



Abschlussbericht

Energieeffizienz in Gebäuden: Herausforderungen und Chancen für
Energieversorger und Technologiehersteller

Hauptautoren:

Bastien Girod, Dr. ETH, Dipl. Umnw. ETH, Senior Researcher

Tillmann Lang, Dipl. Math., PhD candidate

Florian Nägele, Dipl.-Wi.-Ing., MBA, PhD candidate

November 2014

Unterstützt von:

swiss**electric**
research

SIEMENS
Building Technologies

ewz
Die Energie

VSE
AS

IEM

Weitere Autoren

Experten

Volker Hoffmann, Prof. Dr. ETH Zürich

Jörn Hoppmann, Dr., Dipl.-Wi.-Ing., Senior Researcher

Tobias Schmidt, Dr., Dipl.-Ing. Elektrotechnik, Senior Researcher

Fanny Frei, MSc Sustainable Development, PhD Researcher

Mitautoren

Alexander Langguth, MSc Strategic Management, HEC Lausanne

Benedikt Deuchert, MSc Energy Science and Technology, ETH Zürich

David Ammann, MSc Masch.-Ing., ETH Zürich

Michael Vormittag, MSc Wi.-Ing., Karlsruhe Institute of Technology

Sebastian Mayer, MSc Mechanical Process Engineering, TU Darmstadt

Thomas Kasper, MSc Wi.-Ing., Karlsruhe Institute of Technology

Thomas Zumbühl, MSc Umwelt-Natw. ETH Zürich

Projektpartner

Dr. Martin Kauert (swisselectric research)

Dipl. Ing. FH Daniel Laager (VSE, EBM)

Dr. Florian Hug, Dr. Romeo Deplazes, Dr. Stephanie Engels (EWZ)

Thomas Liesenfeld, Dr. Elvis Mujagic (Siemens, Building Technologies Division)

VORWORT

Der Stromsektor befindet sich im Wandel - global wie auch in der Schweiz. Technologische und politische Veränderungen begünstigen dezentrale Stromerzeugung und Energieeffizienz. Dabei nehmen Gebäude als wichtige Verbraucher und mögliche Energieproduzenten eine zentrale Rolle ein. Die resultierenden Herausforderungen und Chancen für Technologiehersteller und Stromversorger wurden im Forschungsprojekt „Energieeffizienz in Gebäuden: Herausforderungen und Chancen für Energieversorger und Technologiehersteller“ untersucht. Durch die breite Unterstützung des Projektes von Seiten zentraler Stromversorger (SER, VSE, EWZ, EBM) sowie eines Technologieherstellers für Gebäude (Siemens) konnte eine Brücke zwischen Forschung und Praxis gebaut werden. In wissenschaftlichen und praxisorientierten Studien wurden wichtige Fragen zum wirtschaftlichen Nutzen der Gebäude-Energieeffizienz für Unternehmen und Endverbraucher sowie zu Herausforderungen in der Umsetzung und Risiken für etablierte Marktteilnehmer untersucht. In Workshops und Einzelgesprächen fand ein angeregter Austausch statt, der die Ergebnisse der Analysen durch die Perspektiven der unterschiedlichen Projektpartner anreicherte. Die Praxis profitiert von Abschätzungen der Wirtschaftlichkeit und Hürden für unterschiedliche Innovationen für Energieeffizienz in Gebäuden. Die Forschung leistet durch die enge Zusammenarbeit mit den Unternehmen einen wichtigen Beitrag zu einem aktuell relevanten Energiethema und erhielt einen wertvollen Einblick in die alltäglichen Herausforderungen der Stromwirtschaft.

Der vorliegende Bericht präsentiert keine fertigen Lösungen. Vielmehr liefert er allgemein anwendbare Erkenntnisse und praxisrelevante Handlungsempfehlungen. Damit schärft er den Blick für anstehende Herausforderungen und Chancen. Unter anderem bietet er faktenbasierte Einsichten zu folgenden Fragen: Welche Technologien bergen das grösste Einsparpotential für Treibhausgasemissionen im Gebäude-Bereich? Sind Aufdach-Solaranlagen, Gebäudeprognosen oder intelligente Heizungssteuerung wirtschaftlich? Was sind Hürden für entsprechende Geschäftsmodelle? Wie können Stromversorger und Technologiehersteller bei der Umsetzung zusammenarbeiten? Welche Lernprozesse helfen Stromversorgern, die Unternehmensstrategie anzupassen? Wie wirken sich politische Massnahmen aus?

Im Rahmen der SCCER (Kompetenzzentren für Energieforschung) ist eine weitere Vertiefung dieser Forschungsarbeit bereits angelaufen. Rückmeldungen zu diesem Bericht nehmen wir deshalb gerne entgegen und werden diese in künftigen Forschungsarbeiten berücksichtigen.

Prof. Volker Hoffmann



Volker Hoffmann im Gespräch mit Florian Hug im Rahmen des Kick-off Workshops.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Executive Summary	7
Extended Summary	9
1 Einleitung	13
1.1 Ausgangslage	13
1.2 Übersicht zu Zielen und Umsetzung des Forschungsprojektes	14
2 Technologien für Energieeffizienz in Gebäuden	17
2.1 Einführung der Technologielandkarte	17
2.2 Auswahl relevanter Technologien	21
3 Barrieren und Nutzen von Energieeffizienztechnologien in Gebäuden	23
3.1 Energieeffizienzpotential des Schweizer Gebäudesektors	23
3.2 Theoretischer Überblick zu Barrieren für energieeffiziente Technologien in Gebäuden	24
3.3 Spezifische Barrieren für priorisierte Technologien	26
4 Konsumentenpräferenzen	29
4.1 Einführung: Zusammenhang Konsumentenpräferenzen und Technologiediffusion	29
4.2 Theorie: Technologienutzung und Kaufentscheidung	33
4.3 Methode: Identifikation relevanter Faktoren zur Erklärung der Kaufintention	37
4.4 Ergebnisse der Konsumentenbefragung in Deutschland und der Schweiz	41
4.5 Diskussion	47
5 Kooperationen und strategische Ausrichtung schweizerischer Energieversorger	52
5.1 Einleitung	53
5.2 Theorie zur Produktdiversifikation und Rolle der Kooperation	53
5.3 Produkte, Angebot und Kooperationen Schweizer EVU: Methode und Datengrundlage	55
5.4 Ergebnisse der Datenerhebung zu Produktportfolios und Kooperationen	56
5.5 Gründe für unterschiedliche strategische Ausrichtung und Ausreisser	64
5.6 Rolle des Verwaltungsrates für strategische Ausrichtung	66
5.7 Synthese und Ausblick	68
6 Regulatorische Rahmenbedingungen für energieeffiziente Gebäude	70

6.1	Theoretischer Überblick über verschiedene politische Massnahmen und Instrumente sowie Determinanten ihrer Effektivität	70
6.2	Überblick über bestehende politische Massnahmen für Energieeffizienz	73
6.3	Bewertung der Effektivität ausgewählter politischer Effizienzmassnahmen	76
6.4	Möglichkeiten politischer Einflussnahme auf die Verbreitung priorisierter Technologien	78
6.5	Synthese	78
7	Technologie-Fallstudien	80
7.1	Intelligente Heizungssteuerung	80
7.2	Lastprognose für Gebäude	89
7.3	Aufdach-Photovoltaikanlagen	99
8	Literaturverzeichnis	120
	Anhang	129
	Übersicht und Zugang zu elektronischen Unterlagen	129

EXECUTIVE SUMMARY

Problemstellung: Technologische Innovationen im Gebäudebereich zur Reduktion von Energieverbrauch und CO₂-Austoss sowie erhöhte regulatorische Anstrengungen für eine erneuerbare und dezentrale Energieversorgung bergen für Energieversorger Herausforderungen, in dem sie das Kerngeschäft konkurrieren, und Chancen, weil neue Märkte erschlossen werden können.

Beiträge dieses Berichtes: Dieser Bericht beinhaltet (1) eine Übersicht und ausgewählte Fallstudien zu Potential und Wirtschaftlichkeit von Gebäudetechnologien, (2) eine Betrachtung von Barrieren für die Verbreitung der Technologien, (3) eine repräsentative Befragung zu Produktpräferenzen der Haushalte für Smart Home Applikationen, (4) eine Untersuchung der Strategien der Schweizer Energieversorger mit Fokus auf Kooperation und Eigenschaften des Strategieprozesses sowie (5) eine Evaluation der politischen Rahmenbedingungen, die Barrieren für Gebäudeeffizienz adressieren.

