den Vater des heutigen Geschäftsführers von Pyroforce gegründet und war spezialisiert auf Was- serversorgung und kommunale Abwasserreinigung und diversifizierte während der frühen 1980er-Jahre in die Behandlung flüssiger Abfälle. In den 1980er Jahren

wurde weiter die Firma Sibag am heutigen Standort in Emmenbrücke gegründet, welche im Bereich der Sonderabfallentsorgung und vorwiegend für die öffentliche Hand tätig ist.

Der Rückgang der öffentlichen Investitionen im Bereich Abwasserentsorgung – über 90% der CH-Haushalte waren an Kläranlagen angeschlossen – war ein wichtiger Anstoss für die Diversifizierungsstrategie in die Holzvergasung, um eine potenzielle und allenfalls innovative Marktnische zu besetzen. Der Einstieg in die Holzvergasung wurde Mitte der 1990er-Jahre rund drei Jahre nach Xylowatt (Vorgängerfirma von dasagen, vgl. Fallstudie in Abschnitt 4.6.6) vollzogen.

Die technologische Entwicklung bzw. die notwendigen Investitionen wurden damals zu optimistisch eingeschätzt. Die massiven Investitionen in F+E wurden vorwiegend aus eigenem Kapital finanziert sowie aus anderen Projekten querfinanziert. In dieser Zeit waren bei der Hydrotest AG sechs Mitarbeiter für den Bereich Holzvergasung angestellt. Die ursprüngliche Hydrotest AG wurde in der zweiten Hälfte der 1990er-Jahre in Pyroforce Energietechnologie umfirmiert. Seit 1999 konzentriert sich Pyroforce auf die Holzvergasungstechnologie. Aus Kostengründen wurde der Personalbestand in der Folge stark zurückgefahren. Seit 2006 arbeiten aber wieder neun Personen (rund 8 VZÄ) bei Pyroforce.

Aus technologischer und strategischer Sicht ist die enge Kooperation mit der CTU-Concepte Technik Umwelt (CTU) bei der Entwicklung und dem Bau der Holzvergasungsanlagen sehr zentral. In der Folge wird daher, wenn notwendig, auch die Bezeichnung Pyroforce/CTU gewählt.

Von Pyroforce/CTU bzw. den Vorgängerfirmen sind folgende Anlagen bzw. Projekte realisiert worden.

- In den 1990er-Jahren wurde eine erste Anlage mit einer Leistung 80 kW_{el} und 160 kW_{therm} zu Test- und Entwicklungszwecken entwickelt. Insgesamt wies die Anlage rund 2'000 Betriebsstunden auf. Die Test- und Messreihen wurden durch das BFE finanziell gefördert.
- Die Entwicklung und der Aufbau einer P+D-Anlage im Auftrag des Bundesamtes für Bauten im Labor Spiez¹³ in den Jahren 2002-2005. Die Anlage wurde im Jahre 2007 zertifiziert und leistet 150 kW_{el} und 250 kW_{therm} und ist für Sägerei-Restholz ausgelegt. Die Anlage ist heute noch in Betrieb und hat generell den P+D-Prozess im Bereich der Holzvergasung weitergetrieben.
Zur Entwicklung der ersten Anlage in Spiez wurden sehr viele Eigenleistungen von Seiten der Projektpartner sowie v.a. auch des Bundes beigetragen. Die Investitionskosten von zwei Mio. Franken in Spiez hat der Bund als Eigentümer bezahlt. In diesem Betrag sind jedoch zusätzliche Forschungs- und Entwicklungskosten von ca. drei Mio. Franken, welche bei Pyroforce anfielen, nicht eingerechnet.
- Die P+D-Anlage in Güssing (A) weist eine installierte Leistung von 300 kW_{el} und 500 kW_{therm} auf. Die Stadt Güssing ist energieautark und versorgt sich selber mit Wärme, Strom sowie Kraftstoff mittels erneuerbaren Energiequellen aus der Region. Die Holzvergasungsanlage wurde Ende 2007 fertiggestellt. Aufgrund der grossen überregionalen Ausstrahlung der Stadt Güssing und der verschiedenen innovativen Projekte im Bereich er-

¹³ Das Labor Spiez ist ein Geschäftsbereich des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und das schweizerische Fachinstitut für den Schutz vor atomaren, biologischen und chemischen (ABC) Bedrohungen und Gefahren.

neuerbarer Energien ist die Anlage in Güssing für das Renommée und auch als Referenzanlage wichtig.

- Als aktuellstes Projekt ist die im Dezember 2007 erstmals in Betrieb genommene Holzvergasungsanlage in Stans/Oberdorf (Kanton Nidwalden) zu erwähnen, wo die gemäss eigenen Angaben erste kommerziell rentable Vergasungsanlage der Schweiz im Dezember 2007 fertiggestellt worden ist. Die Anlage in Stans/Oberdorf weist eine installierte Leistung von knapp 1400 KW/h el. und 2200 KW/h therm. auf und ist damit die grösste Holzvergasungsanlage der Schweiz. Auftraggeber ist die Genossenkorporation Stans. Wichtige Initianten sind lokale Ingenieurbüros (Amstutz Engineering + Consulting, Alpnach; HLK Trüssel & Partner, Stans).

Die Festbett-Vergaser von Pyroforce/CTU können sowohl mit Waldholz- (Frischholz) und auch mit Altholzschnitzeln betrieben werden. Altholz stammt vor allem aus dem Bausektor (Gebäudeabbrüche), aus Verpackungen oder alten Holzmöbeln.

Bei den genannten Projekten und Anlagen in Spiez, Güssing und Stans/Oberdorf wird zwischen Pyroforce und CTU auf verschiedenen Ebenen eng zusammengearbeitet. Grundsätzlich fokussiert die CTU auf die Forschung und Entwicklung sowie den Anlagenbau bei der Gasreinigung, die Pyroforce steht primär für die Reaktortechnik und das Gesamtkonzept sowie die Integration der verschiedenen Komponenten bei der Entwicklung und dem Bau der Holzvergasungsanlagen. Ferner ist auf die wichtige Zusammenarbeit mit GE Jenbacher (Gasmotor, BHKW) hinzuweisen (vgl. Abschnitt C) Umfeld und Innovationssystem).

Bei der Holzvergasung steckt die grösste Herausforderung in der Gewährleistung einer kontinuierlich hohen Verfügbarkeit – regelmässiger und möglichst störungsarmer Betrieb – mit wenig Personal. Gemäss eigener Einschätzungen sind die Projekte von Pyroforce / CTU in dieser in der Schweiz am weitesten fortgeschritten. Die Anlage in Spiez läuft mit 6'500 Stunden pro Jahr (angestrebt sind mindestens 7'500 Stunden) relativ zuverlässig. Es ist im Rahmen dieser Studie nicht möglich eine abschliessende Beurteilung über den ‚Stand der Technik‘ oder Markteinführung der bestehenden Anlagen vorzunehmen.

B) Technologische und organisatorische Meilensteine

Aus der Sicht von Pyroforce und CTU lassen sich die zentralen Meilensteine im Innovationsprozess wie folgt zusammenfassen:

- Als fundamentalen ersten Schritt bezeichnen die Befragten die Mitte der 1990er-Jahre geborene Idee resp. die Grundsatzentscheidung, das bestehende Geschäftsfeld zu diversifizieren und in die Holzvergasung einzusteigen.
- Ein zweiter, für die heutige Geschäftstätigkeit essenzieller Meilenstein, war der Zusammenarbeitsvertrag mit den Firmen CTU und Jenbacher im Jahr 1998 (vgl. Ausführungen weiter unten). Dieser wurde unterzeichnet zum Zweck, die Holzvergasung technologisch zur Marktreife zu bringen, ohne sich gleichzeitig finanziell zu eng zu binden d.h. jeder Kooperationspartner arbeitete weiterhin mit eigenen Mitteln.
- Der Auftrag des Bundesamtes für Bauten bezüglich der Belieferung des AC-Labors in Spiez, wo man bis zum Sommer 2007 ca. 15'000 Betriebsstunden zählte, ist ein weiterer essenzieller Meilenstein des Innovationsprozesses.

- Mit dem Projekt in Spiez erfolgte auch der Wechsel von der Nassgas- zur Trockengasreinigung. Dies war gemäss dem heutigen Geschäftsführer Gemperle aus technologischer Sicht eine zentrale Weiterentwicklung, welche auch bereits Nachahmer fand. Die Anlage läuft merklich störungsfreier und muss nur noch alle 2'500 Betriebsstunden gereinigt werden.
- Ein für die weitere Unternehmensentwicklung und für die Holzvergasungstechnologie insgesamt essenzieller Meilenstein besteht in der Festigung der strategischen Zusammenarbeit zwischen Pyroforce und CTU durch die Gründung eines gemeinsamen Unternehmens im Jahr 2006, die Pyroforce Conzepte AG.
- Ein wichtiger Meilenstein stellt ferner der Liefervertrag für das Zentrum für Erneuerbare Energien in Güssing dar, wo Ende 2007 eine Pyroforce-Holzverstromungsanlage mit 300 kWel in Betrieb genommen werden konnte.
- Als letzter Meilenstein ist die erste Inbetriebnahme der Holzvergasungsanlage in Stans/Oberdorf im Dezember 2007 zu nennen. Seit März 2008 ist auch das zweite Modul in Betrieb und die Anlage liefert die geplante Leistung. Die Holzvergasungsanlage kann pro Jahr den Wärmebedarf von ca. 700 Einfamilienhäusern (ca. 9GWh Wärme) und den Strombedarf von rund 1500 Einfamilienhäusern (9GWh Strom) decken. Es ist noch offen, ob mit diesem Projekt ein kommerziell lohnender Langzeitbetrieb und damit der Durchbruch zur Markteinführung gelingt.
- Die Pyroforce/CTU-Technologie ist 2007 mit dem Label naturmade Star ausgezeichnet worden und wurde in Deutschland vom TÜV zertifiziert.

Gemäss den Technologie- und Marktrecherchen im Rahmen der vorliegenden Studie gibt es nur wenige ausländische Anbieter, welche Langzeit-Betriebs Erfahrung aufweisen und somit erfolgreich am Markt tätig sind. Dies wird auch durch das BFE bestätigt. Gemäss den Aussagen von Pyroforce ist die Pyroforce-Technologie eine der einzigen und zuverlässig funktionierenden Technologien im Gebiet der Festbett-Gleichstrom-Holzvergasung in Europa.

C) Umfeld Innovationsprozess Pyroforce / CTU

Marktumfeld

Eine der Stärken von Pyroforce liegt in einer intensiven und netzwerkbezogenen Kooperation und dem damit verbundenen Wissens- und Technologieaustausch. Zu diesem Netzwerk gehört insbesondere die CTU-Conzepte Technik Umwelt AG (CTU) in Winterthur im Bereich der Gasreinigungstechnologie. Der zweite wichtige Partner von Pyroforce ist die GE Jenbacher in Österreich. Die Zusammenarbeit mit CTU wird nachfolgend in einem Exkurs vertieft beleuchtet. Die beiden Firmen CTU und GE Jenbacher bringen ihre jeweiligen technologischen Stärken in ihren Kerngebieten in dieses Netzwerk ein und profitieren gleichzeitig von den Kompetenzen der übrigen Netzwerkpartner.

GE Jenbacher (Österreich) ist einer der weltweiten Marktführer und wichtigsten Technologieträger bei der Herstellung von Gasmotoren und Blockheizkraftwerken (BHKW) zur Energieerzeugung im Bereich der Wärme-Kraft-Kopplung. Auch Jenbacher profitierte von diesem Netzwerk, da es seine Technologie in Richtung Holzvergasung weiterentwickeln konnte. Mittlerweile weisen die Motoren von GE Jenbacher über 80'000 Betriebsstunden im Bereich der Holzvergasung auf. Alle Anla-

gen von Pyroforce sind mit Gasmotoren von Jenbacher ausgerüstet. Bei der Holzvergasungsanlage in Stans-Oberdorf (NW) sind es zwei Motoren, da die Anlage modularartig aufgebaut ist. GE Jenbacher hat im Rahmen der Entwicklung des Baus der Holzvergasungsanlagen von Pyroforce/CTU auch eigene Investitionen in die applikationsspezifische Anpassung ihrer Gasmotoren auf die Holzvergasung geleistet.

Gemäss den Aussagen von Pyroforce und CTU ist die Technologie heute grundsätzlich marktreif. Die Anwendung bleibt jedoch neben der Stromgenerierung vorerst begrenzt auf Fernwärme und Wärme-Kraft-Kopplung auf relativ tiefem Temperaturniveau. Dies eignet sich insbesondere für die Kombination von Heizung und Strom für Wohnüberbauungen oder kleine Gewerbebetriebe mit Holzabfällen. Zudem hat man die Vision, in Zukunft auch Betriebe mit höheren Temperaturanforderungen (über 200 Grad Celsius), also industrielle Kunden, beliefern zu können.

Standardisierungen gibt es bislang nur in sehr geringem Ausmass. Diese sind aber gerade im Bereich Holzvergasung ein wichtiges Ziel der momentanen Geschäftsaktivitäten. Verfahrenspatente zu erhalten ist jedoch sehr schwierig, da nicht der Vergasungsprozess per se, sondern nur bestimmte Teile von Apparaten patentiert werden können.

Für Pyroforce/CTU stehen momentan die Qualitätssicherung, der Langzeitbetrieb und die Sicherheit der Anlagen im Vordergrund. Investitionen in neue Anlagen sind immer noch mit hohen Unsicherheiten verbunden. Für die Anlage in Stans/Oberdorf wird mit einer Amortisation von rund 15-20 Jahren gerechnet. Die kommende Einspeisevergütung verbessert die Rentabilität der Holzvergasungsanlagen massgeblich. Nicht zuletzt hängen die Gestehungskosten der Energie bei der Anlage in Stans/Oberdorf stark von Holzpreis ab, wobei das oftmals nasse Frischholz (Waldholz) mit heute fünf bis sieben Rappen pro Kilowattstunde deutlich teurer ist als Altholz (unbehandelte Bauabfälle).

Ziel (und auch Idee der Wärme-Kraft-Kopplung) ist, auch die Wärme zu guten Preisen von heute neun bis elf Rappen pro Kilowattstunde Wärme zu verkaufen. Die erzeugte Wärme kann aber prinzipiell auch dazu genutzt werden, feuchtes Holz zu trocknen.

Pyroforce/CTU haben für den erzeugten Strom in der Anlage von Stans/Oberdorf eine Öko-Zertifizierung erhalten. Damit käme der Anlage zusätzlich zur Einspeisevergütung noch 5-6 Rappen pro Kilowattstunde zu. Dies ist allerdings mit hohen Zertifizierungskosten für das Label verbunden.

Deutschland ist erklärter Zielmarkt bezüglich Holzvergasung. Dies hängt auch damit zusammen, dass die Einspeisevergütung in Deutschland viel vorteilhafter ist. Ein potenzieller Kunde will bspw. acht Anlagen bauen, was natürlich ein weiterer Meilenstein für die Kooperation CTU/Pyroforce wäre.

Hochschulumfeld

Im Bereich der Holzvergasung in der Schweiz waren die Unternehmen den Hochschulen einen Schritt oder mehrere Schritte voraus. Anfänglich gab es kaum eine Zusammenarbeit von Seiten der Pyroforce mit Hochschulen. Dies war darin begründet, dass sich praktisch niemand in der Schweizer Hochschulszene spezialisiert und langfristig mit Holzvergasung auseinandersetzte. Intensiverer Kontakt besteht zu den Technischen Universitäten in Wien, Graz und Rostock. Gemäss den befragten Unternehmen sei an der ETHZ in den Bereichen Energie- und Abfallverwertung wenig passiert. Stärker sei die ETHZ im Motorenbereich.

Zu verschiedenen technischen Aspekten der Holzvergasungsanlagen von Pyroforce wurden an Fachhochschulen verschiedene kleinere Arbeiten (Semester- und Diplomarbeiten) verfasst, welche dem Unternehmen jedoch keinen grossen praktischen Nutzen brachten. Am meisten profitiert hat die Pyroforce vom PSI (bzgl. Messung der Gasreinheit) und von den Arbeiten zu Motoren an der ETH (in Zusammenarbeit mit GE Jenbacher). Sowohl Pyroforce als auch CTU hätten gern einen intensiveren Austausch mit den Hochschulen gepflegt.

Exkurs: CTU – Conzepte Technik Umwelt AG

Die enge Kooperation mit der Firma CTU – Conzepte Technik Umwelt AG seit mehreren Jahren ist von entscheidender Bedeutung für den erfolgreichen Innovationsprozess. Die CTU arbeitet im Bereich der Holzvergasung ferner mit weiteren Partnern im In- (Paul Scherrer Institut) und Ausland (Stadt Güssing, repotec in Österreich) zusammen.

Die CTU AG ist 2002 durch ein Management-Buy-Out aus der CT Umwelttechnik AG gegründet worden. Die CT Umwelttechnik AG war im Besitz der Austrian Energy (AEE) und entstand durch eine Übernahme der Umweltaktivitäten der Mutterfirma Sulzer in Winterthur. Die CTU AG beschäftigt heute insgesamt 38 Mitarbeiter. Die Unternehmenstätigkeit richtet sich auf den globalen Markt. Zurzeit befindet sich das Unternehmen in einer soliden Wachstumsphase. Für das Jahr 2007 wird ein Umsatz von 30 Mio. CHF angestrebt.

Die CTU ist auf thermisch-chemische Reinigungsprozesse spezialisiert. Die Gasreinigung bei reduktiven Prozessen, wie bei der Holzvergasung, ist ein weiteres wachsendes Standbein bei der Reinigungstechnologie, neben der unternehmerisch deutlich wichtigeren Reinigung von Rauchgas aus Verbrennungsprozessen (z.B. KVA, Sonderabfälle).

Forschung und Entwicklung hat einen zentralen Stellenwert bei der CTU und es werden pro Jahr mehrere Millionen CHF in neue und innovative Geschäftsfelder investiert. Die CTU diversifizierte ebenfalls in den Bereich Bioenergieerzeugung und erwarb ein Lizenzabkommen zum weltweiten Bau von Kompogas. Zudem ist die CTU auch in verschiedene Projekte und Machbarkeitsstudien zur Biogasherstellung in Erdgasqualität (Methanierung) involviert.¹⁴

Pyroforce und CTU arbeiten im Bereich der Gasreinigung und weiteren Aspekten der Holzvergasungstechnologie seit 1999 zusammen. Der entsprechende persönliche Kontakt entstand beim gemeinsamen Hochschulstudium des Entwicklungsleiters von Pyroforce mit dem Technikleiter von CTU. Die CTU hatte ein vitales Interesse in die Holzvergasung einzusteigen und sah dort grosse Zukunftschancen und Synergiepotenzial. Die frühe Zusammenarbeit war sinnvoll, da die damalige nasse Gas-Reinigungstechnologie von Pyroforce nicht gut funktionierte. Ursprünglich war CTU ein Unterlieferant von Pyroforce, sie wollte dann jedoch im Sinne einer gemeinsamen Problemlösung aktiver partizipieren. So entstand die P+D-Anlage in Spiez als erstes grösseres Joint Venture Projekt. Für Pyroforce war die CTU ebenfalls eine wichtige technologische und marktseitige Ergänzung, welche sich positiv auf die Kommerzialität resp. Vermarktbarkeit ihres Produktes auswirkte. Grund dafür war, dass die CTU schon länger auf dem Schweizer Markt und

¹⁴ Wichtige Kooperationspartner sind hier die Firma Repotec (Österreich), welche ebenfalls sich auf den Bau und die Entwicklung von Biomasse-Kraftwerken spezialisiert hat und die weltweite tätige M+W Zander FE GmbH als Generalunternehmerin. Dabei sollen Realisierungsmöglichkeiten für eine geplante thermochemische Anlage mit 100 MW Gasleistung aufgezeigt werden.

zudem auch auf ausländischen Märkten aktiv war und über zusätzliches Know-how in Bezug auf Anlagenbau oder Marktbearbeitung verfügte.

2006 wurde diese Kooperation vertieft durch die Gründung der Firma Pyroforce Konzepte AG als gemeinsame Vertriebsgesellschaft, welcher Herr Gemperle als Geschäftsführer vorsteht und an welcher beide Firmen einen Anteil von je 50 Prozent halten. Je 40 Prozent der Unteraufträge von der gemeinsamen Firma gehen an Pyroforce resp. CTU, die restlichen 20 Prozent an Jenbacher. Da Pyroforce für die F+E mehr Vorarbeit als die CTU geleistet und dadurch höhere Investitionskosten hatte, erhält sie auch einen grösseren Teil der Lizenzzahlungen von der gemeinsamen Firma.

Pyroforce ist in dieser Zusammenarbeit primär zuständig für den Vergaser, die Brennstoffzufuhr- und Verteilsysteme, sowie die Steuerung. Die Gesamtkoordination lief in Stans/Oberdorf über die CTU, beim Projekt in Güssing (Österreich) hat Pyroforce die Projektleitung inne.

Der Erfolg der Zusammenarbeit wird von beiden Seiten als hoch eingeschätzt. Man ist überzeugt die getätigten Investitionen zurückzuerhalten. Die Zusammenarbeit der beiden Firmen war sehr entscheidend und per se schon ein Mehrwert, da so Systemdenken, Sicherheitsüberlegungen und technologisches Know-how integriert und ein hohes Motivationsniveau aufrechterhalten werden können.

Zusammenarbeit mit unterstützenden Organisationen

Pyroforce hat Mitte der 1990er-Jahre beim BFE einen ersten Förderantrag gestellt. Die erhaltenen Beiträge werden von Pyroforce als positiv und hilfreich beurteilt. Das Fördervolumen war in etwa vergleichbar mit jenem bei Dasagren (vgl. Abschnitt 4.5.6).

Von den bis zum heutigen Zeitpunkt angefallenen Fördergeldern (ca. 0.9 Mio. CHF) musste jeweils ein Grossteil für Dritte verwendet werden. Konkret wurden vier Projekte vom BFE gefördert, zu welchen hier in einer kurzen Übersicht die zentralen Kennzahlen zusammengestellt sind:

- Projekt 1 (ab 1997): Vergasung verschiedener Holzfraktionen; Förderbeitrag zugesichert total: 175'000 CHF; total erhalten: 175'000 CHF (ca. 40'000 CHF pro Jahr); rund 70% der Gelder gingen an fremde Labor und Messinstitutionen, welche vorgeschrieben wurden.
- Projekt 2 (2000-2001): Forschungs- und Entwicklungsprojekt; Förderbeitrag zugesichert total: 260'000 CHF; total erhalten: 260'000 CHF; rund 50% gingen für Fremdleistungen (Equipment) weg.
- Projekt 3 (2003-2007): Forschungs- und Begleitprojekt; Förderbeitrag zugesichert total: 375'000 CHF; total erhalten: 360'000 CHF; zusätzliches Betriebspersonal für die Beobachtung und Messung wurde temporär eingesetzt, echte Fremdkosten fielen hier praktisch keine an.
- Projekt 4 (2005): Angewandte Begleitforschung; Förderbeitrag zugesichert total: 100'000 CHF; total erhalten: 100'000 CHF; diese Gelder wurden für eine Erneuerung der Steuerungstechnik (nach vier Jahren Betrieb) verwendet.

Neben der BFE-Förderung kam Pyroforce praktisch keine finanzielle Förderung zu: 2003 gab es Unterstützungsleistungen vom PSEL (Fördergesellschaft der ATEL) von ca. 20'000 CHF. Bei der KTI wurde jedoch kein Projekt beantragt, in erster Linie wegen des zu hohen formellen Aufwandes für die Anträge.

Heute spielt das BFE für die Kooperation Pyroforce/CTU eine untergeordnete Rolle. Man geht eher in Richtung europäische Projekte. So läuft momentan die Methanierung in Güssing unter dem 6. EU-Rahmenprogramm, im 5. Rahmenprogramm gab es ein Projekt zu Auto-Shredderrecycling, für die Holzvergasung i.e.S. läuft jedoch momentan kein europäisches Projekt.

Gemäss den befragten Unternehmen führe eine klare Kommunikation von Förderprioritäten und mittelfristigen Förderprioritäten sowie eine Energiepolitik, welche stärker auf erneuerbare Energien ausgerichtet ist zu einer höheren Investitionssicherheit. So sei die Einspeisevergütung im Unterschied zu Deutschland, Österreich oder Italien (certificato verde) und die Energiepolitik bspw. in Deutschland strategisch klarer ausgerichtet (EEG, Windkraft in Kombination mit Wirtschaftsförderung, Biomasse für Bauern). Bezüglich Holzvergasung wird vorgeschlagen, das BFE künftig der P+D-Unterstützung und dadurch der Markteinführung von Innovationen ein höheres Gewicht geben. Allerdings ist gegenwärtig mit der Streichung der P+D-Förderung eher die gegenteilige Entwicklung zu beobachten.

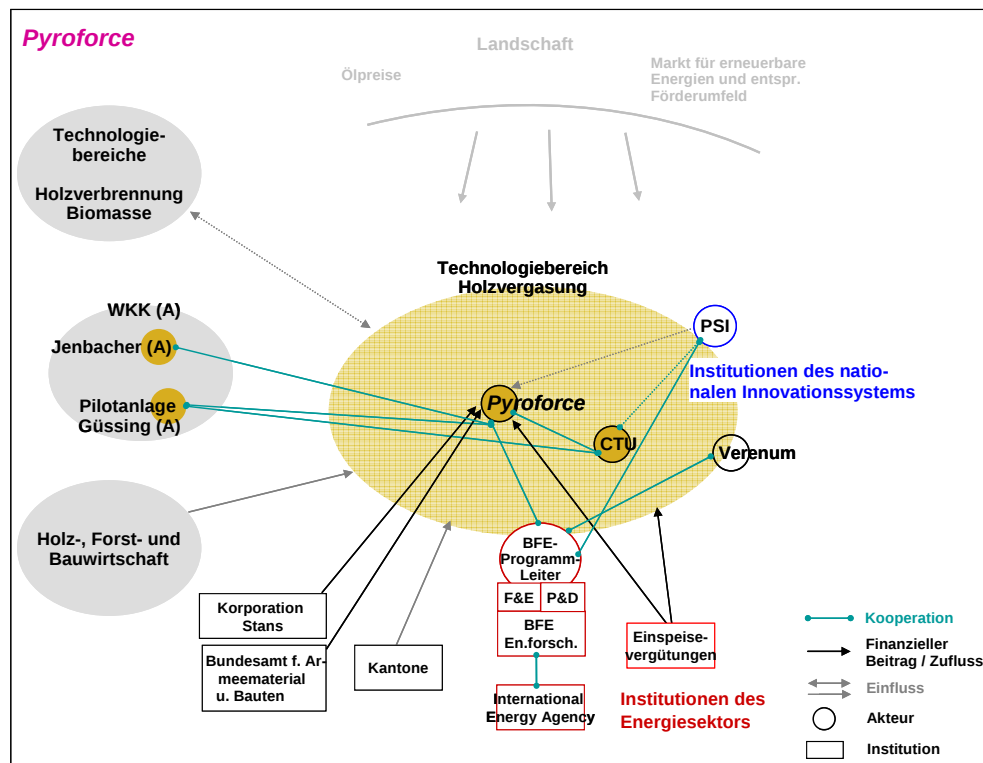


Abbildung 32: Wichtige Akteure und Institutionen für den Innovationsprozess Pyroforce

D) Förderfaktoren

- Umfeld -

- **(4⁺) Eigenkapital und Geldgeber aus persönlichem Umfeld anstelle Risikokapital von Banken:** Privates Eigenkapital ist und war ein tragendes Element der Unternehmenstätigkeiten. Bislang wurden von Pyroforce über 8.5 Mio. Franken investiert, wozu der Bund nur ca. zehn Prozent beisteuerte. Die Risikokapitalgeber waren in erster Linie privat und kamen aus dem persönlichen Umfeld (keine Banken). Dies wird als mittelfristig vorteilhaft beurteilt, da der Finanzierungsfokus in Zukunft generell weiter weg von der öf-

fentlichen Hand hin zu einer ausschliesslich privaten Finanzierung gehen wird. Auch in Deutschland wird bereits viel aus privaten Fonds alimentiert.

- **(8⁺) Bundesauftrag für Holzvergasungsanlage im Labor Spiez:** Das BFE war unterstützend massgeblich daran beteiligt, dass beim AC-Labor in Spiez eine erste P+D-Anlage gebaut werden konnte. Der entsprechende Auftrag kam vom Bundesamt für Armeematerial und Bauten, welches auch die Baukosten von ca. zwei Mio. Franken bezahlte. Dieses Bundesamt ist auch der Eigentümer der Anlage. Bei der Anlage in Spiez konnten wertvolle Betriebserfahrungen gesammelt werden. Dadurch entstand eine starke fachliche Kompetenz bzgl. Regelsystemen, Sicherheitsüberlegungen, etc. Dies vor dem Hintergrund, dass im Bereich Holzvergasung bis anhin noch keine Normen bestehen
- **Liefervertrag für Güssing:** 2006 erhielten Pyroforce und CTU – ohne vorgängige Ausschreibung – einen Liefervertrag für das Zentrum für Erneuerbare Energien in Güssing. Solche Projekte sind insbesondere für das Firmenimage bedeutsam.

- Innovationssystem -

- **(5⁺) Materielle und immaterielle Förderung durch das BFE:** Pyroforce hat Mitte der 1990er-Jahre beim BFE aus eigenem Antrieb einen ersten Förderantrag gestellt. Die darauf erhaltenen Beiträge waren zwar nicht enorm hoch, werden aber dennoch vom Unternehmen als durchaus positiv und hilfreich beurteilt. Insgesamt wurden bei der Pyroforce bislang vier Projekte vom BFE gefördert. Im kleinen Technologiebereich Holzvergasung hat das BFE immateriell einen ebenso starken Einfluss, da es potenzielle Auftraggeber (Bundesamt für Armeematerial und Bauten) positiv unterstützt hat. Die Kleinheit des Technologiebereiches und die persönlichen Kontakte erleichtern immaterielle Aspekte der Förderung wie bspw. Beratung, Netzwerkbildung im In- und Ausland, Marktbeobachtung, etc.
- **(6⁺) Technologische Basis:** Ein funktionierendes technisches Systemengineering wird als unverzichtbar bezeichnet. Die Technologie von Pyroforce darf international als ‚state-of-the-art‘ bezeichnet werden. Die Pyroforce-Technologie ist eines der wenigen zuverlässig funktionierenden Systeme auf dem Gebiet der Festbett-Gleichstrom-Holzvergasung in Europa.
- **(7⁺) Stärkung dank Zusammenarbeit mit CTU und Jenbacher:** Diese intensiven Formen der Zusammenarbeit stellten sich als sehr fruchtbar und erfolgreich heraus. So ist bspw. Jenbacher international eine derjenigen Firmen mit den grössten Betriebserfahrungen in der Holzvergasung, was gerade bei der Markteinführung von entscheidender Bedeutung ist. Auch die grosse, aber relativ schwach kapitalisierte Firma CTU war eine ideale Ergänzung für die finanzstarke Familie Gemperle. Durch die Zusammenarbeit wurden ein gesamtheitliches Systemdenken, vertiefte Sicherheitsüberlegungen und breites technologisches Know-how integriert. Auch zur Aufrechterhaltung des Motivationsniveaus war das Ganze sehr förderlich.
- **Immaterielle Förderung durch das BFE:** Neben der finanziellen Förderung durch das BFE, stärkte dieses auch die allgemeine Befürwortung resp. positive Einstellung gegenüber der Holzvergasungstechnologie. Der Technologiebereich Holzvergasung ist in der Schweiz klein und übersichtlich. Eine zum Teil kontinuierliche Unterstützung und Förderung durch das BFE förterte die Technologieentwicklung und den

- Unterstützung durch das PSI: Die praxisnahe Unterstützung durch die Forschung am PSI, welche grosse Fortschritte hinsichtlich der Messmethoden (Gasreinheit, Emissionen) ermöglichte, wird von den befragten Akteuren auf Unternehmensseite ebenfalls als sehr wichtig eingestuft. Zudem erhielt man vom PSI dank verschiedener persönlicher Kontakte des Öfteren auch eine spürbar motivierende moralische Unterstützung.
- Zugang zu Hochschulforschung dank Zusammenarbeit mit CTU: Gemäss Experteneinschätzungen war Pyroforce anfangs eher weit weg vom Hochschulsektor. Dies konnte jedoch durch die Etablierung der Zusammenarbeit mit CTU, welche einen direkteren Draht zu Hochschulen und zum PSI hatten, wettgemacht werden.
- Systemansatz und qualitative Vorteile: Ein weiterer wesentlicher Teil des Know-how von Pyroforce steckt in der Steuerung, Regelung und Überwachung der Gesamttechnologie. Dieses Systemdenken äussert sich auch in qualitativen Vorteilen in einem effizienten Gasreinigungsverfahren (d.h. höhere Verfügbarkeit) sowie in sehr geringen Abfall- und Emissionsmengen. Eine Gesamtsystem- und Lebenszyklusbetrachtung, nicht nur die Maschine an sich, ist also hochrelevant.

- Organisation -

- **(3*)** Vision und Optimismus der Geschäftsführung: Erfolgsentscheidend waren schon zu Beginn der Unternehmensentwicklung das visionäre Denken, der Optimismus und letztlich auch die Hartnäckigkeit des Vaters des heutigen Pyroforce-Geschäftsführers. Dieser begann 1994 mit der Holzvergasung und dem hochgesteckten Ziel, im Umwelttechnikbereich einen Innovationssprung bezüglich des Wirkungsgrades bei der Holzvergasung zu realisieren. Ohne diese mutige Grundsatzentscheidung wäre der gesamte Innovationsprozess gar nicht ins Rollen gekommen.
- Zusammenarbeit ohne enge finanzielle Verbindung: Als sehr vorteilhaft stellte sich heraus, dass die Zusammenarbeit ohne eine finanzielle Verbandelung geschah, so dass sich jeder Kooperationspartner weiterhin mit einer intakten Anreizstruktur konfrontiert sah und mit eigenen Mitteln arbeitete. Pyroforce agiert bezüglich der Holzvergasung als Leader in diesem Netzwerk.
- Identifikation und Beteiligung der Mitarbeiter: Die MitarbeiterInnen von Pyroforce identifizieren sich zu in höchstem Masse mit der Unternehmung. Sie stehen stolz hinter dem Produkt und sind mit einer Erfolgsbeteiligung auch am Entwicklungs- und Innovationsprozess beteiligt.

E) Hemmfaktoren

- Innovationssystem -

- Nur wenig Zusammenarbeit mit Hochschulen: Anfänglich gab es kaum eine Zusammenarbeit von Seiten der Pyroforce mit Schweizer Hochschulen, weil die Holzvergasung dort praktisch nirgends explizit vertreten war/ist. Der Bereich erneuerbare Energien konzentriert sich an Schweizer Hochschulen im Allgemeinen stark auf den klassischen Maschinenbau. Dies dürfte mit ein Grund dafür sein, dass der Partnerfirma CTU zurzeit gut ausgebildete Fachkräfte und Spezialisten fehlen.

- Organisation -

- **(4⁺) Keine Kooperation zwischen den Hauptkonkurrenten:** Auch wenn eine Kooperation zwischen Pyroforce und Dasagren zusätzliche Synergien sowie eher eine kritische Masse hätte schaffen können, so ist diese Zusammenarbeit laut Pyroforce auch in Zukunft aus verschiedenen Gründen kaum vorstellbar oder erwünscht gewesen.
- **Persönliche Faktoren in der Geschäftsführung:** Gemäss eigenen Aussagen handelte Pyroforce-Geschäftsführer Gemperle früher etwas zu zurückhaltend und ‚zu wenig frech‘. Diese nicht-aggressive Geschäftsweise konnte jedoch durch den kompetitiven Vorteil aus der Zusammenarbeit mit CTU und Jenbacher wettgemacht werden. Eine Schwierigkeit liegt darin, auch in heiklen Phasen nicht die Motivation und den Optimismus zu verlieren.
- **Kritische Phasen in der Zusammenarbeit mit Projektpartnern:** Auch in der Zusammenarbeit mit CTU gab es verschiedene kritische Phasen und Rückschläge, bei welchen das gegenseitige Vertrauen auf die Probe gestellt wurde.

F) Kernaspekte des Falls

In der Entwicklung der Holzvergasungstechnologie bei der Pyroforce Energietechnologie AG sind zwei Phasen zu unterscheiden. Mitte der 1990er-Jahre begann der Innovationsprozess in einer ersten Phase mit ersten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Holzvergasungsbereich. Durch die Entwicklung einer soliden technologischen Basis **(6⁺)** wurden die visionären Ideen des Vaters des heutigen Geschäftsführers Herbert Gemperle umgesetzt und gleichzeitig eine Marktnische besetzt **(3⁺)**. Diese Neuorientierung war sehr investitionsintensiv und erforderte eine Umfirmierung der alten Hydrotest AG in Pyroforce Energietechnologie AG, welche sich seit 1999 in einer zweiten Phase ausschliesslich mit Holzvergasung befasst.

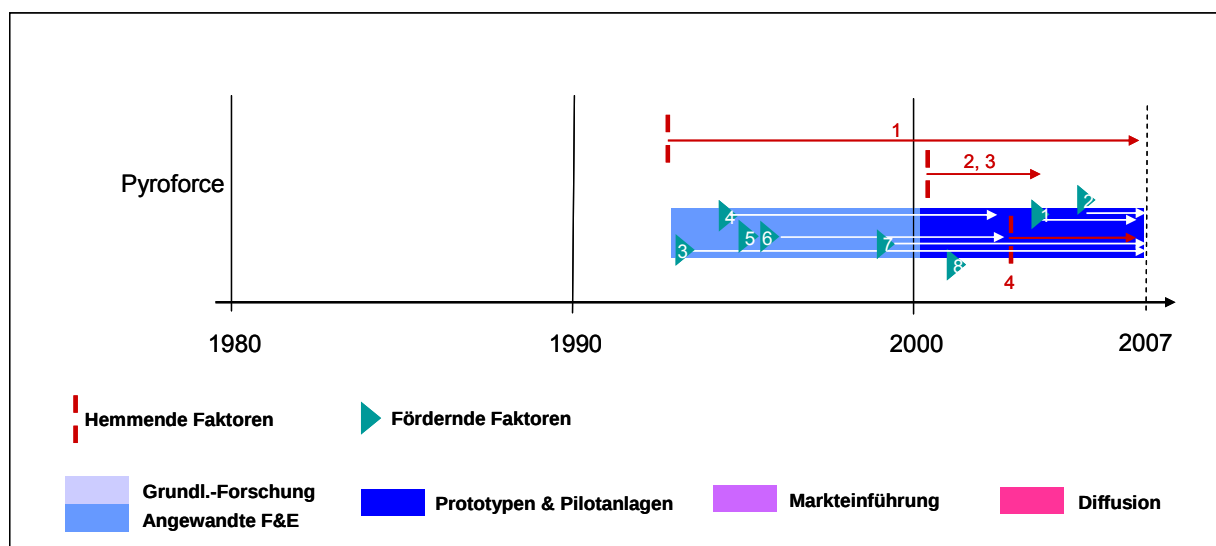


Abbildung 33: Innovationsphasen und zentrale Einflussfaktoren bei Pyroforce im Überblick

Von Beginn weg operierte das Unternehmen primär mittels Eigenkapital und Ressourcen von Geldgebern aus dem persönlichen Umfeld **(4⁺)**. Schon 1998 wurden die für den Innovationsprozess essenziellen *Zusammenarbeitsverträge mit den Firmen CTU und Jenbacher* unterzeichnet **(7⁺)**. Kurz darauf startete mit dem Bun-

desauftrag für eine Pilotanlage in Spiez (BE) die eigentliche P+D-Phase bei Pyroforce (8⁺). Ende 2007 und in einem zweiten Modul 2008 ging die bislang grösste Holzvergasungsanlage der Schweiz in Stans/Oberdorf (Kanton NW) an das Netz.