Zentrale Resultate: Die wichtigsten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

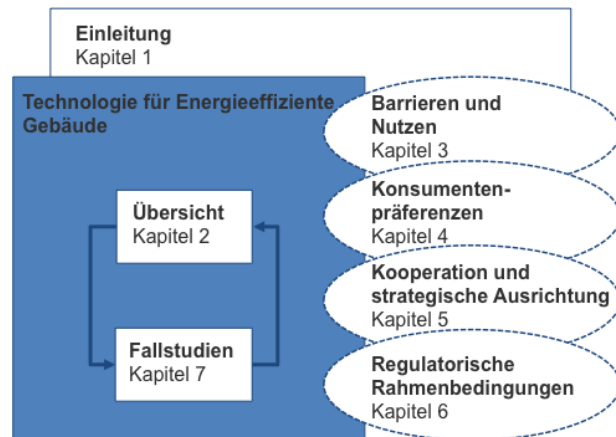
- Einsparpotential für Treibhausgas-Emissionen: Das grösste Einsparpotential der untersuchten Technologien bergen (in absteigender Reihenfolge) dezentrale Energieerzeugung, Verbesserungen der Gebäudedisolation, intelligentere Thermostate und Betriebsoptimierungen von Wärmeanwendungen (Kapitel 2). Entsprechende Technologien werden bei verstärktem Klimaschutz voraussichtlich gefragt sein.
- Im Bereich dezentrale Energieerzeugung und intelligentere Heizungssteuerung wurden in den Technologie-Fallstudien zwei neue wirtschaftlich interessante Potentiale identifiziert: Photovoltaikanlagen auf Mehrfamilienhäusern oder Bürogebäuden können alleine durch Eigenverbrauch und ohne Einspeisevergütung bereits heute in ca. 12 Jahren amortisiert werden. Intelligente Thermostate können für Haushalte mit eigener Heizungssteuerung etwa 30% Energie einsparen und innert 2-3 Jahren amortisiert werden (Fallstudien, Kapitel 7.1).
- Barrieren: Zusätzlich zur Wirtschaftlichkeit, welche für einige Anwendungen wegen der zu tiefen Energiepreise nicht gegeben ist, bilden Unsicherheit bei Kosten und Einnahmen, Zugang zu Kapital, Informationsmangel sowie Installation wichtige Barrieren für die Verbreitung der Technologien (Kapitel 3).
- Haushaltspräferenzen: Die Kompatibilität mit dem Alltag der Konsumenten, der wahrgenommene Nutzen und ein „Fun-Faktor“ haben für SmartHome Applikationen, wie intelligente Heizungssteuerungen, einen starken Einfluss auf die Kaufentscheidung. Umweltbewusstsein, PreisLeistungsverhältnis, und objektives Einsparpotential haben keinen oder nur einen geringen Einfluss. Dies ist bei Schweizer Haushalten noch ausgeprägter als in Deutschland (Kapitel 4).
- Firmen und Strategien: Schweizer Energieversorger verfolgen sehr unterschiedliche Strategien in Bezug auf das Angebot an Nicht-Stromprodukten. Formelle Kooperationen mit anderen Unternehmen sind für ein breites Produktangebot wichtig. Für die rechtzeitige Anpassung der Strategie ist ein proaktives Management und eine funktionierende Zusammenarbeit mit dem Verwaltungsrat von zentraler Bedeutung (Kapitel 5).
- Politische Rahmenbedingungen: In der EU waren bisher für die Reduktion des Heizenergieverbrauchs vor allem Energiepreise und Gebäudestandards wichtig. Andere Instrumente können aber einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung und Verbreitung neuer Innovationen leisten (Kapitel 6).

Schlussfolgerungen: Der Bericht zeigt, dass das technologische Potential für energieeffiziente Gebäude noch nicht ausgeschöpft wurde. Dabei bieten vor allem neue Technologien interessante Lösungen. Es bestehen jedoch auch für sich wirtschaftlich lohnende Technologien zahlreiche Barrieren. Insbesondere sind die nicht-monetären Haushaltspräferenzen zu berücksichtigen. Für Energieversorger sind Kooperationen und Anpassungen der Firmenstrategie wichtig um auf die Veränderungen im Energiemarkt zu reagieren. Politisch hat sich das Zweigespann finanzieller Anreize und regulatorischer Anforderungen im Gebäudebereich als erfolgreich erwiesen, weshalb diese Instrumente wohl auch in Zukunft eingesetzt und den Gebäudeeffizienz-Markt prägen werden.

EXTENDED SUMMARY

Herausforderung und Fragestellung

Der Strommarkt ist im Wandel. Einerseits verstärkt die Strommarkliberalisierung den Wettbewerb unter Energieversorgern, andererseits verändern sich die politischen Rahmenbedingungen mit der Energiestrategie 2050. Gleichzeitig bringen technologische Innovationen neue Möglichkeiten, um dezentral Energie zu produzieren, sowie den Verbrauch zu steuern und zu reduzieren. Dieser Wandel birgt für Stromversorger und Technologiehersteller Herausforderungen, aber auch Chancen. Herausforderungen, weil das Kerngeschäft konkurriert wird und möglicherweise an Bedeutung verliert. Chancen, weil über die Gebäudeeffizienz neue Märkte erschlossen werden können. Um diese besser zu verstehen, wurde in diesem Forschungsprojekt das Zusammenspiel von Technologie, Nutzer, politischen Rahmenbedingungen und Firmenstrategien für Energieeffizienzmassnahmen im Gebäudebereich untersucht (vgl. Grafik 1).



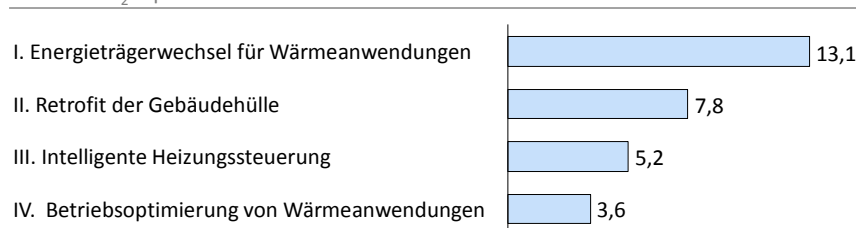
Grafik 1: Übersicht zur Struktur des Berichtes.

Technologien und Potentiale

Da die Reduktion der Treibhausgase ein wichtiger politischer Treiber ist und entsprechende Technologien durch Erhöhung des CO₂-Preises in Zukunft an Attraktivität gewinnen können, wurde das Reduktionspotential der vorhandenen Gebäudetechnologien untersucht (Kapitel 2). Bei Wohngebäuden verursacht der Wärmebedarf für das Heizen den weitaus grössten Teil der CO₂-Emissionen, was erklärt, weshalb Technologien in diesem Bereich das grösste Einsparpotential bergen (vgl. Grafik 2). Am stärksten reduziert ein Wechsel auf erneuerbare Energieträger die Emissionen. Ein grosses Potential beinhaltet die bessere Isolation. Intelligente Heizungssteuerungen können den Wärmeverbrauch reduzieren, indem nicht mehr geheizt wird, wenn niemand zuhause ist. Schliesslich bergen auch Betriebsoptimierungen von Wärmeanwendungen (z.B. Abwasserwärmetauscher) ein beachtliches Reduktionspotential.

Maximale Einsparpotenziale für Treibhausgasemissionen nach Technologiegruppen für private Haushalte in der Schweiz

In Mio. t CO₂-äq



Grafik 2: CO₂-Einsparpotenziale unterschiedlicher Technologiegruppen in Gebäuden (Zumbühl 2013) (siehe Kapitel 2).

Unter Berücksichtigung des Einsparpotentials sowie des Forschungsbedarfs in den verschiedenen Bereichen wurden in Zusammenarbeit mit den Forschungspartnern drei neue Technologien ausgewählt und bezüglich ihrer Wirtschaftlichkeit detailliert untersucht (Kapitel 7):

- **Intelligente Heizungssteuerung:** Durch bedarfsgerechte Heizungssteuerung und damit insbesondere durch das Herunterfahren der Heizung, wenn niemand zu Hause ist, können die Heizkosten um etwa 25 Prozent reduziert werden. Bei Haushalten, welche eine eigene Heizung besitzen (praktisch alle Einfamilienhäuser), kann dies mit einmaligen Installationskosten von 300 Franken erreicht werden, welche typischerweise bereits nach etwa 2-3 Jahren amortisiert sind.
- **Gebäudeprognose:** Entgegen der Erwartungen, dass sie die Stromverbrauchsprognosen von Bilanzgruppen verbessern und so Ausgleichszahlungen reduzieren, bringen verbesserte Gebäu-

deprognosen kaum einen wirtschaftlichen Vorteil. Dies hängt damit zusammen, dass die Ausgleichszahlungen nicht von der Abweichung bei den Gebäuden bestimmt werden. Auf aggregierter Ebene kann der Verbrauch der Gebäude zudem bereits heute recht gut vorausgesagt werden, weshalb die Prognose einzelner Gebäude kaum Mehrwert stiftet.

- **Aufdach-Solaranlagen:** Durch die Gleichzeitigkeit von Stromproduktion und -verbrauch kann mit Aufdach-Solaranlagen nicht nur Strom produziert und ins Netz eingespeist werden, sondern auch der Strombezug der Gebäude reduziert werden (Eigenverbrauch). Da der Strombezugspreis höher als die Marktentschädigung für die Einspeisung ist, bringt dies wirtschaftliche Vorteile. Bei Mehrfamilienhäuser und Bürogebäuden ist ein besonders hoher Eigenverbrauch möglich. Dadurch sind für geeignete Standorte auch ohne Einspeisevergütung Amortisationszeiten von nur 12 Jahren möglich.