Vergleichsweise wenig Betriebserfahrung ist immer noch ein Hemmfaktor bei der Marktumsetzung (3⁻). Die jüngere Vergangenheit von Pyroforce, als auch die intensive Zusammenarbeit mit CTU und Jenbacher kann als Erfolg und Treiber für den Innovationsprozess beurteilt werden. Neben dem Sammeln von wertvoller Betriebserfahrung steht in den nächsten Jahren die weitere Markteinführung und -durchdringung in der Schweiz und zunehmend auch im benachbarten Ausland im Vordergrund.

Das Marktpotenzial für Holzvergasung ist in der Schweiz vorhanden. Wichtig ist, dass neben dem Stromabsatz auch der Wärmeabsatz gewährleistet ist. Gleichzeitig verbesserten sich in der jüngeren Vergangenheit auch die Marktbedingungen (1⁺) infolge des starken Ölpreisanstiegs auch indirekt deutlich, obwohl der Ölpreis relativ zum Holzpreis noch immer ökonomisch vorteilhafter ist (1⁻). Allerdings braucht es zur effektiven Durchdringung des Marktes gemäss Experteneinschätzung eine Vervielfachung des zurzeit eingesetzten Kapitals (2⁻).

Tabelle 12: Realer und potenzieller Einfluss des BFE auf zentrale Förder- und Hemmfaktoren des Innovationsprozesses Pyroforce

Holzvergasung: Pyroforce			
Zentrale Förderfaktoren		Zentrale Hemmfaktoren	
Nr. Beschreibung	Realer / Potenzieller Einfluss des BFE	Nr. Beschreibung	Realer / Potenzieller Einfluss des BFE
1 ⁺ Marktpotenzial erneuerbare Energien und positive Veränderung der Rahmenbedingungen	- / -	1 ⁻ Ölpreisabhängigkeit	- / -
2 ⁺ Geplante Erhöhung der Einspeisevergütung in der Schweiz	o / o	2 ⁻ Mangelndes Investitionskapital	- / o
3 ⁺ Vision/Optimismus Geschäftsführung	- / -	3 ⁻ Eher wenig Betriebserfahrungen	o / +
4 ⁺ Eigenkapital und Geldgeber aus persönlichem Umfeld	- / -	4 ⁻ Keine Kooperationen oder Austausch mit Hauptkonkurrent Dasagren	- / o
5 ⁺ Materielle und immaterielle Unterstützung BFE	++ / ++		
6 ⁺ Technologische Basis	o / +		
7 ⁺ Zusammenarbeit mit Jenbacher und CTU	- / -		
8 ⁺ Bundesauftrag Anlage Labor Spiez	++ / ++		
++ Grosser realer Einfluss + Realer Einfluss o Geringer realer Einfluss - Kein realer Einfluss		++ Grosser potenzieller Einfluss + Potenzieller Einfluss o Geringer potenzieller Einfluss - Kein potenzieller Einfluss	

Eine Optimierung des politischen Rahmens ist für den Schweizer Holzvergasungsmarkt von zentraler Bedeutung, die Einspeisevergütung ist ein wichtiger Treiber für die Marktumsetzung (2⁺). Mitunter hat auch das BFE neben den materiellen Förderbeiträgen eine wichtige Rolle eingenommen, indem sie (direkt oder

indirekt) die Öffentlichkeit sensibilisiert und ihre Förderaktivitäten stärker auf die Umsetzung der Holzvergasungstechnologie ausrichtet (5⁺).

Eine Intensivierung der Konkurrenz im Markt für Holzvergasungsanlagen in der Schweiz wäre gemäss den befragten Personen bei Pyroforce und CTU aus Innovationsperspektive wünschenswert und fruchtbar. Eine höhere Anzahl erfolgreicher Akteure am Markt würde generell Vertrauen schaffen und potenziellen Auftraggebern auch mehr Transparenz und Zuverlässigkeit signalisieren, was angesichts des heutigen, dünnen Marktumfelds kaum möglich ist. Andererseits wären auch partielle Kooperationen zwischen den am Markt tätigen Anbieter sinnvoll. Allerdings fand zwischen den Hauptkonkurrenten Pyroforce und Dasagren weder eine Zusammenarbeit noch ein Informationsaustausch statt (4⁻).

Tabelle 12 zeigt ferner, dass das BFE einen massgeblichen Einfluss aufwies beim Bundesauftrag der P+D-Anlage beim Labor Spiez (8⁺) sowie bei der materiellen und immateriellen Förderung (5⁺), welche auch zur Stärkung der technologischen Basis beitrug (6⁺). Zusätzliche Ansatzpunkte oder eine Stärkung der Förderung werden rückblickend bei der Stärkung der technologischen Basis (6⁺) oder bei einer intensiveren Sammlung von Betriebserfahrungen (3⁻) gesehen.

Die in Tabelle 12 und Abbildung 33 dargestellten wichtigen Förder- und Hemmfaktoren werden in Abbildung 34 wichtigen Akteuren und Institutionen des Innovationsprozesses zugeordnet.

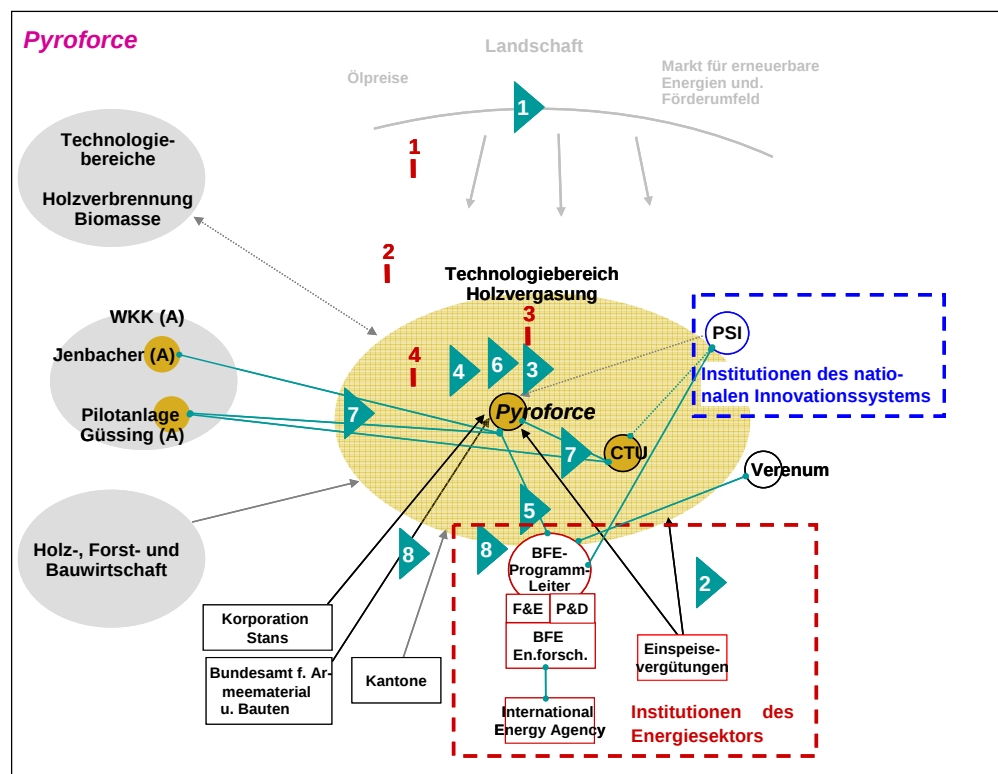


Abbildung 34: Verortung zentraler Einflussfaktoren des Innovationsprozesses Pyroforce

4.6.6 Fallstudie **dasagren**

A) Kurzportrait

Die Fallstudie dasag renewable energy AG, in der Folge dasagren genannt, basiert auf drei Interviews mit dem Gründer, Dr. Hari Sharan sowie dem heutigen Geschäftsführer Dr. Peter Gut von dasagren. Ein weiteres Interview wurde mit Herrn Oliver Bosshard von Woodpower AG, Holzvergasungsanlage mit Komponenten von dasagren, durchgeführt.

Das Unternehmen dasag renewable energy AG (dasagren) ist 2003 von vier Personen in Zürich gegründet worden. Kernkompetenz von dasagren ist die Planung und Erstellung von Holzvergasungsanlagen sowie die Entwicklung und die Integration der Gasreinigungstechnologie als wichtiges Kernstück von Holzvergasungsanlagen. Woodpower AG ist in den Jahren 2006 und 2007 der zentrale Kooperationspartner von dasagren in der Schweiz. Die von Woodpower betriebene Holzvergasungsanlage ist bis heute die einzig realisierte Holzvergasungsanlage von dasagren in der Schweiz. Dasagren war 2007 zwischenzeitlich im Technopark Zürich angesiedelt und beschäftigte rund 4 Mitarbeiter (ca. 3 VZÄ). Ende 2007 hat dasagren die Geschäftstätigkeit aufgegeben und Anfang Januar ist der gesamte Verwaltungsrat ausgetreten und die Unternehmenstätigkeit ist (vorübergehend) aufgegeben worden.

Die Unternehmensgeschichte und der Innovationsprozess von dasagren reichen weit in die 80er Jahre zurück und werden stark durch die Persönlichkeit von Dr. Hari Sharan geprägt. Hari Sharan darf als ‚Spiritus Rector‘ der Holzvergasungstechnologie in der Schweiz bezeichnet werden und hat die Entwicklung und den Aufbau dieser Technologie in der Schweiz sowie die verschiedenen Etappen des Innovationsprozesses bei dasagren bzw. deren Vorgänger- und Partnerfirmen stark mitgeprägt. Der Technologietransfer von Indien in die Schweiz ist ein zentrales Element für das Verständnis der Technologieentwicklung und des Innovationsprozesses. Dies erfordert die Berücksichtigung von Milestones, welche zum Teil zeitlich gesehen weit zurückliegen.

B) Technologische und organisatorische Meilensteine

Bereits während der 1970er-Jahre stieg der grösste indische Energiekonzern BHEL (Bharat Heavy Electricals Ltd.) in den F+E-Bereich von erneuerbaren Energien ein. Dr. Hari Sharan (Mitgründer von dasagren), früher als Forschungs- und Entwicklungsleiter in der Schweiz bei Sulzer Winterthur tätig, war damals Mitglied der Geschäftsleitung und für die Ingenieurarbeiten und die Forschung und Entwicklung bei der BHEL verantwortlich. Der staatliche Energiekonzern hat eng mit indischen Hochschulen, darunter auch mit dem international renommierten Indian Institute of Science in Bangalore, zusammengearbeitet. Es bestand eine enge Zusammenarbeit zwischen indischen Staat, den Hochschulen sowie den einzelnen Industriepartnern im Rahmen eines Public Private Partnership.

In den 1980er-Jahren erfolgten in Indien die wichtigsten technologischen Schritte hinsichtlich F+E einer neuen Vergaser- und Reinigungstechnologie in Zusammenarbeit mit lokalen Unternehmen in Indien, dem indischen Staat sowie dem Indian Institute of Science in Bangalore. Die damals entwickelten Vergaser arbeiteten in einem sehr tiefen Leistungsbereich (5 kW) und zeichnen sich durch ein offenes

System aus, d.h. der anfallende Teer wird nochmals verbrannt (Open Top Down Craft Return Gasifier). Es wurden in Indien ca. 300 Vergaser produziert, welche unter den lokalen klimatischen Bedingungen und den lokalen Ressourcen (verfügbare Arbeitskräfte) in Betrieb genommen werden konnten. Ein wichtiges Ziel besteht in der dezentralen und autarken Energieversorgung von Dörfern in Indien. Zugleich sollen durch Holzvergasungsanlagen auch gezielt lokale Wertschöpfungsketten gestärkt werden. Über das Funktionieren im Dauerbetrieb sind uns keine näheren Angaben bekannt. Herzstück der Holzvergasungsanlagen sind die Gasreinigungssysteme.

In diese Zeit fällt auch die Gründung von netpro renewable energy india pvt. Ltd. Indien durch Dr. Hari Sharan. Das Unternehmen ist auch heute noch ein führender Anbieter von Holzvergasungs-Anlagen in Indien. In der Schweiz wird 1979 durch Hari Sharan die Firma Dasag Energy Engineering Ltd. gegründet. Dasag Energy verfolgt Beratungsaufträge in den Bereichen Umwelt-, Energie- und Entwicklungspolitik. Die Firma ist über die Person von Hari Sharan auch in der Entwicklung der Holzvergasungstechnologie tätig und ist somit ebenfalls zentral für den Technologietransfer von Indien in die Schweiz. Die Firma ist auch heute noch am Standort in Seuzach (ZH) tätig.

Ein erster wichtiger Schritt des Technologietransfers in die Schweiz erfolgte während den 1990er-Jahren durch die Entwicklung einer ersten P+D-Anlage in Châtel-St.-Denis (FR). Das Projekt wird in der Schweiz getragen von dasag engineering und dem lokal verankerten Centre Competence Châtel-St.-Denis (CCC). Hauptziel der P+D-Anlage war neben der Adaption der Holzvergasungstechnologie aus Indien und der Anpassung an lokale Temperaturen, eine Automatisierung der Anlage mit weniger personellen Ressourcen, sowie erste Tests zur Erfüllung von Umweltbedingungen und Sicherheitsstandards. Die Funktionstests wurden durch das Biomassezentrum die ETHZ durchgeführt. Die P+D-Anlage wurde finanziell getragen durch die Firma dasag engineering und dem CCC. Das Projekt ist nur durch die Finanzierung des BFE (Qualifikation und Tests der Holzvergasungsanlage) zu Stande gekommen. Die erstellte P+D-Anlage in Châtel-St.-Denis war nicht für den Dauerbetrieb konzipiert und es wurden 150 Stunden-Tests durchgeführt.

In einer nächsten Phase zwischen 1999 und 2001 erfolgten erste Tests zur Ankoppelung eines Caterpillar-Motors (Liebherr) zur gleichzeitigen Erzeugung von Wärme und Strom aus dem Holzgas (Wärme-Kraft-Kopplung). Die Hauptleitung des P+D-Projektes ging an CCC über, welches sich auch finanziell stärker engagiert hat. Neben hohen Investitionskosten, verlief der Betrieb der Anlage nicht störungsfrei – der angestrebte Dauerbetrieb der Anlage wurde nicht erreicht – und verursachte weiterhin hohe Wartungskosten.

In diese Zeit fällt auch die Gründung der Firma Xylowatt S.A. in Châtel-St.-Denis. Die finanzielle Mehrheitsbeteiligung lag nicht mehr bei dasag engineering sondern bei einer lokalen Planungsfirma in Châtel-St.-Denis. 2001 erfolgte eine Mehrheitsbeteiligung (Übernahme) durch Dimag Energie AG (später Menag Energie AG) an Xylowatt S.A verbunden mit einer massiven Kapitalaufstockung. Menag Energie AG galt als führende Herstellerin in der Schweiz für Blockheizkraftwerke. Die Holzvergasungstechnologie eröffnete verschiedene Synergien mit den von Dimag und später Menag entwickelten Gasmotoren und dem BHKW-Bereich. Dr. Hari Sharan und dasag engineering ziehen sich aufgrund von Meinungsdivergenzen über die technische und strategische Ausrichtung vollständig von Xylowatt zurück. dasag engineering wollte sich, auch aufgrund tieferer F+E-Kosten, weiterhin stark nach Indien ausrichten, Xylowatt versuchte das technologische Standbein in der Schweiz zu stärken.

Ab 2000 erfolgte der Aufbau einer zweiten P+D-Anlage in Bulle, als Folgeprojekt von Chatel-St.-Denis unter der Federführung von Xylowatt S.A. Aufgrund neuer Anforderungen waren neue Gasreinigungsverfahren erforderlich (Turbolader), welche zu zusätzlichen technologischen Problemen bei der Wärme-Kraft-Kopplung führten. Trotz beträchtlichem Interesse von potenziellen Investoren ist keine Anlage verkauft worden. Zudem ist, neben weiteren Problemen, das Ziel eines, zumindest näherungsweise, erfolgreichen Dauerbetriebes nicht erreicht worden.

Die Menag Energie AG, wie auch die Holding-Gesellschaft Menag Holding AG gehen 2006 wegen massiver Überschuldung in Konkurs. Wichtige Gründe waren der starke Preiskampf bei Blockheizkraftwerken und Notstromanlagen. Die Übernahme der Xylowatt S.A. war kein Grund für das Scheitern der Menag Energie AG.

Im Jahr 2003 erfolgte die Gründung von dasag renewable energy AG (dasagren) in Zürich. Hauptidee der neugegründeten Unternehmung war wiederum die Idee des Technologietransfers aus Indien im Bereich der Holzvergasungstechnologie. Die Forschung und Entwicklung der Holzvergasungstechnologie und dabei insbesondere der Gasreinigung findet weitgehend in Indien statt. Ein wichtiges Unternehmensziel bestand in der Realisierung eines konkreten und funktionierenden Projektes und Holzvergasungs-Kraftwerkes in der Schweiz. Bis 2005 war dasagren jedoch keine wirkliche Firma, sondern war eher auf 'stand-by' geschaltet. Die Firma bestand im Wesentlichen aus vier Verwaltungsräten sowie einem teilzeitlich angestellten Mitarbeiter im Bereich F+E. Über die Person von Dr. Hari Sharan bestehen sehr enge personelle und auch finanzielle Verknüpfungen mit Indien und der dort ansässigen Firma netpro.

Im Frühjahr 2006 erhält dasagren die vertragliche Zusicherung, den Kern einer Holzvergasungsanlage und damit die in Indien entwickelte und auch erprobte Technologie der Gasreinigung an die Firma Woodpower in Wila (ZH) zu liefern. Ein bedeutender Teil des benötigten Kapitals wird über eine Beteiligungsgesellschaft der Bank Sarasin (New Energies Invest AG) zur Verfügung gestellt. Die New Energies Invest AG investiert in erfolgreiche Unternehmen aus dem gesamten Bereich von erneuerbaren Energien.

Die Lieferung der Komponenten aus Indien sowie die Adaption dieser Technologie an die Verhältnisse in der Schweiz standen unter einem grossen Zeitdruck. Der Aufbau und die Installation der Anlage war zudem mit grossen technischen und für dasagren auch finanziellen Problemen verbunden (vgl. spätere Ausführungen). Zwischenzeitlich stand dasagren nahe am finanziellen Konkurs.

Ende 2006 wurde die Unternehmensstruktur von dasagren den neuen Anforderungen angepasst. Bislang war nur eine schwache operative Leitung vorhanden, es existierte keine operative und administrative Führung, kein Projekt- und Kostencontrolling und kein Sekretariat. Zudem wird die strategische Führung (Verwaltungsrat) stärker vom operativen Geschäft (Geschäftsleitung) entflochten. Seit Anfang 2007 verfügte dasagren in der Person von Dr. Peter Gut über eine neue und interimistische Geschäftsführung. Zudem hatte dasagren im Verlaufe des Jahres 2007 den Mitarbeiterstand leicht erhöht und ist in das Areal des Technoparks Zürich eingezogen.

Obwohl schon im Frühjahr 2007 in der Presse positiv über das Funktionieren der Anlage in Wila berichtet worden ist, waren weiterhin verschiedene grössere Schwierigkeiten zu überwinden, um die Holzvergasungsanlage in Wila lauffähig zu machen. Gemäss den Aussagen von dasagren und Woodpower Ende August 2007 war die Anlage in Wila damals lauffähig. Die Anlage wird von Woodpower

unter den gegebenen vorteilhaften Bedingungen auch wirtschaftlich betrieben werden können.

In November 2007 zerstörte ein Brand wichtige Teile der Holzvergasungsanlage in Wila. Verschiedene Teile der Anlage mussten neu aufgebaut bzw. modifiziert werden. dasagren war bei den erneuten Aufbau- und Konstruktionsarbeiten nicht mehr involviert. Gemäss Aussagen von Herrn Bossard (Woodpower AG) ist die Anlage im Frühjahr 2008 wieder lauffähig.

Ende 2007 bzw. Anfang 2008 trat der gesamte Verwaltungsrat aus der Firma dasagren aus. Die Unternehmenstätigkeit ist bis auf weiteres suspendiert worden.

Zusammenfassend betrachtet beinhaltet der Innovationsprozess aus institutioneller und organisatorischer Sicht folgende Meilensteine:

- Grundlagenforschung im Bereich der Holzvergasungstechnologie in Indien sowie der Wissens- und Technologietransfer vom ‚Süden nach Norden‘.
- Applikationstests und Aufbau erster P+D-Anlagen in der Westschweiz.
- Gründung verschiedener Unternehmen in der Schweiz und in Indien.
- Gründung, Aufbau und Entwicklungsprozess von dasagren (dasag renewable energy) AG.
- Substanzielle Mitbeteiligung am Aufbau der Holzvergasungsanlage in Wila (Woodpower).
- Relaunch von dasagren im Jahr 2007, aber Insolvenz und (vorübergehende) Aufgabe der Unternehmenstätigkeit Ende 2007 bzw. 2008.

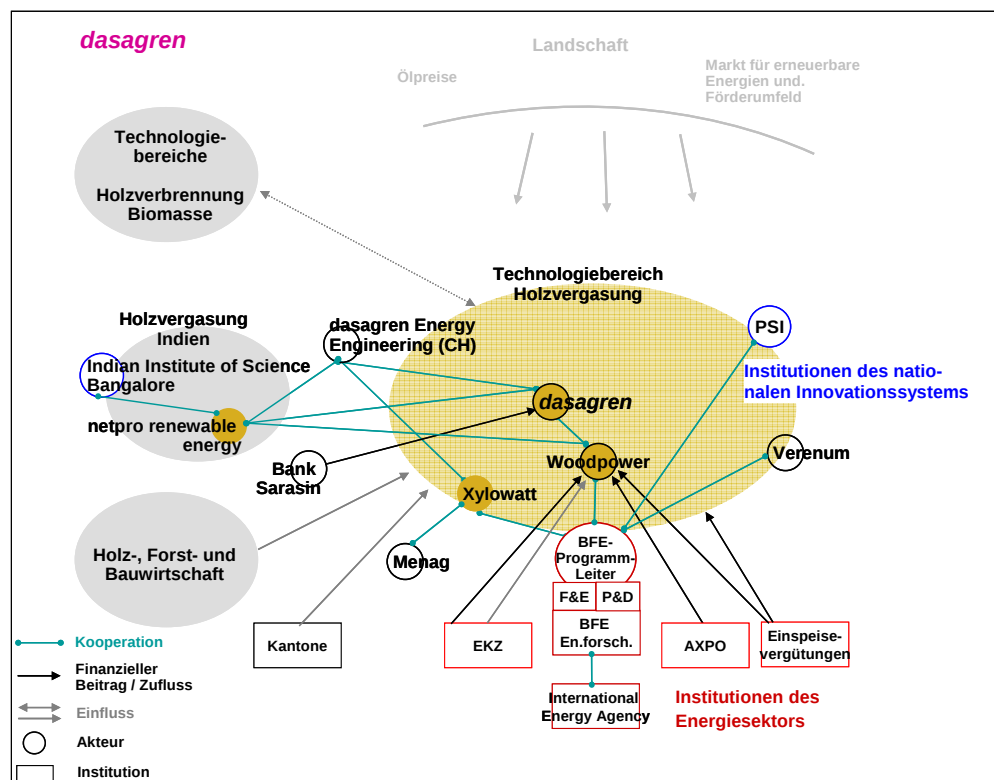


Abbildung 35: Wichtige Akteure und Institutionen für den Innovationsprozess dasagren

C) Umfeld Innovationsprozess dasagren

Marktumfeld

Wesentliche Aspekte des marktlichen und technologischen Umfeldes von dasagren sind bereits in den Abschnitten 4.5.2-4-5.4 sowie bei den fallstudienbezogenen Meilensteine dargestellt worden.

Speziell hervorzuheben sind bei dasagren die zeitlich weit zurück reichenden Innovationsprozesse, die engen Verbindungen nach Indien sowie der erste realisierte Auftrag für und die Zusammenarbeit mit der Woodpower AG in Wila.

Exkurs: Holzvergasungsanlage von Woodpower in Wila (ZH)

Die Firma Woodpower AG ist ein Gemeinschaftsunternehmen der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) und eines Sägerei- und Holzbaubetriebes der Familie Bosshard in Wila (ZH). Das Unternehmen wurde im Dezember 2005 gegründet. Im Vordergrund steht die Idee einer weitergehenden energetischen Nutzung des anfallenden Restholzes. Durch die Holzvergasung kann die Wertschöpfungskette des Holzbaubetriebes erweitert werden indem gleichzeitig Strom und Wärme erzeugt wird.

Bei Woodpower wird die Wärmenutzung für die Holzschnitzeltrocknung verwendet und nicht, wie bei der Anlage in Oberdorf/Stans (vgl Fallstudie Pyroforce), in ein Wärmenetz eingespeist. Die Holzvergasungsanlage kann pro Stunde rund 450 kg Restholz aus der Sägerei und weiteren Lieferanten aus der Region verarbeiten.

Bei der Holzaufbereitung wird das von den Kunden angelieferte Holz für die Produktion von Holzschnitzeln auf eine vorgegebene Grösse gestückelt und durch die Wärme aus der Holzvergasung getrocknet.

Bei der Holzvergasung wird das Restholz aufbereitet, weiter getrocknet und den in Abschnitt 4.6.1 dargestellten Prozess der Holzvergasung (Pyrolyse, Oxydation und Reduktion) unterzogen. Die Asche wird ausgetragen und die Holzkohle wiederum dem Vergasungsreaktor zugeführt. Die Nassreinigung des Holzgases verläuft in einem geschlossenen System und in mehreren Stufen und kühlt gleichzeitig das Gas ab. Die Zusammensetzung, der Heizwert und der Staubgehalt des Gases werden laufend analysiert, bevor das Gas dem Blockheizkraftwerk und dem Gasmotor zugeführt wird, um gleichzeitig Strom (1/3 der Energieerzeugung) und Wärme (2/3 der Energieerzeugung) zu generieren.

Das Leistungsspektrum der Holzvergasungsanlage ist mit 350 kWh - 450 kWh elektrischer Leistung deutlich höher als bei den Anlagen von Pyroforce. Um dennoch einen höheren Leistungsbereich zu erreichen, werden die Anlagen von Pyroforce bei der Holzvergasungsanlage in Stans-Oberdorf modular geschaltet.

Gemäss Oliver Bosshard sind bei der Anlage von Woodpower aus technischer Sicht zwei Elemente als innovativ zu bezeichnen. Erstens eine gute Wärmenutzung als Voraussetzung für einen kommerziell rentablen Betrieb sowie zweitens das technologische Prinzip des Holzvergaser aus Indien und damit verbunden die Qualität des erzeugten Gases.

Mitte 2007 steckte gemäss Woodpower die Anlage in Wila mit einem Bein noch im P+D-Stadium und es musste noch einiges an zusätzlicher Entwicklung geleistet werden um einen kommerziell möglichen Dauerbetrieb zu erreichen. Die grössten Herausforderungen bestanden im Know-how Transfer und der Systemintegration der von netpro in Indien gelieferten technischen Komponenten der Holzverga-

sungsanlage. Grosse Probleme ergaben sich zudem bei der automatischen Steuerung der Anlage.

Durch einen Brand der Anlage im November 2007 musste ein bedeutender Teil der Holzvergasungsanlage neu aufgebaut werden. Gemäss Aussagen von Oliver Bosshard (Woodpower AG) sind Ende Februar 2008 die meisten technologischen Probleme gelöst und die Anlage wird den Betrieb aufnehmen.

Bei Woodpower sind folgende Treiber und Erfolgsfaktoren des Innovationsprozesses zu nennen.

- Funktionierendes Netzwerk von Unternehmen und Spezialisten beim Aufbau und der Weiterentwicklung der Holzvergasungsanlage, welches teilweise ad hoc zusammengestellt werden musste, um neu auftauchende Probleme zu lösen.
- Familienbezogene Teamkonstellation bei Holzverarbeitungsbetrieb der Familie Bosshard (Oliver Bosshard, Vater und Bruder), welche sich gegenseitig stark unterstützten.
- Zusammenarbeit mit EKZ mit substanzieller finanzieller, technischer und auch ideeller Unterstützung. Gleichzeitig hat die Schweizer Energiegruppe AXPO das Projekt durch die Gewährung einer substanziellen Einspeisevergütung zusätzlich unterstützt.
- Rasches und vergleichsweise unkompliziertes Bewilligungsverfahren bei den kantonalen Behörden, obwohl der Bau einer Holzvergasungsanlage für die Behörden Neuland war.

Die grössten Hemmfaktoren sind wie folgt zu situieren:

- Schwierige Zusammenarbeit mit dasagren im Bereich der Technologieadaption aus Indien in die Schweiz (Systemintegration, Steuerung).
- Quereinstieg der Firma Bosshard in die Holzvergasungstechnologie (Woodpower AG) und das damit zum Teil fehlende technologische Know-how, welches durch das Netzwerk abgedeckt worden ist.

D) Förderfaktoren

- Umfeld -

- **(4⁺)** Technologietransfer vom Süden in den Norden: dasagren wäre ohne die technologischen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Indien und die enge Zusammenarbeit mit den dort ansässigen Firmen (u.a. netpro) nicht gegründet worden. Ein bedeutender Teil der Forschung und technologischen Entwicklung der Anlagen von dasagren hat in den 1980er- und den 1990er-Jahren in Indien stattgefunden. Die Holzvergasungstechnologie ist in Indien durch staatliche Förderung sowie durch F+E am international renommierten Indian Institute of Science in Bangalore wesentlich unterstützt worden (Public-Private-Partnership).
- **(7⁺)** Engagement eines Venture Capital-Fonds: Im Zuge des ersten grösseren Kundenauftrages und durch die Zusammenarbeit mit Woodpower in Wila (ZH) gelang es dasagren im Rahmen eines New Energy Investment-Fonds der Bank Sarasin in Basel Risikokapital zu akquirieren und damit einem drohenden Konkurs der Firma zu entgehen, eine Neustrukturierung und -ausrichtung des Unternehmens vorzunehmen und den Auftrag von Woodpower trotz verschiedener technologischer Schwierigkeiten umzusetzen.

- Innovationssystem -

- **(5⁺) Unterstützung durch das BFE in früheren Phasen der Technologieentwicklung:** Die Vorgängeranlagen von dasagren sind durch das BFE in verschiedenen Phasen gefördert worden.
 - (5a⁺)** In einer ersten Phase der Förderung (1995-1999) stand die Qualifikation der indischen Basistechnologie durch Tests der bestehenden Anlagen in Indien durch Experten des damaligen Biomassezentrums der ETHZ im Vordergrund. In der Folge wurde in einer ersten P+D-Anlage in Châtel-St.-Denis auch eine mögliche Adaption in der Schweiz – Anpassung an schweizerische Klimaverhältnisse, Automatisierung und Unterhalt der Anlage sowie die Erfüllung von Umweltbedingungen geprüft.
 - (5b⁺)** In einer zweiten Phase wurde die Ankopplung eines Gasmotors (Caterpillar von Liebherr) getestet.
 - (5c⁺)** Die dritte Phase der BFE-Förderung beinhaltete die Gründung der Firma Xylowatt. Dasag Engineering Ltd. verfügte nur noch über eine Minderheitsbeteiligung, zwischenzeitlich lag die Mehrheitsbeteiligung bei lokalen Akteuren in Châtel-St.Denis. Hauptziel war die Sammlung von weiteren Betriebserfahrungen und das Vorantreiben der Kommerzialisierung der Holzvergasung.
 - (5d⁺)** In der Pilotanlage von Bulle (Xylowatt) wurden die Automatisierung und die Ankopplung eines Gasmotors weiterentwickelt. Xylowatt wurde zwischenzeitlich von Menag übernommen. Menag ging 2004 Konkurs.
- **(6⁺) Konkreter Auftrag von Woodpower in Wila (ZH):** Der erste Kundenauftrag für dasagren bei Woodpower darf heute und rückblickend als Erfolg bezeichnet werden. Ohne das grosse Engagement, die Vision und den Durchhaltewillen des Unternehmens Woodpower, welches als Gemeinschaftsunternehmen eines Holzverarbeitungsbetriebes und der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) entstanden ist, wäre die Holzvergasungsanlage nicht möglich gewesen. Die konkrete Umsetzung und Adaption der indischen Technologie in die Schweiz führte während des Projekts zwischenzeitlich zu grossen Problemen, welche zum Teil gar das Projekt gefährdeten. Die finanzielle Unterstützung und Beteiligung der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) an der Entwicklung und am Betrieb der Holzvergasungsanlage in Wila war entscheidend.
- **Technologische Basis und Know-how bei dasagren:** Die Grundlage der Technologie von Dasagren der Gasreinigung wird von Experten als technologisch weit entwickelt und auch international konkurrenzfähig eingeschätzt. Probleme bestehen bei der Systemintegration in komplexe Anlagen und der konkreten Adaption in der Schweiz (Steuerung, Automatisierung).
- **Bildung von Netzwerken:** Sowohl bei den Vorgängerfirmen und -anlagen in Chatel-St.-Denis, Bulle, sowie bei der jüngst aufgebauten Anlage in Wila haben Netzwerke (Ingenieur- und Installationsfirmen) die technologische Entwicklung bei den P+D-Anlagen weitergetrieben.

- Organisation -

- **(3⁺) Persönlichkeit, visionäres Engagement und Networking des Gründers und Spiritus Rector von dasagren:** Die Adaption und die Entwicklung der Holzvergasungstechnologie in der Schweiz wird massgeblich durch das visionäre und auch ideelle Engagement von Dr. Hari Sharan geprägt. Sowohl in Indien als auch in der Schweiz bei der Holzvergasungstechnologie war Sharan ein wichtiger Treiber der Entwicklung. Neben der Technologie

der Holzvergasung steht auch die entwicklungspolitische Dimension eines Technologie- und damit auch Innovationstransfers vom Süden in den Norden im Vordergrund.

- **(8⁺) Relaunch der Firma Ende 2006:** dasagren war bis zum ersten Kundenauftrag keine wirkliche Firma, welche operativ tätig war. Die strategische Führung war viel stärker ausgebaut als die operative Führung. dasagren nimmt eine Umstrukturierung der Unternehmung vor und stärkt mit der Person des interimistischen Geschäftsführers Dr. Peter Gut die operative Führung des Unternehmens. Der Relaunch der Firma manifestiert sich auch im Umzug in den Technopark Zürich Mitte 2007. Aufgrund fehlender Kundenaufträge und der massiven technologischen Probleme bei der Entwicklung und dem Aufbau der Holzvergasungsanlage bei Woodpower war damals die unternehmerische Zukunft von dasagren noch nicht gesichert.

E) Hemmfaktoren

- Innovationssystem -

- **(4⁺) Technologische und unternehmerische Entwicklung in Etappen und mit Brüchen und Rückschlägen durchsetzt:** Die technologische Entwicklung seit den 1990er-Jahren ist durch verschiedene Etappen mit Brüchen und auch Rückschlägen durchsetzt (vgl. B) Technologische und organisatorische Milestones). Es ist bis heute noch nicht gelungen, der Unternehmensidee zum Durchbruch zu verhelfen und den Beweis für die Markteinführung zu erbringen.
- **(5⁺) Nur geringe Forschungs- und Entwicklungsleistungen bei dasagren und in der Schweiz:** Ein Grossteil der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten bei der Holzvergasung sind in Indien durchgeführt worden. Die fehlende F+E-Verankerung in der Schweiz könnte ein wichtiger Grund für die Schwierigkeiten bei der Adaption der Technologie sein
- **(8⁺) Schwieriger Transfer der Technologie von dasagren aus Indien in die Schweiz (Woodpower):** Der Wissens- und Technologietransfer aus Indien hat sich als sehr schwierig erwiesen. Insbesondere hat die Qualitätskontrolle bei dasagren in der Schweiz nicht funktioniert.
- **Fehlende Zusammenarbeit mit Hochschulen und weiteren Forschungsorganisationen in der Schweiz:** Die F+E-Leistungen der von dasagren angebotenen Technologien sind stark bei den strategischen Partnerfirmen in Indien verankert. Es fehlen daher Kontakte mit schweizerischen Hochschulen und anderen Forschungsorganisationen in der Schweiz, welche die Adaption der Technologie von Indien in die Schweiz erleichtern.
- **Seit Gründung von dasagren nur loser Kontakt und keine weitere Förderung durch BFE:** Das BFE war bei F+E und bei der Unterstützung von P+D-Anlagen bis Ende der 1990er-Jahre bei den Vorgängerfirmen von dasagren massgeblich beteiligt. Seit der Gründung von dasagren 2003 hat dieser Kontakt nur mehr lose bestanden.
- **Neben Indien kein weiterer Markt in Europa:** dasagren ist stark auf die technologische Basis in Indien fokussiert und über die Partnerfirmen auf den Markt in Indien fixiert. Neben dem bislang einzigen Kundenauftrag für Woodpower ist es nicht gelungen, weitere Akquisitionen in der Schweiz oder in den umliegenden Ländern (vgl. Güssing bei Pyroforce/CTU) zu tätigen

oder auf den inländischen oder auch ausländischen Märkten stärker präsent zu sein.

- Organisation -

- **(6⁺) Fehlende Management-Kompetenzen bei dasagren:** Die operative Leitung bei dasagren war bis Ende 2006 mangelhaft. Die fehlende operative und zum Teil auch strategische Unternehmensführung hat zu Altlasten geführt, so dass der erste grössere Kundenauftrag für Woodpower nur mit grossen technologischen Schwierigkeiten und mit ad-hoc integrierten Projektpartnern fertiggestellt werden konnte.
- **(7⁺) Zu geringe Kapitalisierung und fehlende Investoren:** Eine geringe Kapitalisierung und eine fehlende Finanzierungsbasis haben auch dazu geführt, dass die finanzielle Basis für die Zusammenarbeit mit und die technologischen Weiterentwicklungen (F+E) bei Woodpower gefehlt haben. Die Firma dasagren musste deshalb Ende 2007 Insolvenz beantragen. Anfang Januar (Handelsregister-Eintrag) ist der gesamte Verwaltungsrat aus der Firma ausgetreten.
- **Unterschiedliche Vorstellungen über strategischen Kurs der Firma:** Bei Xylowatt (Menag) als auch bei der Markteinführung der Technologie mit Woodpower bestanden erhebliche Differenzen über den strategischen Kurs der Technologieumsetzung. Mögliche Optionen waren der Bau von lizenzierten Holzvergasungsanlagen in der Schweiz, mit einer höheren technologischen Sicherheit verbunden mit deutlich höheren Investitionen, oder der Technologietransfer von Indien in die Schweiz mit verschiedenen Schwierigkeiten bei der Technologieadaption. Dies führte dazu, dass sich der Mentor und Gründer der Firma dasagren, Dr. Hari Sharan, aus der vormaligen Firma Xylowatt zurückzog.
- **Konkurs Menag (Holder von Xylowatt):** Der Konkurs der Firma Menag, welche bei der Vorgängerfirma von dasagren Xylowatt eine Mehrheitsbeteiligung erworben hat, bremste die Technologieentwicklung.

F) Kernaspekte des Falls

Die technologische Entwicklung und der Innovationsprozess bei der dasag renewable energy AG (dasagren) reichen zeitlich über 20 Jahre zurück. Die Darstellung und Bewertung des Innovationsprozess hat daher auch Vorgängerfirmen von dasagren in die Betrachtung ein zu beziehen.

Die Persönlichkeit, das visionäre Engagement sowie das Networking des Gründers von dasagren, Dr. Hari Sharan, spielt für die Technologieentwicklung und den Gründungsprozess von dasagren eine wichtige Rolle **(3⁺)**. Ein zentrales Element, welches eng mit der Person von Dr. Hari Sharan verbunden ist, ist der Technologietransfer von Indien in die Schweiz **(4⁺)**. Verschiedene Projekte im Bereich F+E sowie P+D, insbesondere auch für die Adaption der indischen Technologie, sind bereits bei Vorgängerfirmen von dasagren initiiert und durchgeführt worden. Die Unterstützung des BFE in diesen früheren Phasen hat den Innovationsprozess massgeblich weitergetragen **(5⁺)**.

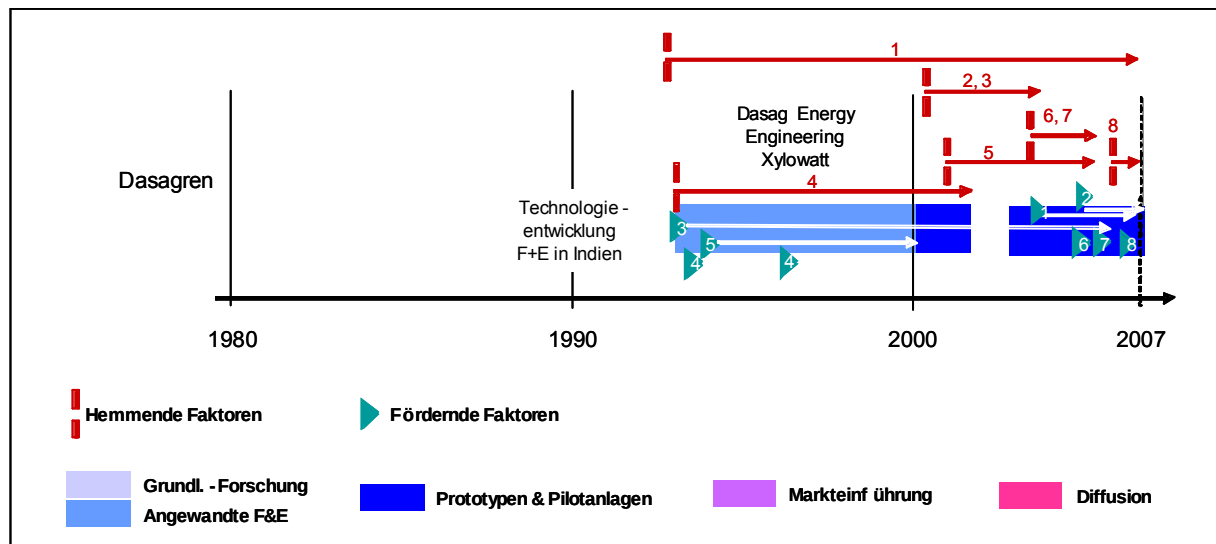


Abbildung 36: Innovationsphasen und zentrale Einflussfaktoren bei dasagren im Überblick

In jüngerer Zeit waren hingegen die Kontakte zwischen dem BFE und dasagren lose und das Unternehmen dasagren bzw. deren Projekte sind durch das BFE nicht gefördert worden. Der einzige realisierte Kundenauftrag von dasagren wurde für die Holzvergasanlage der Woodpower AG in Wila (ZH) durchgeführt (6⁺). Aufgrund dieses Projektes ist es dasagren gelungen, Venture Capital zu akquirieren und damit auch den Finanzierungs- und Investitionsbedarf für einen bestimmten Zeitraum abzudecken (7⁺). Die fehlenden Finanzmittel und Investoren sowie die zu geringe Kapitalisierung von dasagren haben aber dennoch dazu geführt, dass die Unternehmenstätigkeit Ende 2007 aufgegeben werden musste (7⁻). Auch der Relaunch des Unternehmens durch eine neue Geschäftsführung und eine Stärkung der operativen Leitung Ende 2006 und während des Jahres 2007 konnte einen Turnaround nicht herbeiführen (8⁺). Bis zu diesem Zeitpunkt waren fehlende Managementkompetenzen und eine mangelnde operative Unternehmensführung ein grosser Schwachpunkt des Unternehmens (6⁻).

Über einen längeren Zeitraum betrachtet war die technologische und auch unternehmerische Entwicklung von dasagren und ihrer Vorgängerfirmen von Etappen und Brüchen durchsetzt (4⁻). Der Technologietransfer von Indien in die Schweiz gestaltete sich insbesondere beim Aufbau der Holzvergasanlage von Woodpower als schwierig (8⁻). Ein wesentliches Hindernis war der geringe Anteil von F+E-Leistungen in der Schweiz (5⁻).

Tabelle 13: Realer und potenzieller Einfluss des BFE auf zentrale Förder- und Hemmfaktoren des Innovationsprozesses dasagren

Holzvergasung Dasagren			
Zentrale Förderfaktoren		Zentrale Hemmfaktoren	
Nr. Beschreibung	Realer / Potenzieller Einfluss des BFE	Nr. Beschreibung	Realer / Potenzieller Einfluss des BFE
1 ⁺ Marktpotenzial erneuerbare Energien und positive Veränderung der Rahmenbedingungen	- / -	1 ⁻ Ölpreisabhängigkeit	- / -
2 ⁺ Geplante Erhöhung der Einspeisevergütung in der Schweiz	o / o	2 ⁻ Mangelndes Investitionskapital	- / o
3 ⁺ Persönlichkeit, visionäres Engagement und Networking des Gründers und Spiritus Rector	- / -	3 ⁻ Eher wenig Betriebserfahrungen	o / +
4 ⁺ Technologietransfer Süd - Nord	+ / +	4 ⁻ Technologische und unternehmerische Entwicklung in Etappen und mit Brüchen durchsetzt	- / o
5 ⁺ Unterstützung BFE in früheren Phasen (6a-6d)	++ / ++	5 ⁻ Nur geringe F+E-Leistungen in der Schweiz bei dasagren	- / +
6 ⁺ Konkreter Auftrag von Woodpower in Wila	- / +	6 ⁻ Fehlende Managementkompetenzen und schwache Unternehmensführung	- / o
7 ⁺ Engagement Venture-Capital Funds	- / o	7 ⁻ Fehlende Finanzmittel und Investoren sowie zu geringe Kapitalisierung von dasagren	- / o
8 ⁺ Relaunch Unternehmen durch neue Geschäftsführung und Stärkung operative Geschäftsführung	- / o	8 ⁻ Schwieriger Transfer der Technologie von Indien in die Schweiz	- / o
++ Grosser realer Einfluss + Realer Einfluss o Geringer realer Einfluss - Kein realer Einfluss		++ Grosser potenzieller Einfluss + Potenzieller Einfluss o Geringer potenzieller Einfluss - Kein potenzieller Einfluss	

Wie bei Pyroforce, war auch bei dasagren die mangelnde Betriebserfahrung (in der Schweiz) ein massgeblicher Hemmfaktor bei der Marktumsetzung der Technologie (3⁻). Fehlendes Investitionskapital und eine ungenügende kritische Masse tragen wesentlich dazu bei (2⁻). Das Marktpotenzial für die Holzvergasung und die Rahmenbedingungen (1⁺, 2⁺) haben sich jedoch in jüngerer Zeit massgeblich zu Gunsten der Technologie der Holzvergasung, wie auch bei anderen erneuerbaren Energien, verändert. Die künftige Entwicklung wird aber weiterhin von der Entwicklung des Ölpreises abhängen (1⁻). Auch für dasagren wäre eine Intensivierung der Konkurrenz im Markt für Holzvergasungsanlagen in der Schweiz aus Innovationsperspektive wünschenswert und fruchtbar gewesen.

Tabelle 13 zeigt ferner, dass das BFE einen massgeblichen Einfluss aufwies in Bezug auf den Technologietransfer von Indien in die Schweiz (4⁺). Die materielle und immaterielle Unterstützung des BFE war vor allem in früheren Phasen des Innovationsprozesses und der Technologientwicklung gegeben (5⁺). Eine Stärkung von F+E in der Schweiz hätte die Position von dasagren sicherlich gestärkt (5⁻). Der Bau der Holzvergasungsanlage in Wila (ZH) durch die Woodpower AG geschah ohne Unterstützung des BFE (6⁺). Ein stärkeres Engagement des BFE wäre

möglich gewesen und hätte indirekt auch die F+E sowie die Innovationsprozesse bei dasagren gestärkt.

Die in Tabelle 13 und Abbildung 36 dargestellten wichtigen Förder- und Hemmfaktoren werden in Abbildung 37 wichtigen Akteuren und Institutionen des Innovationsprozesses von dasagren zugeordnet.

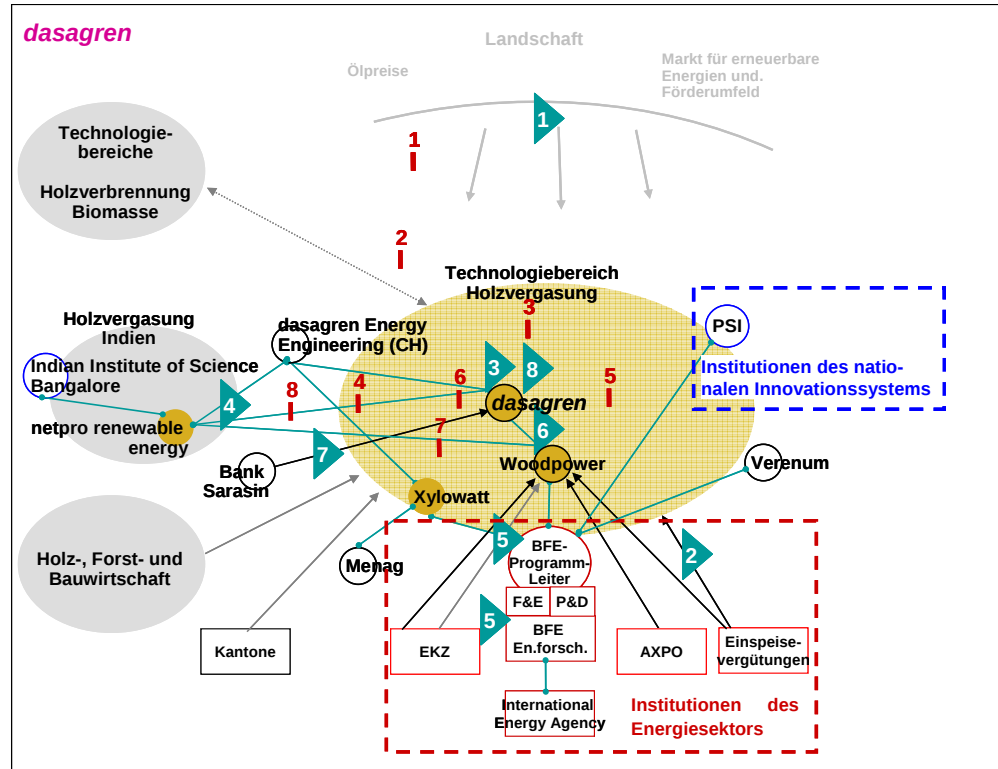


Abbildung 37: Verortung zentraler Einflussfaktoren des Innovationsprozesses bei dasagren

4.6.7 Haupterkenntnisse Holzvergasung für die Innovationsförderung

2007 teilen in der Schweiz Pyroforce und dasagren mit ihren jeweiligen Partnern CTU und Woodpower den technologischen Markt. Ende 2007 hat dasagren allerdings Insolvenz angemeldet und die Zukunft dieses Technologieanbieters und somit auch des Technologietransfers von Indien in die Schweiz scheint höchst ungewiss zu sein. Dies kontrastiert mit dem Aufschwung, der sich seit wenigen Jahren bei der Holzvergasungstechnologie beobachten lässt.

National und international befinden sich die Anlagen mit einem Bein noch im P+D-Stadium, stehen aber vor der Markteinführung. Die Technologie hat sich in den letzten Jahren nochmals verbessert und durch die bestehenden Anlagen in Spiez (Pyroforce/CTU) seit 2003, Wila (Woodpower/dasagren) seit 2007, sowie Stans/Oberdorf seit 2008 (Pyroforce/CTU) konnten wichtige Betriebserfahrungen gesammelt werden. Die Schweiz gehört international im tieferen Leistungsbereich mit zu den Technologieführern. Netzwerke zwischen einzelnen Industriepartnern sind wichtig für die Technologieentwicklung und die Innovationsprozesse. In den letzten Jahren kam allerdings die Markteinführung nicht recht voran.

Die F+E Aktivitäten im Bereich der Holzvergasung reichen in der Schweiz bis Ende der achtziger Jahre zurück. Der Technologietransfer von Indien in die Schweiz spielte eine wesentliche Rolle für die Etablierung der Technologie in der Schweiz. Die Grundlagenentwicklungen wurden relativ rasch in den 1990er-Jahren vollzogen, so dass in jüngerer Vergangenheit kaum mehr relevante technologische Entwicklungen zu beobachten waren, sondern primär das Engineering beim Anlagenbau und die Systemintegration (Automatische Steuerung, Emissionsproblematik) verbessert wurde.

Fehlende Betriebserfahrungen waren hingegen bis 2007 ein Kernproblem der Technologie. Die Fallstudien zeigen zudem, dass die Innovationsprozesse stark durch einzelne Persönlichkeiten und deren ideelles Engagement getragen werden. Das BFE hat die Holzvergasungstechnologie vor allem in den später 1990er-Jahren und frühen 2000er-Jahren durch F+E (Technologietransfer Indien Schweiz) und verschiedene P+D-Anlagen unterstützt.

Das Sammeln von Betriebserfahrungen und die Erreichung eines hohen Standes an Betriebssicherheit sind entscheidend für die Markteinführung bei der Holzvergasung. In der Schweiz fehlte die kritische Masse an privatem Investitionskapital, um der Holzvergasungstechnologie schneller zum Durchbruch auf dem Markt zu verhelfen. Dies, obwohl die Technologie der beiden Unternehmensgruppen Pyroforce/CTU und dasagren/Woodpower in den Leistungsbereichen kleinerer und dezentraler Holzvergasungsanlagen technologisch und international zu den Marktführern gezählt werden darf. Fehlende P+D-Mittel lassen die Marktumsetzung nicht so recht vorankommen. Auch die Unterstützung des BFE für P+D-Anlagen vermochte das fehlende private Risikokapital nicht zu ersetzen.

Es zeigt sich in den einzelnen Fallstudien, dass die regulatorischen Rahmenbedingungen, d.h. die Energie- resp. Förderpolitik, von zentraler Bedeutung sind für die Investitionsanreize, die weitere Marktentstehung sowie die Preisbildung im noch wenig entwickelten Markt der Holzvergasung. Es hat sich ebenfalls gezeigt, dass Erwartungen bezüglich einer Erhöhung der Einspeisevergütung die Entwicklung in Richtung Marktumsetzung beschleunigt haben. Problematisch sind hingegen die unterschiedlichen Normen und fehlende Standards und die damit verbundene (Investitions)-Unsicherheit bei Bewilligungsverfahren (Sicherheit, Umwelt, Raumplanung).

Hinsichtlich der Finanzierung der Investitionen werden sich (potenzielle) Anlagenhersteller zunehmend auf private Gelder von Privaten konzentrieren, da die Markteinführung durch das BFE nicht direkt gefördert wird.

Neben Pyroforce und dasagren sind im benachbarten Ausland (insbesondere in Deutschland) mehrere Dutzend Firmen bei der Entwicklung der Holzvergasung und im Anlagenbau tätig, wovon jedoch, gemäss Expertenmeinung, die meisten kaum über Umsetzungs- resp. Betriebserfahrungen verfügen. Zukunftsmärkte sind für die Schweiz demgemäss vor allem Deutschland und Italien sein, wo die Einspeisevergütungen wesentlich attraktiver ausgestaltet sind als hierzulande.

Eine stärkere Ausrichtung auf Europa ist zwingend notwendig: Heute spielen die in der Praxis zum Zug kommenden Schweizer Förderinstrumente (wie das BFE) für die Kooperation Pyroforce-CTU eine untergeordnete Rolle. Man geht eher in Richtung europäisch geförderter Projekte d.h. ohne eine internationale Ausrichtung der Firmentätigkeit wäre also kein Wachstum möglich.

Auf Hochschuleseite war und ist die Holzvergasung im tieferen Leistungsbereich und bei dezentralen Anlagen in der Schweiz nur sehr schwach verankert. Ein stärkeres Standbein an FH's (Engineering, Anlagenbau) hätte die Weiterentwicklung

der Holzvergasung beim Engineering und Anlagenbau befruchtet. Bei den Wirbelschichtvergasern und bei der Methanierung von Holzgas zu Erdgas gehört jedoch das Paul Scherrer Institut zu den weltweit führenden Technologieanbietern.

Lessons-to-learn resp. Implikationen für die Förderung

Das BFE hat im Technologiefeld Holzvergasung in einer ersten Förderphase zwischen den späten 1980er- und den 1990er-Jahren verschiedene F+E-Grundlagenprojekte unterstützt – so wurden insbesondere Xylowatt (Vorgängerfirma von dasagren) und Pyroforce gefördert. Seit Mitte der 1990er-Jahre werden vorwiegend P+D-Projekte gefördert und es wird weniger auf Forschung und Entwicklung fokussiert.

Durchschnittlich wurden von Seiten des BFE rund 30 bis 40 Prozent an die F+E-Aufwendungen bezahlt, d.h. private Investoren steuerten einen wesentlichen Anteil selbst dazu bei. Bei den P+D-Projekten lag der Anteil der öffentlichen Finanzierung deutlich tiefer. Dieses finanzielle Fördervolumen ist relativ gering. Zudem wurde seit 2004 – abgesehen von einem Zertifizierungsprozess bei Pyroforce und einem Projekt beim PSI (mit 400'000 CHF gefördert) – praktisch nichts mehr unterstützt.

Das BFE hat vor allem in früheren Förderungsphasen teilweise die Rolle eines Förder- und Innovationspaten wahrgenommen. Die Kontinuität der Förderung war aber zum Teil nicht gewährleistet worden (dasagren). Dies ist insbesondere auf das Unternehmens-, Technologie- und Innovationsmanagement von dasagren zurückzuführen.

Im Jahr 2004 stellten die Verantwortlichen beim BFE fest, dass die kritische Masse für weitere wesentliche Fortschritte im Innovationsprozess vor allem im Hinblick auf die Etablierung und Durchsetzung der Technologie sowie hinsichtlich der Markteinführung in der Schweiz nicht vorhanden ist. Praktisch gleichzeitig wurden die Gelder für P+D-Projekte gestrichen, so dass heute keine neuen P+D-Fördergelder zur Verfügung stehen.

Neben direkten finanziellen Unterstützungsleistungen finden sich auch wesentliche immaterielle Formen der BFE-Förderung im Bereich Holzvergasung. So stärkte das BFE die allgemeine Befürwortung resp. positive Einstellung gegenüber der Technologie. Dadurch hat das BFE in den Augen der befragten Unternehmer immateriell einen höheren Wert als materiell, indem es (potenzielle) Auftraggeber sensibilisiert und positiv beeinflusst. Nicht zuletzt ist das BFE auch beim Networking verschiedener Akteure am Markt aktiv. In Deutschland hat das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 2004 signifikant zur Erhöhung der Investitionssicherheit im Bereich erneuerbare Energien beigetragen.

Aufgrund des fortgeschrittenen Entwicklungsstandes der Technologie, welche sich an der Marktreife befindet, sind einzelne weitere Ansatzpunkte für eine Förderung (durch das BFE) auszumachen. Mögliche und sinnvolle Förderprojekte könnten sich auf den Markteinführungsprozess und bisherige Forschungslücken wie bspw. die partielle Messung und Optimierung des Vergasungsprozesses, Sicherheits- oder Umweltaspekte oder genereller auf die Stärkung von technischen und ökonomisch fundierten Performance-Tests (Funktionssicherheit, Effizienz) fokussieren. Dies vor dem Hintergrund des Sammelns weiterer Betriebserfahrungen und eines künftig kommerziell möglichen Betriebes der Holzvergasungsanlagen.

Die Ausgangslage ist also heute eine andere als noch in den 1990er-Jahren, als das BFE bei den Versuchs- und P+D-Anlagen in Châtel-St.-Denis und später auch in Spiez in einem relativ frühen Innovationsstadium einstieg.

5. Konzept Indikatorenset und ausgewählte Indikatoren

5.1 Fragestellung, Zielsetzung und Hypothesen

Die vorliegende Studie zielt schwergewichtig auf eine qualitativ orientierte Aufarbeitung und Darstellung von Innovationsprozessen. Ein Schwerpunkt, der in Kapitel 4 dargelegten Fallstudien bzw. ausgewählten Technologiebereichen, liegt in einer differenzierten Erfassung und Beurteilung von Erfolgs- und Misserfolgsk Faktoren bei Innovationsprozessen sowie in einer synthetischen Zusammenfassung der Ergebnisse und einer Identifikation von Problemzonen und Erfolgsquellen sowie einer Ableitung von ersten Handlungsfeldern und Instrumenten für Optimierungspotenziale in Kapitel 6.

Das vorliegende Kapitel 5 beinhaltet einen konzeptionellen Vorschlag eines Sets von innovationsrelevanten Indikatoren und Kennzahlen, anhand welcher verschiedene Aspekte eines Innovationsprozesses quantitativ abgebildet und operationalisierbar gemacht werden können. Dazu gehören verschiedene Charakteristika von Innovationsprozessen oder die Messung der Intensität von Innovationsprozessen (Innovationsleistung).

Das hier vorgeschlagene Indikatorenset verfolgt verschiedene Ziele:

- Übersicht und kurze Beschreibung eines ganzen Sets möglicher Indikatoren zur Abbildung und Charakterisierung von Innovationsprozessen.
- Auswahl einzelner Indikatoren für das Monitoring und das Coaching von geförderten Innovationsprojekten (Operatives Controlling) sowie zur systematischen Bereitstellung von Begleitinformationen.
- Zuordnung der ausgewählten Indikatoren zu einzelnen Innovationsphasen.
- Umsetzung eines ausgewählten Indikatorensets im Rahmen der einzelnen Fallstudien.

Das hier vorgestellte Indikatorensystem bewegt sich konzeptionell auf der Ebene einzelner Unternehmen (resp. Fällen) und nicht auf der Ebene von Technologiebereichen.

Das Indikatorenkonzept bzw. die vorgeschlagenen Indikatoren können nicht dazu verwendet werden, technologische Förderschwerpunkte oder einzelne Schlüssel-Technologiebereiche oder ‚besonders förderungswürdige‘ Firmen zu identifizieren. Dies wäre Teil eines weiterführenden Technologie-Monitorings oder einer Portfolioanalyse. Zu beachten ist zudem, dass Indikatoren stets einen selektiven Fokus haben, also nur einen Teil der Realität abbilden.

Ein wichtiger Teil des hier vorgeschlagenen Indikatorensets bezieht sich auf den generierten volkswirtschaftlichen Nutzen von Innovationsprozessen. Es ist daher naheliegend, dass bei den hier dargestellten Indikatoren die der Forschung und Entwicklung nachgelagerten Innovationsphasen der Markteinführung und -umsetzung und der Diffusion stärker betont werden.

Ausgangspunkt der nachfolgenden Überlegungen ist ein breites Listing von möglichen Indikatoren aus der Literatur (vgl. Überblick in Berwert & Zehnder 2006) sowie eine Diskussion von weiteren möglichen Indikatoren, welche während der vorliegenden Studie erarbeitet worden sind.

Diese breite Übersicht an möglichen Indikatoren wird in einem nächsten Schritt aufgrund von Kosten-Nutzen-Überlegungen in ein überblickbares Set von relevanten und erhebbaren Kernindikatoren übertragen.

Die ausgewählten Indikatoren werden dem BFE zur Umsetzung vorgeschlagen, wofür auch konkrete Möglichkeiten einer Erhebung skizziert werden. Einige Indikatoren/Kennzahlen werden in den untersuchten Fallstudien direkt erhoben und sind dort auch exemplarisch dargestellt (vgl. Abschnitt 5.5.2).

Der Fokus des erarbeiteten Sets von Kernindikatoren richtet sich auf eine quantitative Abbildung verschiedener Aspekte von Innovationsprozessen und darf noch nicht mit einer Wirksamkeitsanalyse der Förderwirkungen des BFE gleichgesetzt werden. Konzeptionelle und inhaltliche Analysen in diese Richtung sowie allenfalls weiterer Aspekte einer internen Evaluation sonstiger Aktivitäten des BFE – bspw. Konferenzteilnahmen, interne Evaluationssitzungen und dergleichen – haben gegebenenfalls in weiteren Arbeiten zu erfolgen.

Die hier dargestellten Indikatoren dienen einer Auslegeordnung und Grundlage von geeigneten Indikatoren, welche für die Begleitung von Innovationsprozessen durch das BFE, zum Beispiel im Rahmen eines verstärkten Innovationscoachings oder Monitorings verwendet werden können (vgl. dazu auch Abschnitt 6.2).

Das im Folgenden vorgestellte Indikatorensystem kann zudem in Richtung einer zielbasierten Wirksamkeitsanalyse verwendet werden. Bei der Wirksamkeitsanalyse ist insbesondere das Konzept der ‚Additionalität‘ von Bedeutung, mit welchem versucht wird, den Zusatznutzen der Innovationsförderung für die beteiligten Akteure sowie das ökonomische und soziale System zu messen bzw. zu erfassen (vgl. TAFTIE 2004). In der Literatur werden Input-, Output- und Verhaltensadditionalität unterschieden differenziert (vgl. auch Berwert & Zehnder 2006).

Bei der Operationalisierung des Additionalitäts-Konzepts gilt es zu beachten, dass für eine Messung von Additionalität eine Auseinandersetzung mit der Attributionsproblematik im Technologieförderbereich unumgänglich ist. Erst wenn die Form und das Ausmass der Wirkungen der Innovationsförderung auf die Projektpartner identifiziert und bestmöglich isoliert sind, können Aussagen zur Wirksamkeit von Förderinstrumenten gemacht werden.

Da der Fokus dieses Projekts primär in einer differenzierten Beschreibung und Analyse von Innovationsprozessen und nicht bei einer Wirksamkeitsanalyse von BFE-Förderinstrumenten liegt, wird der Problematik der genauen Zuordnung des Nutzens staatlicher Innovationsförderung (Attributionsproblematik) nicht explizit Rechnung getragen. Wo dies unerlässlich ist, werden kritische, additionalitätsrelevante Aspekte bei der Präsentation der Indikatoren punktuell angedeutet.

5.2 Konzeptionelle Abgrenzung, Analyseebenen und Systematisierung der Indikatoren

Zur Beschreibung von Innovationsprozessen werden verschiedene Indikatoren identifiziert, definiert und in einem Indikatorensystem zusammengefasst. Indikatoren im Rahmen der vorliegenden Studie sind zu verstehen als Kennzahlen, welche sich auf spezifische, eng abgrenzbare Aspekte von Innovationsprozessen beziehen und diese zu messen versuchen.

Den Indikatoren werden somit bestimmte Facetten von Innovationsprozessen zugeordnet, um sie zu operationalisieren. Dazu wird der Innovationsprozess konzeptionell systematisiert und einerseits in verschiedene zeitliche Phasen unterteilt: (1) Forschung und Entwicklung, (2) Prototypen und Pilotanlagen, (3) Marktumsetzung sowie (4) Diffusion (vgl. auch Kapitel 2 „Konzeptioneller Rahmen“).

Neben der zeitlichen Dimension werden Innovationsprozesse auch in unterschiedliche, thematisch relevante Kategorien gegliedert. Diese Kategorien werden hergeleitet aus den Zielsetzungen des BFE sowie unter Mitberücksichtigung bisherigen Arbeiten von Rütter + Partner zu Innovationsprozessen. Die hier vorgestellten Indikatoren und Kennzahlen stehen in Bezug zu den vom BFE im Dokument „Konzept der Energieforschung des Bundes 2008 bis 2011“ (BFE 2007) erwähnten Zielsetzungen. Eine thematische Zuordnung zu Zielkategorien (resp. eine Zielorientierung) ist für ein Indikatorensystem zwingend notwendig, um das zu ‚Indizierende‘ überhaupt sinnvoll zu identifizieren.

Die im Konzept der Energieforschung des Bundes ausgeführten und teilweise auch angedeuteten Zielsetzungen und strategischen Ausrichtungen wurden in Rahmen der vorliegenden Studie systematisiert und elf möglichen Zielkategorien zugeordnet. Diese Zielkategorien wurden wiederum in folgenden fünf grundlegenden Haupt-Zielkategorien zusammengefasst:

- ‚Markt‘ (Marktumsetzung, Wettbewerbsfähigkeit, Rahmenbedingungen, etc.),
- ‚Wissen/Forschung‘ (Wissenstransfer zwischen Hochschulen/Forschung und Wirtschaft, etc.),
- ‚Netzwerke‘ (Stärkung Netzwerke und Kooperationen, etc.),
- ‚Energieeffizienz/Nachhaltigkeit‘ (Stärkung effizienter Einsatz von Energie, Einsatz erneuerbarer Energien, etc.),
- ‚Internes Controlling‘ (Selbst-Controlling des BFE, Sensibilisierung, PR-Aktivitäten, etc.).

Die verschiedenen Zieldimensionen sind für die Analyse und die Ableitung von Innovationsindikatoren von unterschiedlicher Relevanz. Da die Studie auf zentrale Treiber resp. Hemmnisse von Innovationsprozessen bei Unternehmen fokussiert, sind primär die Zielkategorien ‚Markt‘ und ‚Wissen/Forschung‘ sowie ‚Netzwerke‘ wichtig. Eine Wirkungs- oder Managementkontrolle der BFE-Förderung hinsichtlich interner Controlling-Prozesse oder einer generellen Zielerreichung ist hingegen nicht in erster Linie Intention und Inhalt der vorliegenden Studie. Im Sinne eines etwas breiteren Blicks sind in der umfassenden Indikatorenliste im Anhang auch einige ausgewählte Indikatoren zu den Bereichen ‚Energieeffizienz/Nachhaltigkeit‘ und ‚Internes Controlling‘ (Management BFE) vorgestellt.

Zusätzlich zu den nachfolgend zur Umsetzung vorgeschlagenen ‚Kernindikatoren‘ werden ausgewählte ‚Typologische Indikatoren‘ identifiziert, welche einer weiteren Kategorisierung resp. Einordnung von Innovationsprozessen und Energietechnolo-

giebereichen dienen. Diese typologischen Kennzahlen sind somit nicht den priorisierten Zielsetzungen des Indikatorensystems zuzuordnen und machen auch nicht notwendigerweise den Innovationsprozess auf Unternehmensebene messbar. Eine Auflistung und Kurzbeschreibung dieser typologischen Indikatoren ist weiter unten in Abschnitt 5.4 zu finden.

Bei der Interpretation von Indikatoren ist zu beachten, dass die Unterstellung von Kausalzusammenhängen oftmals kritisch ist. Aussagen wie „nimmt Indikator X einen hohen Wert an, deutet dies auf einen erfolgreichen Innovationsprozess“ sind also nicht immer möglich. Häufig reflektieren Indikatoren eher qualitative Aspekte von Innovation, als dass sie deren Erfolg unmittelbar und quantitativ messen.

5.3 Indikatoren und Beurteilungskonzept: Bewertung von Kosten- und Nutzenaspekten

Dieser Abschnitt beinhaltet eine breite Übersicht von rund 50 verschiedenen Indikatoren, die mehrheitlich den relevanten Zielkategorien ‚Markt‘, ‚Wissen/Forschung‘ und ‚Netzwerke‘ zugeordnet werden können.

Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen ex ante und ex postorientierten Indikatoren: Während ex ante-Indikatoren in erster Linie der Optimierung von Selektionsprozessen dienen („Welche Projekte, Unternehmen resp. Technologiebereiche sollen gefördert werden?“), fokussieren ex post-Indikatoren stärker auf die systematische Beschreibung von Innovationsprozessen. Unsere Analyse fokussiert vor allem auf die Entwicklung (potenziell) relevanter ex post-Indikatoren, welche Informationen über Innovationsprozesse auf der Ebene von Unternehmen resp. Projektteams liefern.

Für eine differenzierte Beurteilung von Innovationsprozessen kann konzeptionell zwischen Input- und Outputindikatoren unterschieden werden:

- Inputorientierte Indikatoren beziehen sich primär auf den im jeweiligen Innovationsprozess eingesetzten finanziellen und personellen Ressourcen. Dazu zählen bspw. die Aufwendungen für F+E und P+D-Anlagen oder die Anzahl im F+E-Bereich beschäftigter Mitarbeiter.
- Outputindikatoren beschreiben die durch Innovationsaktivitäten ausgelösten Wirkungen. Dazu zählen neben Verbesserungen und Neuentwicklungen im Infrastruktur-, Produkte- und Dienstleistungsbereich u.a. auch ausgelöste Umsätze und Exportvolumen sowie erarbeitete Eigentumsrechte (in Form von Patenten, Lizenzvereinbarungen etc.).
- In einer separaten Kategorie werden oftmals die direkt marktorientierten Indikatoren genannt. Dazu zählen unter anderem das Überleben der relevanten Innovationsidee auf dem Markt im relevanten Geschäftsbereich, die Entwicklung der Beschäftigung (verstanden als Erfolgsindikator) oder die Entstehung weiterer Start-ups im Entwicklungsverlauf eines Innovationsprozesses.

Um die Indikatoren differenzierter zu charakterisieren und letztlich auch um eine Selektion relevanter Kernindikatoren vorzunehmen, wurden diese durch das Projektteam in verschiedenen Schritten systematisch bewertet. Eine Zusammenfassung dieser Beurteilungen ist in der umfassenden tabellarischen Zusammenstel-

lung im Anhang zu finden. Diese Abbildung enthält alle für die vorliegende Studie identifizierten und potenziell relevanten Indikatoren.

Neben der Indikatorenbezeichnung sind in jener Auflistung jeweils Überlegungen zum Nutzen (im Sinne von Zielorientierung) sowie zum Erhebungsaufwand resp. den Erhebungskosten der zusammengestellten Indikatoren zu finden. Das im Folgenden vorgestellte Indikatorenportfolio stellt den Ausgangspunkt eines Selektionsprozesses dar, welcher nachfolgend noch eingehender dargestellt wird. Alle Indikatoren werden kosten- und nutzenseitig bewertet. Für die konkrete Bewertung und die spätere Auswahl sind einzelne Kriterien zu identifizieren und anschließend für alle Indikatoren zu beurteilen.

Auf der Kostenseite wurden folgende Kriterien als bewertungsrelevant identifiziert und für die kostenseitige Bewertungsaggregation (zu einem ‚Kosten-Wert‘) unterschiedlich gewichtet:

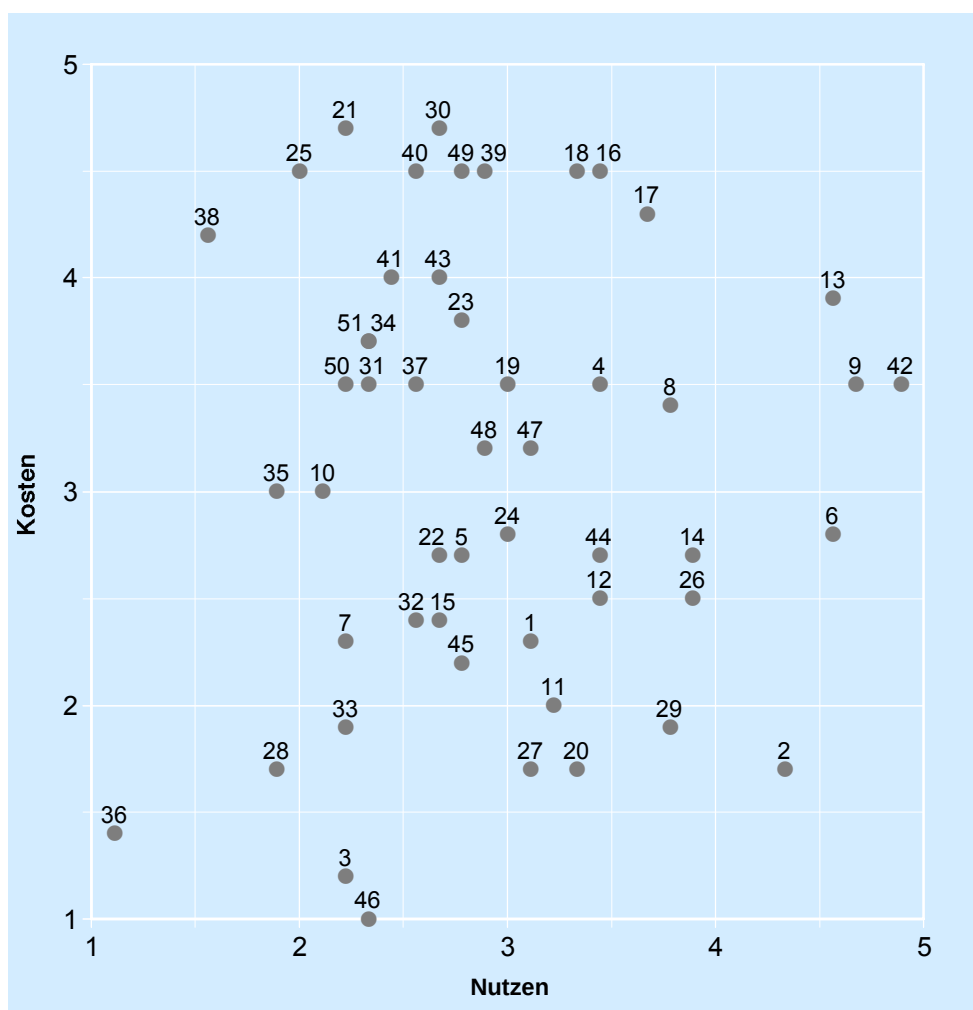


Abbildung 38: Kosten und Nutzen von Innovationsindikatoren – Erster Überblick über alle Indikatoren

- Die konzeptionelle Verständlichkeit des Indikators. Dies umfasst die Klarheit und die Einfachheit des Indikators. Dieses Kriterium ist mit einem Gewicht von 20 Prozent in die Kostenberechnung eingeflossen.
- Der benötigte Erhebungsaufwand zur Erfassung entsprechender Daten resp. Informationen. Wie gross ist der finanzielle und zeitliche Ressourceneinsatz,

sind schon Daten intern oder extern vorhanden oder sind spezifische Befragungen notwendig? Unter den verschiedenen Kriterien wird der Bewertungsaufwand bei der Aggregation der kostenseitigen Bewertungen am stärksten (50 Prozent) gewichtet.