Nutzer und Barrieren

Auch wenn die Wirtschaftlichkeit einiger Technologien in der Theorie bereits gegeben ist, werden diese noch nicht breit eingesetzt. Dies kann mit unterschiedlichen Barrieren für die Implementierung der Technologien erklärt werden, welche in der Literatur bereits gut erforscht sind. Es können Struktur-, Verhaltens- und Verfügbarkeitsbarrieren unterschieden werden. Wie die Betrachtung einer Auswahl von Gebäudetechnologien zeigt, sind je nach Technologien andere Barrieren relevant (Grafik 2, Kapitel 4). Für Wohngebäude werden Barrieren für die Implementierung stark durch Präferenzen und subjektiven Einschätzungen der Haushalte bestimmt. Deshalb wurden mit einer Umfrage Präferenzen und

Barriere	Technologie					
	PV-Dachanlagen in KEV*	Intelligente Heizungssteuerung*	LED Beleuchtung	Wärmepumpe	Energieeffiziente Weissgüter	Gebäudehülle Retrofit
Strukturbarrieren						
Investor-Nutzer Dilemma	Niedrig	Mittel	Niedrig	Hoch	Niedrig	Hoch
Tiefe Energiepreise	Niedrig	Mittel	Hoch	Mittel	Mittel	Hoch
Verhaltensbarrieren						
Risiko und Unsicherheit	Mittel	Mittel	Niedrig	Mittel	Niedrig	Mittel
Informationsmangel	Niedrig	Hoch	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel
Trägheit und Gewohnheiten	Mittel	Hoch	Hoch	Mittel	Mittel	Hoch
Verfügbarkeitsbarrieren						
Zugang zu Kapital	Mittel	Niedrig	Niedrig	Hoch	Niedrig	Hoch
Produktverfügbarkeit	Niedrig	Mittel	Niedrig	Niedrig	Niedrig	Niedrig
Installation und Gebrauch	Niedrig	Mittel	Niedrig	Mittel	Niedrig	Mittel

Siehe auch differenzierte Analyse in Kapitel 7.

Grafik 3: Unterschiedliche Barrieren für Gebäudeeffizienztechnologien (Kapitel 4).

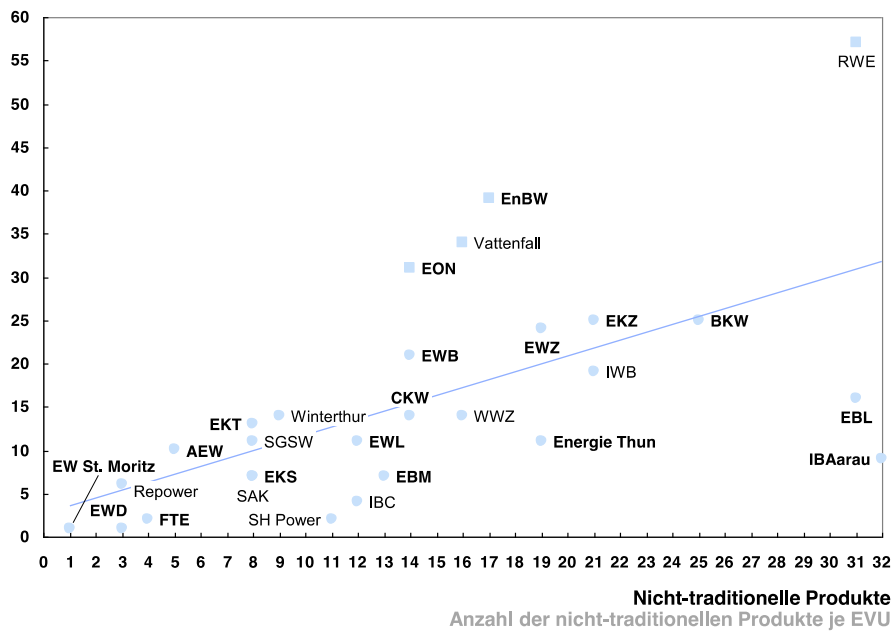
Einschätzungen von Haushalten gegenüber Smart Home Technologien wie intelligenten Heizungssteuerungen untersucht (Kapitel 5). Dabei zeigte sich, dass der Preis zwar wichtig für die Kaufabsicht ist, aber andere Faktoren mehr Einfluss haben, wie zum Beispiel: Kompatibilität mit der Heizung und dem Tagesablauf, der Fun-Faktor, Umwelt-nutzen und die wahrgenommene Zuverlässigkeit des Produktes (Risiko).

Firmen und Strategien

Um von den neuen Gebäudeeffizienztechnologien zu profitieren und entsprechende Geschäftsmodelle zu entwickeln, müssen die identifizierten Barrieren durch die Stromversorger und Technologiehersteller adressiert werden. Hierzu wurde die Rolle von Kooperationen zwischen Stromversorgern und Technologieherstellern untersucht (Kapitel 6). Es zeigt sich, dass Kooperationen ein wichtiges Vehikel für ein breites Angebot an nicht-traditionellen Produkten darstellen (Grafik 3). Es gibt jedoch auch Stromversorger, welche ohne hohe Kooperationsaktivitäten viele nicht-traditionelle Produkte anbieten, indem solche Produkte einfach zugekauft werden.

Das Angebot an nicht-traditionellen Produkten kann als Indiz für die Diversifikation von Strategien zum Umgang mit dem Wandel im Stromsektor interpretiert werden. Einige Unternehmen fokussieren sich auf ihr Kerngeschäft, Produktion und/oder Verkauf von Strom, andere erweitern ihr Angebot um neue Produkte und wandeln sich zu einem umfassenden Energiedienstleister. Welche Strategie langfristig erfolgreicher ist, lässt sich aus heutiger Sicht nicht beurteilen. Die Untersuchung der Änderung und Überarbeitung der Strategie von Unternehmen durch Geschäftsleitung und Verwaltungsrat zeigt aber,

Kooperationen
Anzahl der Kooperationen je EVU



Grafik 4: Angebot nicht-traditioneller Produkte und Kooperationsaktivitäten von Energieversorger (Kapitel 6).

dass es erheblich anspruchsvoller ist, neue Geschäftsmodelle zu erschliessen. Da die Unsicherheit über die Entwicklung von Nachfrage und Erträgen hoch ist, müssen bei der Beurteilung von Investitionen für neue Geschäftsfelder oft sowohl Verwaltungsrat wie auch die Geschäftsleitung ihre „Komfortzone“ verlassen. Idealerweise geht ein solcher Wandel vom Management aus, wird aber vom Verwaltungsrat eng begleitet.

Politische Rahmenbedingungen

Politische Massnahmen zur Förderung eines energieeffizienten und erneuerbaren Gebäudesektors können entweder die Wirtschaftlichkeit entsprechender Technologien verbessern oder sonstige Barrieren für deren Implementierung adressieren (Kapitel 7). Für die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit können sowohl Subventionen als auch Lenkungssteuern verwendet werden. Barrieren können über regulatorische Instrumente wie Vorschriften oder Informationsmassnahmen adressiert werden. Eine im Rahmen dieses Projektes durchgeführte Untersuchung der politischen Massnahmen in europäischen Ländern in den vergangenen 30 Jahren weist darauf hin, dass vor allem eine Erhöhung des Energiepreises und Gebäudestandards für eine direkte Reduktion des Energieverbrauchs wirksam sind. Die Wirksamkeit wird aber nicht nur von der Art der Instrumente, sondern sehr stark auch von deren konkreter Ausgestaltung beeinflusst.

1 Einleitung

Autoren: Bastien Girod, Tillmann Lang, Florian Nägele

1.1 Ausgangslage

Aufgrund technischen Fortschritts, Bemühungen zur Begrenzung des Klimawandels und geringer Akzeptanz für Atomkraft durchläuft der Energiesektor eine tiefgreifende und wahrscheinlich langandauernde Transformation. Diese Transformation betrifft alle Schritte entlang der Wertschöpfungskette der Elektrizitätsversorgung, von der Erzeugung, über die Verteilung bis zum Verbrauch. National wie international wird dieser Trend zudem durch entsprechende Gesetzgebung akzentuiert. In der Schweiz deutet die „Energiesstrategie 2050“ des Bundesrates auf eine Verstärkung der regulatorischen Massnahmen für die Förderung von Energieeffizienz und erneuerbarer Energieproduktion hin. Gleichzeitig bestehen regulatorische Unsicherheiten, etwa hinsichtlich der Weiterführung der Marktliberalisierung oder der Übernahme von EU-Normen.