Tabelle 14: Legende zum Indikatorenset

Legende und erste Bewertung ausgewählter Indikatoren	
Nr. Indikatorenbezeichnung	Nr. Indikatorenbezeichnung
1 Success/Failure: Überleben des unterstützten Projekts resp. der Projektidee	27 Energie- oder CO ₂ -Intensität des Produktionsprozesses
2 Time-to-market	28 Versorgungssicherheit bezüglich der erforderlichen Rohstoffe
3 Diversifikation der Wirtschaft (Entstehen von neuen Wirt.sektoren/Geschäftsfeldern)	29 Nachfrageseite: Marktpotenzial und Marktgrösse (Entwicklung, Status-quo)
4 Beschäftigte im relevanten Geschäftsbereich des Unternehmens (und intertemporale Entwicklung)	30 Zusammenarbeit mit Hochschulen (ja/nein + Intensität/Qualität dieser Zusammenarbeit)
5 Umsatz Unternehmen (und intertemporale Entwicklung)	31 Anteil/Zuzüge ausländischer Forscher
6 Umsatz des (geförderten) Geschäftsbereichs	32 Konferenz- und Messteilnahmen von Projektmitgliedern
7 Internationalität der Unternehmen	33 Nachfolgende/Weitergehende Forschung nach Projektende (an Hochschulen)
8 Überleben des innovativen, ggf. unterstützten Geschäftsbereichs im Unternehmen	34 Publikationen in referierten und nicht-referierten Zeitschriften, Zeitungen und Büchern
9 Private F+E-Ausgaben und Beschäftigung (evtl. Anteil am F+E-Volumen inkl. Förderung)	35 Zitationen
10 Aggregierte Ausgaben für innovatives Produkt/Dienstleistung	36 Ranking Forscher
11 Exportwirkung des Projekts (auf Firma, d.h. disaggregiert)	37 Beschäftigung Hochschule (inkl. Anzahl beteiligte Forscher, Doktoranden und Post-Docs)
12 Marktposition und Markterschliessung (im In- oder Ausland)	38 Verbindung zu einem Wissenschaftspark (Science Park)
13 Success/Failure: Neue und (stark) verbesserte Produkte/Dienstleistungen (fertig gestellt!)	39 Finanzielle (und personelle) Beteiligung des BFE am Projekt
14 Reifegrad der Innovation ("frühes Entwicklungsstadium" bis "ausgereift")	40 Finanzielle Beteiligung der KT am Projekt
15 Prozessinnovationen (inkl. Infrastruktur)	41 Unterstützung durch ein EU-Förderprogramm
16 Patent-Erstanmeldungen	42 Zusätzliche Beteiligung/Förderung von privaten Investoren
17 Lizenzvereinbarungen	43 Eigenkapitaleinsatz (Anteil an den Gesamtausgaben für den Innovationsprozess)
18 Anzahl P+D (Anlagen, Modelle, o.ä.)	44 Förderung von vor- oder nachgelagerten Produktionsstufen (Zulieferer oder Abnehmer)
19 Anzahl involvierter Zulieferer aus der CH (und entspr. Umsätze auf vorgelagerter Wertschöpfungsstufe)	45 Mobilität von Forschern zwischen Wissenschaft und Wirtschaft
20 Innovationsnetzwerk: Anzahl und Intensität der Beziehungen zu anderen Firmen	46 Netzwerkeffekte, allg.
21 Art der Firmengründung resp. Gründung des relevanten Geschäftsbereichs	47 (Weitere) Start-Ups im Projektverlauf (Anzahl, Erfolg)
22 Akquisition von Technologie und Know-How (ohne weitergehende/informelle Schutzstrategien)	48 Kundennähe
23 Ausgabenanteil zur aktiven Marktentwicklung (Public Relations/Marketing)	49 Dauer Auftragsbearbeitung
24 Gestehungskosten (spezifische Kosten des Energiesystems, bspw. pro erzeugte kWh)	50 Evaluationssitzungen
25 Energiebeschaffungskosten / Extraktionskosten	51 Konferenzteilnahmen BFE
26 Wirkungsgrad der Technologie	
Klassifikation der Bewertung	
Nr. Art des Indikators	Indikatoren mit überdurchschnittlichem Nutzen bei gleichzeitig eher geringerem Erhebungsaufwand
Nr. Art des Indikators	Indikatoren mit überdurchschnittlichem Nutzen bei gleichzeitig eher höherem Erhebungsaufwand
Nr. Art des Indikators	Indikatoren mit unterdurchschnittlichem hohem Nutzen

- c) Die generelle Messbarkeit des Indikators umfasst Fragen wie „ist der Indikator einfach und direkt quantifizierbar?“, „sind strategische Antworten, Messprobleme und entsprechende Verzerrungen möglich?“ u.ä. Das Kriterium der konzeptionellen Messbarkeit fliesst mit 30 Prozent Gewicht in den Kostenwert ein.

Auf der Nutzenseite wird sowohl die Zielsicherheit des Indikators hinsichtlich des generellen volkswirtschaftlichen Nutzens sowie auch die Eignung des Indikators im Rahmen des vorliegenden Projekts – welches enger auf den Innovationsprozess bei Unternehmen fokussiert – durch das Projektteam bewertet.

Alle Indikatoren werden bezüglich genannten Kriterien auf einer 5-Punkte-Skala bewertet, wobei „1“ für „sehr schlecht/unvorteilhaft“ und „5“ für „sehr gut/vorteilhaft“ steht. Zur Beurteilung der diversen Indikatoren wird eine Relevanzmatrix erstellt, welche jeweils sowohl die potenzielle Bedeutung eines Indikators („Nutzen“) für den Innovationsprozess wie auch die Komplexität der Erhebung („Kosten“) zweidimensional (jeweils ein Wert zwischen 1 und 5) abbildet.

Es werden die oben erläuterten Bewertungen – auch grafisch – auf zwei Dimensionen aggregiert: Die ersten drei Kriterien (konzeptionelle Verständlichkeit, Messbarkeit, Erhebungsaufwand) werden als ‚Kosten‘ der Implementierung eines Indikators zusammengefasst. Demgegenüber wird der Zielerreichungsgrad hinsichtlich volkswirtschaftlichem Nutzen und Nähe zum Innovationsprozess als ‚Nutzen‘ des Indikators interpretiert.

Grafisch werden alle Indikatoren des Portfolios entsprechend den Bewertungen in einem Koordinatensystem abgebildet, wobei die Nutzendimension auf der Abszisse und die (negativen) Kosten auf der Ordinate abgetragen sind (vgl. Abbildung 38 und Abbildung 39). Die Nummerierung der einzelnen Indikatoren in der Grafik wird nach der Grafik tabellarisch als Legende zusammengefasst.

Die 5-Punkte-Skalierung wurde so gewählt, dass sowohl die Kosten- wie auch die Nutzendimension qualitativ gleichgerichtet sind. Eine „5“ – die bestmögliche Bewertung – auf der Kostenachse deutet auf tiefe Kosten, währenddem eine „5“ auf der Nutzendimension einen hohen Nutzen indiziert. Die beiden resultierenden Werte für den Nutzen und die Einfachheit der Erhebung sind in den letzten beiden Spalten der (obigen) Indikatorenabbildung wiedergegeben.

5.4 Vorgehen und Kriterien bei der Selektion relevanter Indikatoren

Die Selektion relevanter Indikatoren fokussiert sich auf ein überschaubares Set ausgewählter Indikatoren (eine sog. ‚Cockpit-Lösung‘). Für die fokussierte Auswahl sind Nutzen- und Kostenüberlegungen zentral. Wie bereits erwähnt, setzen die Indikatoren an verschiedenen Phasen des Innovationsprozesses an und werden deduktiv u.a. aus den formulierten Zielsetzungen des BFE abgeleitet.

Die Indikatoren setzen grundsätzlich beim relevanten Innovationsprozess der jeweiligen Unternehmen und ihrem Innovationsumfeld an. Davon sind diejenigen Innovationsindikatoren abzugrenzen, welche beispielsweise die Innovationsleistung einzelner Länder oder Regionen messen und nicht Inhalt dieses Projekts sind. Ziel des Selektionsverfahrens ist es, eine überschaubare Anzahl von für das BFE – bezüglich der Beurteilung von Innovationsprozessen – relevanten und mit vertretbarem Aufwand umsetzbaren Indikatoren aus dem umfassenden Portfolio herauszufiltern. Zudem fokussieren die ausgewählten Indikatoren, aufgrund des Schwerpunktes bei Innovationen, auf die späteren Innovationsphasen der Markteinführung und -umsetzung sowie der Innovationsdiffusion.

Für die konkretisierte Auswahl von Kernindikatoren ist, wie beschrieben, eine mehrdimensionale Bewertung der aufgelisteten Indikatoren anhand von Kosten- und Nutzenüberlegungen vorgenommen worden. Die Bewertung stützt sich auf einen Überblick bei ausländischen Innovationsförderagenturen (TAFTIE 2004, Technopolis et al. 2001), eine Studie zur Wirksamkeitsanalyse der KTI-Förderung

(Berwert, Zehnder 2006), Feedbacks des BFE sowie auf Einschätzungen des Projektteams der vorliegenden Studie in einem internen Workshop.

Zur konzeptionellen und visuellen Strukturierung wurde das oben präsentierte Koordinatensystem in vier Bereiche (Quadranten) unterteilt. Die ersichtlichen Quadranten reflektieren die aus dem Bewertungsverfahren resultierende relative Priorität der Indikatoren – hinsichtlich der Beschreibung und Operationalisierung von unternehmensnahen Innovationsprozessen – und sind unten in Abbildung 39 eingezeichnet. Die Einteilung der Indikatoren in Quadranten basiert auf den jeweiligen Mittelwerten aller Kosten- resp. Nutzenbewertungen.

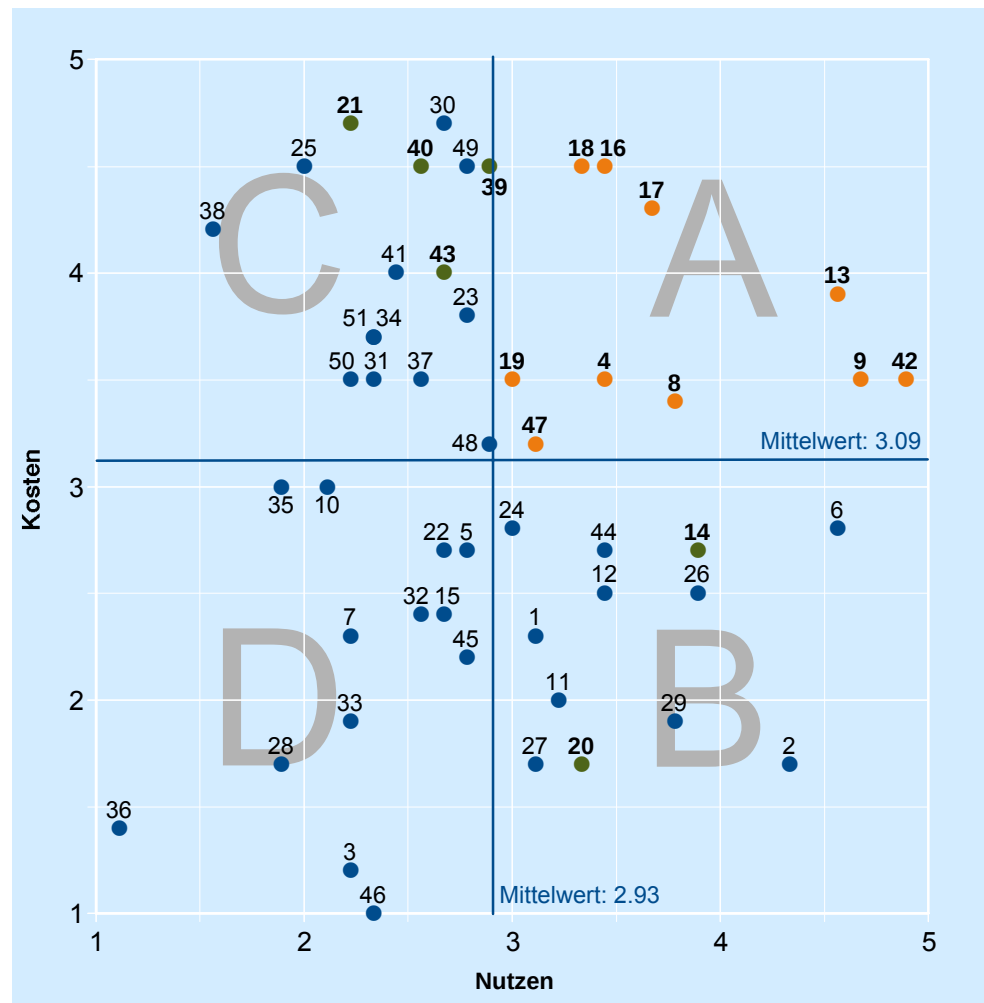


Abbildung 39: Selektion von Kernindikatoren anhand von Kosten- und Nutzenüberlegungen, Darstellung in einem 4-Quadranten-System

Die vier Quadranten werden mit Grossbuchstaben A bis D gekennzeichnet:

- A) Die Indikatoren im Quadrant A zeichnen sich durch einen überdurchschnittlichen Nutzen und gleichzeitig überdurchschnittlich geringe Kosten (Erhebungsaufwand) aus.
- B) Die Indikatoren im Quadrant B weisen einen überdurchschnittlichen Nutzen, bei jedoch gleichzeitig hohem Erhebungsaufwand aus.
- C) Bei den Indikatoren in Quadrant C ist der Erhebungsaufwand (Kosten) im Vergleich zum intendierten Nutzen als vorteilhafter bewertet worden.

D) Die Indikatoren in Quadrant D weisen die geringste Relevanz auf, da sowohl die Kosten- wie auch die Nutzenseite ungünstig sind.

Die ausgewählten Indikatoren, die so genannten Kernindikatoren, sind in Quadrant A situiert. In zweiter Linie könnten jedoch fallweise auch weitere sinnvolle Indikatoren mit grösserem Erhebungsaufwand und mit sekundärer Priorität (Quadrant B) oder auch leicht umsetzbare Indikatoren aus dem Quadranten C zur Implementierung empfohlen werden. Zur Erleichterung der optischen Orientierung sind die zur Umsetzung empfohlenen Indikatoren in der grafischen Abbildung orange gefärbt und mit fett gedruckter Nummerierung eingezeichnet. Eine ausführliche tabellarische Zusammenstellung der ausgewählten Kernindikatoren (inkl. spezifischere Beschreibungen) findet sich in weiter unten in Abschnitt 5.5, Tabelle 17.

Tabelle 15: Kernindikatoren mit überdurchschnittlichem Nutzen und eher geringerem Erhebungsaufwand

Kernindikatoren und Typologische Indikatoren	
Nr. Indikatorenbezeichnung	
Kernindikatoren:	
4	Beschäftigte im relevanten Geschäftsbereich des Unternehmens (und intertemporale Entwicklung)
8	Überleben des innovativen, ggf. unterstützten Geschäftsbereichs im Unternehmen
9	Private F+E-Ausgaben und Beschäftigung (evtl. Anteil am F+E-Volumen inkl. Förderung)
13	Success/Failure: Neue und (stark) verbesserte Produkte/Dienstleistungen (fertig gestellt!)
16	Patent-Erstanmeldungen
17	Lizenzvereinbarungen
18	Anzahl P+D (Anlagen, Modelle, o.ä.)
19	Anzahl involvierter Zulieferer aus der CH (und entspr. Umsätze auf vorgelagerter Wertschöpfungsstufe)
42	Zusätzliche Beteiligung/Förderung von privaten Investoren
47	(Weitere) Start-Ups im Projektverlauf (Anzahl, Erfolg)
Typologische Indikatoren:	
14	Reifegrad der Innovation
20	Innovationsnetzwerk: Anzahl und Intensität der Beziehungen zu anderen Firmen
21	Art der Firmengründung resp. Gründung des relevanten Geschäftsbereichs
39	Finanzielle (und personelle) Beteiligung des BFE am Projekt
40	Finanzielle Beteiligung der KTI am Projekt
43	Eigenkapitaleinsatz (Anteil an den Gesamtausgaben für den Innovationsprozess)
Für Fallstudien ausgewählte Indikatoren	

Zusätzlich zu den ausgewählten Kernindikatoren schlagen wir noch ein kleines Set von so genannten typologischen Indikatoren vor. Die typologischen Indikatoren setzen nicht direkt bei der Messung des ‚Erfolgs‘ bzw. ‚Misserfolgs‘ von Innovationsprozessen. Hingegen sind sie potenziell wichtig für eine weitere Kategorisierung bzw. Typologisierung von Innovationsprozessen. Im empirischen Interpretationszusammenhang mit den ausgewählten Kernindikatoren könnten aber auch aus den typologischen Indikatoren (indirekt) weitere Erkenntnisse bezüglich des Innovationserfolges gewonnen werden.

Sechs wichtige und in der grafischen Abbildung 39 ebenfalls hervorgehobene (grün gefärbte Punkte und fett gedruckte Nummerierung) typologische Indikatoren sind die Folgenden: der Reifegrad der Innovation, das Innovationsnetzwerk (Anzahl und Intensität von Beziehungen zwischen beteiligten Unternehmen), die fi-

nanzielle und personelle Beteiligung des BFE am Innovationsprozess, das Vorhandensein einer Beteiligung der KTI (als weitere zentrale Innovationsförderagentur) sowie der im Prozess eingebrachte Eigenkapitaleinsatz der beteiligten Unternehmen.

Ebenfalls zu Kategorisierungszwecken könnten auch weitere Indikatoren auf der Ebene Energietechnologie verwendet werden: Dazu gehören unter anderem die Gestehungskosten, der Wirkungsgrad der Technologie oder das Marktpotenzial resp. die Marktgrösse. Zuletzt sind auch Indikatoren der Hochschulebene sowie des Wissens- und Technologietransfers wie beispielsweise die Zusammenarbeit mit Hochschulen oder die weitergehende Forschung an den Hochschulen nach dem Innovationsprojekt möglich zur Typologisierung.

Eine Kosten-Nutzen Analyse muss nicht zwingend das best geeignete Verfahren zur Auswahl von relevanten Indikatoren sein. Einige Indikatoren weisen eine hohe Nutzenkomponente auf, bei gleichzeitig überdurchschnittlichem Erhebungsaufwand bzw. Kosten. Die nachfolgende Tabelle 16 stellt daher ein breiteres Listing von möglichen Indikatoren dar, welche sich durch einen überdurchschnittlich hohen Nutzen auszeichnen. Das hier unterstellte Nutzenverständnis richtet sich hauptsächlich auf eine markt- und netzwerkbezogene Messung des Innovationsverständnisses. Um dieses Nutzenverständnis weiter differenzieren zu können, ist eine klarere und konsistentere Zielbestimmung auf operativer und auch auf strategische Ebene notwendig. Dies hat Rückwirkungen auf die Auswahl der einzelnen Indikatoren, als auch des Gesamtsystems an Indikatoren.

Die tabellarische Zusammenstellung in Tabelle 16 umfasst ferner eine Zuordnung dieser Indikatoren bzw. deren Relevanz zu einzelnen Innovationsphasen: Forschung und Entwicklung (F+E), Markteinführung und -umsetzung (Markt), Innovationsdiffusion (Diff.).

Bei den Indikatoren interessiert einerseits der Status Quo zu einem bestimmten Zeitpunkt bzw. in einer bestimmten Innovationsphase. Für verschiedene Indikatoren ist auch die Dynamik oder zeitliche Entwicklung interessant. Nachfolgende tabellarische Zusammenstellung zeigt die Bedeutung dieses dynamischen Aspektes für die Auswahl beziehungsweise für die Erhebung (sehr wichtig, wichtig).

Bei den vorliegenden Indikatoren ist nicht nach der konkreten Zielbestimmung unterschieden worden. Im Vordergrund stehen Aspekte des Marktes, Wissen und Forschung sowie Netzwerke. Die Indikatoren können aber sowohl für eine Begleitung der Innovationsförderung oder ein ex-post ausgerichtetes Monitoring der Effektivität der Förderung des BFE verwendet werden. Es ist im Rahmen der vorliegenden Studie diesbezüglich keine Unterscheidung vorgenommen worden.

Das Gesamtbild des Indikatorensets bzw. die konkrete Auswahl einzelner Indikatoren hat sich zudem auch an konkreteren Zielsetzungen auszurichten. Die Qualität eines operativen und allenfalls strategischen Controlling hängt stark von den konkreten Zielsetzungen ab.

Das in den Fallstudien aufgebaute Indikatorenwissen bei der Bewertung der Indikatoren (Nutzenseite) mit eingeflossen. Die Schlussfolgerungen und die Synthese der Fallstudien fokussieren stark auf eine qualitative Bewertung und sind nur teilweise in die vorliegende quantitative Indikatorik integriert worden. Zahlreiche weichere Faktoren wie Managementfähigkeiten, Zugang zu Kapital, Netzwerke zu Hochschulen oder Wissensorganisationen, persönliches Engagement bei Innovationsprozessen, etc. lassen sich nur qualitativ oder durch ja/nein-Indikatoren erfassen. Die Fallstudien konzentrieren sich daher stark auf die qualitativ erarbeiteten Förder- und Hemmfaktoren. Das vorliegende Indikatorenset kann hinsichtlich eines

schlüssigen Gesamtbildes und der Integration von qualitativen Indikatoren in dieser Hinsicht noch modifiziert und erweitert werden.

Tabelle 16: Indikatoren mit überdurchschnittlichem Nutzen, Zuordnung zu Innovationsphasen und Bedeutung dynamischer Aspekte

Ausgewählte Indikatoren mit überdurchschnittlichem Nutzen		
Nr. Indikatorenbezeichnung	Innophase	Dynamik
1 Success/Failure: Überleben des unterstützten Projekts resp. der Projektidee	F+E bis Diff	
2 Time-to-market	Markt	
4 Beschäftigte im relevanten Geschäftsbereich des Unternehmens (und intertemporale Entwicklung)	F+E bis Diff	s. wichtig
6 Umsatz des (geförderten) Geschäftsbereichs	(F+E) Markt bis Diff	s. wichtig
8 Überleben des innovativen, ggf. unterstützten Geschäftsbereichs im Unternehmen	F+E bis Diff	
9 Private F+E-Ausgaben und Beschäftigung (evtl. Anteil am F+E-Volumen inkl. Förderung)	F+E bis Diff	wichtig
11 Exportwirkung des Projekts (auf Firma, d.h. disaggregiert)	Markt bis Diff	wichtig
12 Marktposition und Markterschliessung (im In- oder Ausland)	Markt bis Diff	wichtig
13 Success/Failure: Neue und (stark) verbesserte Produkte/Dienstleistungen (fertig gestellt!)	Markt bis Diff	s. wichtig
16 Patent-Erstanmeldungen	F+E bis Diff	s. wichtig
17 Lizenzvereinbarungen	F+E bis Diff	s. wichtig
18 Anzahl P+D (Anlagen, Modelle, o.ä.)	(F+E) Markt bis Diff	s. wichtig
19 Anzahl involvierter Zulieferer aus der CH (und entspr. Umsätze auf vorgelagerter Wertschöpfungsstufe)	Markt bis Diff	wichtig
20 Innovationsnetzwerk: Anzahl und Intensität der Beziehungen zu anderen Firmen	F+E bis Diff	wichtig
24 Gestehungskosten (spezifische Kosten des Energiesystems, bspw. pro erzeugte kWh)	F+E bis Diff	s. wichtig
26 Wirkungsgrad der Technologie	F+E bis Diff	
27 Energie- oder CO2-Intensität des Produktionsprozesses	F+E bis Diff	
29 Nachfrageseite: Marktpotenzial und Marktgrösse (Entwicklung, Status-quo)	F+E bis Diff	wichtig
40 Finanzielle Beteiligung der KTI am Projekt	F+E bis (Markt)	
42 Zusätzliche Beteiligung/Förderung von privaten Investoren (Fonds etc., welche Risk Capital geben)	F+E bis Markt	wichtig
47 (Weitere) Start-Ups im Projektverlauf (Anzahl, Erfolg)	F+E bis Diff	s. wichtig
Legende F+E: Forschung und Entwicklung Markt: Markteinführung und -umsetzung Diff: Marktdiffusion In Fallstudie eingesetzte Indikatoren (ohne typologische Indikatoren)		

5.5 Umsetzungsvorschläge zur Erhebung ausgewählter Indikatoren

5.5.1 Grundsätzliche Überlegungen

Der oben dargestellte Selektionsprozess resultiert unter anderem in der Identifikation von zehn Kernindikatoren (vgl. Tabelle 17). Bei diesen zur praktischen Implementierung vorgeschlagenen Indikatoren steht der Aufwand der Erhebung in einem vernünftigen Verhältnis zum Nutzen des Indikators hinsichtlich der Messung von Innovationsprozessen. Zudem knüpfen die ausgewählten Indikatoren an die innovationsrelevanten Zielsetzungen an und beziehen sich auf unterschiedliche Phasen des Innovationsprozesses.

Für diese Kernindikatoren werden mögliche Erhebungsinstrumente dargestellt und in konzeptioneller Form kurz skizziert. Hinsichtlich der operationalen Umsetzung werden zuerst die zentralen (methodischen) Problemstellungen identifiziert, für welche dann ggf. Lösungen entwickelt werden. Die zentralen Fragestellungen bei einer zukünftigen Umsetzung des Indikatorenkonzepts, welche im Folgenden angedeutet werden, beinhalten:

- Wie, d.h. durch welches Instrument, wird ein Indikator am unmittelbarsten und kostengünstigsten erhoben? Hierbei ist insbesondere abzuwägen, ob für die Erhebung eines Indikators ein eigenes Erhebungsinstrument (Erfassung bspw. mittels einer separaten Befragung oder eines eigens dafür konzipierten Fragebogens) vonnöten ist oder ob bereits entsprechende Daten existieren resp. andernorts dokumentiert werden.
- Wo resp. bei welchen Akteuren muss ein Indikator erhoben werden? Es sollen auch die möglichen Hauptquellen entsprechender Daten identifiziert werden. Es ist möglich, dass ein Indikator aus vorhandenen (bei den Unternehmen oder beim BFE) resp. leicht erhebbaren Daten ableitbar ist, oder aber es müssen dazu im Innovationsprozess beteiligte Akteure in den Unternehmen und/oder Forschungsinstituten angesprochen werden.
- Wann ist ein bestimmter Indikator sinnvollerweise zu erheben? Es sind primär vier mögliche Zeitpunkte der Befragung resp. Erhebung zu unterscheiden: Direkt vor Projektbeginn (ex ante), während dem Projekt (im Sinne eines Monitoring), direkt bei Projektende (ex post, ggf. Evaluation) oder zu einem späteren Zeitpunkt nach Projektabschluss (ex post, ggf. Evaluation).
- Eine weitere konzeptionelle Grundüberlegung ist, ob man einen Indikator zu einem bestimmten Zeitpunkt (also einen Zustand) erheben will, oder ob die längerfristige, intertemporale Entwicklung des Indikators von zentralem Interesse ist. Es gilt also zu eruieren, ob eine einmalige Erhebung ausreichend ist (Querschnitt), oder aber ob ein Indikator wiederholt erfasst werden muss (Zeitreihe).
- Darüber hinaus wird, wo dies möglich und sinnvoll ist, auch eine konkrete Frage zur Erfassung eines Indikators formuliert. Diese Formulierungen sind wiederum als erste Vorschläge zu verstehen, welche in einem Erhebungsinstrument umgesetzt und ggf. angepasst werden müssen.

Tabelle 17 beinhaltet eine entsprechende Diskussion der vorgeschlagenen Kernindikatoren. Die zusammenfassende Darstellung enthält vorerst (wie auch die umfassende Indikatorenabbildung im Anhang) Kosten-Nutzen-Überlegungen. Zusätz-

lich die Tabelle eine Kurzdefinition des Indikators sowie auch einen möglichen Ansatz zur Operationalisierung. Ebenfalls werden hier mögliche Datenquellen erwähnt und Überlegungen zu den jeweiligen Adressaten, zum Zeitpunkt (und eventuellen Wiederholungen) der Erhebung sowie teilweise auch zu konkreten Ausformulierungen von Fragen angestellt.

Die konkrete empirische Umsetzung des vorgestellten Indikatorenkonzepts, d.h. die konkrete Berechnung einzelner Indikatoren anhand von zu erhebenden Daten, liegt ausserhalb dieses Projektrahmes und ist gegebenenfalls Teil von thematisch fokussierten weiteren Studien. Es dient demzufolge als methodische Grundlage, aus welchen Hypothesen für weiterführende empirische Studien abgeleitet und ausformuliert werden können.

Tabelle 17: Ausgewählte Kernindikatoren, Kurzbeschreibung, Nutzen und Kosten. Definitionen und Erhebung

Nr. Indikator	Kurzbeschreibung	Nutzen	Kosten
Zielkategorie MARKT			
4 Beschäftigte im relevanten Geschäftsbereich des Unternehmens (und intertemporale Entwicklung)	Dieser Indikator indiziert die Beschäftigung (in VZÄ) und insbesondere auch deren intertemporale Entwicklung im für den Innovationsprozess zuständigen Unternehmensbereich (business unit).	Der Indikator ist relativ zielsicher, da er auf die Beschäftigung der involvierten Business Units bezogen ist; es ist also ein "guter" (i.S.v. erfolgsbezogener) allgemeiner Indikator, welcher indirekt auch die gesamte sektorale Entwicklung reflektiert. Insbesondere die Entwicklung der Beschäftigung ist als Indiz für die Bedeutung der Firmen interessant (evtl. in Kontext zu Branchenbeschäftigung setzen).	Beschäftigung ist grundsätzlich relativ einfach in VZÄ zu erheben. Für sinnvolle Auswertungen sind auch Zeitreihen vonnöten. Gegebenenfalls kann man die intertemporale Entwicklung auch qualitativ erfassen. Die Additionalitätswirkung der BFE-Förderung wäre allerdings nur schwer erfassbar (Anreizprobleme).
8 Überleben des innovativen, ggf. unterstützten Geschäftsbereichs im Unternehmen	Zeigt an, ob ein Unternehmen resp. (bei grösseren Firmen) ein Geschäftsbereich, welcher in der Vergangenheit einen Innovationsprozess initiierte und ggf. auch gefördert wurde, heute noch existiert und eine entsprechende wirtschaftliche Tätigkeit verfolgt.	Guter "short-hand"-Erfolgsindikator, da ggf. noch diverse andere Produkte als das Geförderte produziert werden. Nichtsdestotrotz ist das Überleben natürlich eine Schlüsselvoraussetzung für ökonomischen Erfolg und kann bspw. 18 oder 36 Monate nach Projektende erfasst werden. Dieser Indikator könnte ggf. eventuelle Nachfolgeunternehmen mitberücksichtigen.	Die Existenz resp. das Überleben von Unternehmensbereichen ist sehr leicht nachvollziehbar und indizierbar.
13 Success/Failure: Neue und (stark) verbesserte Produkte/Dienstleistungen (fertig gestellt!)	Dies umfasst die Anzahl neuer und stark verbesserter Produkte resp. Dienstleistungen. Dieser Erstellungs- resp. Verbesserungsprozess sollte für eine klare Abgrenzung 'abgeschlossen' sein.	Zentraler Indikator von grossem Nutzen, da direkte Aussage zu Produktinnovation und volkswirtschaftlichem Erfolg; Differenzierung zwischen new-to-the-firm und new-to-the-market notwendig; relativ einfach messbar. Generell wichtiger als der etwas grobe Indikator "Überleben Unternehmensbereich". Allerdings ist auch dieser Indikator nicht absolut zu setzen, da in bestimmten Technologiebereichen eher Anwendungs-Know-How als fertige Produkte verkauft wird.	Relativ unmittelbar erfassbar; einzig die Abgrenzung der Produktentwicklungsphase, ab welcher von einem "neuen Produkt" gesprochen werden kann, ist etwas kritisch. Grössere Erfassungsprobleme entstehen insbesondere wenn zusätzlich das Ausmass der Verbesserung resp. der Qualitätsveränderung erfasst und gemessen werden soll; dann ein schwer quantifizierbares Konzept.
18 Anzahl P+D (Anlagen, Modelle, o.ä.)	Die Anzahl Pilot- und Demonstrationsanlagen indiziert sowohl markt- wie auch forschungsrelevante Aspekte von Innovationsaktivitäten (hier wird der Indikator der Zielkategorie 'Markt' zugeordnet).	Die Installation von Pilot- und Demonstrationsanlagen ist für viele Gebiete unabdingbar zur Gewinnung erster Betriebserfahrungen und somit auch für eine spätere Markteinführung. Allerdings stellt sich die Frage, ob nicht der Erfolg resp. die gewonnenen Erfahrungen aus den realisierten P+D-Anlagen (welche natürlich viel schwieriger quantifizierbar wären) wesentlich relevanter sind als die absolute Anzahl derselben. Dennoch sind P+D-Anlagen ein Signal für technologische Marktreife.	Die Anzahl implementierter P+D-Anlagen ist ohne übermässigen Erhebungsaufwand nachvollziehbar und auch sehr leicht messbar resp. zählbar. Dichotom definiert (ja/nein) hätte der Indikator eher typologischen Charakter.

Definition	Erhebungsweise (wie, wo, bei wem?)	Timing Erhebung (wann, wie langfr.?)	Konkrete Frage
Anzahl VZÄ im Geschäftsbereich heute, in der Vergangenheit (bspw. über die letzten 5 Jahre) und in Zukunft (Prognose). Ggf. zwischen permanenter und temporärer Beschäftigung unterscheiden.	Direkt beim Unternehmen via telefonische oder schriftliche Befragung zu erheben; bei BFE-Projekten evtl. auch direkt in Antragsformularen und Zwischen- resp. Endberichten.	Um die Entwicklung auch laufend zu erfassen (nicht nur ex post) sind wiederholte Erhebungen - bspw. im Jahresrhythmus vonnöten.	"Bitte geben Sie die in Ihrem Unternehmensbereich total Beschäftigten (in VZÄ; 100%-äquivalent) während der letzten 3, zum momentanen Zeitpunkt, und die geplante Beschäftigung in den nächsten 3 Jahren an."
Diese Kennzahl wird dichotom definiert, wobei zwischen "aktiv" (d.h. der Geschäftsbereich hat überlebt) und "inaktiv" unterschieden wird.	Kann unmittelbar aus Handelsregistern oder Betriebszählung oder direkt beim Unternehmen für den aktuellen Zeitpunkt erhoben werden.	Sollte insbesondere bei kritischer Geschäftslage längerfristig erhoben werden.	Entweder direkt aus statistischem Material erheben oder beim Gesamtunternehmen nachfragen, ob der entsprechende Geschäftsbereich heute noch aktiv ist.
Bei der Anzahl neuer resp. verbesserter Produkte und Dienstleistungen kann differenziert werden zwischen new-to-the-firm und new-to-the-market. Hierbei dient bspw. der KOF-Fragebogen zu Innovationsaktivitäten als Orientierung. Zusätzlich kann man versuchen, das Ausmass der Verbesserungen abzufragen.	Dieser Indikator muss direkt bei den Unternehmen abgefragt oder möglichen Projektend- oder Jahresberichten entnommen werden.	Zur Erfassung neuer Produktentwicklungen bis zu einem bestimmten Zeitpunkt ist eine einmalige Erhebung ausreichend. Will man den Verbesserungs- resp. Entwicklungsprozess exakt nachzeichnen, sind wiederholte Erhebungen unerlässlich.	Als Einführung einer Befragung könnten die Erläuterungen zu Produktinnovationen des KOF-Fragebogens (Seite 3) verwendet werden. Fragen lauten dann bspw. wie folgt: "Wurden im Rahmen des Innovationsprozesses Produkte eingeführt (resp. erheblich verbessert), welche (a) neu für den gesamten Markt/die gesamte Branche oder (b) neu für Ihr Unternehmen sind?"
Der Indikator erfasst unmittelbar die Anzahl P+D-Anlagen, welche bereits in Betrieb genommen wurden. Nicht dazu zählen geplante Anlagen resp. Modellkonzeptionen in einem frühen Stadium, da hier noch keine Betriebserfahrung gesammelt werden kann.	Die Anzahl P+D-Anlagen muss wiederum direkt bei den am Innovationsprozess beteiligten Akteuren erhoben werden.	Eine einmalige Befragung verschafft einen groben Überblick über den Reifegrad der technologischen Entwicklung. Mehrmalige Befragungen in grösseren Intervallen (bspw. jährlich) ermöglichen ein exakteres Bild.	Die den Unternehmen resp. Forschungsinstitutionen zu stellende Frage ergibt sich direkt aus der Indikatordefinition.

Nr. Indikator	Kurzbeschreibung	Nutzen	Kosten
19 Anzahl involvierter Zulieferer aus der CH (und entspr. Umsätze auf vorgelagerter Wertschöpfungsstufe)	Um die Vorleistungsbeziehungen, welche national von Bedeutung sind, annäherungsweise zu erfassen, kann die Anzahl (sowie ggf. die Bedeutung) involvierter Schweizer Zulieferer erhoben werden.	Zeigt einen zentralen Netzwerkaspekt und indiziert auch mögliche Spillover-Effekte auf andere Branchen resp. Sektoren; vernachlässigt jedoch die Intensität dieser Beziehungen. Ebenso ist die Vergleichbarkeit schwierig, da das Indizierte sehr branchenabhängig ist und nichts direkt über den Erfolg des Innovationsprozesses aussagt.	Könnte relativ problemlos beim Projektteam abgefragt werden; Transparenz muss gewährleistet sein. Schwieriger wird die Erfassung, wenn man sich bspw. auf innovative Zulieferer beschränken möchte.
42 Zusätzliche Beteiligung/Förderung von privaten Investoren (Fonds etc., welche Risk Capital geben)	Es sollte - gerade bei kapitalintensiven Innovationsbereichen im Energietechnologiebereich - auch erfasst werden, ob neben Eigenkapitaleinsatz und eventuellen Fördergeldern zusätzliches Risk/Venture Capital von privater Seite akquiriert werden konnte.	Diese Förderung ist - gegeben das beschränkte Förderbudget des BFE - ein absolut zentraler Faktor bei kapitalintensiven Innovationsprozessen; folglich hat er eine hohe Zielsicherheit bezüglich Innovationserfolg und Wirtschaftlichkeit. Indirekt sagt dieser Indikator etwas über die (erwarteten) Marktchancen aus und er bedeutet, dass das Projekt einmal von Venture Capital-Gebern evaluiert wurde. Dagegen ist bspw. der Eigenkapitaleinsatz weniger aussagekräftig.	Kann direkt bei den Projektbeteiligten befragt werden, allerdings ist es fraglich, ob unverzerrte Angaben (Transparenz) möglich sind. Alternativ könnte auch bei den Geldgebern angesetzt werden, was allerdings durch deren Vielfalt erschwert wird.
47 (Weitere) Start-Ups im Projektverlauf (Anzahl, Erfolg)	Dieser Indikator erhebt, ob im Verlauf des Innovationsprozesses resp. eines Innovationsprojektes (ggf. weitere) Start-up-Unternehmen gegründet wurden (bspw. um sich auf bestimmte Kernkompetenzen zu konzentrieren).	Start-ups, welche als Nebenprodukt zu einem Projekt entstehen, sind sicherlich von hoher politischer und ökonomischer Relevanz (insbesondere bei grösseren Innovationsprozessen); allerdings ist der Erfolg dieser Start-ups wesentlich zielsicherer hinsichtlich der ökonomischen Impacts als allein die Anzahl.	Die Anzahl Start-Ups (resp. Spin-offs) ist natürlich viel einfacher messbar als deren Erfolg; mit Letzterem ist eine schwierige Definition von Erfolgsindikatoren verbunden.

Zielkategorie WISSEN/FORSCHUNG

16 Patent-Erstanmeldungen	Indiziert die Beschäftigung (in VZÄ) und insbesondere auch deren intertemporale Entwicklung im für den Innovationsprozess zuständigen Unternehmensbereich (business unit).	Ein sehr zentraler Indikator, da Patente ein zentraler Output von Innovationsprozessen und auch volkswirtschaftlich relevant sein können (geistiges Eigentum). Allerdings gibt es auch Technologiebereiche, in denen Patente weniger relevant als andere Schutzstrategien sind. Aufgrund des Time-Lags misst der auf Erstanmeldungen fokussierende Indikator die Innovationsresultate direkter resp. unmittelbarer als bspw. die Anzahl erhaltener Patente. Ein weiterer Vorteil dieses Indikators ist die internationale Vergleichbarkeit.	Nur geringer Erhebungs- und Messungsaufwand; es sind nur Erstanmeldungen zu berücksichtigen (um Mehrfachnennungen für versch. Länder zu vermeiden). Erstanmeldungen sind ebenfalls leichter zu erheben als die erhaltenen Patente, da Patente oft erst nach mehreren Jahren definitiv vergeben werden.
----------------------------------	--	---	--

Definition	Erhebungsweise (wie, wo, bei wem?)	Timing Erhebung (wann, wie langfr.?)	Konkrete Frage
Entweder zielt dieser Indikator ausschliesslich auf die numerische Anzahl in der Schweiz ansässigen Unternehmen auf Vorleistungsstufe, oder es werden zusätzlich auch die involvierten Umsätze (in CHF) berücksichtigt.	Die Erhebung ist bei einem kleinen Projektteam mit geringerem Aufwand verbunden als bei sehr breiten, komplexen Innovationsprozessen, wo ggf. mehrere Akteure befragt werden müssen.	Kann wiederum einmalig oder wiederholt erhoben werden. Am kosteneffizientesten dürfte jedoch eine Erhebung ex post, d.h. nach erfolgreicher resp. gescheiterter Innovation, sein.	"Bitte nennen Sie die Anzahl in der Schweiz ansässiger Unternehmen, welche als Zulieferer für den Innovationsprozess tätig sind/waren. Wie schätzen Sie die Bedeutung der einzelnen Unternehmen für das Gelingen der Innovation ein und wie hoch waren approximativ die erwirtschafteten Umsätze der Zulieferer?"
Hier werden Risk Capital-Beträge (in CHF) pro spezifische Innovationsperiode (F+E, P+D, Marktumsetzung oder Weiterentwicklungen) erhoben. Nicht dazu zählen Eigenkapitaleinsätze und öffentliche Fördergelder.	Eine Erhebung kann nur via direkte Befragung von leitenden Akteuren im Innovationsprozess geschehen (nur approximative Angaben erfragen).	Eine längerfristige, wiederholte Erfassung ist von Nutzen, falls man die privaten Investitionen nach den verschiedenen Innovationsphase separiert betrachten will.	Die entsprechende Frage sollte zurückhaltend formuliert sein und sich auf eine ungefähre Angabe beschränken, wie z.B.: "Bitte geben Sie uns eine ungefähre Einschätzung des von privaten Investoren im Rahmen des Innovationsprozesses erhaltenen Fremd- resp. Risikokapitals an (in CHF, für ein best. Jahr)."
Hier wird auf die Anzahl entstandener und privat initiiert Start-ups im Verlauf des Innovationsprozesses verwiesen. Nicht in diese Kategorie fallen bspw. Start-ups, welche im Rahmen expliziter, staatlich getragener Start-up-Initiativen entstanden.	Dies kann via Fragebogen bei beteiligten Akteuren oder direkt via erfolgte Handelsregistereinträge erfasst werden.	Die Erfassung der Anzahl (weiterer) Neuunternehmen macht erst in einem fortgeschrittenen resp. späteren Innovationsstadium Sinn.	"Wie viele Start-ups entstanden im Rahmen, also während oder in direktem Kontext des Innovationsprozesses auf private Initiative hin?" Evtl. zusätzlich: "Zu welchem Zweck wurden diese Unternehmen neu gegründet?"
Anzahl VZÄ im Geschäftsbereich heute, in der Vergangenheit (bspw. über die letzten 5 Jahre) und in Zukunft (Prognose). Ggf. zwischen permanenter und temporärer Beschäftigung unterscheiden.	Direkt beim Unternehmen und ggf. bei Hochschulen via telefonische oder schriftliche Befragung zu erheben; bei BFE-Projekten evtl. auch direkt in Antragsformularen und Zwischen- resp. Endberichten.	Um die Entwicklung auch laufend zu erfassen (nicht nur ex post) sind wiederholte Erhebungen, bspw. im Jahresrhythmus, vonnöten.	"Bitte geben Sie die in Ihrem Unternehmensbereich total Beschäftigten (in VZÄ; 100%-äquivalent) während der letzten 3 Jahren, zum momentanen Zeitpunkt, und die geplante Beschäftigung in den nächsten 3 Jahren an."

Nr. Indikator	Kurzbeschreibung	Nutzen	Kosten
9 Private F+E-Ausgaben und Beschäftigung (evtl. Anteil am F+E-Volumen inkl. Förderung)	Die Ausgaben, welche die jeweiligen Unternehmen (also von privater Seite) für Forschung und Entwicklung ausgeben, indizieren quantitativ das Gewicht innovativer Aktivitäten im Unternehmen resp. im Geschäftsbereich. Zu diesen Ausgaben gehört natürlich auch die Beschäftigung in F+E-Aktivitäten.	Sehr wichtiger Input-Indikator, da private Ausgaben ein Indiz für ökonomische Vorteilhaftigkeit sind. Die Beschäftigung dürfte dabei leichter beobachtbar sein als die Gesamtausgaben, allerdings sind Letztere für den Innovationsprozess insgesamt relevanter. Ebenfalls ist ein intertemporale Betrachtung (Schaffung und Bewahrung von Stellenprozenten) interessant.	Die F&E-Ausgaben, welche von privater Seite im Rahmen eines Innovationsprozesses getätigt werden, sind bei den involvierten Unternehmen erhebbar. Dieser F&E-Anteil von privater Seite hat eine Aussagekraft bzgl. Marktnähe und Marktchancen. Nicht einfach wird die Messung von VZÄ im F+E-Bereich, falls Mitarbeiter stark unterschiedlichen Tätigkeiten nachgehen (bspw. in KMUs). Ebenfalls schwieriger messbar wäre, wieviel zusätzliche (!) private Ausgaben durch die staatliche Förderung stimuliert werden (Additionalität). Dieser Leverage-Effekt ist ein wesentlicher Aspekt der Wirksamkeit von Innovationsförderung.
17 Lizenzvereinbarungen	Dieser Indikator erfasst die Anzahl verbindlicher Lizenzvereinbarungen zwischen Projektpartnern.	Dieser Indikator sagt viel über die (potenziellen) Marktchancen eines Projekts aus und ist deshalb äusserst wichtig. Lizenzen können u.a. auch ein Substitut für Patente sein.	Ist durch eine direkte Befragung der Projektpartner erhebbar und kann ggf. dichotom (ja/nein) operationalisiert werden. Müsste die gesamte Anzahl erteilter Lizenzen und Lizenznehmer erfasst werden, würde der Indikator mehrdimensionaler und der Erhebungsaufwand deutlich grösser.

Definition	Erhebungsweise (wie, wo, bei wem?)	Timing Erhebung (wann, wie langfr.?)	Konkrete Frage
Die Höhe und Entwicklung der F+E-Ausgaben wird in CHF, die Beschäftigung (in F+E-Aktivitäten) in VZÄ erhoben.	Diese Daten müssen via Befragung (telefonisch oder standardisierter Fragebogen) beim Unternehmen - ex post oder laufend - direkt erfasst werden.	Eine wiederholte Erhebung bei Projektbeginn, im Laufe des Innovationsprozesses und - falls möglich - nach Erfolg resp. Abbruch der innovativen Aktivitäten wäre wünschenswert.	Durch Fragen wie "Bitte geben Sie die totalen Ausgaben und die Anzahl Beschäftigten im F+E-Bereich Ihres Unternehmens heute und in den letzten drei Jahren an." Zusätzlich sind auch Prognosen abfragbar.
In der einfachsten Form wird dichotom erfasst, ob in einem Innovationsprozess Lizenzvereinbarungen eingegangen wurden oder nicht. Zudem kann erhoben werden, ob Unternehmen als Lizenznehmer oder Lizenzgeber aufgetreten sind und wie relevant die jeweiligen Lizenzen sind/waren (monetär).	Dies muss sicher bei den Unternehmen und ggf. auch bei weiteren Akteuren (Hochschulen, Forschungsinstitutionen), welche am Innovationsprozess partizipier(t)en, erfasst werden. Evtl. sind diese Daten auch in Projektberichten enthalten.	Die Existenz resp. die Anzahl von abgeschlossenen Lizenzvereinbarungen kann einmalig oder längerfristig erhoben werden.	"Kam es zu Beginn oder im Verlauf des Innovationsprozesses (oder eines bestimmten Projekts) zu rechtlich bindenden Lizenzvereinbarungen?"

5.5.2 Im Rahmen der Fallstudien umgesetzte Indikatoren

Für eine quantitativ ausgelegte Analyse bzw. eine Verallgemeinerung der Erkenntnisse nur aufgrund von quantitativen Indikatoren ist das aufgrund des gewählten Forschungsdesigns gewählte Sample zu klein. Die Indikatoren vermitteln bei den ausgewählten Fallstudien und ausgewählten Aspekten dennoch zusätzliche Informationen, welche die stark qualitativ orientierten Ergebnisse der vorliegenden Studie ergänzen.

Auswahl der Indikatoren

Zusammengefasst sind für die Auswahl der Indikatoren folgende Faktoren wichtig:

- Die Selektion relevanter Indikatoren fokussiert auf ein überschaubares Set von Indikatoren im Sinne einer ersten Cockpit-Lösung.
- Für die hier gemachte Auswahl sind Nutzen- und Kostenüberlegungen wichtig. Kosten- und Nutzenaspekte werden hier gleich stark gewichtet.
- Die Indikatoren setzen an verschiedenen Phasen des Innovationsprozesses an und werden unter anderem auch deduktiv aus den Zielsetzungen des BFE abgeleitet.
- Durch den Schwerpunkt der Messung des direkten und indirekten volkswirtschaftlichen Nutzens durch die Indikatoren wird ein Schwerpunkt auf die den F+E nachgelagerten Innovationsphasen gelegt.
- Das Indikatorenset bewegt sich konzeptionell auf der Ebene einzelner Unternehmen bzw. Fallstudien und nicht auf der Ebene von Technologiebereichen.

Die hier ausgewählten Indikatoren stammen aus dem vorgeschlagenen Set von Kernindikatoren:

- *Beschäftigte, gemessen in vollzeitäquivalenten Stellen (VZÄ) beim Unternehmen bzw. im relevanten Geschäftsbereich (Nr. 4):* Die Erfassung der Dynamik bzw. der Veränderung über die Zeit ist bei diesem Indikator sehr relevant. Die Beschäftigung kann prinzipiell in allen Innovationsphasen erhoben werden. Allerdings ist zu erwarten, dass in vielen Fällen ein grösseres Beschäftigungswachstum erst in der Phase der Markteinführung bzw. Marktdiffusion auftritt. Dieser Indikator ist sowohl für eine Wirksamkeitsanalyse als auch für ein Monitoring im Sinne eines Innovationscoachings geeignet und misst das Outcome eines Innovationsprozess auf leicht zu erhebende Weise.
- *Überleben des innovativen Geschäftsbereiches im Unternehmen (Nr. 8):* Prinzipiell stehen hier ebenfalls alle Innovationsphasen im Vordergrund. Das Überleben ist eine Schlüsselvoraussetzung für den ökonomischen Erfolg und kann auch im Sinne einer Wirksamkeitsanalyse nach einer bestimmten Zeit nach Projektende verwendet werden.
- *Beschäftigte bzw. Beschäftigungsanteil im F+E-Bereich (Nr. 9):* Dieser Indikator wird typischerweise in Innovationsstudien als Input-Indikator verwendet zur Messung der Innovationsleistung eines Unternehmens bzw. eines Geschäftsbereiches. Der Indikator liegt typischerweise in F+E-Phasen höher als bei der Markteinführung bzw. bei der Innovationsdiffusion. Die Dynamik der Entwicklung ist ebenfalls ein relevanter Aspekt.
- *Stark verbesserte Produkte oder Dienstleistungen auf dem Markt – Ergebnis von Innovationen (Nr. 13):* Dieser Indikator setzt beim Kern von Inno-

vationen an und zeigt die Umsetzung einer Innovationsidee bzw. der technologischen Entwicklung im Sinne eines Ergebnisses oder Outputs auf dem Markt. Typischerweise ist er für spätere Innovationsphasen geeignet.

- *Die zusätzliche Beteiligung / Förderung von privaten Investoren: Funds, Venture Capital (Nr. 42):* Das Engagement privater Investoren ist ein zentraler Faktor bei kapitalintensiven Entwicklungs- und Innovationsprozessen. Indirekt kann dieser Indikator Aussagen über die erwarteten Marktschancen machen und zeigt, dass das Projekt auch schon von privater Seite bewertet bzw. evaluiert worden ist. Der Indikator kann prinzipiell auf alle Innovationsphasen angewendet werden.

Ein weiteres Set von Indikatoren bezieht sich auf sogenannte typologische Indikatoren. Sie sind hauptsächlich für eine vertiefende Analyse in Verbindung mit den gewählten quantitativen Indikatoren einzusetzen. Zum Teil sind sie auch für die Auswahl der Fallstudien verwendet worden und müssen daher vor diesem Hintergrund diskutiert werden. In der Regel sind sie nicht direkt quantitativ umsetzbar und oft in Kategorien zu erfassen.

- *Reifegrad des Innovationsprozesses (Nr. 14):* Ist ein essenzieller Prozessindikator zum aktuellen Status der Innovation, welcher allerdings weniger Aussagen zum volkswirtschaftlichen Impact erlaubt. Er lässt sich nicht quantitativ fassen und ist zugleich ein beschreibender Indikator ohne direkte analytische Aussagekraft.
- *Art der Firmengründung bzw. des Geschäftsbereichs (Nr. 21):* Die Art der Firmengründung macht keine unmittelbaren Aussagen über die ökonomische Bedeutung von Innovationsprozessen oder weitere Innovationsleistungen auf der Impact-Ebene. Aus der Kategorisierung können jedoch eventuell interessante Rückschlüsse bezüglich weiterer Indikatoren gezogen werden, wenn das Sample genügend gross ist.
- *Beteiligung von BFE und KTI am Projekt (Nr. 39 und 40):* Dieser einfache Indikator ist im Rahmen der Fallstudie verwendet worden, um das Sample zu differenzieren. Für vertiefende Aussagen ist eine Verfeinerung des Indikators notwendig im Sinne eines starken, mittleren oder eher tiefen Involvements des BFE oder der KTI, wie dies hier gemacht worden ist. Aus dieser Kategorisierung können ebenfalls weitere Rückschlüsse bezüglich der qualitativen Aussagen sowie weiterer Indikatoren gezogen werden.
- *Wirtschaftlicher Erfolg:* Der wirtschaftliche Erfolg ist aus ökonomischer Sicht und aus Sicht der Innovationsprozesse ein zentraler Faktor. Er ist in verschiedenen vorgeschlagenen Indikatoren als Output oder Outcome Indikator bereits differenziert dargestellt. Für die Fallstudien wird dieser Indikator nicht als ex-post Indikator verwendet, sondern es wird eine einfache ex ante Beurteilung des Innovationserfolges vorgenommen. Dies kann auch durch Erfolgswahrscheinlichkeiten verfeinert werden.
- *Innovationstyp / Entwicklungsintensität:* Die Entwicklungsintensität wird durch eine einfache Charakterisierung und Beurteilung erfasst – hoch, mittel, gering. Die Verwendung dieses Indikators ist vor allem im Hinblick auf die Interpretation weiterer Indikatoren zu sehen.

Anwendung der Indikatoren auf die Fallstudien

Tabelle 18 zeigt eine Zusammenstellung von typologischen Indikatoren nach den einzelnen Fallstudien und Technologiebereichen. Die hier gewählten typologischen Indikatoren haben qualitativen Charakter oder beziehen sich auf definierte Kategorien. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen.

Tabelle 18: Typologische Indikatoren der Innovationsprozesse

Fallstudie	Technologiebereich	Typologische Indikatoren					
		Reifegrad Innovationsprozess	Art der Firmengründung, resp. des Geschäftsbereichs	Finanzielle und personelle Beteiligung BFE am Projekt	Finanzielle und personelle Beteiligung KTI am Projekt	Wirtschaftlicher Erfolg	Innovations-typ / Komplexität Innovation
		Typologischer Indikator Nr. 14	Typologischer Indikator Nr. 21	Typologischer Indikator Nr. 39	Typologischer Indikator Nr. 40	Typologischer Indikator Fallauswahl	Typologischer Indikator Fallauswahl
Flexcell	Photovoltaik (EE)	kurz vor Markteinführung	KMU, Spin-off aus HS	hoch	mittel	offen, eher ja	hoch
Oerlikon Solar		Markteinführung (nahe an Diff.)	Industrie, etabliert	hoch	mittel	ja	hoch
SolarMax		Diffusion	KMU, Spin-off aus HS	gering bis mittel	gering	ja	gering
SwissMotor	WKK (Effizienz)	abgebrochen (ehem. Markteinführung)	KMU	mittel	keine	nein	mittel bis hoch
Schulthess	Wärmepumpen / Haushaltsgeräte (Effizienz)	Markteinführung	Industrie, etabliert	gering	keine	nein, aber noch mgl.	gering
V-Zug		Markteinführung	Industrie, etabliert	gering	keine	nein, aber noch mgl.	gering
Drivetek	Umrichter (Effizienz)	Markteinführung	KMU, Spin-off aus HS	keine	keine	ja	gering
Vivatec		Markteinführung	KMU, Start-up	gering	keine	offen	gering
Pyroforce	Holzvergaserung (EE)	kurz vor Markteinführung	KMU, Spin-off aus Untern.	mittel	keine	offen, eher ja	mittel
Dasagren		abgebrochen (Prototypen & Pilotanlagen)	KMU	gering	keine	offen (2006) nein (2007)	mittel

- **Reifegrad Innovationsprozesse:** Aufgrund der gesteuerten Auswahl der Fallstudien sind die Innovationsprozesse vorwiegend im Bereich der Markteinführung sowie bei der Diffusion (Photovoltaik Solarmax) zu situieren. Der Kernindikator Beschäftigung als wichtiger Output-Indikator erhält so potenziell eine wichtigere Bedeutung.
- **Art der Firmengründung:** Die Fallstudien zeigen einen Schwerpunkt bei Neugründungen (Spin-offs) aus Hochschulen und Unternehmen sowie bei KMUs.

- *Beteiligung des BFE und der KTI am Projekt:* Die Beteiligung der beiden Förderorganisationen ist durch die Auswahl der Fallstudien vorgegeben. Mit Ausnahme von Drivetek (Umrichter) sind alle Innovationsprozesse bei den Fallstudien durch das BFE befördert worden. Durch die geringe Fallzahl lassen sich aber keine verallgemeinerbaren Schlüsse auf die Gesamtzahl des Fallstudien-Samples ziehen.
- *Wirtschaftlicher Erfolg:* Der wirtschaftliche Erfolg, wie er hier als Indikator verwendet wird, ist als ex-ante Bewertung zu interpretieren (eher ja; nein aber noch möglich). Der wirtschaftliche Erfolg ist eine grundlegende Voraussetzung für Innovationen bzw. die Marktumsetzung von technologischen Entwicklungen.
- *Innovationstyp / Komplexität:* Die Komplexität der Innovation wird stark durch die Forschungsintensität und der zeitlichen Dauer bzw. des zeitlichen Aufwandes der Innovation bestimmt. Aus der Komplexität der Innovationsprozesse lassen sich im bestehenden Sample keine Aussagen über Erfolg oder Misserfolg ableiten.

Die gewählten Kernindikatoren untermauern bereits in den Fallstudien angelegte Aussagen über Kernaspekte von Innovationsprozessen.

Tabelle 19: Kernindikatoren der Innovationsprozesse

Fallstudie	Techno- logie- bereich	Kernindikatoren					
		Beschäftigte (VZÄ) im relevanten Geschäftsbereich (Total VZÄ im Unternehmen)	Veränderung Beschäftigung (2003-2006)	Überleben Unternehmen oder Geschäftsbereich	F+E Beschäftigung im Unternehmen (geschätzter Anteil)	Neue und stark verbesserte (innovative) Produkte/ Dienstleistungen auf dem Markt	Beteiligung Förderung private Investoren am Innovationsprozess
		Kernindikator Nr. 4	Kernindikator Nr. 4	Kernindikator Nr. 8	Kernindikator Nr. 9	Kernindikator Nr. 13	Kernindikator Nr. 42
Flexcell	Photovoltaik (EE)	40	wachsend	ja	k.A.	ja	ja
Oerlikon Solar		130	stark wachsend	ja	k.A.	ja	ja
SolarMax		85	stark wachsend	ja	k.A.	ja	nein
SwissMotor	WKK (Effizienz)	-	k.A.	nein	k.A.	nein	nein
Schulthess	Wärmepumpen / Haushaltsgeräte (Effizienz)	(1020)	k.A.	ja	k. A (Zuordg. schwierig)	ja	nein
V-Zug		(1268)	k.A.	ja	k. A (Zuordg. schwierig)	ja	nein
Drivetek	Umrichter (Effizienz)	11	+4 wachsend	ja	10 (ca 90%)	ja	nein
Vivatec		3	wachsend	ja	2 (ca 50%)	ja	nein
Pyroforce	Holzvergasung (EE)	6	+3 stark wachsend	ja	2 (ca. 30%)	ja	nein
Dasagren		3	kein Wachstum	nein	1 (ca. 25%)	ja	ja

- *Beschäftigung im Unternehmen oder relevanten Geschäftsbereich:* Die Beschäftigung ist ein Mass für die Grösse bzw. noch wichtiger für die Dynamik der wirtschaftlichen Entwicklung. Die hier näher betrachteten Fallstudien bzw. Unternehmen bewegen sich vorwiegend im KMU-Bereich (bis 250 Beschäftigte) oder sind gar Kleinstunternehmen, wie bei den Fallstudien Um-

richter und Holzvergasung. Die meisten Geschäftsbereiche oder Unternehmen zeigen ein markantes Wachstum.

- *Überleben des Unternehmens:* Bei der Mehrzahl der untersuchten Unternehmen bzw. Innovationsprozesse zeigt sich kein Failure in Bezug auf das Überleben. Zwei Innovationsprozesse (SwissMotor, dasagren) werden nicht mehr weitergeführt.
- *Beschäftigung in F+E:* Die Beschäftigung im Bereich F+E ist ein wichtiger Input-Indikator für Innovationsprozesse und zeigt die Forschungs- und Entwicklungsintensität innerhalb des Unternehmens oder des Geschäftsbereiches. Bei der Holzvergasung liegt der F+E-Anteil deutlich tiefer als bei den Umrichtern. Bei verschiedenen Fallstudien konnten keine exakten Aussagen über den Anteil F+E gewonnen werden.
- *Innovative Produkte oder Dienstleistungen:* Auch dieser Indikator ist ein wichtiger Indikator auf der Ebene des Outputs von Innovationsprozessen. Mit Ausnahme von SwissMotor und dasagren resultieren alle betrachteten Innovationsprozesse in innovativen Produkten oder Dienstleistungen, welche auf dem Markt umgesetzt werden oder sich in Richtung Marktumsetzung bewegen.
- *Private Investoren oder Venture Capital:* Bei zwei Fallstudien sind massgebliche private Investoren oder Venture Capitalists beteiligt (Flexcell, dasagren).

5.6 Schlussfolgerungen zur Auswahl von Indikatoren

Die vorgeschlagenen und zum Teil umgesetzten Indikatoren messen verschiedene Aspekte von Innovationsprozessen bzw. die Intensität von Innovationsprozessen. Es handelt sich hierbei um eine Auswahl aus einem Portfolio möglicher Indikatoren. Die Auswahl beruht in erster Linie auf Kosten-Nutzen-Überlegungen und auf einer systematischen Analyse von Innovationsprozessen.

Kein Indikator vermag – isoliert betrachtet – den komplexen Innovationsprozess vollständig abzubilden. Indikatoren werden daher üblicherweise in der Literatur in Input-, Output-, marktorientierte Indikatoren klassifiziert. Ein klassischer Input-Indikator sind die F+E-Aufwendungen bei den innovierenden Unternehmen. Output-orientierte Indikatoren stellen beispielsweise die Patent-Erstanmeldungen, Anzahl P+D-Anlagen oder das Vorhandensein neuer bzw. stark verbesserter Produkte oder Dienstleistungen dar. Wichtige und hier ausgewählte marktorientierte Indikatoren die Beschäftigten, das Überleben der Innovationsidee auf dem Markt oder die Gründung weiterer Start-ups im Innovationsprozess.

Die hier vorgeschlagene Auswahl der Kernindikatoren beruht auch auf der vorgenommenen Gewichtung zwischen der Nutzen- und der Kostenseite. Zur grafischen Darstellung sind sowohl die Kosten- als auch die Nutzenseite gleich stark bewertet worden. Diese Gewichtung ist jedoch grundsätzlich variabel. Je nach Zielsetzung der Indikatoren kann und soll der Nutzenseite ein beträchtlich höheres Gewicht zugeordnet werden. Ein zweiter Vorschlag der Auswahl von Indikatoren bezieht sich daher auf solche Indikatoren, welche nutzenseitig im Vordergrund stehen, unabhängig des Erhebungsaufwandes. Umgekehrt würde eine höhere Gewichtung der Kostenseite bspw. würde den Aspekt der Umsetzbarkeit stärker in den Vordergrund stellen.

Die hier vorgeschlagenen Indikatoren sind quantitativ orientiert. Eine Ergänzung durch eher qualitativ orientierte Indikatoren ist im Prinzip möglich und hängt im Wesentlichen auch von den (im weiteren Innovationsmanagementprozess noch zu konkretisierenden) Zielsetzungen des Indikatorensets bzw. dem Verwendungszweck ab. Die in Abschnitt 5.5.2 umgesetzten Indikatoren haben zum Teil qualitativen oder deskriptiven Charakter.

Die hier vorgeschlagenen Indikatoren sind kein Selbstzweck. Sie haben sich an verschiedenen Zielsetzungen der Energieforschung und -politik auszurichten. Auch die Gewichtung resp. Priorisierung dieser Zielsetzungen ist variabel und bestimmt die Messweise von Innovationsleistung bzw. -intensität in den verschiedenen Phasen sowie letztlich auch die konkrete Auswahl umzusetzender Indikatoren.

Eine erste Auswahl von Kernindikatoren und von typologischen Indikatoren wurde im Rahmen der vorliegenden Fallstudien umgesetzt.

Erste Erkenntnisse bezüglich der getroffenen Auswahl der Indikatoren

Die in den Fallstudien umgesetzten Indikatoren sind in Abschnitt 5.5.2 vorgestellt und diskutiert worden. Verschiedene und zum Teil auch für die Fallstudien relevante Indikatoren sind im Rahmen der vorliegenden Studie allerdings nicht umgesetzt worden. Diese umfassen Indikatoren wie Time-to-market (Nr. 2), Patent-Erstanmeldungen (Nr. 16), die Anzahl involvierter Zulieferer aus der Schweiz (Nr. 19) die Anzahl gegründeter (neuer) Unternehmen im Projektverlauf (Nr. 42) oder spezifischer für Energietechnologien ein wichtiger Indikatoren wie die Gestehungskosten pro erzeugte kWh (Nr. 24). Gründe dazu waren die teilweise schwierige Erhebbarkeit (Time-to-market, Anzahl Zulieferer) sowie die Zielsicherheit der Messung (Anzahl gegründeter Unternehmen, Gestehungskosten).

Die Auswahl von relevanten Indikatoren richtet sich grundsätzlich nach dem Verwendungszweck. In der vorliegenden Studie steht eine erste grobe Gegenüberstellung der Fallstudien mit einem kleinen Erhebungsaufwand im Sinne einer Ergänzung der gemachten qualitativen Aussagen im Vordergrund. Hinsichtlich von Wirksamkeitsanalysen oder eines begleitenden Monitorings nach Projekten oder nach Technologiebereichen muss die Auswahl nochmals evaluiert werden. Die hier vorgeschlagenen Indikatoren können auch für weitere Analysen wie Marktabklärungen, das Technologiemonitoring oder die Portfolio-Analyse eingesetzt werden (vgl. dazu Abschnitt 6.2).

Das Portfolio der vorliegenden Indikatoren sowie die ausgewählten Kernindikatoren sind als pragmatisches Konzept für eine quantitative und/oder qualitative Messung der Ziel- und Marktorientierung von Innovationsprozessen zu interpretieren. Die kostenseitige Bewertung der Indikatoren reflektieren die Intention einer zukünftigen Umsetzung des Indikatorenkonzepts und eine Integration in Wirksamkeitsmessung und Wissensmanagement des BFE. Die Umsetzung müsste im Rahmen von künftigen Arbeiten noch weiter konkretisiert und fokussiert werden.

Ein mögliches Erhebungskonzept hat sich an den Zielen der Umsetzung und an den finanziellen und zeitlichen Ressourcen auszurichten. Dabei sind verschiedene weitere Fragen zu beantworten. Zentrale inhaltliche Fragestellungen bezüglich Indikatoren bei einer möglichen zukünftigen Umsetzung werden in Abschnitt 5.5 diskutiert.

6. Synthese und Ansatzpunkte zur Optimierung von Innovationsprozessen

In diesem Kapitel kommen wir auf die Zielsetzung der Studie zurück. Welches sind die massgeblichen Hemm- und Förderfaktoren bei Innovationsprozessen im Bereich von Energietechnologien in der Schweiz und wie kann die Innovationsförderung optimiert werden? Als Förderinstitution steht das Bundesamt für Energie im Fokus.

Die zentrale Erkenntnis der Untersuchung ist, dass Innovationsprozesse ausgesprochen vielschichtig sind und ihr Erfolg dementsprechend von sehr unterschiedlichen Einflüssen auf verschiedenen Ebenen abhängt. Das Spektrum der Einflussfaktoren reicht von der Qualität neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse, über die praktische Nutzbarmachung und die Entwicklung neuer Produkte bis hin zu deren Einführung in neue oder bestehende Märkte. In diesem Prozess kann das Zusammenspiel von Hochschulen und privaten Unternehmen ebenso wichtig sein wie institutionelle Rahmenbedingungen - etwa im Bereich von Vorschriften oder nachfrageseitigen Instrumenten der Energiepolitik. Die Verfügbarkeit von Venture Capital kann ebenso erfolgsentscheidend sein, wie die Qualitäten des Managements der Unternehmen, die im Zentrum der jeweiligen Innovationsprozesse stehen. Die staatliche Förderung im Bereich von F+E kann ebenso zentral sein wie die Bereitstellung von öffentlichen Geldern zur Realisierung von Pilot- und Demonstrationsanlagen. Auch das persönliche Engagement einzelner Personen oder die Herausbildung guter Teams können für den Innovationserfolg mitentscheidend sein. Und schliesslich gibt es auch eine Reihe von ‚externen‘ Faktoren wie etwa die Entwicklung des Ölpreises oder die Liberalisierung der Energiemärkte, die in bestimmten Zeiten positive oder negative Einflüsse auf einen Innovationsprozess ausüben.

Angesichts dieser Komplexität sind einfache Erfolgsrezepte in Bezug auf die Frage, wie öffentliche Institutionen hier fördernd einwirken können, kaum abzuleiten. Dennoch (oder gerade aufgrund der Vielschichtigkeit) hat sich unserer Erkenntnis nach ein Grundprinzip aus der Analyse der Fallstudien herauskristallisiert: Innovationsförderung sollte ganzheitlich ausgerichtet sein, d.h. die verschiedenen Phasen, aber auch die verschiedenen Ebenen von Innovationsprozessen im Blick haben. Innovationsförderung ist mit anderen Worten weit umfassender als die Förderung von Wissens- und Technologietransfer oder Technologieentwicklung. Innovationsförderung sollte beispielsweise auch (derzeitige und zukünftige) Marktentwicklungen im In- und Ausland ‚mitdenken‘. Ebenso sollten bei der Vergabe von Fördermitteln neben den technologischen und wirtschaftlichen Parametern einer Innovation auch die spezifischen Eigenheiten der jeweils massgeblichen Unternehmen (und Personen) berücksichtigt werden.

Bei derart grundlegenden Empfehlungen stellt sich natürlich schnell die Frage der konkreten Umsetzung. Der zweite Abschnitt dieses Kapitels zeigt diesbezüglich eine Reihe möglicher Ansatzpunkte im Sinne von Erfolgsquellen und Problemzonen sowie daraus abgeleitet von Instrumenten und Handlungsfeldern auf. Diese sind insgesamt so ausgerichtet, dass sie der grundsätzlichen Anforderung einer ganzheitlichen Innovationsförderung nachkommen. Zuvor wird jedoch im Abschnitt 6.1 eine Synthese der Erkenntnisse aus den Fallstudien vorgenommen. Dazu gehört auch eine grobe Klassifizierung unterschiedlicher Innovationstypen und -phasen sowie der entsprechenden Förderbedürfnisse.

6.1 Synthese der Fallstudien

6.1.1 Breites Spektrum an Innovationen und Förderbedürfnissen

Die Analyse der Fallstudien hat gezeigt, dass es im Bereich von Energietechnologien ein breites Spektrum von Innovationen gibt, die sehr unterschiedlich verlaufen können und auch zum Teil unterschiedliche Bedürfnisse hinsichtlich einer staatlichen Förderung aufweisen. Obwohl bereits bei der Auswahl der Fallstudien bestimmte Einschränkungen vorgenommen wurden (vgl. Abschnitt 3.3), zeigen sich grosse Unterschiede bei zentralen Eigenschaften der untersuchten Innovationsprozesse. So stand etwa bei den beiden Photovoltaik-Fällen Flexcell und Oerlikon Solar die Entwicklung grundlegend neuer Technologien im Mittelpunkt, während es etwa bei den Solarwechselrichtern oder den Wärmepumpen-Tumbler um die Übertragung bestehender Technologien (Leistungselektronik, Wärmepumpe) auf neue Anwendungsbereiche ging.

Dementsprechend waren die Innovationsprozesse im Bereich Dünnschicht-Photovoltaik unter anderem durch lange Forschungsphasen gekennzeichnet. Derartige Innovationen können als *forschungsintensiv* bezeichnet werden. Gleichzeitig sind sie zeitaufwändig. So dauerte der Prozess von ersten Forschungsaktivitäten bis zur Markteinführung im Fall von Oerlikon Solar rund 20 Jahre – ein langer Zeitraum im Vergleich zum SolarMax-Wechselrichter (ca. 3 Jahre) oder dem Wärmepumpen-Tumbler bei V-Zug (2 Jahre). Wie die Fallstudien der Holzvergasung zeigen, kann sich aber auch die Weiterentwicklung bestehender Technologien über einen langen Zeitraum erstrecken (15-20 Jahre).

Es ist davon auszugehen, dass im Fall von forschungsintensiven Innovationen die Einbindung von Hochschulen und der Wissens- und Technologietransfer eine zentrale Rolle spielen, während dies in anderen Fällen weniger bedeutend sein dürfte. In ähnlicher Weise ist zu erwarten, dass zeitaufwändige¹⁵ Innovationen eine langfristige und kontinuierliche Förderung der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten benötigen – etwa von Seiten der beteiligten Hochschule(n) aber auch seitens der Fördereinrichtungen des nationalen Innovationssystems bzw. des Energiesektors (BFE, KTI, SNF etc.). Konkret zeigte sich z.B. für die beiden forschungs- und entwicklungsintensiven Fälle im Bereich der Dünnschicht-Photovoltaik, dass das kontinuierliche und hohe Engagement seitens BFE ein wesentlicher Erfolgsfaktor war und den hohen Anforderungen in den forschungsintensiven Phasen der Innovationsprozesse gut entsprochen hat.

Abgesehen von der Forschung kann aber auch die praktische Erprobung einer Technologie (Pilotanlagen, Prototypen, Prüfstände) eine wichtige Rolle im Innovationsprozess spielen. Dies hat sich etwa bei Pyroforce und Dasagren (beide Holzvergasung) sowie beim SwissMotor (WKK) gezeigt. Zudem kann auch die praktische Erprobung mit einem erheblichen Zeitaufwand verbunden sein. Für *praxisintensive* Innovationen sind tendenziell Fördergelder im Bereich von P+D, mit denen auch mehrjährige Projekte begleitet werden können, von entscheidender Bedeutung. Ebenso ist die frühe Einbindung von potenziellen Anwendern wichtig.

¹⁵ Forschungsintensive Innovationen dürften oftmals auch zeitaufwändig sein. Dieser Zusammenhang ist aber nicht zwingend gegeben. Daher diskutieren wir diese Eigenschaften unabhängig voneinander.

Ein weiterer Unterschied zeigt sich bezüglich der *Kapitalintensität* der Innovationsprozesse. Dabei geht es zunächst um den Kapitalbedarf auf Seiten des Entwicklers. Beispiele für kapitalintensive Innovationen in dieser Studie sind die Dünnschicht-Solar-Technologie und die Holzvergasung. In allen vier Fällen bestand eine grosse Herausforderung darin, das für weitere Entwicklungsschritte (Upscaling, Pilotanlagen, Einstieg in die Produktion, Marktumsetzung) erforderliche Kapital zu mobilisieren. Eine Förderung von kapitalintensiven Innovationen kann bei der Finanzierung von Pilot- und Demonstrationsanlagen sowie bei der Vermittlung von Risikokapital ansetzen.

Die Kapitalintensität einer Innovation kann auch auf Seiten der Anwender zum Tragen kommen, wenn die Anschaffungskosten für das neue Produkt bzw. die neue Technologie deutlich höher sind als die von konkurrierenden, aber weniger energieeffizienten Alternativen. Dies gilt etwa im Fall SwissMotor oder bei den Wärmepumpen-Tumbler. In solchen Situationen können Förderinstrumente, die auf eine Reduktion der (höheren) Anschaffungskosten abzielen, den Innovations- und Diffusionsprozess stützen.

In Abbildung 40 sind die Fallstudien anhand einer Einschätzung ihrer Forschungs-, Kapital- und Praxisintensität aufgetragen.