Während der verstärkte Einsatz von Energieeffizienztechnologien zunehmend als eine wirtschaftlich sinnvolle und politisch erwünschte Komponente für die Zukunft der Energieversorgung angesehen wird, sind Möglichkeiten, Potentiale und Marktbarrieren für diese Technologien noch ungenügend verstanden. Weiter ergeben sich für EVU eine Reihe von Herausforderungen und Chancen, die den Einsatz von effizienten und intelligenten Technologien beim Endkonsumenten zu einer wichtigen strategischen Fragestellung machen: Einerseits steht das traditionelle Geschäftsmodell von EVU unter Druck. Effiziente Nutzung von Energie, und damit einhergehende Einsparungen von Strom stehen im Gegensatz zum Absatz möglichst hoher Strommengen. Andererseits ergibt sich für EVU die Möglichkeit, das Produktportfolio zu erweitern. Anstatt „nur“ Strom zu verkaufen, zeichnet sich ein Trend zu umfassenderen Energiedienstleistungen ab. Dank ihrem guten Kundenzugang sind EVU gut positioniert, um umfassende Energiedienstleistungen anzubieten.

Die **energieeffizienten Gebäudetechnologien** bieten eine Vielzahl von Möglichkeiten auf die sich ändernden Anforderungen an Effizienz und Umweltbelastung zu reagieren. Aufgrund der dynamischen technologischen Entwicklung ergeben sich immer wieder neue technologische Lösungen, welche wissenschaftlich bezüglich ihrer Potentiale und Wirtschaftlichkeit erst wenig untersucht wurden. So verlangen beispielsweise neue intelligente Heizungssteuerungen oder stark gefallene Preise für Photovoltaikanlagen eine Neubewertung ihrer Attraktivität für Anbieter und Nutzer von Energiedienstleistungen. Die Kosten der Implementierung sind für die Diffusion energieeffizienter Gebäudetechnologien entscheidend. Selbst wenn eine Technologie insgesamt eine Kostenreduktion erlaubt, kann ihre Verbreitung jedoch durch unterschiedliche **Marktbarrieren** gebremst oder verhindert werden. Diese Barrieren können beispielsweise struktureller Art (z.B. fehlende Informationen oder ungleiche Verteilung von Nutzen und Kosten), ökonomisch begründet (z.B. hohe Abzinsung des Kapitalwerts aufgrund von Unsicherheit über spätere Einsparungen oder fehlende Finanzierungsmechanismen) oder verhaltensbasiert (z.B. Verhaltensträgheit oder fehlende Informationen) sein. Selbstverständlich gibt es politische Aktivitäten mit dem Ziel, diese Barrieren zu überwinden. Allerdings existieren bisher kaum wissenschaftliche Auswertungen zu den dabei gesammelten Erfahrungswerten und Implikationen sowie darauf basierende Handlungsempfehlungen für Unternehmen. Die Marktbarrieren lassen sich auch auf Basis der Betrachtung der **Haushaltspräferenzen** beschreiben und untersuchen. Dabei ist die Relevanz von Einflussfaktoren wie PreisLeistungsverhältnis, sozialer Einfluss, technische Kompatibilität oder Umweltbewusstsein erst ungenügend untersucht.

Ob diese Veränderungen im Energiemarkt eine Chance für Energieversorger bilden, hängt auch von den **Unternehmensstrategien** ab. Firmen können möglicherweise durch die Anpassung des Produktangebotes und die Vermarktung neuer Energieeffizienztechnologien deren Verbreitung entscheidend unterstützen. Dies gilt für EVU genauso wie auch für etablierte oder junge Unternehmen aus

anderen Industrien, beispielsweise Technologiehersteller, Telekommunikationsdienstleister oder Finanzdienstleister. Die Möglichkeiten der Firmen, im Markt für Energieeffizienztechnologien in Gebäuden Wert zu generieren, sind heterogen und über verschiedene Industrien und Unternehmen verteilt (z.B. Kundenzugang bei EVU, Technologie-Knowhow bei Technologieanbietern). Unklar ist, welche Möglichkeiten Kooperationen zwischen EVU und Technologiehersteller bieten, um umfassendere Energiedienstleistungen anzubieten und so durch gemeinschaftlich erhöhte Wertschöpfung die eigene Positionierung im Markt zu stärken und auszubauen. Aus wissenschaftlicher Sicht ist auch unklar, wie die Anpassung der Unternehmensstrategie genau abläuft.

1.2 Übersicht zu Zielen und Umsetzung des Forschungsprojektes

Übergeordnete Zielsetzung des Projektes ist es, akademische Beiträge in zwei Bereichen zu generieren. Zum einen soll das theoretische Verständnis zur Diffusion energieeffizienter Technologien erhöht und das methodische Rüstzeug zur Beurteilung von Marktbarrieren verbessert werden. Zum anderen soll ein theoretisches Verständnis von Einflussfaktoren für die erfolgreiche Ausrichtung von Unternehmen und die dafür nötigen Prozessabläufe geschaffen werden. Die Verknüpfung von Technologieverständnis und Managementtheorie mit praktischen Erfahrungen aus der Energie- und Technologiebranche sind die Voraussetzung, welche zum tieferen Verständnis der oben genannten Kernthemen und zur Erweiterung der Theorie benötigt werden. Akademische Beiträge wurden oder werden in führenden Fachzeitschriften der Energieökonomie und Managementtheorie zur Publikation eingereicht (siehe Tabelle 1). Gleichzeitig wurden sieben Masterarbeiten betreut, welche zum Forschungsprojekt und diesem Bericht beitrugen (Tabelle 2).

Tabelle 1: Überblick zu Publikationen, die im Rahmen des SER Projektes entstanden sind

Beschreibung (deutsch)	Originaltitel (englisch)	Autoren bzw. Betreuer	Publikationsort	Kapitel
Determinanten der Adoption von experimentellen Endverbraucher Technologien verstehen	Understanding determinants of experiential consumer technology adoption	Florian Nägele, Sebastian Meyer, Bastien Girod	To be submitted to <i>MIS Quarterly</i>	4
In Richtung einer einheitlichen Theorie zu Akzeptanz von grünen Technologien in Haushalten	Towards a unified theory for adoption of green technologies by households	Bastien Girod, Florian Nägele, Sebastian Mayer	To be submitted to <i>Eco-logical Economics</i>	4
Einfluss des Verwaltungs-rates auf Lernprozesse in Unternehmen	The role of the board on organizational learning	Florian Nägele, Jörn Hoppmann, Bastien Girod	To be submitted to <i>Strategic Management Journal</i>	5
Wirkung von politischen Instrumenten zur Förderung der Gebäudeeffizienz in europäischen Länder	How to promote energy efficiency? An evaluation of 30 years of European energy policy	Bastien Girod, Alex Langguth, Tillmann Lang	To be submitted to <i>Eco-logical Economics</i> .	6
Beurteilung des Energie-einsparpotential von intelligenter Heizungssteuerung	Turning up the heat on obsolete thermostats: a review of intelligent control approaches for residential heating systems	Florian Nägele, Thomas Kasper, Bastien Girod	Submitted to <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>	7
Ökonomische Beurteilung von Aufdach-Photovoltaik für Einfamilienhäuser für verschiedene Regionen	Don't just follow the sun – A global assessment of economic performance for residential building photovoltaics	Tillmann Lang, Erik Gloerfeld, Bastien Girod	Submitted to <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>	7
Ökonomische Beurteilung von Aufdach-Photovoltaik für verschiedene Gebäude	Economic assessment of rooftop PV	Tillmann Lang, David Amman, Bastien Girod	To be submitted to <i>Energy Policy</i>	7

Tabelle 2: Überblick zu Masterarbeiten, welche im Rahmen des SER Projektes entstanden sind und zu den einzelnen Kapiteln dieses Berichtes beigetragen haben

Beschreibung (deutsch)	Originaltitel (englisch)	Autoren bzw. Betreuer	Kapitel
Untersuchung der Barrieren für die Implementierung von energieeffizienten Gebäudetechnologien	Investigation of barriers for the implementation of energy efficient technologies in residential buildings	Thomas Zumbühl Betreuer: Tillmann Lang, Florian Nägele, Bastien Girod	2, 3
Energieeffiziente Produkte und Dienstleistungen: eine Untersuchung von Kundenpräferenzen	Energy efficiency products and services: An investigation of consumer preferences	Sebastian Mayer Betreuer: Florian Nägele, Bastien Girod	4
Kooperationsaktivitäten als Mittel für explorative Produktstrategien – Hinweise vom schweizerischen Strommarkt	Cooperation activities as a vehicle for exploratory product strategies – evidence from the Swiss energy market	Michael Vormittag Betreuer: Florian Nägele, Bastien Girod	5
Untersuchung der Wirkung politischer Instrumente im Europäischen Gebäudesektor	Ex Post Evaluation of Policy Effects on Energy Efficiency in Europe's Residential Building Sector	Alex Langguth Betreuer: Tillmann Lang, Bastien Girod,	6
Das Energieeffizienzpotential von intelligenten Heizungssteuerungen für Wohngebäude	The energy efficiency potential of intelligent heating control approaches in the residential sector	Thomas Kasper Betreuer: Florian Nägele, Bastien Girod	7.1
Auf der Suche nach dem Wert von Gebäudelastprognosen	In Search of the Value from Building Side Load Forecast Information	Benedikt Deuchert Betreuer: Florian Nägele, Bastien Girod	7.2
Das ökonomische Potential von Eigenverbrauch für Aufdach-Solaranlagen	The Economic Potential of Self-Consumption for Building Rooftop PV	David Ammann Betreuer: Tillmann Lang, Bastien Girod	7.3

Das Forschungsprojekt wurde in fünf Arbeitspaketen (AP) organisiert (siehe Abbildung 1). AP 1 schuf die Grundlagen für ein besseres Verständnis der Energieeffizienztechnologielandschaft für Gebäude. Die wesentlichen Forschungsbeiträge resultieren aus der detaillierten Technologiebetrachtung im Rahmen der Technologiefallstudien (AP1), der Untersuchung von Haushaltspräferenzen (AP 2), der Analyse der Firmenstrategien (AP3) und der Evaluation der Wirksamkeit politischer Instrumente (AP4). Mit AP 5 wurde der Austausch zwischen der Forschung im Rahmen dieses Projektes und den Projektpartner sichergestellt. Dazu wurden vier Workshops durchgeführt (Präsentationen: siehe Anhang) und die Forschungsergebnisse in diesem Bericht praxisnah beschrieben.

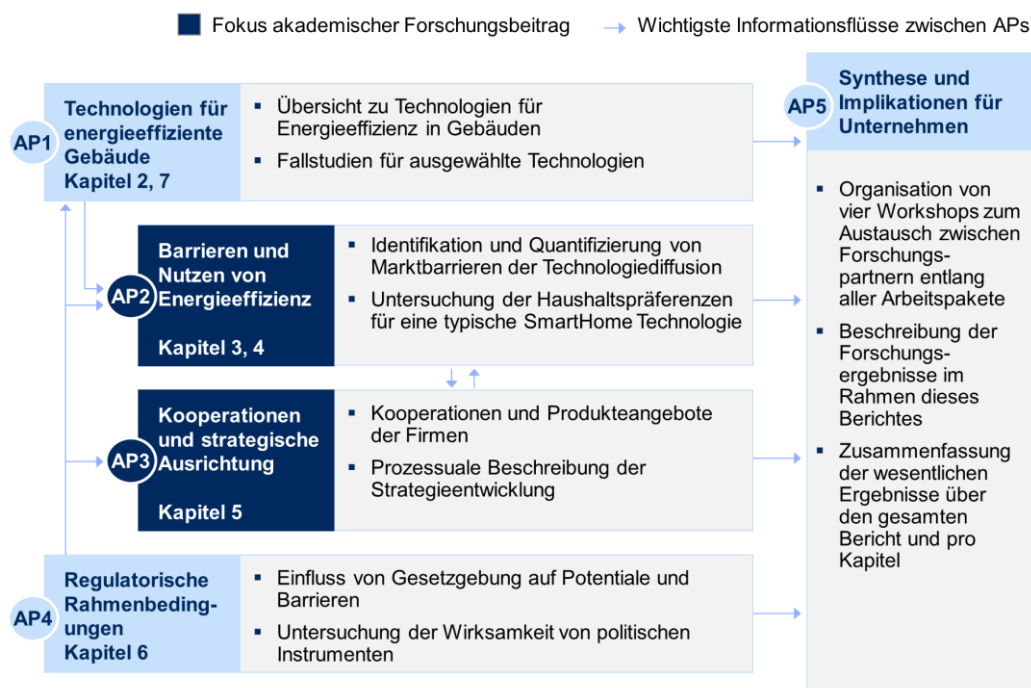


Abbildung 1: Projektstruktur in fünf Arbeitspaketen

2 Technologien für Energieeffizienz in Gebäuden

Dieses Kapitel beschreibt den technischen Lösungsraum für Energieeffizienztechnologien in Gebäuden. Innerhalb dieses technischen Lösungsraums und unter Einbezug weiterer relevanter Faktoren, wie z.B. Wertschöpfungsstufe, praktische Relevanz und Stand der Forschung wurden die Fokustechnologien bestimmt. Die Kernaussagen dieses Kapitels lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Um eine strukturierte Übersicht von Energieeffizienztechnologien für Gebäude zu erstellen, wurden entlang einer Matrix charakteristische *Anwendungsfelder* (z.B. Raumklima, Haushaltstätigkeiten) und *Prozessstufen* (z.B. Energieverbrauch, Energieverteilung im Haus) aufgetragen (siehe Abbildung 2).
- Es existiert eine grosse Vielfalt an bereits kommerzialisierten und sich in der Entwicklung befindenden Energieeffizienztechnologien für Haushalte. Insgesamt konnten 60 Technologien identifiziert werden, die der Definition Energieeffizienztechnologie für Haushalte im Sinne dieses Forschungsprojektes gerecht werden.
- Heizen und Warmwasseraufbereitung sind verantwortlich für den höchsten Endenergieverbrauchsanteil in Haushalten (84% bzw. 63,7 TWh des Endenergieverbrauchs der Schweiz im Jahr 2010). Damit adressieren Technologien für diese Anwendungen auch die höchsten, theoretisch erreichbaren Einsparpotenziale.
- Als Technologiecluster, die genau diese beiden Anwendungsgebiete adressieren, wurden insbesondere Energieträgerwechsel für Wärmeanwendungen, Retrofit der Gebäudehülle, intelligente Heizungssteuerung und die Betriebsoptimierung von Wärmeanwendungen identifiziert.
- Für die letztendliche Auswahl der Technologiefallstudien für die weitere Untersuchung wurden neben den oben genannten Einsparpotentialen auch der Forschungsbedarf sowie Interessen der Projektpartner berücksichtigt. Dies führte zur Vertiefung der Analyse von intelligenter Heizungssteuerung, Aufdach-PV-Anlagen sowie Technologien zur Prognose des Stromverbrauchs in kommerziell genutzten Gebäuden.

2.1 Einführung der Technologielandkarte

Autoren: Thomas Zumbühl, Thomas Kasper, Tillmann Lang, Florian Nägele

Die im Folgenden vorgestellte Technologielandkarte hat zum Zweck, relevante Energieeffizienzlösungen für den Einsatz in Haushalten aufzuzeigen. Hierbei wird neben einer entwickelten Taxonomie mit Technologiebeispielen und möglichen Einsatzgebieten auf eine detaillierte Auflistung der Energieeffizienzlösungen mit Wirkung auf den Energieverbrauch eingegangen¹. Die Technologielandkarte ist als Matrix strukturiert (siehe Abbildung 2). Diese Matrix klassifiziert die Technologien anhand der zwei Kategorien Anwendungsfeld und Prozessstufe. Durch das Anwendungsfeld wird beschrieben, zu welchem Zweck die eingesetzte Energie verwendet wird, z.B. für Heizen oder Unterhaltungszwecke. Die Kategorisierung nach Anwendungsfeldern wurde analog zu bestehenden Anwendungsbilanzen für Deutschland und die Schweiz entwickelt (AG Energiebilanzen e.V. 2011; Prognos AG 2011). Es wer-

¹ Siehe elektronische Unterlagen: 06 Anhang zum Schlussbericht.pdf, Tabelle 4: Detaillierung der Technologielandkarte (Zugang gemäss Beschreibung im Anhang).

den hierbei die Anwendungsfelder Raumklima und Licht, Haushaltstätigkeiten sowie Unterhaltung und Kommunikation unterschieden:

- **Raumklima und Licht:** Die Energiebereitstellung für Raumklima und Licht ermöglicht im Wesentlichen eine Erhöhung des Wohnkomforts. Technologien in diesem Anwendungsfeld stellen beispielsweise Heiz- und Klimaanlage, Ventilationssysteme und Lampen dar.
- **Haushaltstätigkeiten:** Das Anwendungsfeld Haushaltstätigkeiten ist kategorisiert in Warmwasseranwendungen, Kochen & Backen, Waschen & Trocknen sowie Kühlen & weitere. Insbesondere Küchengeräte wie Herd und Kühlschrank stellen relevante Energietreiber in diesem Anwendungsfeld dar.
- **Unterhaltung und Kommunikation:** Dies betrifft elektronische Geräte der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT), beispielsweise Fernseher, Computer und Telefon.