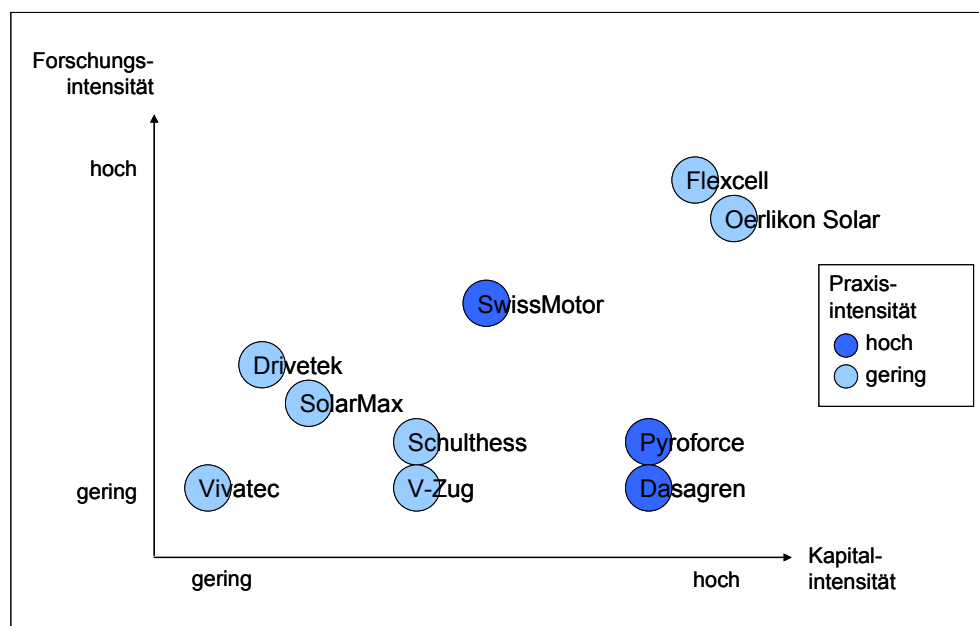


Abbildung 40: Klassifizierung der Fälle anhand von Forschungs-, Kapital- und Praxisintensität

Neben den forschungs- und entwicklungsintensiven Innovationen gibt es eine Reihe von Beispielen, in denen der Innovationsprozess bereits mit praxisnahen, angewandten Entwicklungsarbeiten oder Analysen beginnt (SolarMax, Wärmepumpen-Tumbler oder Umrichter) und der Übergang zur Markteinführung keiner aufwändigen Phase mit Pilotanlagen und Prototypen bedarf. In solchen Situationen sind die Fachhochschulen für den Innovationsprozess von grösserer Bedeutung als die Universitäten. Zum Teil können die Unternehmen die Entwicklung aber auch ganz ohne Partner aus der Wissenschaft umsetzen. Wenn eine Innovation zudem wenig zeit- und entwicklungsintensiv ist, reicht eine punktuelle Unterstützung seitens staatlicher Stellen oftmals aus, um wesentliche Fortschritte zu erzielen oder den Innovationsprozess zu beschleunigen.

Die folgende Tabelle zeigt eine grobe Zuordnung, wie sich aus den genannten Innovationseigenschaften ein unterschiedlicher Bedarf hinsichtlich einer Förderung bzw. Zusammenarbeit mit den verschiedenen Einrichtungen bzw. Akteuren ergeben kann. Es ist zu beachten, dass die drei Dimensionen von Innovationseigenschaften kombinierbar sind. Die Tabelle ist daher nicht so zu interpretieren, dass forschungsintensive Innovationen etwa kein Venture Capital benötigen. Vielmehr sind forschungsintensive Innovationen vor allem auf die Kooperation mit Hochschulen und die F+E-Förderung angewiesen. Wenn eine forschungsintensive Innovation dann zugleich aber noch kapitalintensiv ist, dann ist auch die Verfügbarkeit von Venture Capital sehr wichtig.

Tabelle 20: Innovationseigenschaften und Abdeckung des Förderbedarfs durch verschiedene Partner

	Hochschulen	Fachhochschulen	F&E Förderung	P+D-Förderung	Venture Capital
forschungsintensiv	++	+	++		
kapitalintensiv				+	++
praxisintensiv	(+)	+		++	

Kooperation / Bedarfsabdeckung sehr wichtig ++, wichtig +, manchmal wichtig (+)

Die Förderbedürfnisse hängen aber nicht nur von den grundlegenden Eigenschaften einer Innovation, sondern auch von der jeweiligen Entwicklungs- bzw. Innovationsphase ab. Wenn man auf der Basis der Innovationsgeschichten und der Analyse der Hemm- und Förderfaktoren eine grobe Einteilung vornimmt, wie gross in den verschiedenen Fällen der Förderungsbedarf in den jeweiligen Innovationsphasen war, so ergibt sich Tabelle 21.¹⁶

Tabelle 21: Förderbedarf der untersuchten Innovationsprozesse

	Grdlg. Forschung	Angew. Forschung	Prototypen u. Pilotanlagen	Markteinführung	Diffusion
Flexcell	++	++	++	++	++
Oerlikon Solar	++	++	+	++	++
SolarMax		+	o	++	++
SwissMotor		++	++	++	+
WPT Schulthess		o	o	+	+
WPT V-Zug		o	o	+	+
Drivetek		+	+	o	o
Vivatec		+	+	o	o
Pyroforce		+	++	+	+
Dasagren		+	++	+	+

Förderbedarf gering (o), eher hoch (+), sehr hoch (++)

¹⁶ In den Feldern, in denen keine Einträge vorhanden sind, war die Phase nicht relevant. In Bezug auf die Diffusionsphase wurde abgeschätzt, ob die Technologie bzw. das Produkt von den relativen Kosten her sehr viel, viel oder moderat teurer ist im Vergleich zu heute etablierten Alternativen und es wurde angenommen, dass bei großen Preisunterschieden der Förderbedarf entsprechend hoch ist.

Es wird deutlich, dass mehrere Innovationsprozesse wie etwa Flexcell, Oerlikon Solar (beide Photovoltaik), SwissMotor (WKK), Pyroforce und Dasagren (beide Holzvergasung) eine Förderung über alle Phasen¹⁷ hinweg benötig(t)en - z.T. mit unterschiedlicher Intensität. In diesen Fällen ist zu erwarten, dass der Koordination der jeweiligen Instrumente bzw. Fördereinrichtungen eine besondere Bedeutung zukommt (s.u.). Darüber hinaus fällt auch auf, dass in der Phase der Markteinführung in allen betrachteten Fällen ein Unterstützungsbedarf auszumachen war. Hier gab es in den untersuchten Fallstudien wesentliche Hemmnisse. Im Fall von Drivetek und Vivatec (beide Umrichter) sind die Bedürfnisse vergleichsweise gering und die Schwierigkeiten liegen vor allem beim Übergang zur Markteinführung (etwa Identifikation potenzieller Kunden).

Betrachtet man noch einmal die Dauer und die Phasen der verschiedenen Innovationsprozesse (vgl. Abbildung 41), so fällt auf, dass mehrere Fälle eine lange Markteinführungsphase verzeichnen bzw. verzeichneten oder wie im Fall SwissMotor dort sogar abgebrochen wurden.

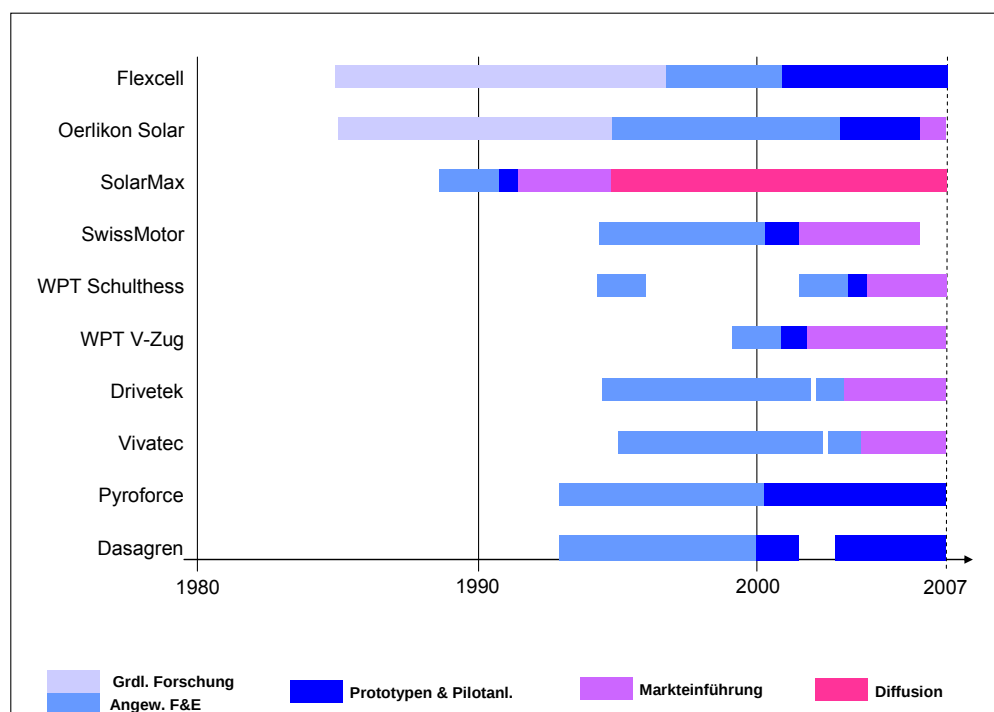


Abbildung 41: Hauptphasen der Innovationsprozesse im Überblick

Hier zeigt sich, welche Bedeutung der Nachfrageseite im Innovationsprozess zukommt. Im Bereich von Energietechnologien geht es immer wieder um Produkte und Technologien, die erst nach einer mehrjährigen breiten Diffusion und Kostensenkung (in Verbindung mit institutionellen und strukturellen Anpassungen in ihrem Umfeld) erfolgreich mit etablierten Technologien konkurrieren können. In diesen Fällen sind nachfrageseitige Fördermassnahmen und damit auch die Energiepolitik gefragt, um den betreffenden Innovationen den nötigen (An-)Schub zu verleihen und eine kontinuierliche Weiterentwicklung zu ermöglichen. Im Fall der Photovoltaik hat sich etwa eindrücklich gezeigt, dass die Erfolgsgeschichte von SolarMax oder auch die grossen Entwicklungsschübe bei Flexcell und Oerlikon Solar ohne den (staatlich geförderten) deutschen Solarmarkt nicht möglich gewesen wären.

¹⁷ D.h. inklusive Forschung im Allgemeinen. Eigentliche Grundlagenforschung fand nur im Fall von Flexcell und Oerlikon Solar statt.

6.1.2 Ansatzpunkte der öffentlichen Förderung

In Anbetracht der unterschiedlichen Förderbedürfnisse stellt sich die Frage, wo und wie denn die Förderung in der jeweiligen Innovationsphase und im betreffenden Innovationsumfeld am besten ansetzen kann bzw. wo – insbesondere im Fall staatlicher Fördereinrichtungen – der Einflussnahme auch Grenzen gesetzt sind.

In den einzelnen Fallstudien wurden die Hemm- und Förderfaktoren unterschiedlichen Ebenen zugeordnet: der Organisationsebene (Unternehmen, Forschungsgruppe), der Ebene des Technologiebereichs bzw. Innovationssystems und dem weiteren Umfeld (Landschaftsfaktoren, ausländische Märkte). Grundsätzlich kann man festhalten, dass Entwicklungen im weiteren Umfeld für das BFE oder andere Fördereinrichtungen nicht oder nur wenig beeinflussbar sind. Auch auf Entwicklungen und Herausforderungen auf der Organisationsebene wird man in der Regel kaum oder nur indirekt Einfluss nehmen können. Hier geht es dann in erstere Linie darum, Entwicklungen genau zu verfolgen (etwa im Sinne eines Monitorings auf unterschiedlichen Ebenen) und beispielsweise die Vergabe zukünftiger Fördermittel entsprechend anzupassen.

Auf der Ebene des Technologiebereichs hingegen kann die öffentliche Förderung sehr wohl einwirken und hat dies vielfach auch erfolgreich getan. So ist die deutliche Mehrheit der Faktoren, die in den untersuchten Fällen fördernd gewirkt haben, auf der Ebene des Innovationssystems angesiedelt. Hierzu zählen insbesondere die zahlreichen Fördermassnahmen seitens BFE, KTI und anderer Einrichtungen sowie der Support von Hochschulen und Fachhochschulen. Umgekehrt gibt es bei den Hemmfaktoren die wenigsten Einträge auf der Technologiebereichsebene. Nichtsdestotrotz gab es auch dort verschiedentlich Schwächen wie etwa das Fehlen einer Finanzierungsmöglichkeit für das Upscaling im Fall von Flexcell oder die Probleme mit Eigentumsrechten beim SwissMotor.

Das Umfeld sticht seinerseits in Bezug auf die wichtigsten Hemmfaktoren heraus. Nachteilige Markt- und regulatorische Rahmenbedingungen sowie ein Mangel an Kapital erschweren oder verunmöglichen wiederholt den stabilen Verlauf von Innovationsprozessen und deren erfolgreichen Abschluss. Deutlich wird hier, dass das BFE diese Rahmenbedingungen und deren Veränderung zum einen beobachten sollte, aber – soweit möglich – auf im Sinne einer ganzheitlichen Innovationspolitik aktiv mit gestalten sollte, so dass innovative Technologie-Entwicklungen nicht dann ins Leere laufen, wenn es um Markteinführung und die weitere Verbreitung geht.

Auf der organisatorischen Ebene nehmen oft spezifische Unternehmensbedingungen und das Engagement von Schlüsselpersonen einen positiven Einfluss auf die betrachteten Innovationsprozesse. Bei den Hemmfaktoren sind typischerweise Management-, Netzwerk- respektive Know-how-Defizite das Problem. Diese Defizite sind nicht selten mit den begrenzten Ressourcen von KMUs verbunden. Auch solche Förder- und Hemmfaktoren kann das BFE nur bis zu einem gewissen Grad mit beeinflussen. Wichtig erscheint aber, dass im Rahmen der Vergabe von Fördermitteln auch Prozesse auf der Unternehmensebene, die den Innovationserfolg behindern oder ganz in Frage stellen können, aufmerksam zu verfolgen sind.

6.1.3 Einfluss und Zusammenspiel der verschiedenen Förderinstitutionen

Die in der Studie betrachteten Innovationsprozesse wurden von den verschiedenen Fördereinrichtungen unterschiedlich intensiv begleitet bzw. unterstützt, vgl. Tabelle 22. Auffallend sind die Fälle Flexcell und Oerlikon Solar, die sowohl von Seiten der beteiligten Hoch- bzw. Fachhochschulen als auch vom BFE sehr intensiv gefördert wurden und darüber hinaus Fördermittel von der KTI und von privatwirtschaftlichen Fonds (z.B. dem PSEL) erhielten. Aber auch der SolarMax Wechselrichter, die Wärmepumpen-Tumbler sowie die Innovationsprozesse im Bereich Holzvergasung wurden von verschiedenen Stellen gefördert, wenn auch z.T. weniger intensiv.

In solchen Fällen ist eine Abstimmung zwischen den beteiligten Institutionen von grosser Bedeutung, insbesondere wenn die Förderung gleichzeitig stattfindet oder die Fördermittel bzw. die entsprechenden Projekte aufeinander aufbauen (sollen). Abstimmungsbedarf besteht hinsichtlich der Ziele der jeweiligen Förderung, der Vergabekriterien, der Projektdauer u.s.w.

Tabelle 22: Intensität der öffentlichen Förderung seitens unterschiedlicher Institutionen in den untersuchten Innovationsprozessen

Fallstudie	Technologiebezug	Hochschulen	Fachhochschulen	BFE F+E	BFE P+D	KTI	Sonstige (z.B. Fonds)
Flexcell	Photovoltaik (EE)	+	++	++		+	+ *
Oerlikon Solar		+		++		+	(+) *
SolarMax			++	+		+	
SwissMotor	WKK (Effizienz)	+		+			+ **
Schulthess	Wärmepumpen / Haushaltsgeräte (Effizienz)			+			+ ***
V-Zug			(+)	+			+ ****
Vivatec	Umrichter (Effizienz)			+			
Drivetek			++				
Pyroforce	Holzvergasung (EE)			+	+		+ *****
Dasagren				+	+		+ *****

Anmerkungen:

* PSEL

** FOGA

*** Stromsparfonds, ARENA

**** Stromsparfonds

***** Bundesamt für Armeematerial und Bauten

***** EKZ

Förderung intensiv ++, weniger intensiv +, punktuell (+); kein Eintrag: keine Förderung

In der Gegenüberstellung fällt darüber hinaus auf, dass mit Ausnahme der Holzvergasung das BFE in keinem der betrachteten Fälle P+D-Aktivitäten unterstützt hat. Gerade für die Upscaling-Bemühungen in den Innovationsprozessen Flexcell, Oerlikon Solar und auch im Fall des SwissMotor hätte eine Unterstützung mit P+D-Mitteln den Innovationsprozess möglicherweise beschleunigen bzw. stabilisieren können. So hätte beispielsweise VHF-Technologies (Flexcell) mit einer für größere Zellenmasse geeigneten Demonstrationsanlage auf soliderer Grundlage mit potenziellen Investoren verhandeln können.

Weiterhin ist unseres Erachtens bemerkenswert, dass lediglich bei den beiden entwicklungsintensiven Fällen aus dem Bereich Photovoltaik die KTI in Förderprojekten präsent war. Mit Blick auf den Umstand, dass einige der untersuchten Pro-

zesse lange in der Phase der Markteinführung verharren (s.o.) und die KTI grundsätzlich darauf ausgerichtet ist, in dieser Phase Unterstützung zu bieten, hätte hier möglicherweise eine Begleitung durch die KTI durchaus förderlich sein können. So wäre etwa im Fall SwissMotor eine KTI-Förderung unter Einbezug der ETHZ für die Übertragung der Technologie auf höhere Leistungsklassen denkbar und wohl auch wirkungsvoll gewesen.

Ein Hindernis mit Blick auf eine KTI-Förderung stellt in einigen der betreffenden Fälle möglicherweise der fehlende Hochschulbezug dar. Das bedeutet, dass für Innovationen im Energiebereich, die wenig forschungsintensiv sind und für die eine enge Zusammenarbeit mit Hochschulen daher nicht zentral ist, einzig das Bundesamt für Energie bzw. privatwirtschaftliche Förderfonds als potenzielle Förderer in Frage kommen.

Betrachtet man noch einmal, wo die verschiedenen Fördereinrichtungen des nationalen Innovationssystems und des Energiebereichs Schwerpunkte setzen hinsichtlich der von ihnen typischerweise unterstützten Innovationsphasen (vgl. Abbildung 42), so wird deutlich, dass es insbesondere im Bereich der Forschungsförderung eine breite Auswahl von Finanzierungsquellen und anderen Fördermöglichkeiten gibt. Eine derartige Überlappung ist grundsätzlich wünschenswert, weil die Einrichtungen sich immer auch noch in ihren Vergabeprinzipien (z.B. bottom-up vs. Programmförderung, KMUs vs. Grossunternehmen, Projekte vs. längerfristige Förderung) und hinsichtlich der verfügbaren Budgets unterscheiden (vgl. Kapitel 2.4).

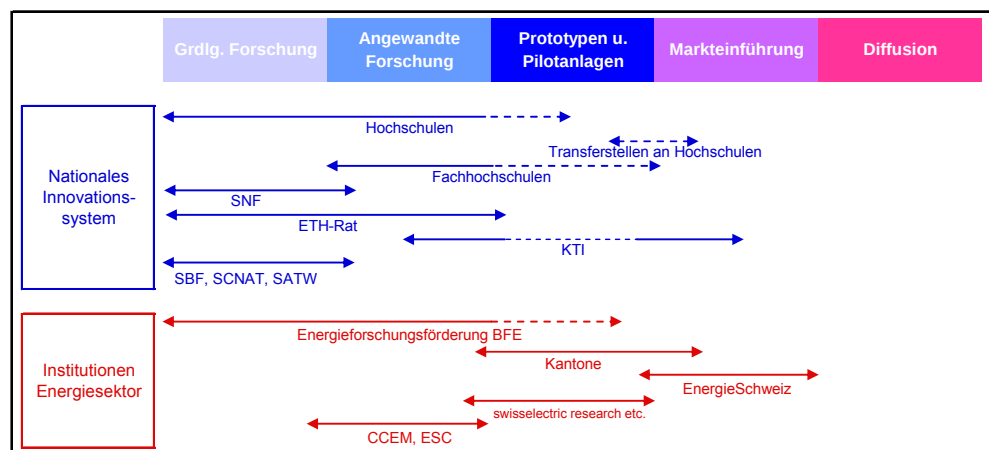


Abbildung 42: Fördereinrichtungen im Energiebereich und ihre Schwerpunkte in den verschiedenen Innovationsphasen

Es zeigt sich aber auch, dass eine Lücke im Bereich der Pilotprojekte und Prototypen klafft. Im Kern übernimmt derzeit vor allem die Privatwirtschaft (z.T. auch mit Unterstützung einzelner Förderfonds) die Aufwendungen für Pilotanlagen. Oft stossen jedoch gerade KMUs hier an die Grenzen ihrer finanziellen Ressourcen.

Weiterhin ist zu beachten, dass Pilot- und Demonstrationsprojekte, wie sie seitens BFE ursprünglich gefördert wurden (und in Zukunft auch wieder gefördert werden sollen), noch nicht zwingend zu Prototypen führen. Für eine 'Übergabe des Innovationsprozesses an die KTI' wird aber oft schon eine sehr marktnahe Produkt- oder Technologiereife verlangt. Eine weitere Hürde in Bezug auf die KTI-Förderung ist, wie erwähnt, die notwendige Hochschulbeteiligung. Zudem ergibt sich die Herausforderung, dass die Förderzeiträume der KTI (oft 1,5 Jahre) besonders für Innovationen, bei denen noch lange Testzeiten erforderlich sind, eher kurz angelegt sind.

Vor diesem Hintergrund erscheint etwa eine Verstärkung der BFE-Mittel im Bereich P+D bzw. marktnahe Innovationsförderung angezeigt. Das Programm EnergieSchweiz kann die erwähnten Defizite nur sehr indirekt angehen, da es keine konkreten Innovationsprozesse, sondern nur Technologien bzw. Produkte insgesamt fördern kann. Inwiefern auch eine Veränderung der Vergabeprinzipien der KTI hier zu einer Optimierung führen kann, wäre gesondert zu untersuchen.

Eine Unterstützung der Markteinführung und insbesondere der Diffusion von Energie-Innovationen ist aber nicht allein Aufgabe der genannten Fördereinrichtungen, sondern auch eine Frage der Energie- und Umweltpolitik. Hier zeigt die Untersuchung, dass die schweizerische Energiepolitik bei den betrachteten Innovationsprozessen nur wenig Wirkung entfaltet hat.

Das Bundesamt für Energie spielt im Bereich der Förderung von Energie-Innovationen eine zentrale Rolle in der Schweiz. Dies betrifft sowohl die zur Verfügung stehenden Budgets (vgl. Abschnitt 2.4) als auch das breite Spektrum an Innovationsphasen, die grundsätzlich abgedeckt werden können (vgl. Grafik). Diese strategische Schlüsselposition könnte das BFE in Zukunft möglicherweise sogar noch ausbauen, wenn nämlich die Forschungs- und Innovationsförderung noch stärker mit den Massnahmen und Initiativen im Bereich EnergieSchweiz und ggf. auch mit den Spielräumen bei der Umsetzung energiepolitischer Beschlüsse abgestimmt wird.

6.2 Ansatzpunkte zur Optimierung von Innovationsprozessen

Aus der Gesamtschau der zehn vorgelegten Fallstudien können verschiedene Ansatzpunkte zur Optimierung von Innovationsprozessen identifiziert werden. Diese Ansatzpunkte stellen Erfolgsquellen und/oder Problemzonen für einen erfolgreichen Verlauf von Innovationsprozessen dar. Sie haben empfehlenden Charakter und resultieren aus der Identifikation von zentralen Einflussfaktoren in den durchgeführten Fallstudien. Zudem sind sie eine Konsequenz aus der in den vorangegangenen Abschnitten ausgearbeiteten Synthese.

Im Zentrum der vorgeschlagenen Ansatzpunkte steht die Optimierung von Innovationsprozessen aus Sicht der geförderten Unternehmen und Hochschulinstitute. Die Ansatzpunkte setzen hauptsächlich bei der Förderstrategie und den einzelnen Instrumenten des BFE an. Dort, wo enge Verbindungen zu Akteuren, Organisationen oder institutionellen Regelungen ausserhalb des BFE bestehen, werden diese ebenfalls berücksichtigt.

In Tabelle 23 sind 13 Problemzonen und Erfolgsquellen ausgeführt. Diese stellen Sammelgrössen dar, in denen in der Regel mehrere zentrale Einflussfaktoren gebündelt sind. In der Tabelle sind die jeweiligen Rückbezüge zu den Fallstudien stichpunktartig veranschaulicht. Damit wird die Verbindung der Ansatzpunkte zu konkreten Einflussfaktoren transparent. Die Reihenfolge der Ansatzpunkte ergibt sich aus einer Priorisierung. Ansatzpunkte der Kategorie A sind als sehr wichtig eingestuft, weil sie sowohl aus der Perspektive einer Prozessoptimierung als auch aufgrund einer evidenten Abstützung in den Fallstudien als prioritär zu sehen sind. Hingegen stehen die Ansatzpunkte der Kategorie B in beiderlei Hinsicht in der Bedeutung nach den Ansatzpunkten der A-Kategorie. Weiterhin sind in der folgenden Darstellung Einschätzungen zur Umsetzbarkeit (gut - mittel - schwierig) der einzelnen Ansatzpunkte aufgeführt. Aus der gemeinsamen Betrachtung der Priori-

tät und der Umsetzbarkeit kann in einer ersten Annäherung der konkrete Handlungsbedarf abgelesen werden.

Die nachfolgende Übersicht in Abbildung 43 stellt den jeweiligen Bezug zwischen den Ansatzpunkten und den Instrumenten her. Ausgehend von den Ansatzpunkten werden in Tabelle 24 nächste Schritte aufgezeigt. Es finden sich dort mögliche Instrumente und Handlungsfelder zur Operationalisierung der Ansatzpunkte. Zunächst stellen sechs Instrumente bzw. Handlungsfelder perpektivisch zukünftige Umsetzungsschritte dar. Konkretisiert werden diese in einer nächsten Stufe über die Ausformulierung von Operationalisierungsoptionen und Kriterien. Damit werden einige der Instrumente spezifiziert. Wie auch schon bei den Ansatzpunkten werden die Instrumente mit einer Priorisierung und Einordnung bezüglich der Umsetzbarkeit abgerundet. Die Anzahl der Verbindungen, die von den Ansatzpunkten ausgehend auf die jeweiligen Instrumente respektive Handlungsfelder zielen, steht dabei nicht für deren Bedeutung.

Die Fallstudien zeigen, dass eine stärker auf erneuerbare Energien und einen rationalen Energieeinsatz ausgerichtete Energiepolitik einen massgeblichen Einfluss auf die Entwicklung von Innovationsprozessen und auch den technologischen Entwicklungspfad bei den hier näher untersuchten Technologiebereichen ausübt. Dazu gehört unter anderem auch eine stärker anreizorientierte Energiepolitik durch die Internalisierung von externen Kosten der Energienutzung oder eine materielle Verbesserung der Einspeisevergütung. Diesem markt- und ausgesprochen politikorientierten Handlungsfeld sind im Rahmen der vorliegenden Studie keine konkreten Ansatzpunkte und Vorschläge zugeordnet worden.

Tabelle 23: Übergeordnete Erfolgsquellen und Problemzonen in den untersuchten Innovationsprozessen

Problemzonen (PZ) und Erfolgsquellen (EQ)	Innovationsphasen	Technologiebereiche	Verankerung in Fallstudien	Priorität	Umsetzbarkeit	Adressaten
PZ 1) Die Forschungs- und Technologieförderung des BFE ist meist wirkungsvoll, in späteren Innovationsphasen fehlt aber mitunter eine entsprechende Unterstützung. Die Förderbedürfnisse in frühen Phasen der Technologieentwicklung unterscheiden sich von den Anforderungen in späteren Innovationsphasen. Ein Set von Instrumenten für spätere Phasen (z.B. ausgeprägte P+D-Förderung, WTT auch in Phase der Markteinführung, KMU-Unterstützung, stärkere Integration privater Akteure) würde den gesamten Prozess stärken.	P+D-Phase, Markteinführung	Technologiebereiche mit P+D-Phasen und Upscalingbedarf	Fallstudie Flexcell: Technologieübertragung und -diversifizierung nicht durch BFE finanziert, sondern durch andere Förderinstitutionen; Upscalingbedarf Fallstudie Oerlikon Solar: Fehlende Finanzmittel Technologiekonsolidierung; Upscalingbedarf Fallstudie SwissMotor: Zu früher Abbruch der Zusammenarbeit mit Hochschule, Patentfragen ungeklärt Technologie Umrichter: Bedarf an P+D-Unterstützung und bei Netzwerkbildung Technologie Holzvergasung: Fehlende P+D-Mittel lassen Marktumsetzung nicht recht vorankommen.	A	mittel	BFE, Politik
PZ 2) Eine mangelnde frühzeitige Berücksichtigung von wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen gefährdet den erfolgreichen Verlauf von Innovationsprozessen. Eine mangelnde Ausrichtung der Forschungs- und Technologieförderung (im Sinne einer Vorausschau) an Marktlogiken (z.B. Betrachtung von Unternehmensstrategien, Marktpotenzial) bzw. an regulatorischen Rahmenbedingungen kann eine Problemquelle für Innovationsprozesse darstellen. Insbesondere erscheint die kontinuierliche Beobachtung (potenzieller) Veränderungen wichtig. Auch ausländische Märkte und Rahmenbedingungen sind hiermit einzubeziehen (komparative Marktbetrachtung).	Vor allem bei späteren Innovationsphasen entscheidend, in frühen Phasen sollte dies z.T. aber auch schon vorausschauend mitgedacht werden.	Alle Technologiebereiche, teilweise auch einzelne Prozesse und Projekte	Technologie Photovoltaik: Kein Heimmarkt, zentrale Rolle ausländischer Märkte (Innovationsprozesse wären ins Leere gelaufen) Fallstudie SwissMotor: Rücknahme Verschärfung Emissionsvorschriften führt zu Nachfrageeinbruch in CH Produkt WPT: Nur Heimmarkt, aber fehlender Anreiz für Käufer Technologie Umrichter: Nachfrage beeinflusst Entwicklung der Technologie/Innovationsprozesse stark (Energiepreise, Regulierungen) Technologie Holzvergasung: Erwartungen bzgl. einer Erhöhung der Einspeisevergütung haben Entwicklungen in Richtung einer Marktumsetzung beschleunigt.	A	gut bis mittel	BFE

Problemzonen (PZ) und Erfolgsquellen (EQ)	Innovationsphasen	Technologiebereiche	Verankerung in Fallstudien	Priorität	Umsetzbarkeit	Adressaten
EQ 3) Durch staatliche Regulierung gestützte Nachfrage nach innovativen Energietechnologien ist wesentlicher Treiber bei Markteinführung und Diffusion.	Markteinführung, Diffusion	Alle Technologiebereiche	Technologiebereich Photovoltaik: PV-Boom durch EEG in Deutschland ist wesentlicher Erfolgsfaktor in allen drei Fallstudien. Fallstudie SwissMotor: Durch Rücknahme der strengen LRV 1992 Vorschriften bricht schweizerische Technologie-Nische ein. Produktbereich WPT: Keine ausreichende Nachfrage nach teureren, energieeffizienten Technologien. Technologiebereich Holzvergasung: Erwartungen bzgl. einer Erhöhung der Einspeisevergütung haben Entwicklungen in Richtung einer Marktumsetzung beschleunigt	A	mittel bis schwierig	Politik, BFE
PZ 4) Spezifische Engpässe und Einschränkungen bei KMUs (einschliesslich Spin-offs, Start-ups) behindern Innovationsprozesse. KMU-spezifische Schwächen sind begründet in begrenzten Ressourcen (Kapital, Entwicklungskompetenz/-kapazität, Sprung auf ausländische Märkte, zu geringe Vernetzung mit Hochschulen usw.). Bei Neu- und Ausgründungen liegen die Herausforderungen vor allem in dem Aufbau von Managementstrukturen und -kapazitäten sowie beim Kapitalbedarf.	Angewandte Forschung bis hin zur Markteinführung	Alle Technologiebereiche	Fallstudie Flexcell: Kapitalmangel und organisatorische Schwierigkeiten Fallstudie SwissMotor: Unterschätzung Technologie-Übergabe und -Upscaling; Schwierigkeiten, den südkoreanischen Markt zu bedienen Fallstudie Drivetek: Aufbau von Unternehmensstrukturen erweist sich als Schwierigkeit. Technologiebereich Holzvergasung: Kapitalmangel sowie fehlende kritische Masse behindern Schritt von P+D-Phase zur Markteinführung.	A	schwierig	Bund (BFE, KTI, weitere Bundesstellen), Privatwirtschaft
PZ 5) Kapitalbeschaffung inkl. Venture Capital Die Kapitalbeschaffung beim Übergang zur P+D-Phase bzw. zur Markteinführung stellt sich in vielen Fällen als zentrales Problem dar. Insbesondere die Vermittlung von Venture Capital (einschliesslich der Überzeugung potenzieller Investoren) ist eine Herausforderung.	P+D-Phase, Markteinführung	Kapitalintensive Technologiebereiche	Fallstudie Flexcell: Über längere Zeit kann keine stabile Fremdkapitalbasis etabliert werden. Fallstudie Oerlikon Solar: Die Einbindung von Oerlikon in den Innovationsprozess benötigte viel Überzeugungsarbeit. Fallstudie Dasagren: Die Akquisition von Risikokapital erweist sich als grosse Schwierigkeit.	A	mittel	KTI, Dritte

PZ 6) Optimierung Zusammenarbeit BFE und KTI Zwischen BFE und KTI kann die Abstimmung noch weiter optimiert werden, dies insbesondere mit Blick auf die besonderen Bedürfnisse in Innovationsprozessen von Energietechnologien (z.B. Langfristigkeit und Kapitalintensität).	Angewandte Forschung, P+D-Phase, Umsetzung	Alle Technologiebereiche, besonders Technologiebereiche mit Hochschulpartnern	Fallstudien Oerlikon Solar und Flexcell: Möglicherweise hätte die KTI eine grössere Rolle bezüglich des Upscaling spielen können. Fallstudie SwissMotor: Probleme bei der Übertragung der Technologie auf grössere Motoren für Korea hätten vermutlich mit KTI-Projekt(en) aufgefangen werden können. Technologiebereich Umrichter: P+D Projekte könnten durch KTI unterstützt werden, ist mitentscheidend für marktgetriebenen Innovationsprozess. Technologiebereich Holzvergasung: Fehlende Verankerung an Hochschulen erschwert Zugang zu KTI-Förderung.	B	mittel	BFE, KTI
PZ 7) Unterschiedliche Normen und fehlende Standards bei Bewilligungsverfahren schaffen Probleme. Entsprechende Standards schaffen eine höhere Planungs- und Investitionssicherheit und senken auch die Transaktionskosten bei den Unternehmen im Hinblick auf die Umsetzung und Markteinführung neuer Technologien.	P+D-Phase und Marktumsetzung	Ausgewählte Technologiebereiche	Fallstudie SwissMotor: LRV 1992 und LRV 1998. Fallstudien WPT Schulthess und WPT V-Zug: Fehlende Vorschriften zur Verwendung von Haushaltsgeräten der Energieeffizienzklasse A. Technologiebereich Holzvergasung: Unsicherheiten über Normen und Bewilligungsverfahren (u.a. Sicherheit, Umwelt, Raumplanung) schaffen Schwierigkeiten bei der Marktumsetzung.	B	mittel bis schwierig	BFE, weitere Akteure

Problemzonen (PZ) und Erfolgsquellen (EQ)	Innovationsphasen	Technologiebereiche	Verankerung in Fallstudien	Priorität	Umsetzbarkeit	Adressaten
EQ 8) Die Berücksichtigung von Schnittstellen von Innovationsprozessen zur F+E an Hochschulen ist wesentlich. Wissens- und Technologietransfer über Projekte und über Köpfe zwischen Hochschulen und Unternehmen erleichtert den Übergang zwischen Grundlagenforschung, angewandter Forschung und Marktumsetzung. Wichtig erscheint im Zusammenhang mit Energie- bzw. Technologieforschungsförderung auch die Frage, ob genügend Ausbildungsangebote (z.B. entsprechende Studiengänge, geeignete Absolventen, Kompetenzzentren, Institute an Hochschulen) vorhanden sind, damit die innovierenden Unternehmen später qualifizierte Mitarbeiter für Forschung, Entwicklung und Marktumsetzung finden.	Eher frühe, prinzipiell alle	Im Prinzip alle Technologiebereiche	Fallstudien Flexcell und Oerlikon Solar: Übergang der zentralen Know-how-Träger von der Universität zum Unternehmen Technologie Umrichter: Aus Hochschulen kommen wichtige Impulse für Unternehmensideen, technologische Entwicklungen und persönlichen Werdegang. Technologie Holzvergasung: Stärkeres Standbein an FHs (Engineering, Anlagenbau) hätte Weiterentwicklung der Technologie befruchtet.	B	gut bis mittel	BFE, KTI
EQ 9) Grössere Spielräume in der Mittelzuteilung und -verwendung können den Innovationsprozess befördern. Bei der Verwendung der Fördermittel ist gerade im Bereich grundlagenforschungsnahe Aktivitäten eine gewisse Flexibilität in der Mittelverwendung vorteilhaft. Zudem hilft eine Flexibilität in der Förderung von Entwicklungen, bei denen nach technologischen Durchbrüchen der weitere Prozess zu stärken ist und höhere finanzielle Mittel benötigt werden.	Eher frühe und mittlere Phasen, prinzipiell alle	Eher forschungsintensive Technologien	Fallstudien Flexcell und Oerlikon Solar: Kontinuierliche Förderung und Kernfinanzierung des IMT durch BFE; Werdegänge einiger Forscher am IMT Fallstudien SolarMax und SwissMotor: Unterstützung Schlüsselprojekte durch BFE Fallstudien WPT Schulthess und V-Zug: BFE-Beteiligung an Produktentwicklung	B	gut	BFE

EQ 10) Fachliche Unterstützung und persönliche Begleitung einschliesslich einer langfristig angelegten Beziehungspflege durch die BFE-Bereichs- und -Programmleiter (Innovationspate) können für Innovationsprozesse elementar sein. Ein Innovationspate seitens des BFE fungiert als direkter Ansprechpartner und organisiert bspw. eine langfristige Perspektive, Kontinuität von F+E, das Erkennen von Potenzialen und Hindernissen für den weiteren Innovationsprozess, Marktbeobachtung, Entwicklung von Innovationsstrategien, Vermittlung von Kontakten und Netzwerkbildung.	Alle Phasen, von Beginn an	Eher zeit- und entwicklungsintensive Innovationen	Fallstudie Oerlikon Solar: Kompetente Begleitung durch BFE-Programmleiter; BFE-initiierte Begleitung bei Technologieumsetzung Fallstudie SwissMotor: Vernetzungsfunktion der BFE-Bereichs- und -Programmleiter Technologiebereich Holzvergasung: BFE hatte teilweise Rolle eines Förder- und Innovationspaten wahrgenommen; Kontinuität der Förderung war aber z.T. nicht gewährleistet (dasagren).	B	gut bis mittel	BFE
EQ 11) Innovationsverantwortliche auf der Seite der Fördernehmer (product champion, power promoter) können ein zentraler Erfolgsfaktor sein. Projektnehmer (Unternehmen, Hochschulen) benennen Innovationsverantwortliche/n, der als Bindeglied zum BFE fungiert. Das BFE richtet Augenmerk auf die Kontinuität und das persönliche Engagement dieses Verantwortlichen.	Alle	Eher forschungs- sowie zeitintensive Innovationen; bei programmorientierter Förderung noch wichtiger	Fallstudie Flexcell: Zentraler Know-how-Träger ist Spin-off-Mitgründer (product champion), der nach Unternehmensgründung von ehemaligem IMT-Kollegen in neuem räumlichen Umfeld unterstützt wird (power promoting). Fallstudie Oerlikon Solar: Zentrale Personen bei Unaxis (später Oerlikon) pushen Technologie unternehmensintern. Fallstudie SwissMotor: Fehlen eines Innovationsverantwortlichen in später Phase bringt Schwierigkeiten. Technologiebereich Holzvergasung: Innovationsprozesse werden stark durch einzelne Persönlichkeiten und ihr ideelles Engagement getragen.	B	gut	BFE und Förderempfänger