Die Unterscheidung nach Anwendungsfeldern wird ergänzt durch die Kategorisierung der Prozessstufe. Die Prozessstufe ermöglicht es, die Energieeffizienzlösungen nach ihrem Einsatzort im Energiefluss zu unterscheiden. Die Prozessstufen werden dabei beginnend vom Energieverbrauch bis hin zum Endenergieangebot dargestellt:

- **Energieverbrauch:** Die Prozessstufe Energieverbrauch umfasst die Nutzung der Energie am Ort des Verbrauchers zur Befriedigung seiner Bedürfnisse. Es werden hierbei drei Kategorien von Energieeffizienzlösungen unterschieden. Erstens dienen *intelligente Steuerungen*, beispielsweise die automatische Steuerung von Heizungsanlagen (s. Abschnitt 7.1), dazu, die Energie bedarfsorientiert einzusetzen. Zweitens kann durch eine *Betriebsoptimierung*, z.B. Abwasserwärmetauscher oder Waschmittel mit niedrigerer Aktivierungstemperatur der Energieverbrauch gesenkt werden. Drittens können *Demand Response, Smart Metering und Feedback* dazu eingesetzt werden, die Transparenz der Energiebereitstellung für den Verbraucher zu erhöhen, um sowohl die Energiekosten als auch den Energieverbrauch zu senken.
- **Energiedistribution:** Die Energiedistribution umfasst die Verteilung und Bereitstellung der Endenergie am Ort des Verbrauchers. Die Güte der Energiedistribution innerhalb der Haushalte entscheidet maßgeblich über die Verluste, die nach der Energieumwandlung bis zur Bereitstellung der Energiedienstleistung auftreten. Die Energieeffizienzlösungen wurden klassifiziert in die Kategorien *Gebäudehülle* (z.B. Fassadenmodifikationen), *Einsatz integrierter Gebäudeplanung* (z.B. der Einsatz natürlicher Lüftung) sowie die Nutzung von *Speichersystemen*. Durch letztere kann mittels Akkumulatoren der Zeitpunkt der Energienutzung verzögert werden.
- **Endenergieumwandlung:** Die Endenergieumwandlung repräsentiert die Umwandlung der Endenergie in Nutzenergie im Haushalt des Verbrauchers oder der zugehörigen Hausgemeinschaft. Innerhalb dieser Prozessstufe wurde zwischen Energieeffizienzlösungen in drei Kategorien unterschieden: Erstens kann die Endenergieumwandlung durch eine *Effizienzerhöhung* der bestehenden Technologien verbessert werden. Hierbei gibt es unzählige Möglichkeiten, beispielsweise die Auswechslung eines Heizwertkessels durch einen Brennwertkessels oder die Ersetzung alter Haushaltsgeräte durch neue mit höherer Energieeffizienzklasse. Zweitens besteht die Möglichkeit, die Energieumwandlung auf ein *dezentrales System umzustellen*. Dies ist z.B. durch Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) Anlagen möglich, die einen höheren Jahresnutzungsgrad realisieren und somit Gesamtverluste verringern. Drittens kann ein *Energieträgerwechsel* durchgeführt werden, welcher eine Reduktion der entstehenden Treibhausgase ermöglichen kann. Ein Beispiel hierfür ist die Umstellung von fossilen Energieträgern zum Heizen auf Wärmepumpen mit regenerativ erzeugter Elektrizität.
- **Endenergieangebot:** Das Endenergieangebot charakterisiert die Bezugsquelle des Energieträgers, der durch den Haushalt genutzt wird. Energieeffizienzlösungen in dieser Prozessstufe nutzen die Möglichkeit erhöhter Eigenerzeugung von Energie. So kann beispielsweise durch dezentral erzeugte erneuerbare Energie mit Eigenverbrauch, beispielsweise mittels Photovoltaikanlagen, der Energiebezug aus dem Netz reduziert werden.

Prozessstufe	Anwendungsfeld	Raumklima und Licht				Haushaltstätigkeiten				Unterhaltung & Kommunikation
		Raumtemperatur	Kälte	Luftqualität	Licht	Warmwasser	Kochen, Backen	Waschen, Trocknen	Kühlen & weitere	
Energieverbrauch	Intelligente Steuerung	Optimierte Heizungssteuerung ^{3,4} III	Intelligente Klimasteuerung ³¹	Komfortlüftung; Luftqualitätsregler ^{29,30}	Lichtsteuerung ^{55,56}					
	Betrieboptimierung	Hydraulischer Abgleich ⁸ IV	Lüftungskanalabdichtung ³²			Abwasserwärmetauscher ⁹ Wasserspardüse ¹⁰	IV	Geschirrspüleranpassungen ^{50,52}	Intelligente Steckleiste ⁵¹	
	Demand - response, Monitoring und Feedback	Laststeuerungsschalter ⁵						Laststeuerungsschalter ⁵		
		Verbrauchsanzeige und Smart-Meter ⁶								
Energiedistribution (verbrauchsnahe)	Speicherung	Erdwärmespeicher ¹⁹ Akkumulator ⁶⁰				Intelligente Armaturen ⁷				
	Gebäudehülle	Fassadenmodifikationen ^{20-25,35-38} II			Lichtdurchlässige Fassade ²⁵					
	Integrierte Gebäudeplanung		Erdsondenkühlung ⁴⁰	Natürliche Lüftung ³⁹						
	Effizienz-erhöhung	Brennwertkessel ¹ Umwälzpumpe ²	Deckenventilatoren ^{27,28}	Heiz.gebläse ²⁶ ; Solar-Luft-Kollektor ³²	LED-Leuchten ⁵⁴	Brennwertkessel ¹	Effizienter Herd & Backofen ^{41,43}	Geräte EE-Klasse A+++ ^{42,47,48}	Haushaltsgeräte A+++ ^{44,49}	Effiziente IKT-Geräte ^{45,46}
Endenergieumwandlung	Dezentrale Umwandlung	Mikro-KWK ¹⁸				Mikro-KWK ¹⁸				
	Energieträgerwechsel	Wärmepumpe ^{11,13,14} Holzheizung ¹⁵ Fernwärme ¹² I	I		I	s. „Wärme“ Solar-kollektoren ^{16,17}	Induktionsherd ⁵³			
Endenergieangebot	Eigen-erzeugung	Bereitstellung dezentral erzeugter Energie, z.B. Photovoltaikanlage oder Mikro-Windturbine mit Eigenverbrauch ⁵⁷⁻⁵⁹								

Abbildung 2: Die Technologielandkarte veranschaulicht Energieeffizienzlösungen für Haushalte anhand ihrer Anwendungsfelder und Prozessstufen. Zu jeder Technologiegruppe sind die wesentlichen Technologien in Technologiesteckbriefen näher beschrieben (Zuordnung durch die Fussnoten in der Grafik; Steckbriefe zu finden in Master-Arbeit Thomas Zumbühl bei Projektdokumenten im Anhang dieses Berichtes). Zusätzlich wurden vier Technologiegruppen mit besonders hohem Einsparpotenzial identifiziert (rot markiert – siehe Erläuterung im Text).

Die Trennung nach den Dimensionen Anwendungsfeld und Prozessstufe ermöglicht die Identifizierung von Technologiegruppen mit hohem Einsparpotenzial. Der Endenergieverbrauch der Schweiz für das Jahr 2010 wird in Abbildung 3 aufgezeigt. Hierbei wird der hohe Anteil der Energie für Heizwärme und Warmwasseraufbereitung deutlich, welche 84% (entspricht 63,7 TWh) des Endenergieverbrauchs der Schweiz im Jahr 2010 ausmacht. Diese zwei Anwendungsfelder sind daher die wichtigsten Anknüpfungspunkte für eine Erhöhung der Energieeffizienz in Haushalten.

Endenergieverbrauch der privaten Haushalte in der Schweiz nach Anwendungsfeldern, 2010

In TWh (Anteil in Prozent)

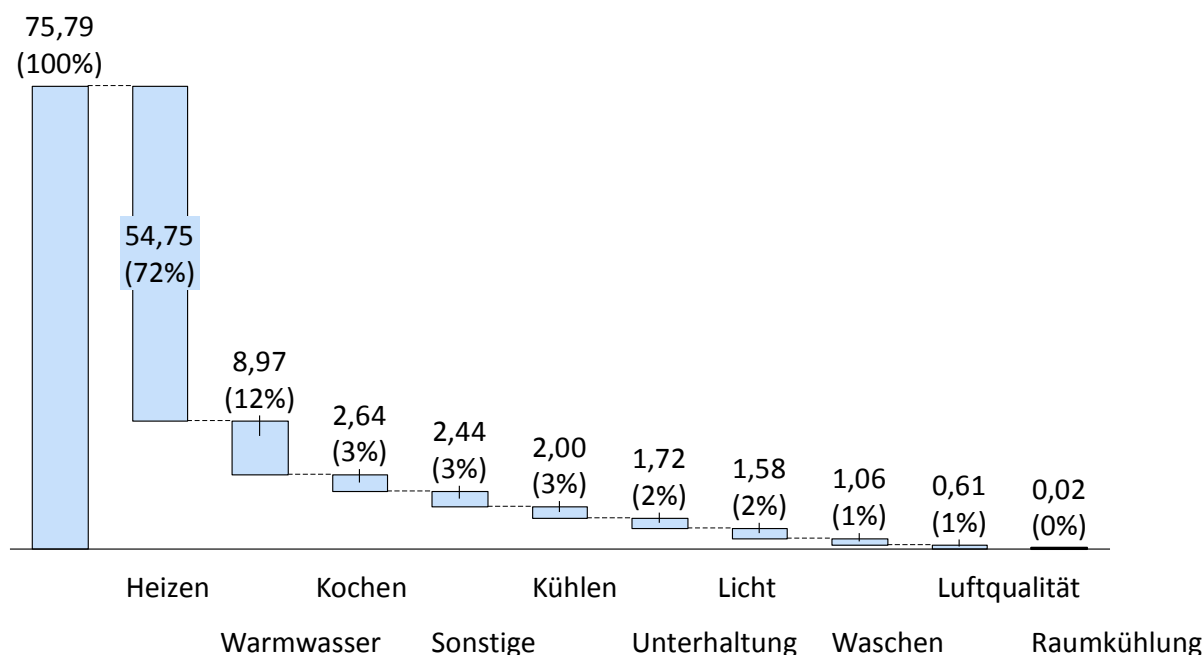


Abbildung 3: Endenergieverbräuche der privaten Haushalte in der Schweiz für das Jahr 2010, aufgeteilt nach Anwendungsfeldern (Bundesamt für Energie (BFE) 2011)

Es wurden vier Technologiegruppen für diese beiden Anwendungsfelder innerhalb der Technologielandkarte gekennzeichnet (siehe Abbildung 2, rot markiert), die den überwiegenden Anteil des gesamten Einsparpotenzials beinhalten. Die Technologien innerhalb einer Gruppe vereinen eine identische Prozessstufe sowie ein vergleichbares Anwendungsfeld. Im Folgenden sind die vier Technologiegruppen erläutert, priorisiert nach ihrem theoretischen Einsparpotenzial an Treibhausgasemissionen:

- **Energieträgerwechsel für Wärmeanwendungen:** Diese Technologiegruppe enthält Technologien zu einem Energieträgerwechsel zur Reduktion der Treibhausgasemissionen aufgrund von Energiedienstleistungen im Bereich Raumtemperatur und Warmwasser. Hierzu zählen z.B. Wärmepumpen oder Solarkollektoren.
- **Dämmung und Retrofit der Gebäudehülle:** Diese Technologiegruppe enthält Massnahmen zur Verbesserung der Gebäudehülle, z.B. Dämmung, eine Sanierung der Fassade oder Isolierung der Lüftungskanäle, um den Heizenergieverbrauch zu senken.
- **Intelligente Heizungssteuerung:** Intelligente Heizungssteuerungen dienen zur Senkung des Heizbedarfes. Dies wird beispielsweise durch Heizungsfernsteuerung oder intelligente Heizungssteuerungen mit automatischer Anwesenheitserkennung ermöglicht.
- **Betriebsoptimierung von Wärmeanwendungen:** Hierin werden Betriebsoptimierungen für Heiz- und Warmwasseranwendungen, z.B. durch hydraulischen Abgleich oder Abwasserwärmetauscher zur Reduktion des Heiz- und Warmwasserverbrauchs dargestellt.

Für diese Technologiegruppen wurden die maximalen Einsparpotenziale der Treibhausgasemissionen für die Schweiz ermittelt (siehe Abbildung 4). Hierbei ermöglicht ein Energieträgerwechsel für Wärmeanwendungen das höchste Einsparpotenzial von 13,1 Mio. t CO₂-äq, was über die Hälfte der Treibhausgasemissionen von 24,8 Mio. t CO₂-äq. im Wohnsektor in 2010 ausmacht. Ein Retrofit der Gebäudehülle würde Einsparungen von 7,8 Mio. t CO₂-äq. ermöglichen, intelligente Heizungssteuerungen Einsparungen von 5,2 Mio. t CO₂-äq.. In dieser Betrachtung sind keine Vermeidungskosten von Treibhausgasen berücksichtigt, welche eine priorisierte Förderung einer Technologiegruppe begründen könnten. Die aufgeführten Einsparpotentiale sind nicht kumulativ. So reduziert beispielsweise eine effizientere Gebäudehülle auch das maximale Potential der intelligenten Heizungssteuerung.

Maximale Einsparpotenziale für Treibhausgasemissionen nach Technologiegruppen für private Haushalte in der Schweiz

In Mio. t CO₂-äq

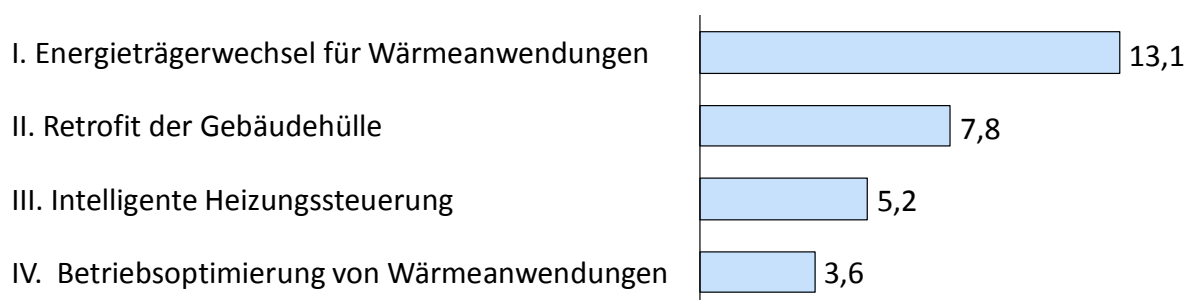


Abbildung 4: Theoretisch erzielbare Einsparpotenziale für Treibhausgasemissionen nach Technologiegruppen für private Haushalte in der Schweiz (Zumbühl 2013). Praktisch realisierbare Potentiale hängen von weiteren Faktoren ab, wie zum Beispiel der im Einzelfall vorhandenen Heiztechnologie und ihrer Kompatibilität mit Energieeffizienzlösungen.

Die in diesem Abschnitt vorgestellte Technologielandkarte mit Detaillierung (siehe Abbildung 1) dient als Übersicht der nachfolgenden Beschreibung ausgewählter Technologien (Abschnitt 2.2).

2.2 Auswahl relevanter Technologien

Autoren: Bastien Girod, Florian Nägele

Eine Auswahl von drei Technologien wurde bezüglich ihres wirtschaftlichen Potentials genauer untersucht. Dabei war neben dem Reduktionspotential und dem Innovationsgrad einer Technologie auch die Lage im Wertschöpfungsgefüge (Endkunden, Gebäudebetreiber, industrielle Stromabnehmer) ein Auswahlkriterium. Durch die folgende Auswahl wurde sichergestellt, dass ein diverses Portfolio an Technologien betrachtet wird, gleichzeitig aber aufgrund der Technologiecharakteristika generalisierbare Aussagen möglich sind.

- **Intelligente Heizungssteuerung:** Die Möglichkeiten und Wirtschaftlichkeit von Verbesserungen der Gebäudehülle wurden bereits detailliert analysiert (Jakob 2007; Madlener & Reinhard 2004). Deshalb wurde stattdessen die Möglichkeit zur Reduktion des Energieverbrauchs durch intelligente Heizungssteuerung untersucht. Eine solche Steuerung erkennt, wenn niemand zu Hause ist, und reduziert automatisch die Heizleistung.
- **Gebäudeprognose:** Mit steuerbaren Geräten in Gebäuden eröffnet sich eine Vielzahl von möglichen Geschäftsfeldern, welche zusätzlich zur Energieeinsparung Einnahmen generieren können. Eine Möglichkeit, welche von einem Projektpartner eingebracht wurde, ist der Verkauf einer verbesserten Prognose zum künftigen Lastgang der Gebäude.
- **Aufdach-Solaranlagen:** Wie im vorhergehenden Abschnitt aufgezeigt, besteht ein grosses Einsparpotential im Wechsel der Energieträger. Hier ist vor allem die Nutzung von Solarstrom, durch eine auf dem Dach installierte Photovoltaikanlage, interessant.

Für all diese Technologien wurden Fallstudien durchgeführt, welche in Studienarbeiten detailliert beschrieben wurden (siehe Tabelle 2) sowie in Kapitel 7 praxisnah aufbereitet sind. Die Untersuchungen führen zu folgenden Resultaten bezüglich Wirtschaftlichkeit:

- **Wirksame, intelligente Heizungssteuerung:** Intelligente Heizungssteuerungen können gegenüber normalen Steuerungen 20 – 30% des Energieverbrauchs einsparen. Bei wenig effizienten Gebäuden resultieren daraus Kosteneinsparungen, welche die Investitionskosten von ca. 100-300 Euro in wenigen Jahren amortisieren. Die Realisierung dieses Potentials hängt im Praxisfall insbesondere von der Kompatibilität des Steuerungssystems mit der Heizanlage ab (beispielsweise können mit der in Abschnitt 7.1 beschriebenen Technologie des Herstellers tado etwa 24% der Schweizer Gebäude als kompatibel betrachtet werden).
- **Gebäudeprognose:** Ernüchternd fällt die Verwertung der Gebäudeprognose zur Verbesserung der Prognose der Bilanzgruppen der Stromversorger und damit zur Reduktion der Bussen für eine Abweichung von der Prognose aus. Da die Bussen für die Bilanzgruppen von der absoluten Abweichung der gesamten Bilanzgruppe abhängen und diese nicht mit den Abweichungen einzelner Gebäudeprognosen korreliert, sind die Einsparungen minimal und die externe Verwertung der Prognose lohnt sich zumindest heute noch nicht. Nicht untersucht und möglicherweise vielversprechender ist die interne Verwertung zur Optimierung von Energiespeichern oder Flexibilität (Demand Response).
- **Wirtschaftliche Aufdach-Solaranlagen:** Die Wirtschaftlichkeit von Aufdach-Solaranlagen ohne garantierten Einspeisetarif hängt direkt vom Stromanteil ab, der vor Ort verbraucht werden kann, und damit den Strombedarf der Gebäude reduziert. Für die betrachteten Gebäude können aus diesem Grund für Mehrfamilienhäuser und insbesondere grosse Bürogebäude in Regionen mit hohen Endkundenstrompreisen Aufdach-Solaranlagen auch ohne politische Förderung bereits heute wirtschaftlich sein.