Problemzonen (PZ) und Erfolgsquellen (EQ)	Innovationsphasen	Technologiebereiche	Verankerung in Fallstudien	Priorität	Umsetzbarkeit	Adressaten
EQ 12) Eine gute Dynamik und Grundstimmung in Forschungs- bzw. Projektgruppen tragen und stabilisieren Innovationsprozesse. Gute Gruppendynamiken können erreicht werden, wenn es eine Stabilität im Team gibt, eine entsprechende Teamgrösse erreicht ist, ein winning und kein blocking team existiert, keine Entlassungen drohen und beispielsweise einzelnen Know-how-Trägern in Forschungsgruppen zumindest eine mittelfristige Perspektive geboten wird („Roadmap“), usw. Durch Beobachtung und Kenntnis von (Forschungs-) Gruppendynamiken ist die Voraussetzung gegeben, bei Bedarf einlenken zu können. Um Projektergebnisse nicht zu gefährden, müsste etwa bei hohen Fluktuationsrate(n) oder spürbaren Konflikten reagiert werden.	Eher frühe und mittlere Phase, z.T. auch späte	Komplexe, entwicklungsintensive Innovationen	Fallstudien Flexcell und Oerlikon Solar: Winning team am IMT; gute Kontakte zwischen Unternehmen und IMT; gute Teams in Unternehmen Fallstudie SolarMax: Partnerschaft zwischen Sputnik-Gründern; Verbundenheit mit dem Unternehmen	B	schwierig	BFE, SNF
EQ + PZ 13) Ergänzende und weiterführende Förderquellen können für den stabilen Fortgang von Innovationsprozessen wichtig sein. Neben der BFE-Förderung weitere Förderquellen anzuzapfen erweitert den Spielraum bei der Förderung. Gerade nach ersten Projekten können für Folgeaktivitäten andere Töpfe mitgedacht werden. In einer fortgeschritteneren Phase kann der Ausstieg des BFE aus der Förderung abgefedert werden.	Eher mittlere oder späte Phase	Insbesondere komplexe, langwierige Innovationsprozesse	Fallstudie Flexcell: PSEL-Förderprojekt und KTI-Projekte von Bedeutung Fallstudie SwissMotor: Einbindung FOGA Fallstudien WPT Schulthess und WPT V-Zug: Beteiligung Kanton Zürich und EWZ Stromsparerfonds	B	mittel bis schwierig	BFE

Abbildung 43: Verbindungen von PZ / EQ und Handlungsfeldern / Instrumenten zur Optimierung von Innovationsprozessen

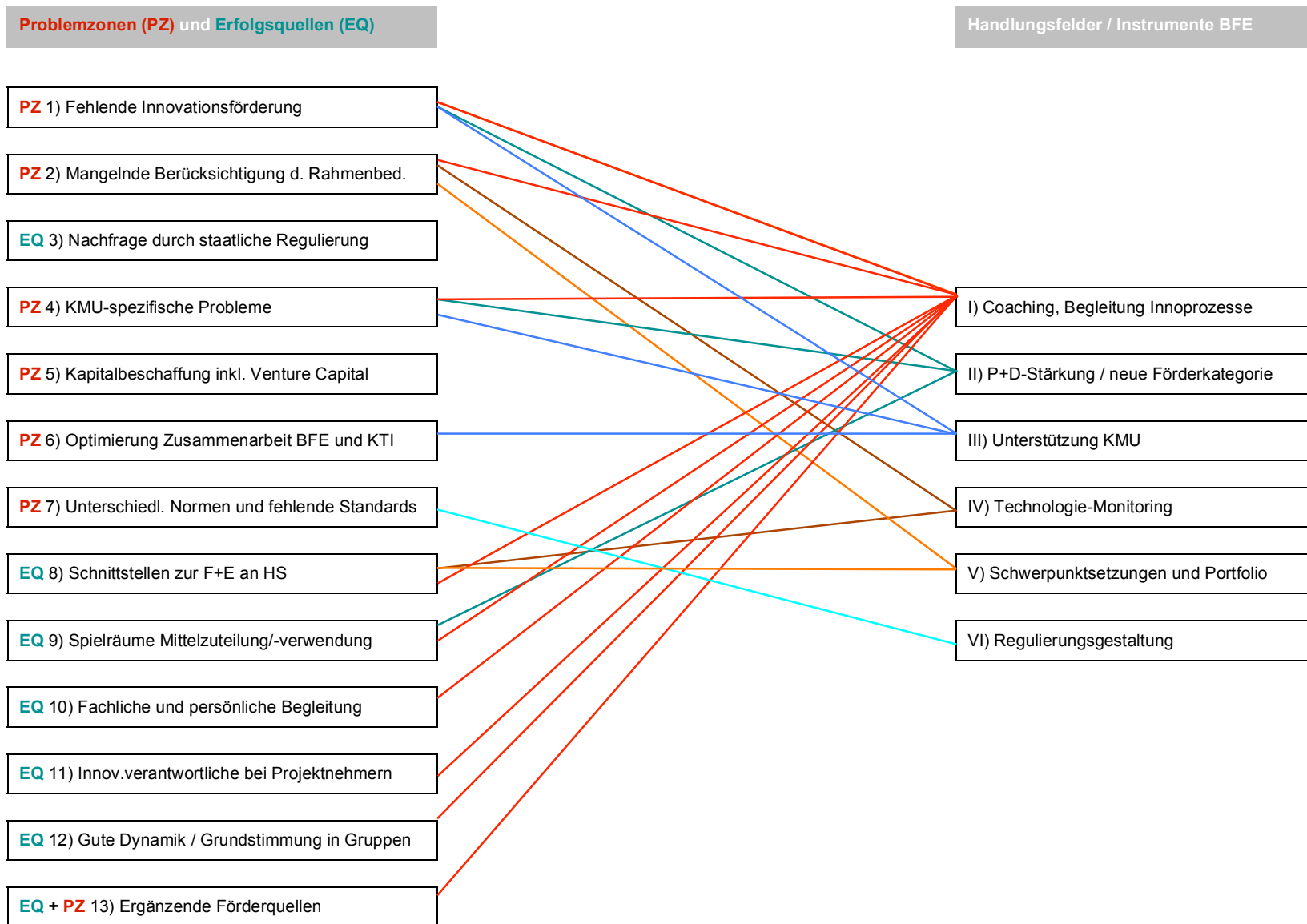


Tabelle 24: Ausgewählte Handlungsfelder und Instrumente zur Optimierung von Innovationsprozessen im Bereich von Energietechnologien

Handlungsfelder und Instrumente	Umsetzungsvorschläge, Operationalisierung, Kriterien, offene Fragen	Referenz zu Problemzonen oder Erfolgsquellen	Priorität	Umsetzbarkeit
I) Coaching und Begleitung von Innovationsprozessen Coaching und Begleitung von Innovationsprozessen können an unterschiedlichen Ansatzpunkten ansetzen und tragen zur Unterstützung von Innovationsprozessen bei.			A	Je nach Instrument mittel bis schwierig
	Sicht auf gesamten Innovationsprozess sicherstellen - Gesamtes Portfolio der vom BFE geförderten Projekte soll stärker den gesamten Innovationsprozess in den Blickwinkel aufnehmen, d.h. gezielt über die Forschungs- und Entwicklungsphase hinaus schauen.	1) Fehlende Innovationsförderung 2) Mangelnde Berücksichtigung der Rahmenbedingungen 4) KMU-spezifische Probleme 8) Schnittstellen zur F+E an HS 10) Fachliche und persönliche Begleitung 11) Innovationsverantwortliche bei Projektnehmern 13) Ergänzende Förderquellen		
	Forschungsgruppendynamiken im Auge behalten und Roadmap für Forscher- bzw. Projektgruppen entwickeln - Im Vordergrund stehen Faktoren wie drohende Entlassungen, Stabilität im Team, Teamgrösse, winning / blocking team etc. Die Fluktuationsrate(n) soll(en) nicht zu hoch sein, bei spürbaren Konflikten muss man reagieren oder wissen, dass Projektergebnisse gefährdet sein könnten. - Mit einer Art ‚Roadmap‘ für einzelne Forschungsgruppen könnte einzelnen Know-how-Trägern eine mittelfristige Perspektive geboten werden. Dies unterstützt eine gewisse Stabilität in Gruppen sowie einen entsprechenden Lernprozess.	10) Fachliche und persönliche Begleitung 11) Innovationsverantwortliche bei Projektnehmern 12) Gute Dynamik und Grundstimmung in Gruppen		
	Kritische Finanzbeiträge für die Förderung und Berücksichtigung der Lage des Förderempfängers - Kritische Werte für die Förderung einer Technologie oder Gruppe, z.B. Verkraftbarkeit von Förderbeträgen im Hinblick auf den kreativen Einsatz des Budgets. Im Vordergrund sind nicht möglichst grosse Geldbeträge, sondern z.B. ein Abgleich des Unterstützungsumfangs mit dem Entwicklungsstand der Technologie, der möglichen Entwicklungsgeschwindigkeit oder der Dynamik der Gruppe. - Berücksichtigung der Hochschulausstattung (operativ, auf der Ebene der lfd. Projekte), ebenfalls relevant: Koordination mit Hochschulstrategie / Vernetzung. - BFE sollte wissen, was auf Hochschulebene läuft – hängt ggf. auch davon ab, wie forschungsintensiv ein Technologiebereich ist.	8) Schnittstellen zur F+E an HS 9) Spielräume Mittelzuteilung/-verwendung 13) Ergänzende Förderquellen		

	Ergänzende Förderquellen - Bei längeren Innovationsprozessen: Grundförderung BFE, ergänzende Förderquellen wie Studienfonds usw. (Diversifizierung Förderquellen). - Hier ist die Idee neben der BFE-Förderung weitere Förderquellen anzuzapfen und damit den Spielraum auszuweiten. Gerade nach ersten Projekten können für Folgeaktivitäten andere Töpfe mitgedacht werden. Zudem liesse sich auch der Ausstieg des BFE in einer fortgeschritteneren Phase des Innovationsprozesses abfedern. - Es kommen dafür verschiedene Fonds wie Studienfonds der Energie- oder Gaswirtschaft. Stromsparfonds usw. in Frage.	1) Fehlende Innovationsförderung 13) Ergänzende Förderquellen		
	Monitoring der Rolle von Innovationsverantwortlichen (product champion, power Promoter) - Motivation und Engagement dieser Personen kann sehr entscheidend sein für Innovationserfolg. Dem persönlichen Engagement kann eine ähnliche Rolle zugeordnet werden, wie anderen komplementären Ressourcen von Hochschulen oder Unternehmen. - Bei stärker auf Schwerpunkte ausgerichteter Förderung gewinnt dieser Aspekt an Bedeutung.	11) Innovationsverantwortliche bei Projektnehmern		
	After-Project-Coaching / -Begleitung - Zentrale Fragestellung, ob das Unternehmen oder die Hochschule auch nach der BFE-Förderung weiter in Forschung und Entwicklung und in die Verwertung der Forschung investiert (z.B. Überleben bzw. Weiterentwicklung der Technologie oder des Produktes, Markteinführung). - Besonders erfolg- oder aussichtsreiche Projekte sollen durch das BFE über das eigentliche Projektende hinaus gecoacht werden. - Diese Art des Coaching ist insbesondere für Start-ups und Spin-offs sowie für kleinere Unternehmen (KMU) relevant. - Unter Umständen gezielte Forschungsförderung der Einrichtungen, aus denen Technologie in die Industrie transferiert wurde, nachdem erste Erfahrungen von industrieller Produktion gewonnen werden konnten. Gemeint ist hier die Rückkopplung seitens der Wirtschaftsakteure Richtung Forschung. Die Forschung soll erfahren, welche Erkenntnisse erste Anwendungen in der Industrie liefern, damit etwa nachgearbeitet werden könnte.	10) Fachliche und persönliche Begleitung		

Handlungsfelder und Instrumente	Umsetzungsvorschläge, Operationalisierung, Kriterien, offene Fragen	Referenz zu Problemzonen oder Erfolgsquellen	Priorität	Umsetzbarkeit
	Aufbau einer standardisierten, qualitativen und quantitativen Projektbegleitung und Sammlung von Begleitinformationen (indikatorisch) - Erweiterung der qualifizierten, aber meistens informellen Beurteilungen der Projekte durch die Bereichs- und Programmleiter auf der einzelnen Projektebene. - Das Controlling baut auf standardisierten Interviews und Befragungen mit wichtigen qualitativen und quantitativen Kernindikatoren auf. Eine erste Auswahl und Diskussion von möglichen Indikatoren für die ex post Phase findet sich in Kapitel 5. - Grundsätzlich lassen sich vier Phasen unterscheiden: ▪ Bei Projektbeginn (ex ante): Zielformulierung, Potenzialerkennung ▪ während des Projekts: Monitoring, Stärken und Schwächen, Zielabweichungen, ▪ bei Projektende (ex post): Zielerreichung, Forschungs- und Innovationspotenzial, ▪ Zusätzlich zu einem noch näher zu bestimmenden Zeitpunkt nach Projektende (ex post, langfristig): langfristige Entwicklung, Zukunftsaussichten.	Keine direkte Evidenz aus den Fallstudien, Anwendung von innovationsrelevanten Indikatoren		
II) Stärkung Pilot- und Demonstrationsphase (P+D) – Neue Förderkategorie - Bundesgelder für P+D-Projekte sind in den letzten Jahren substanziell zurückgegangen. - P+D-Mittel sind wichtig für einen potenziellen Übergang zur KTI (Lücke zwischen früher P+D und Prototyp). - Bei einzelnen Technologiebereichen ist eine erfolgreiche P+D Phase im Hinblick auf eine erfolgreiche Marktumsetzung von hoher Bedeutung. - P+D Finanzierung des BFE hat Signalcharakter und stärkt Innovationsprozess im Hinblick auf die Marktumsetzung.	Stärkere Unterstützung der P+D Phase - P+D-Phase wird oft massgeblich durch Privatwirtschaft finanziert. BFE-Gelder haben in der Gesamtschau vorwiegend komplementären Charakter. Bei bestimmten Prozessen können sie aber von zentraler Bedeutung sein. Gerade die KMU-Orientierung in der Förderung bedingt dies. - P+D-Pool: einsetzbar je nach P+D-Intensität bzw. -Bedürftigkeit von Technologien sowie je nachdem, welche Akteure beteiligt sind. Dabei ist Technologie- und Unternehmensrisiko zu unterscheiden. - Fonds für Sonderförderung oder neue Förderkategorie bzw. Budgetposten für Ausnahmefälle. - Förderintensität zu einem bestimmten Grad an Bedürfnisse von Technologien respektive Unternehmen anpassen. - Technologieadäquate Förderungsdauer/-begleitung und Kontinuität der Finanzierung: Je nach Entwicklungsintensität einer Technologie bedarf es entweder einer längeren oder einer kürzeren Begleitung. Perspektivisch erscheint es wichtig, dass bei der Annahme von Projektanträgen auch die Konsequenzen daraus für entsprechende Zeiträume mitgedacht werden.	1) Fehlende Innovationsförderung 4) KMU-spezifische Probleme 9) Spielräume Mittelzuteilung/-verwendung	A	gut bis mittel

III) Unterstützung KMU KMU sind wichtige Träger der Innovationsprozesse. Im Fokus möglicher Unterstützungsleistungen stehen insbesondere Start-ups und Spin-offs.		1) Fehlende Innovationsförderung 4) KMU-spezifische Probleme 6) Optimierung Zusammenarbeit BFE und KTI	A	Je nach Instrument
	Direkte Förderung von Spin-offs - Forschungsförderung für Spin-offs mit hohem Innovations- und Marktpotenzial.			
	Spezifische Unterstützungsleistungen für Start-ups und KMUs - Spezifische Probleme und Herausforderungen von geförderten KMUs berücksichtigen und Unterstützung durch BFE durch Unterstützungsleistungen und Coaching. - Zusammenarbeit mit weiteren unterstützenden Organisationen etablieren (z.B. Venture-Lab). KMUs und internationale Märkte: wo sind die Grenzen von KMUs? Ist das geförderte Unternehmen, in der Lage, internationale Märkte zu bedienen? Abfederung KMU-spezifischer Schwächen: begrenzte Ressourcen (Kapital, Entwicklungskompetenz/-kapazität, Sprung auf ausländische Märkte, zu geringe Vernetzung mit Hochschulen usw.) -Managementanforderungen bei Gründungs- und Stabilisierungsprozess (längere Start-up-Begleitung), Aufbau, strategische und operative Führung von Unternehmen. - Ausgewählte Forschungs- oder Projektgesuche könnten auch gemeinsam durch BFE und KTI behandelt und betreut werden. Für Forschungsprojekte des BFE kann somit auch eine Anschlussfinanzierung durch die KTI sichergestellt werden.			
IV) Technologie-Monitoring - Technologie-Monitoring ist ein Instrument zur kontinuierlichen Verfolgung von Entwicklungen und Trends in ausgewählten Technologiebereichen. Es kann gezielte Informationen für risikoreichere Förderungen oder die Schwerpunktsetzung in bestimmten Förderbereichen bereitstellen und damit die Effektivität staatlicher Förderung unterstützen. Es stellt eine Grundlage für strategische Förderentscheide dar und erhöht die Rationalität der Energiepolitik (Führungsinstrument des BFE). (vgl. auch Rigassi, Eicher 2005 et. al).	Anwendung eines Technologie-Monitoring zur Identifikation von neuen und potenziell wachsenden Technologien - Kontinuierliche Berichterstattung über neue Technologien mit dem Ziel neue und potenziell wachsenden Technologien früh zu identifizieren als auch etabliertere Energietechnologien, die vor ihrer marktlichen Umsetzung stehen im Hinblick auf potenzielle Entwicklungspfade zu bewerten. - Für ein Technologie-Monitoring zentral ist auch die systematische Beobachtung ausländischer Märkte. Ein Technologie-Monitoring hilft bei der Identifikation von Chancen und Risiken der ausgewählten Technologien in Bezug auf die Marktumsetzung und -diffusion (Innovation) - Ein Technologie-Monitoring kann eher breit und vergleichend über mehrere Technologiebereiche angelegt sein oder bei ausgewählten Technologiebereichen in die Tiefe gehen.	2) Mangelnde Berücksichtigung der Rahmenbedingungen 8) Schnittstellen zur F+E an HS	A	mittel bis schwierig

Handlungsfelder und Instrumente	Umsetzungsvorschläge, Operationalisierung, Kriterien, offene Fragen	Referenz zu Problemzonen oder Erfolgsquellen	Priorität	Umsetzbarkeit
V) Schwerpunktsetzungen und Portfolio-Ansatz in Förderung - Die CORE schlägt im Konzept der Energieforschung des Bundes innerhalb der Förderprogramme einzelne Schwerpunkte vor, z.B. innerhalb der WKK Effizienzsteigerungen und bestimmte technologiespezifische Verbesserungen. Innerhalb der Forschungs- und Technologieförderung des BFE finden jedoch keine expliziten Schwerpunktsetzungen statt. - Zur Unterstützung des Prozesses bei der Schwerpunktsetzung kann der Portfolioansatz beigezogen werden.	Stärkerer Fokus auf Schwerpunktsetzungen bei der Förderung - Neben der Identifikation einzelner Technologien mit langfristigem Potenzial ermöglicht die Schwerpunktsetzung eher das Erreichen einer kritischen Masse in Bezug auf die Förderung und die Vernetzung innerhalb der gewählten Schwerpunkte (Signalwirkung). So können technologische Entwicklung und auch der Wissenstransfer gestärkt werden. Eine Schwerpunktsetzung sollte auf der Ebene von Sub-Technologiebereichen erfolgen. - Es kann zwischen einer aktiveren Schwerpunktsetzung im Sinne eines top-down Ansatzes mit einer strategisch orientierten Ausrichtung auf einzelne Technologieprogramme und einer eher passiveren Schwerpunktsetzung unterschieden werden im Sinne eines Filtering von bottom-up Eingaben.	2) Mangelnde Berücksichtigung der Rahmenbedingungen 8) Schnittstellen zur F+E an HS	B	mittel
	Anwendung des Portfolio-Ansatzes zur Effektivitätsbeurteilung der Forschungs- und Technologieförderung - Der Portfolio-Ansatz bewertet geförderte Technologien oder Projekte sowie geplante Förderschwerpunkte in Bezug auf vordefinierte Dimensionen. Grundsätzlich kann der Ansatz ex-post und ex-ante angewendet werden. - Es lassen sich daraus unter anderem methodisch gestützte Aussagen ableiten, ob ein Technologiebereich oder Subbereich stärker gefördert oder ob die Förderung eher zurückgefahren werden soll. - Der Portfolio-Ansatz beruht auf einer relativ einfachen Anwendung eines zwei- oder mehrdimensionalen Kriteriensystems. Ein Förderportfolio beim BFE könnte beispielsweise so angelegt sein, dass eine bestimmte Verteilung der Mittel auf Innovationen in frühen und späten Entwicklungsphase oder high- vs. low risk-Bereichen erreicht wird. Diese Kriterien müssen je nach den gewählten Zielsetzungen des Ansatzes näher definiert, bewertet und gewichtet werden.			
VI) Regulierungsgestaltung	Normen und Standardisierung von Bewilligungsverfahren - Das BFE setzt sich in ausgewählten Technologiebereichen gezielt bei Behörden für Normen und eine Standardisierung von Bewilligungsverfahren ein. - Schafft eine höhere Planungs- und Investitionssicherheit und senkt die Transaktionskosten bei den Unternehmen bei der Umsetzung und Markteinführung neuer Technologien.	7) Unterschiedliche Normen und fehlende Standards	B	schwierig

Literatur / Quellen

- Bättig, I., 2003. WKK: Sehr wichtige Punkte. faktor Wärme Kraft 1/03, 24-26.
- Berwert, A., Zehnder M., 2006. Wirksamkeitsanalyse der KTI-Förderung im Rahmen des Strategischen Controlling. Vergleich mit ausländischen Förderorganisationen – Konzeptionelle Grundlagen Indikatoren und Erhebungsinstrumente. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Berufsbildung und Technologie, BBT. Rütter + Partner, Zürich.
- BFE, 2007a. Konzept der Energieforschung des Bundes 2008-2011. Ausgearbeitet durch die Eidgenössische Energieforschungskommission CORE. Bundesamt für Energie BFE, Ittigen.
- BFE, 2007b. Projektliste der Energieforschung des Bundes 2004/2005. Bundesamt für Energie BFE, Ittigen.
- BFE, 2004. Konzept der Energieforschung des Bundes 2004-2007. Ausgearbeitet durch die Eidgenössische Energieforschungskommission CORE. Bundesamt für Energie BFE, Ittigen.
- Binggeli, D., 2004. Holzvergasung und IEA. Internes Dokument. Bundesamt für Energie BFE, Ittigen.
- Carlsson, B., 1995. Technological systems and economic performance: The case of factory automation. In: B. Carlsson (Ed.), Technological systems and economic performance: The Case of Factory Automation, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 441-475.
- Chang, Y.-C., Chen, M.-H., 2004. Comparing approaches to systems of innovation: the knowledge perspective. Technology in Society 26 (1), 17-37.
- Cooke, P., Gomez Uranga, M., Etzebarria, G., 1997. Regional innovation systems: Institutional and organisational dimensions. Research Policy 26 (4-5), 475-491.
- Cooper, R.G., Kleinschmidt, E.J., 1993. Uncovering the keys to new product success. Engineering Management Review 11, 5-18.
- de Bresson, C., Amesse, F., 1991. Networks of innovators: A review and introduction to the issue. Research Policy 20 (5), 363-514.
- Edquist, C., 1997. Systems of Innovation Approaches - Their emergence and characteristics. In: C. Edquist and M. McKelvey (Ed.), Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations, Pinter, London, pp. 1-35.
- Eicher, H., Ott, W., Rigassi, R., 2003. Technologie-Monitoring. Bundesamt für Energie, Bern.
- EnergieSchweiz, BFE, 2007. 6. Jahresbericht EnergieSchweiz 2006/2007.
- Energie-Spiegel, 2006. Holz ein wandlungsfähiger Energieträger. In: Energie-Spiegel Nr 16, April 2006, Paul Scherrer Institut (PSI), Villigen.
- Ernst, H., 2002. Success factors of new product development: a review of the empirical literature. International Journal of Management Reviews 4 (1), 1-40.

- Fawer, M., 2006. Solarenergie 2006. Licht- und Schattenseiten einer boomenden Industrie. Nachhaltigkeitsstudie, Bank Sarasin.
- Fawer, M., 2007. Solarenergie 2007. Der Höhenflug der Solarindustrie hält an. Nachhaltigkeitsstudie, Bank Sarasin.
- FEA [Fachverband Elektroapparate für Haushalt und Gewerbe Schweiz], 2007. Marktstatistik Elektro-Haushaltsgeräte.
- Geels, F.W., 2002. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research Policy* 31, 1257-1274.
- Hafner, W., 2007. „Vergessene“ Wärme-Kraft-Kopplung. Boom im Auslang - Zurückhaltung in der Schweiz. *Neue Zürcher Zeitung*, 10.5.2007, 19.
- Hauschildt, J., 1993. Innovationsmanagement. Vahlen, München.
- Hoogma, R., Kemp, R., Schot, J., Truffer, B., 2002. Experimenting for Sustainable Transport. The approach of Strategic Niche Management. Spon Press, London / New York.
- Horn, M., Ziesing, H.-J., Matthes, F.C., Harthan, R., Menzler, G., 2007. Ermittlung der Potenziale für die Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung und der erzielbaren Minderung der CO₂-Emissionen einschliesslich Bewertung der Kosten (Verstärkte Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung). Umweltbundesamt, Dessau.
- Hotz-Hart, B., Grunt, M., Reuter-Hofer, A., 2005. Grundlagen einer zukünftigen Innovationspolitik der Schweiz. Von der Technologiepolitik zur Innovationspolitik. Entwicklung der Politikkonzeption 1992-2005. Bundesamt für Berufsbildung und Technologie BBT.
- Hotz-Hart, B., Dümmler, P., Good, B., Grunt, M., Reuter-Hofer, A., Schmuki, D., 2006. Excellent anders! Die Schweiz als Innovationshost, Ruegger, Zurich.
- Hotz-Hart, B., Good, B., Küchler, C., Reuter-Hofer, A., 2003. Innovation Schweiz - Herausforderungen für Wirtschaft und Politik, Rüegger, Zürich / Chur.
- IEA International Energy Agency, 2007. Trends in Photovoltaic Applications. Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2006. Report IEA PVPS T1-16:2007.
- Iten, R., Oettli, B., Jochem, E., Mannsbart, W., 2001. Förderung des Exports im Bereich der Energietechnologien. Bundesamt für Energie, Bern.
- Jacobsson, S., Bergesk, A., 2004. Transforming the energy sector: the evolution of technological systems in rene-wable energy technology. *Industrial and Corporate Change* 13 (5), 815-849.
- Kaufmann, U.; Gutzwiller, S., 2005. Thermische Stromproduktion inklusive Wärme-kraftkopplung (WKK) in der Schweiz 1990 bis 2004. Bundesamt für Energie.
- Kemp, R., Schot, J., Hoogma, R., 1998. Regime Shifts to Sustainability Through Processes of Niche Formation: The Approach of Strategic Niche Management. *Technology Analysis & Strategic Management* 10 (2), 175-195.
- Lundvall, B.-A., 1988. Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation. In: G. Dosi, C. Freeman, R. Nelson, G. Silverberg and L. Soete (Ed.), *Technical Change and Economic Theory*, Pinter, London, pp. 349-369.

- Lundvall, B.-A., 1992. National Systems of Innovation - toward a Theory of Innovation and Interactive Learning. Pinter, London.
- Malerba, F., 2002. Sectoral systems of innovation and production. *Research Policy* 31 (2), 247-264.
- Malerba, F., 2004. Sectoral systems of innovation: concepts, issues and analyses of six major sectors. Cambridge University Press, Cambridge.
- Markard, J., 2004. Strommarkt im Wandel - Veränderung von Innovationsprozessen am Beispiel von Ökostrom und Brennstoffzelle. vdf Hochschulverlag, Zürich.
- Markard, J., Truffer, B., 2006. Innovation processes in large technical systems: Market liberalization as a driver for radical change? *Research Policy* 35 (5), 609-625.
- Markard, J., Truffer, B., im Druck. Technological innovation systems and the multi-level perspective: towards an integrated framework. *Research Policy*.
- Negro, S., Hekkert, M., Smits, R., 2007. Explaining the failure of the Dutch innovation system for biomass digestion - a functional analysis. *Energy Policy* 35 (2), 925-938.
- Nelson, R., 1993. National Innovation Systems: A Comparative Analysis. Oxford University Press, New York.
- Oerlikon [OC Oerlikon Management AG], 2007. Financial Report 2006.
- Öko-Institut, 2006. EcoTopTen-Kriterien für Wäschetrockner (inklusive Berechnungsgrundlagen).
- Öko-Institut, 2004. PROSA Waschmaschinen. Produkt-Nachhaltigkeitsanalyse von Waschmaschinen und Waschprozessen.
- Porter, M.E., 2003. The economic performance of regions. *Regional Studies* 37 (6-7), 549-578.
- Rieder, S., Bischof, U., Maugué, M., Götz, K., 2003. Evaluation der Netzwerke EnergieSchweiz. Bundesamt für Energie BFE, Ittigen.
- Rigassi, R., Eicher, H., Steiner, P., Ott, W., 2005. Technologie-Monitoring: Weitere Bereiche - Vertiefungen. Bundesamt für Energie BFE, Ittigen.
- Saxenian, A., 1996. Inside-Out: Regional networks and industrial adaptation in Silicon Valley and Route 128. *Cityscape: A Journal of Policy Development and Research* 2 (2), 41-60.
- Steinbrecher N, Walter J. (2001). Marktübersicht dezentrale Holzvergasung: Marktanalyse 2000 für Holvergassersysteme bis 5MW. Öko-Institut (Institut für angewandte Ökologie e.V.), Darmstadt, Freiburg, Berlin.
- Suter, S., Simmen, H., Ohler, F., Jörg, L., Hollenstein, H., Von Arx, J., 2004. Cluster-Bildung und -Effekte in den Bereichen Erneuerbare Energie und Energieeffizienz in Gebäuden. Bundesamt für Energie, Bern.
- TAFTIE, 2004. Task Force Report on Additionality – Make Agencies Make a Difference. The European Network of Innovation Agencies. <http://www.taftie.org>.
- Technopolis, School of Public Policy (Georgia Institute of Technology), ACIIC (University of Sydney), 2001. An international review of methods to measure relative effectiveness of technology policy instruments. Final Report July 2001.

- Timmerer, H., Lettner, F., 2005. Anlagensicherheit und Genehmigung von Biomassevergasungsanlagen. Kurzbericht. Institut für Wärmetechnik, TU-Graz, Graz.
- Tushman, M.L., Anderson, P., 1997. Managing Strategic Innovation and Change. Oxford University Press, New York.
- Tushman, M.L., Nadler, D., 1986. Organizing for Innovation. California Management Review 28 (3), 74-92.
- UVEK, BFE, 2007: Stand der Energiepolitik in den Kantonen. Departement für Umwelt, Energie, Verkehr und Kommunikation, Bundesamt für Energie BFE, Ittigen.
- van den Ende, J., Kemp, R., 1999. Technological transformations in history: how the computer regime grew out of existing computing regimes. Research Policy 28 (8), 833-851.

Anhang

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
Nutzen (Zielsicherheit)	Kosten (Erhebung)		Nutzen Volkswirt. (Zielsicherheit)	Kosten Konzept- ionelle Klarheit Erhebungs- aufwand Messbarkeit

Ebene Wirtschaft und allg. ökon. Erfolg:

1 Success/Failure: Überleben des unterstützten Projekts resp. der Projektidee		F+E bis Diff			
Wichtiger Indikator per se (obwohl höchst unvollständig und Kausalitäten nicht beleuchtet). Interessant, aber nur schwer operationalisierbar, wäre eine Differenzierung zwischen technologischem und kommerziellem Erfolg. Generell ist der Indikator etwas zu grob formuliert und hat deshalb nur eine beschränkte Aussagekraft (analog auch der Indikator "Überleben des relevanten Geschäftsbereichs im Unternehmen").	(Vor-)Selektionsproblem; Erfolgsfaktoren schwer bestimmbar resp. messbar; Kostenseite des Indikators unvorteilhaft; "Projektidee" ist ein kaum stringent fassbares Konzept. Die Erfassung kann sich entweder auf quasi-objektive Kriterien oder auf subjektive Einschätzungen stützen. Zudem besteht auf der Ebene der Portfoliowahl des BFE ein Selektionsproblem, falls man die Wirksamkeit der Förderpolitik (Additionalität) beurteilen möchte.	3	2	2	3
2 Time-to-market		Markt			

Konzeptionell wäre dieser Indikator äusserst wichtig, da er ein zentrales Ziel von Innovationsprozessen reflektiert. Er setzt direkt an der Schnittstelle zwischen Entwicklungsphase und Marktumsetzung an und gibt Aufschluss über die Effektivität und Effizienz des Innovationsprozesses. Andererseits ist die "Time-to-market" ein sehr abstraktes resp. theoretisches Konzept.

Die Zeit bis zur Umsetzung einer innovativen Idee am Markt ist aufgrund der inhärenten zeitlichen Dynamik mit einem grossen Erhebungsaufwand und kaum überbrückbaren Definitionsproblemen (bzgl. der relevanten Zeitpunkte und Meilensteine) verbunden. Zudem wäre ggf. auch noch die Additionalität der BFE-Förderung zu isolieren.

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
	Nutzen	Kosten	Nutzen	Kosten
Nutzen (Zielsicherheit)			Volkswirt. Nutzen (Zielsicherheit)	Konzeptuelle Klarheit
Kosten (Erhebung)				Erhebungsaufwand
				Messbarkeit

3 Diversifikation der Wirtschaft (Entstehen von neuen Wirt.sektoren/Geschäftsfeldern)

Markt bis Diff

Ein aus Makro-Perspektive interessanter Indikator, welcher jedoch stark in Richtung Markterschließung geht. Der Einfluss eines spezifischen Innovationsprozesses auf die Vielfalt und Diversifikation der Volkswirtschaft ist nicht sehr klar resp. sehr weit gefasst.

Problem der Messbarkeit resp. Instrumentalisierbarkeit; Abgrenzung des Einflusses durch Forschungsprojekt vs. allg. Entwicklungstendenzen.

2 2 1 1

Ebene involvierte Unternehmen:

4 Beschäftigte im relevanten Geschäftsbereich des Unternehmens (und intertemporale Entwicklu F+E bis Diff

Der Indikator ist relativ zielsicher, da er auf die Beschäftigung der involvierten Business Units bezogen ist; es ist also ein "guter" (i.S.v. erfolgsbezogener) allgemeiner Indikator, welcher indirekt auch die gesamte sektorale Entwicklung reflektiert. Insbesondere die Entwicklung der Beschäftigung ist interessant als Indiz für die Bedeutung der Firmen (evtl. in Kontext zu Branchenbeschäftigung setzen).

Beschäftigung ist grundsätzlich relativ einfach in VZÄ zu erheben. Für sinnvolle Auswertungen sind auch Zeitreihen vonnöten. Gegebenenfalls kann man die intertemporale Entwicklung auch qualitativ erfassen. Die Additionalitätswirkung der BFE-Förderung wäre allerdings nur schwer erfassbar (Anreizprobleme).

3 4 3 4

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
	Nutzen (Zielsicherheit)	Kosten (Erhebung)	Nutzen	Kosten
			Volkswirt. Nutzen (Zielsicherheit)	Konzeptuelle Klarheit Erhebungs-aufwand Messbarkeit

5 Umsatz Unternehmen (und intertemporale Entwicklung)

(F+E) Markt bis	
Wie die Beschäftigung des gesamten Unternehmens ebenfalls nicht zielsicher und damit nur grober Indikator. Zielsicherer, jedoch noch schwieriger erhebbar wäre der Unternehmensgewinn.	3
Umsatz grundsätzlich relativ einfach zu erheben; Zeitreihen vonnöten für sinnvolle Auswertungen. Bei zusätzlicher Analyse der Förderwirkung dürfte die diesbezügliche Additionalität allerdings schwer erfassbar sein (Selektions- und Anreizprobleme).	3 2

6 Umsatz des (geförderten) Geschäftsbereichs

Diff	
Sagt zwar etwas zur volkswirtschaftlichen Bedeutung aus, allerdings weniger direkt als bspw. der Gewinn. In einem zweiten Schritt kann der Umsatz auch in Bezug zum den Fördergeldern gesetzt werden. Wiederum aussagekräftiger wäre der Gewinn, welcher innerhalb des relevanten Geschäftsbereichs mit dem Innovationsprojekt gemacht wurde.	5
Dieser Indikator ist (im Unterschied zum erwirtschafteten Gewinn) eher deskriptiver Natur. Interaktionseffekte mit sonstiger betrieblicher Tätigkeit sind zu isolieren und nur die Umsätze mit dem innovativen Produkt zu betrachten. Wiederum wäre auch die Additionalitätsfrage (Zusatznutzen der Förderung) nur schwer zu beantworten.	2 3 3

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
	Nutzen (Zielsicherheit)	Kosten (Erhebung)	Nutzen	Kosten
			Volkswirt. Nutzen (Zielsicherheit)	Konzept- ionelle Klarheit Erhebungs- aufwand Messbarkeit

7 Internationalität der Unternehmen

F+E bis Diff

Insbesondere auch relevant für die Reputation des Projekts; hängt jedoch nicht direkt zusammen mit volkswirtschaftlichem Nutzen und ist auch hinsichtlich der Messung von Innovationsprozessen höchstens deskriptiver Natur.

Definitionfragen und Referenzpunkte wären noch einzugrenzen (bzgl. Grösse, Branche, Märkte, Exportvolumen etc.); der Indikator ist etwas zu weit reichend.

3

2

2

3

8 Überleben des innovativen, ggf. unterstützten Geschäftsbereichs im Unternehmen

F+E bis Diff

Guter "short-hand"-Erfolgsindikator, da ggf. noch diverse andere Produkte als das Geförderte produziert werden. Nichtsdestotrotz ist das Überleben natürlich eine Schlüsselvoraussetzung für ökonomischen Erfolg und kann bspw. 18 oder 36 Monate nach Projektende erfasst werden. Dieser Indikator könnte ggf. eventuelle Nachfolgeunternehmen mitberücksichtigen.

Die Existenz resp. das Überleben von Unternehmensbereichen ist sehr leicht nachvollziehbar und indizierbar.

3

5

3

3

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
	Nutzen	Kosten	Nutzen	Kosten
Nutzen (Zielsicherheit)		Kosten (Erhebung)	Volkswirt. Nutzen (Zielsicherheit)	Konzept- ionelle Klarheit Erhebungs- aufwand Messbarkeit

9 Private F+E-Ausgaben und Beschäftigung (evtl. Anteil am F+E-Volumen inkl. Förderung) F+E bis Diff

Sehr wichtiger Input-Indikator, da private Ausgaben ein Indiz für ökonomische Vorteilhaftigkeit sind. Die Beschäftigung dürfte dabei leichter beobachtbar sein als die Gesamtausgaben, allerdings sind Letztere für den Innovationsprozess insgesamt relevanter. Ebenfalls ist ein intertemporale Betrachtung (Schaffung und Bewahrung von Stellenprozenten) interessant.

Die F&E-Ausgaben, welche von privater Seite im Rahmen eines Innovationsprozesses getätigt werden, sind bei den involvierten Unternehmen erhebbar. Dieser F&E-Anteil von privater Seite hat eine Aussagekraft bzgl. Marktnähe und Marktchancen. Nicht einfach wird die Messung von VZÄ im F+E-Bereich, falls Mitarbeiter stark unterschiedlichen Tätigkeiten nachgehen (bspw. in KMUs). Ebenfalls schwieriger messbar wäre, wieviel zusätzliche (!) private Ausgaben durch die staatliche Förderung stimuliert werden (Additionalität). Dieser Leverage-Effekt ist ein wesentlicher Aspekt der Wirksamkeit von Innovationsförderung.

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
	Nutzen (Zielsicherheit)	Kosten (Erhebung)	Nutzen	Kosten
			Volkswirt. Nutzen (Zielsicherheit)	Konzept- Klarheit Erhebungs- aufwand Messbarkeit

10 Aggregierte Ausgaben für innovatives Produkt/Dienstleistung

F+E bis Diff	
Die bis heute im Rahmen eines Projektes getätigten Ausgaben sind zwar ökonomisch betrachtet "sunk costs". Dennoch können sie eine Verzerrung des Verhaltens insofern bewirken, als dass sich eine Unternehmung zu lange an die Weiterführung eines aussichtslosen Projekts klammert (sog. "Status-quo Bias" oder "Locked-in Effect"). Der Indikator ist somit primär unternehmensintern wichtig.	Diese als Indikator oder Kennzahl verwendbare Angabe dürfte relativ schwer zu aggregieren sein. Zudem müssen die Daten inflationsbereinigt werden. Ein weiteres Problem ist auch die Zuordnung von allgemeinen Kosten (Administration etc.) auf das spezifische Innovationsprojekt.
	3 4 2 4

11 Exportwirkung des Projekts (auf Firma, d.h. disaggregiert)

Markt bis Diff	
Indikator ist nicht prioritär, da die generelle Exportaktivität (Anteil Exporte am Umsatz) einer Firma kaum direkte Rückschlüsse auf das geförderte Projekt zulässt. Erfolg muss sich nicht in Exportaktivität äussern, kann sich also auch national abzeichnen. Dennoch sagen Exporte natürlich etwas zur internationalen Wettbewerbsfähigkeit aus.	Exportwirkung nur disaggregiert (d.h. auf Firmenebene) erhebbar, aber dennoch mit grösseren und längerfristigen Erhebungskosten verbunden. Qualitativ (ja/nein) wäre der Indikator, welcher internationalen Erfolg und Wettbewerbsfähigkeit reflektiert, leichter zu erfassen.
	4 2 2 2

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
	Nutzen (Zielsicherheit)	Kosten (Erhebung)	Nutzen	Kosten
			Volkswirt. Nutzen (Zielsicherheit)	Konzept- ionelle Klarheit Erhebungs- aufwand Messbarkeit

12 Marktposition und Markterschließung (im In- oder Ausland)

Sagt etwas zum relativen Gewicht der beteiligten Akteure im entsprechenden (Energie-)Sektor aus; für das spezifische Projekt allerdings nicht direkt relevant. Grundsätzlich sind neue Absatzkanäle, Strategieänderungen und Veränderungen von Marktanteilen infolge von Innovationsaktivitäten sicherlich interessant, da sie Ausdruck von Dynamik der Innovationsprozesse sind. Insgesamt sind diese Aspekte von mittlerer Bedeutung - sie gewinnen insbesondere dann an Relevanz, wenn radikale vs. inkrementelle Innovationen betrachtet werden.

Bei der Frage nach der Erschließung neuer inländischer oder ausländischer Märkte infolge des Projekts, ist insbesondere die Marktabgrenzung und die (ordinale) Messbarkeit problematisch. Auch sind Anreizprobleme beim Antwortverhalten denkbar. Grundsätzlich erschweren diese Überlegungen die Operationalisierbarkeit. Zudem sind zusätzliche Kennzahlen aus der Branchen- und Marktanalyse erforderlich.

Markt bis Diff

4 2 3 2

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
	Nutzen	Kosten	Nutzen	Kosten
Nutzen (Zielsicherheit)		Kosten (Erhebung)	Volkswirt. Nutzen (Zielsicherheit)	Konzeptuelle Klarheit Erhebungs-aufwand Messbarkeit

13 Success/Failure: Neue und (stark) verbesserte Produkte/Dienstleistungen (fertig gestellt!)

Markt bis Diff

Zentraler Indikator von grossem Nutzen, da direkte Aussage zu Produktinnovation und volkswirtschaftlichem Erfolg; Differenzierung zwischen new-to-the-firm und new-to-the-market notwendig; relativ einfach messbar. Generell wichtiger als der etwas grobe Indikator "Überleben Unternehmensbereich". Allerdings ist auch dieser Indikator nicht absolut zu setzen, da in bestimmten Technologiebereichen eher Abwendungs-Know-how als fertige Produkte verkauft wird.

Relativ unmittelbar erfassbar; einzig die Abgrenzung der Produktentwicklungsphase, ab welcher von einem "neuen Produkt" gesprochen werden kann, ist etwas kritisch. Grössere Erfassungsprobleme entstehen insbesondere wenn zusätzlich das Ausmass der Verbesserung resp. der Qualitätsveränderung erfasst und gemessen werden soll; dann ein schwer quantifizierbares Konzept.

5 4 5 3

14 Reifegrad der Innovation ("frühes Entwicklungsstadium" bis "ausgereift")

Markt bis Diff

Sicherlich ein essentieller Prozessindikator zum aktuellen Status der Innovation, welcher allerdings weniger Aussagen zum volkswirtschaftlichen Impact erlaubt. Dies ist also eher eine beschreibende Kennzahl ohne direkte Relevanz für Innovationsprozesse und deren Förderung. Das BFE setzt ohnehin relativ früh im Innovationsprozess an.

Abgrenzungsproblematik und Subjektivität der Bewertung erschweren die Erfassbarkeit und Vergleichbarkeit.

5 3 3 2

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
	Nutzen (Zielsicherheit)	Kosten (Erhebung)	Nutzen	Kosten
			Volkswirt. Nutzen (Zielsicherheit)	Konzept- ionelle Klarheit Erhebungs- aufwand Messbarkeit

15 Prozessinnovationen (inkl. Infrastruktur)

Dieser Erfolgsindikator zielt auf einen ebenfalls relativ zentralen Aspekt von Innovationsstätigkeit ab; kann evtl. über schon standardisierte Fragen erhoben werden. Prozess- und Produktinnovationen spielen jedoch oft ineinander.

Neuentwicklungen und Verbesserungen von Prozessen und Infrastruktur sind kaum perfekt quantifizierbar; auch die daraus resultierenden Kosteneinsparungen sowie die unternehmensinternen und -externen Spillover-Effekte dürften schwierig erfassbar sein.

Markt bis Diff

3 3 3 1

16 Patent-Erstanmeldungen

Ein sehr zentraler Indikator, da Patente ein zentraler Output von Innovationsprozessen und auch volkswirtschaftlich relevant (geistiges Eigentum) sein können. Allerdings gibt es auch Technologiebereiche, in denen Patente weniger relevant als andere Schutzstrategien sind. Aufgrund des Time-Lags misst der auf Erstanmeldungen fokussierende Indikator die Innovationsresultate direkter resp. unmittelbarer als bspw. die Anzahl erhaltener Patente. Ein weiterer Vorteil dieses Indikators ist die internationale Vergleichbarkeit.

Nur geringer Erhebungs- und Messungsaufwand; es sind nur Erstanmeldungen zu berücksichtigen (um Mehrfachnennungen für versch. Länder zu vermeiden); ggf. bei Hochschulen und Unternehmen zu erheben. Erstanmeldungen sind ebenfalls leichter zu erheben als die erhaltenen Patente, da Patente oft erst nach mehreren Jahren definitiv vergeben werden.

F+E bis Diff

4 5 4 5

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
	Nutzen (Zielsicherheit)	Kosten (Erhebung)	Nutzen	Kosten
			Volkswirt. Nutzen (Zielsicherheit)	Konzeptuelle Klarheit Erhebungsaufwand Messbarkeit

17 Lizenzvereinbarungen

F+E bis Diff

Dieser Indikator sagt viel über die (potenziellen) Markthancen eines Projekts aus und ist deshalb äusserst wichtig. Lizenzen können u.a. auch ein Substitut für Patente sein.

Ist durch eine direkte Befragung der Projektpartner erhebbar und kann ggf. dichotom (ja/nein) operationalisiert werden. Müsste die gesamte Anzahl erteilter Lizenzen und Lizenznehmer erfasst werden, würde der Indikator mehrdimensionaler und der Erhebungsaufwand deutlich grösser.

18 Anzahl P+D (Anlagen, Modelle, o.ä.)

Diff

Die Installation von Pilot- und Demonstrationsanlagen ist für viele Gebiete unabdingbar zur Gewinnung erster Betriebserfahrungen und somit auch für eine spätere Markteinführung. Allerdings stellt sich die Frage, ob nicht der Erfolg resp. die gewonnenen Erfahrungen aus den realisierten P+D-Anlagen (welche natürlich viel schwieriger quantifizierbar wären) wesentlich relevanter sind als die absolute Anzahl derselben. Dennoch sind P+D-Anlagen ein Signal für technologische Marktreife.

Die Anzahl implementierter P+D-Anlagen ist ohne übermässigen Erhebungsaufwand nachvollziehbar und auch sehr leicht messbar resp. zählbar. Dichotom definiert (ja/nein) hätte der Indikator eher typologischen Charakter.

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
	Nutzen	Kosten	Nutzen	Kosten
Nutzen (Zielsicherheit)			Volkswirt. Nutzen (Zielsicherheit)	Konzeptuelle Klarheit
Kosten (Erhebung)			Erhebungsaufwand	Messbarkeit

19 Anzahl involvierter Zulieferer aus der CH (und entspr. Umsätze auf vorgelagerter

Zeigt einen zentralen Netzwerkaspekt und indiziert auch mögliche Spillover-Effekte auf andere Branchen resp. Sektoren; vernachlässigt jedoch die Intensität dieser Beziehungen. Ebenso ist die Vergleichbarkeit schwierig, da dies sehr branchenabhängig ist und nichts direkt über den Erfolg des Innovationsprozesses aussagt.

Könnte relativ problemlos beim Projektteam abgefragt werden; Transparenz muss gewährleistet sein. Schwieriger wird die Erfassung, wenn man sich bspw. auf innovative Zulieferer beschränken möchte.

20 Innovationsnetzwerk: Anzahl und Intensität der Beziehungen zu anderen Firmen

Mittels diesem Indikator soll versucht werden, die Bedeutung von Netzwerken für eine Unternehmung zu approximieren. Dabei kann unterschieden werden zwischen jungen vs. etablierten oder nationalen vs. internationalen Partnern, um das Netzwerk besser zu charakterisieren. Networking ist volkswirtschaftlich von zentraler Relevanz bei Innovationsprozessen.

Sowohl die Anzahl wie insbesondere auch die jeweilige Intensität (oder Bedeutung) dieser Beziehungen sind schwer zu quantifizieren. Insbesondere ist man bei diesen Angaben stark auf subjektive Einschätzungen der beteiligten Akteure angewiesen.

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
	Nutzen	Kosten	Nutzen	Kosten
Nutzen (Zielsicherheit)		Kosten (Erhebung)	Volkswirt. Nutzen (Zielsicherheit)	Konzeptuelle Klarheit Erhebungsaufwand Messbarkeit

21 Art der Firmengründung resp. Gründung des relevanten Geschäftsbereichs

	F+E bis Diff
Die Art der Firmengründung von am Projekt beteiligten, oft jungen Firmen sagt nichts unmittelbar über die ökonomische Bedeutung eines Innovationsprozesses aus. Dennoch können aus den anhand des Gründungstypus gegliederten Kategorisierungen evtl. interessante Rückschlüsse bzgl. der Erfolgswahrscheinlichkeit gezogen werden. Diese ist sehr einfach kategorisch (Start-up, Spin-off, Abteilung aus etabliertem Unternehmen, Nachfolge auf Konkurs o.ä.) zu erfassen. Sinnvoll scheint, das jeweils initiiierende oder leitende Unternehmen zu befragen. Schwieriger scheint dann die Interpretation dieser Angabe zu sein.	2 5 5 4

22 Akquisition von Technologie und Know-How (ohne weitergehende/informelle Schutzstrategien) F+E bis Diff

	F+E bis Diff
Nicht nur die eigene Patentierung oder Lizenzierung von Innovationen, sondern auch der "Einkauf" resp. die Akquisition von Know-how (Lizenzen, Patente, nicht-patentierbare Erfindungen etc.) und Technologien (tech. Ausrüstung, Maschinen und Infrastruktur) ist von grosser ökonomischer Bedeutung. Allerdings ist der Indikator relativ grob und hinsichtlich der Erfolgsmessung von Innovationsprozessen nicht sehr zielsicher. Dies sollte relativ direkt erfassbar sein, allerdings stellen sich gerade bei technologischen Ausrüstungsinvestitionen die Frage der Vergleichbarkeit mit Immaterialgütern wie Patenten oder Lizenzen.	4 3 3 2

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
	Nutzen (Zielsicherheit)	Kosten (Erhebung)	Nutzen	Kosten
			Volkswirt. Nutzen (Zielsicherheit)	Konzept- ionelle Klarheit Erhebungs- aufwand Messbarkeit

23 Ausgabenanteil zur aktiven Marktentwicklung (Public Relations/Marketing)

F+E bis Diff

Die Marktentwicklung und Sensibilisierung von (potenziellen) Kunden ist je nach Technologiebereich sehr relevant - insbesondere für Technologien in frühem Reifestadium. Eigentlich sollte der Fokus auf den "Returns" aus diesen Investitionen liegen, diese sind jedoch kaum mehr quantifizierbar. Nicht zuletzt bleibt fraglich, inwieweit einzelne (kleine) Unternehmen zu diese halb-öffentlichen Gut beizutragen vermögen, und ob auf Firmenebene überhaupt Anreize für solche Aktivitäten bestehen.

Der Ausgaben- (oder Umsatz-)Anteil von Public Relations dürfte unmittelbar erhebbar und messbar sein. Schwieriger wird dann die Abgrenzung, wie viel davon für die Marktentwicklung bzgl. der interessierenden innovativen Technologie verwendet wird.

3

3

4

4

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
Nutzen (Zielsicherheit)	Kosten (Erhebung)		Nutzen Volkswirt. (Zielsicherheit)	Kosten
			Konzept- ionelle Klarheit	Erhebungs- aufwand
				Messbarkeit

Ebene Energietechnologie:

24 Gesteungskosten (spezifische Kosten des Energiesystems, bspw. pro erzeugte kWh)	F+E bis Diff			
Diese Kennzahl ermöglicht es, die verschiedenen Energietechnologien kostenseitig direkt miteinander zu vergleichen und ist damit hinsichtlich volkswirtschaftlicher Implikationen relativ zielsicher, insbesondere falls dynamische Aspekte betrachtet werden. Der Indikator setzt in einem frühen Innovationsstadium an, in welchem rationale Erwartungen hinsichtlich der Kosten gebildet werden können.	Die spezifischen Kosten eines Energiesystems (bspw. pro kWh) müssen bei den jeweiligen Unternehmen erhoben werden. Bei dieser Befragung gibt es jedoch evtl. Anreizprobleme, insbesondere wenn die Technologie noch nicht am Markt umgesetzt wurde. Problematisch ist, dass diverse Kostenkomponenten und somit (praktisch) die gesamte Finanzbuchhaltung mitberücksichtigt werden müssen.	4	3	2
		4		4

25 Energiebeschaffungskosten / Extraktionskosten	F+E bis Diff			
Ist wiederum eher eine typologische Kennzahl, da kaum oder nur sehr indirekt von Energieproduzenten in kleinräumigen Innovationsprozessen beeinflussbar. Etwas interessanter, wenn die intertemporale Dimension mitberücksichtigt wird.	Diese Kosten können entweder direkt bei den Projektbeteiligten oder über entsprechende Literatur resp. Forschungspublikationen erhoben werden.	3	5	4
				5

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
	Nutzen (Zielsicherheit)	Kosten (Erhebung)	Nutzen	Kosten
			Volkswirt. Nutzen (Zielsicherheit)	Konzeptuelle Klarheit Erhebungsaufwand Messbarkeit

26 Wirkungsgrad der Technologie

Da der Energie- oder Wärmeverlust je nach Technologie von wesentlicher Bedeutung sein kann, wird diese technologische Kennzahl vorgeschlagen. Hinsichtlich der Nachhaltigkeit und somit auch des volkswirtschaftlichen Nutzens ist dies also ein wichtiger Indikator.

Bei der Messung des energetischen Wirkungsgrades einer Technologie sind Probleme hinsichtlich Präzision der Vergleichbarkeit der Werte wahrscheinlich. Exakte Messinstrumente müssen evtl. erst entwickelt, produziert und installiert werden.

F+E bis Diff

4 3 2 3

27 Energie- oder CO2-Intensität des Produktionsprozesses

Gerade im Bereich der Energietechnologien ist die CO2-Intensität des Produktionsprozesses grundsätzlich nicht unwichtig bei der Beurteilung von Innovationsprozessen. Allerdings ist die Reduktion der Energieintensität oftmals von nachrangiger Bedeutung in noch jungen Entwicklungsprozessen. Der Indikator reflektiert also einen sehr breiten, längerfristigen Nachhaltigkeitsaspekt.

Obwohl äusserst interessant, dürfte dieser Indikator nur mittels komplexer, unabhängig durchgeführter Studien ausreichend präzise erfasst werden können. Die Energieintensität ist also konzeptionell messbar, jedoch ist mit der Erfassung ein erheblicher Aufwand verbunden.

F+E bis Diff

5 3 1 2

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator		Innovationsphasen		Bewertung	
				Nutzen	Kosten
Nutzen (Zielsicherheit)	Kosten (Erhebung)			Volkswirt. Nutzen (Zielsicherheit)	Konzeptuelle Klarheit Erhebungs-aufwand Messbarkeit
28 Versorgungssicherheit bezüglich der erforderlichen Rohstoffe		F+E bis Diff			
Dieser Nachhaltigkeitsindikator kann zwischen verschiedenen Energietechnologien stark variieren und entsprechend ist auch seine Bedeutung abhängig vom untersuchten Bereich. Im Hinblick auf die Operationalisierung von Innovationsprozessen ist diese Kennzahl von nachrangiger Bedeutung.		Grundsätzlich setzt sich die Versorgungssicherheit zusammen aus diversen Faktoren wie der ökonomischen und politischen Sicherheit des Rohstoffzugangs, der ökologischen Nachhaltigkeit der Extraktion etc. Diese Aspekte zu bewerten und entsprechende Prognosen zu formulieren ist konzeptionell schwierig und kann hohe Kosten bedingen.			
				3	2 2 1
29 Nachfrageseite: Marktpotenzial und Marktgröße (Entwicklung, Status-quo)		F+E bis Diff			
Hinsichtlich der Zukunftsperspektiven einer Technologie ist die nachfrageseitige Marktentwicklung und das entsprechende Potenzial von grosser Bedeutung. Dieser Makro-Indikator ist also volkswirtschaftlich zentral. Ist jedoch natürlich eher ein Treiber als ein Impact von Innovation.		Das Konzept hinter diesem Indikator ist sehr umfassend und impliziert (a) eine exakte Abgrenzung der nachfrageseitig relevanten Märkte resp. Marktsegmente sowie (b) eine intertemporale Erfassung und eine Prognose der entsprechenden Entwicklung. Allerdings gibt es von verschiedenen Seiten einschlägige Marktpotenzialermittlungen (zumindest qualitativ i.S.v. hoch/mittel/gering).			
				5	3 2 1

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
			Nutzen	Kosten
Nutzen (Zielsicherheit)	Kosten (Erhebung)		Volkswirt. Nutzen (Zielsicherheit)	Konzeptuelle Klarheit
				Erhebungsaufwand
				Messbarkeit

Ebene Hochschulen/wiss. Forschung:

30 Zusammenarbeit mit Hochschulen (ja/nein + Intensität/Qualität dieser Zusammenarbeit) (Diff)	
In einer ersten Frage zur Ebene Hochschulen wird erhoben, ob im Rahmen des untersuchten Innovationsprozesses überhaupt mit Hochschulen (resp. wiss. Forschungsinstituten) zusammengearbeitet wurde. Dies sagt zwar per se nicht viel über den volkswirt. Nutzen des Projekt aus, ist jedoch zentral für die Kategorisierung. Diese Variable entscheidet, ob die folgenden Indikatoren überhaupt zur Anwendung kommen.	Dichotom ist diese Variable sehr leicht erhebbar, merklich komplexer wird jedoch die qualitative Messung der Intensität solcher Kooperationen.

31 Anteil/Zuzüge ausländischer Forscher

F+E (bis Markt)	2	4	3	4
Zielsicherheit bzgl. volkswirtschaftlichem Nutzen wird geringer eingestuft als bei der Internationalität der beteiligten Unternehmen; indiziert die Attraktivität des Projektes für ausländ. Forscher.	Indikator wäre in Begleitbefragungen (und bspw. in Zwischen- sowie Endberichten) ohne allzu hohe Kosten erhebbar.			

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
	Nutzen (Zielsicherheit)	Kosten (Erhebung)	Nutzen	Kosten
			Volkswirt. Nutzen (Zielsicherheit)	Konzeptuelle Klarheit Erhebungs-aufwand Messbarkeit

32 Konferenz- und Messebeteiligungen von Projektmitgliedern

F+E (bis Markt)

Nur sehr indirekter und deshalb höchstens mittel relevanter Indikator für die internationale Ausrichtung und Ausstrahlung des Projekts; auch dürfte die Bedeutung stark bereicherspezifisch und abhängig von der Art der besuchten Messen sein; deutet nicht zwingend auf volkswirtschaftlichen Nutzen und hilft kaum bei der Messbarmachung von Innovationsaktivitäten.

Bspw. die Anzahl Kongresstage pro Jahr müsste speziell befragt werden; ist oft nicht zentral erfasst; Abgrenzung der Intensität der Konferenzpartizipation schwierig.

3 4 2 2

33 Nachfolgende/Weitergehende Forschung nach Projektende (an Hochschulen)

F+E bis Markt

Nur geringe Markt-Relevanz (zumindest kurz- bis mittelfristig); deutet nicht notwendigerweise auf wirtschaftlichen (oder wissenschaftlichen!) Erfolg des Projekts. Evtl. wäre zusätzlich zwischen wissenschaftlicher und angewandter Forschung zu unterscheiden.

Muss direkt (als Anschluss) dem Projekt zuordenbar sein; Quantifizierbarkeit problematisch (insbesondere falls nicht dichotom gemessen wird); muss längerfristig X Jahre nach Projektende erhoben werden; folglich signifikante Erfassungsprobleme.

1 3 2 1

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
	Nutzen (Zielsicherheit)	Kosten (Erhebung)	Nutzen Volkswirt. Nutzen (Zielsicher- heit)	Kosten Konzept- ionelle Klarheit Erhebungs- aufwand Messbarkeit
34 Publikationen in referierten und nicht-referierten Zeitschriften, Zeitungen und Büchern Die eigentliche Aussage dieses Indikators bleibt unklar; einen direkten Hinweis auf den volkswirtschaftlichen Nutzen bietet er nicht - die Bedeutung ist wiederum sehr stark bereichsabhängig, so dass der Indikator grundsätzlich (v.a. im Falle von Zeitungen/Zeitschriften) eher etwas zur Intensität der Marktbearbeitung aussagt.	Relativ einfach und eindeutig messbarer Indikator; allerdings sind ggf. Sekundärquellen vonnöten. Aus Kostensicht weniger interessant sind nicht-referierte Publikationen, da bspw. Zeitschriften, Zeitungen oder Bücher sehr dispers erscheinen und kaum systematisch und umfassend gesammelt sind. Insbesondere die relative Gewichtung verschiedener Publikationen dürfte schwierig fallen.		2	5 3 4
35 Zitationen Indikator ist zu stark Wissenschafts-orientiert (signalisiert wissenschaftliche Reputation); kaum zentral und adäquat für die meisten vom BFE geförderten Projekte.	Erfordert die Abfrage von Zitationsindizes (Anzahl Zitationen oder Anzahl zitierende Publikationen); relativ aufwändig und kaum umfassend zu erheben.		2	4 2 4

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
	Nutzen (Zielsicherheit)	Kosten (Erhebung)	Nutzen Volkswirt. Nutzen (Zielsicher- heit)	Kosten Konzept- ionelle Klarheit Erhebungs- aufwand Messbarkeit

36 Ranking Forscher

F+E bis (Markt)	
Sowohl in der Schweiz wie auch im europäischen Raum von sehr beschränkter Aussagekraft - insbesondere bezüglich volkswirtschaftlicher Nutzenmessung.	1
Problematisch ist, dass in der Schweiz kaum systematische und formalisierte Rankings von wissenschaftl. Institutionen oder gar Einzelpersonen verfügbar sind; die schmälert die Anwendbarkeit empfindlich.	3 1 1

37 Beschäftigung Hochschule (inkl. Anzahl beteiligte Forscher, Doktoranden und Post-Docs)

F+E bis (Markt)	
Indikator nicht von prioritärer Bedeutung, Erlaubt kaum eine Aussage zum volkswirtschaftlichen Erfolg des Projekts; eher deskriptiv; Indikator nicht von grosser Relevanz. Wiederum ist der Indikator ohnehin nur relevant, falls überhaupt eine Zusammenarbeit stattfindet/-fand.	3
Temporäre und permanente Beschäftigungseffekte sollten über eine eigene längerfristige Erhebung (in VZÄ) erfasst werden; Verständlichkeit und Operationalisierbarkeit grundsätzlich gegeben; Additionalität evtl. problematisch.	4 3 4

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
	Nutzen (Zielsicherheit)	Kosten (Erhebung)	Nutzen	Kosten
			Volkswirt. Nutzen (Zielsicherheit)	Konzept- ionelle Klarheit Erhebungs- aufwand Messbarkeit

38 Verbindung zu einem Wissenschaftspark (Science Park)

F+E bis Markt

Gerade für junge oder neu gegründete Unternehmen könnte die Verbindung zu einem Science Park grosse Kosteneinsparungen bringen. Ein Hauptgrund davon ist, dass die Unternehmen durch solche Wissenschaftsparks leicht und günstigen Zugang zu Know-how und Infrastruktur erhalten, zentrale Faktoren im frühen Reifestadium von Innovationen. Allerdings bleibt weniger klar, ob dies letztlich "überlebenswichtig" für ein erfolgreiches Projekt war und inwieweit es wettbewerbsverzerrend wirkt(e). Insbesondere in der Schweiz sind Science Parks bezüglich betrieblicher Innovationsprozesse (noch) kaum von Bedeutung.

Dieser Indikator dürfte sehr leicht erhebbar sein. Es stellt sich die Frage, ob dieser Link zu einem Science Park dichotom erfasst, oder durch das finanzielle Engagement der beteiligten Unternehmen resp. mittels dem Wert der bezogenen Leistungen indiziert werden soll.

2 4 5 3

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
	Nutzen (Zielsicherheit)	Kosten (Erhebung)	Nutzen	Kosten
			Volkswirt. Nutzen (Zielsicherheit)	Konzept- ionelle Klarheit Erhebungs- aufwand Messbarkeit

Ebene Innovationsförderung:

39 Finanzielle (und personelle) Beteiligung des BFE am Projekt		F+E bis (Markt)				
Ist ein zentraler Input-Faktor, sagt allerdings per se noch nichts über den Innovationsprozess und den daraus resultierenden volkswirtschaftlichen Nutzen aus; ebenfalls wird der (nicht-monetäre) Wissenstransfer vom BFE zu den Projektbeteiligten nicht berücksichtigt.	Dieser Indikator ist direkt und intertemporal differenziert erfassbar; konzeptionell klar abgegrenzt. Auch die personelle Beteiligung (in VZÄ) des BFE sollte grundsätzlich ohne gravierende Probleme erfassbar.					
		3	5	4	5	5

40 Finanzielle Beteiligung der KTI am Projekt		F+E bis (Markt)				
Diese Art der Förderung ist aus Sicht des BFE zwar von nachgeordneter Bedeutung, kann allerdings einiges zum Innovationsprozess aussagen (da bspw. der hohe Aufwand für KTI-Anträge in Kauf genommen wurde).	Die KTI-Förderung sollte konzeptionell klar messbar und mit nicht übermäßigem Aufwand auch zu erheben sein.					
		3	5	4	5	5

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
	Nutzen (Zielsicherheit)	Kosten (Erhebung)	Nutzen Volkswirt. Nutzen (Zielsicher- heit)	Kosten Konzept- ionelle Klarheit Erhebungs- aufwand Messbarkeit

41 Unterstützung durch ein EU-Förderprogramm

Auch die Unterstützung durch internationale Förderprogramme wird heute immer wichtiger, da die Innovationsprozesse oftmals nicht auf nationale Territorien beschränkt sind.

Evtl. ist dieser Indikator etwas schwerer zu erheben und ggf. muss bei Innovationsprojekten mit internationaler Beteiligung zudem der Anteil für die Schweizer Projektpartner isoliert werden.

3 5 3 5

42 Zusätzliche Beteiligung/Förderung von privaten Investoren (Fonds etc., welche Risk Capital gel F+E bis Markt

Diese Förderung ist - gegeben das beschränkte Förderbudget des BFE - ein absolut zentraler Faktor bei kapitalintensiven Innovationsprozessen; folglich hat er eine hohe Zielsicherheit bezüglich Innovationserfolg und Wirtschaftlichkeit. Indirekt sagt dieser Indikator etwas über die (erwarteten) Marktchancen aus und er bedeutet, dass das Projekt einmal von Venture Capital-Gebern evaluiert wurde. Dagegen ist bspw. der Eigenkapitaleinsatz weniger aussagekräftig.

Kann direkt bei den Projektbeteiligten befragt werden, allerdings ist es fraglich, ob unverzerrte Angaben (Transparenz) möglich sind. Alternativ könnte auch bei den Geldgebern angesetzt werden, was allerdings durch deren Vielfalt erschwert wird.

5 4 3 4

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
	Nutzen (Zielsicherheit)	Kosten (Erhebung)	Nutzen	Kosten
			Volkswirt. Nutzen (Zielsicherheit)	Konzept- ionelle Klarheit Erhebungs- aufwand Messbarkeit

43 Eigenkapitaleinsatz (Anteil an den Gesamtausgaben für den Innovationsprozess)

F+E bis Markt

Das eingesetzte Eigenkapital sagt zwar bzgl. des Vertrauens resp. der Risikobereitschaft der Unternehmer etwas aus, ist jedoch hinsichtlich des (Gelingens des) Innovationsprozesses von geringerer Relevanz/Aussagekraft als die versch. Arten von Fremdkapital.

Theoretisch wäre der Eigenkapitaleinsatz sehr direkt und präzise messbar, allerdings sind wahrheitsgetreue Angaben evtl. schwierig zu erhalten.

2 5 3 5

44 Förderung von vor- oder nachgelagerten Produktionsstufen (Zulieferer oder Abnehmer)

F+E bis Markt

Abhängig vom untersuchten Technologiebereich, kann die Förderung von Zulieferer- und/oder Absatzmärkten von vitaler Bedeutung für die Marktentwicklung sein. Hierbei spielt insbesondere auch die internationale Perspektive eine grosse Rolle, d.h. auch die jeweilige staatliche Förderung im Ausland kann einen Einfluss auf die Technologieproduktion im Inland haben. Allerdings misst der Indikator evtl. etwas zu indirekt.

Probleme können in erster Linie bei der Abgrenzung von relevanten Zulieferer- und Absatzmärkten entstehen. Bezüglich der Messung der Förderleistung können bspw. die Förderbeiträge von BFE und KTI mit dem gesamten Umsatzvolumen der jeweiligen Märkte verglichen werden.

4 4 2 3

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
	Nutzen (Zielsicherheit)	Kosten (Erhebung)	Nutzen	Kosten
			Volkswirt. Nutzen (Zielsicherheit)	Konzept- ionelle Klarheit Erhebungs- aufwand Messbarkeit

Ebene Transfer Wissenschaft-Wirtschaft:

45 Mobilität von Forschern zwischen Wissenschaft und Wirtschaft	F+E bis Markt
An sich äußerst interessanter Indikator, welcher an der für Innovationsprozesse relevanten Schnittstelle zwischen Forschung und Wirtschaft ansetzt; allerdings wird der volkswirtschaftliche Nutzen hier nur sehr indirekt abgebildet. Ebenfalls sollte der Indikator vice versa erhoben werden, d.h. es gilt, die generelle Mobilität zwischen Hochschulen und Unternehmen im entsprechenden Technologiebereich zu erfassen.	3 4 1 3

46 Netzwerkeffekte, allg.

	F+E bis Diff
Indikator ist grundsätzlich nicht uninteressant und auch von Bedeutung für das Innovationssystem; dennoch dürfte der daraus resultierende (langfristige/nachhaltige) Nutzen schwer zu messen resp. zu quantifizieren sein. Als typologischer Indikator, welcher die Rolle verschiedener Akteure im Network andeutet, ist er möglicherweise sinnvoll.	3 1 1 1

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
	Nutzen	Kosten	Nutzen	Kosten
Nutzen (Zielsicherheit)			Volkswirt. Nutzen (Zielsicherheit)	Konzeptuelle Klarheit Erhebungs-aufwand Messbarkeit
Kosten (Erhebung)				

47 (Weitere) Start-Ups im Projektverlauf (Anzahl, Erfolg)

F+E bis Diff

Start-ups, welche als Nebenprodukt zu einem Projekt entstehen, sind sicherlich von hoher politischer und ökonomischer Relevanz (insbesondere bei grösseren Innovationsprozessen); allerdings ist der Erfolg dieser Start-ups wesentlich zielsicherer hinsichtlich ökonomischen Impacts als allein die Anzahl.

Die Anzahl Start-ups (resp. Spin-offs) ist natürlich viel einfacher messbar als deren Erfolg; mit Letzterem ist eine schwierige Definition von Erfolgsindikatoren verbunden.

3 4 3 3

Ebene Controlling BFE (Selbst-Evaluation):

F+E bis Diff	
48 Kundennähe	
Die so definierte "Kundennähe" ist ein für der Managementprozess beim BFE essenzieller Indikator. Für eine Erhöhung des Zielerreichungsgrades könnten verschiedene Leistungskategorien (wie finanzielle Unterstützung, Koordination, inhaltlicher / thematischer Support, Projektmanagement) bewertet werden.	Dieser Indikator umfasst sowohl Akzeptanz und Bekanntheitsgrad von wie auch (subjektive) Nutzeinschätzung des resp. Zufriedenheit mit dem BFE. Er kann laufend/periodisch durch ein Marktforschungsinstitut oder einen externen Partner bei der Bevölkerung und bei bestehenden resp. potenziellen Kunden (Unternehmen) des BFE erhoben werden, was relativ aufwändig sein dürfte.
3	4 3 3

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
	Nutzen (Zielsicherheit)	Kosten (Erhebung)	Nutzen	Kosten
			Volkswirt. Nutzen (Zielsicherheit)	Konzeptuelle Klarheit Erhebungs-aufwand Messbarkeit

49 Dauer Auftragsbearbeitung

Die Verkürzung dieser Bearbeitungsdauer ist zwar nicht als explizites Ziel des BFE formuliert, ist jedoch sicherlich ein gutes Effizienzmass für das interne Controlling. Vor allem im Querschnitt- und Zeitreihenvergleich ist dies ein nützlicher Indikator. Allerdings sagt er nichts aus über die konkreten Innovationsprozesse.

Die Zeitdauer (in Tagen) von Auftragseingang resp. Antrag, Projektselektion bis zum definitiven Unterstützungs- / Ablehnensentscheid muss aus vorhandenen, BFE-internen Daten erhoben werden. Dies sollte einfach und ohne signifikanten Zusatzaufwand machbar sein.

F+E bis (Markt)

3 5 4 5

50 Evaluationssitzungen

Die (Meta-)Evaluation von Evaluationssitzungen ist zwar für das interne Controlling nicht irrelevant, allerdings ist dieser Indikator bezüglich des Erfolges von Innovationsprozessen und derer volkswirtschaftlicher Auswirkungen kaum im Vordergrund.

Um einen Überblick über die Regelmässigkeit und Verbindlichkeit BFE-interner Evaluationssitzungen zu erhalten, müssten sowohl deren Häufigkeit wie auch Verbindlichkeitsmass (subjektive Relevanzeinschätzung oder der Anteil erscheinender pro eingeladenen Personen) erhoben werden. Gerade die Verbindlichkeit (und weiter natürlich auch die Effektivität) solcher Sitzungen ist nur schwer zu messen.

2 3 4 3

Übersicht und Bewertung Indikatorenset

Indikator	Innovationsphasen		Bewertung	
	Nutzen (Zielsicherheit)	Kosten (Erhebung)	Nutzen	Kosten
			Volkswirt. Nutzen (Zielsicherheit)	Konzeptuelle Klarheit Erhebungsaufwand Messbarkeit

51 Konferenzteilnahmen BFE

F+E bis (Markt)

Die Verstärkung der Partizipation von BFE-Mitarbeitern an nationalen und internationalen Konferenzen dürfte für die Ausstrahlung resp. das Image des BFE wie auch für den Wissensaustausch bzgl. Technologien und Förderung wichtig sein. Allerdings ist darin nur ein Teilbereich des Wissensmanagements reflektiert und oftmals partizipiert das BFE an solchen Konferenzen unabhängig vom Erfolg der diskutierten Innovationsprozesse, so dass kausale Zusammenhänge kaum unterstellt

Die Anzahl Kongresstage, welcher die BFE-Mitarbeiter pro Jahr und in VZÄ muss intern (direkt bei den Mitarbeitern oder ggf. zentral) erhoben werden. Eine längerfristige Auswertung der Veränderung dieser Partizipation wäre sinnvoll und würde durch eine zentrale Erfassung der Kongresstage erleichtert. Der tatsächliche Nutzen aus solchen Teilnahmen oder die Intensität der jeweiligen Partizipation sind dann jedoch schwerer zu erheben.

3 4 4 3

Legende Bewertungen "Kosten" und "Nutzen":

1 = schlecht (d.h. Nutzen tief resp. Kosten hoch)
2 = eher schlecht
3 = mittel

= eher gut
= gut (d.h. Nutzen hoch resp. Kosten tief)

Kostenseite Indikator: Konzeptionelle Verständlichkeit (Definition, Einfachheit); Erhebungsaufwand; Messbarkeit
Indiziert Anwendbarkeit resp. Umsetzbarkeit eines Indikatorenkonzepts.

Auf der Kostenseite müssen die einzelnen Kosten ggf. noch gewichtet werden (im Moment M.W.).

Nutzenseite Indikator: Zielsicherheit und Bedeutung für volkswirtschaftliche Nutzengenerierung (Einschätzung R+P)

Innovationsphasen

F+E: Forschung und Entwicklung Markt: Markteinführung und -umsetzung Diff=Marktdiffusion