Wenn Aufdach-Solaranlagen und intelligente Heizungssteuerungen wirtschaftlich sind, wieso finden sie nicht eine viel stärkere Verbreitung? Diese Frage wird im folgenden Kapitel adressiert.

3 Barrieren und Nutzen von Energieeffizienztechnologien in Gebäuden

Autoren: Alexander Langguth, Tillmann Lang

Energieeffiziente Technologien für Gebäude sind im Schweizer Markt weitaus weniger verbreitet als eine ökonomische Betrachtung erwarten lässt. Trotz des enormen Potentials und des grossen Angebots von Technologien zur Einsparung von Energie in Gebäuden werden Energieeffizienzlösungen nur in reduziertem Ausmass eingesetzt. Ziel dieses Kapitels ist es, Gründe für die langsame Verbreitung solcher Technologien im Markt herzuleiten und zu erläutern. Dafür wird zunächst das derzeitige Potential zur Steigerung von Energieeffizienz in Gebäuden in der Schweiz untersucht. Anschliessend folgt ein theoretischer Überblick zu den Barrieren bei der Verbreitung von energieeffizienten Technologien. Im letzten Teil dieses Kapitels wird diese Barrierenübersicht dazu verwendet, ausgewählte Technologien hinsichtlich ihres Marktpotentials im Detail zu untersuchen und zu bewerten.

Zusammenfassend können die Kernaussagen dieses Kapitels wie folgt beschrieben werden:

- Die Umsetzungskosten für einen bedeutenden Teil des Einsparpotentials lassen sich über die eingesparten Energiekosten innerhalb der Amortisationszeit finanzieren. Damit können mit vielen Technologien bereits heute insgesamt Kosten eingespart werden. Die Diskrepanz zwischen dem theoretisch kosteneffizient realisierbaren Einsparpotential und dem in der Praxis tatsächlich realisierten Potential wird in der Energieökonomie als Energieeffizienzlücke bezeichnet.
- Grund für die Energieeffizienzlücke ist eine Vielzahl an Energieeffizienzbarrieren, welche die Verbreitung energieeffizienter Gebäudetechnologien verlangsamen oder verhindern. Die Relevanz und Ausprägung verschiedener Barrieren ist sehr technologiespezifisch. Zentrale Barrieren sind das Investor-Nutzer Dilemma, Unsicherheit bezüglich künftiger Energiepreise und tatsächlicher Installationskosten, Zugang zu Kapital, Informationsmangel und Komplexität der Installation.
- Unternehmen stehen verschiedene Massnahmen zur Verfügung, um die wirtschaftlichen und energetischen Potentiale von Energieeffizienztechnologien zu realisieren. Diese Massnahmen adressieren die jeweiligen Barrieren einer Technologie und sind daher stark technologiespezifisch (zu beachten: Staatliche Massnahmen zur Überwindung von Energieeffizienzbarrieren werden in Kapitel 6 diskutiert).

3.1 Energieeffizienzpotential des Schweizer Gebäudesektors

Marktbeobachtungen zeigen, dass sich energieeffiziente Technologien im Gebäudebereich nur sehr langsam verbreiten. Dies lässt sich insbesondere am Beispiel von Gebäudesanierungen nach dem Schweizer MINERGIE-Standard illustrieren. Eine Studie von Ziegler und Bättig (2009) zeigt, dass 90% der existierenden Gebäude bis 2030 kosteneffizient renoviert werden könnten (Ziegler & Bättig 2009). Um dies zu erreichen, müsste die jährliche Renovierungsrate Schweizer Gebäude ca. 4.5% betragen. In der Realität beträgt die Renovierungsrate in der Schweiz jedoch gerade einmal 0.6-1.0% (Jakob 2006). Die Diskrepanz zwischen der potentiellen kosteneffizienten Adoptionsrate energieeffizienter Technologien und der tatsächlichen Adoptionsrate wird in der Literatur auch als „Energieeffizienzlücke“ bezeichnet (vgl. Hirst und Brown 1990; Jaffe und Stavins 1994; Sutherland 1991; Sorrell et al. 2004). Mit anderen Worten beschreibt das Wort „Energieeffizienzlücke“ den Unterschied zwischen der

optimalen und der tatsächlichen Energieeffizienz und somit das Energieeffizienzpotential des Schweizer Gebäudesektors.

Abbildung 5 illustriert das CO₂-Vermeidungspotential durch die Adoption energieeffizienter Technologien im Schweizer Gebäudesektor basierend auf einer Studie von Ziegler und Bättig (2009). Die Analyse zeigt für verschiedene Technologien die jeweiligen CO₂-Vermeidungspotentiale sowie die zur Realisierung dieser Potentiale zu erwartenden Kosten. Bei Berücksichtigung aller Technologien mit negativen Kosten ergibt sich aus dieser Studie eine Energieeffizienzlücke von etwa 85 Megatonnen CO₂².

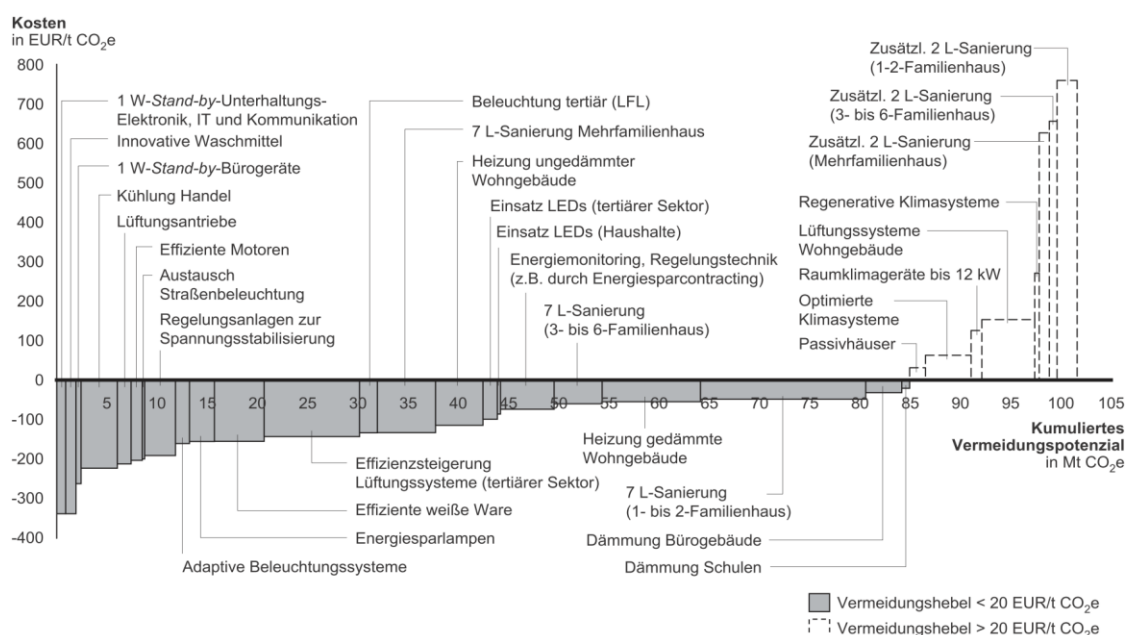


Abbildung 5: CO₂ Vermeidungspotential durch die Adoption energieeffizienter Technologien im Schweizer Gebäudesektor (Ziegler und Bättig 2009)

Die Existenz der Energieeffizienzlücke wird in der Literatur auf hindernde ökonomische, institutionelle und verhaltensspezifische Faktoren – so genannte „Barrieren“ – zurückgeführt (vgl. Hirst & Brown 1990; Golove und Eto 1996; Sorrell et al. 2011). Ziel der folgenden Unterkapitel ist es, die entscheidenden Barrieren für Energieeffizienztechnologien zu identifizieren, zu verstehen sowie zu priorisieren, um im Anschluss mögliche Massnahmen zur Überwindung der Barrieren zu diskutieren.

3.2 Theoretischer Überblick zu Barrieren für energieeffiziente Technologien in Gebäuden

Barrieren für die Ausbreitung energieeffizienter Technologien sind ein vielseitig diskutiertes Konzept in der Literatur. Sie können im Allgemeinen als Mechanismen, welche energieeffiziente und ökonomisch sinnvolle Investitionen, Entscheidungen und Verhaltensweisen verhindern, definiert werden (Sorrell et al. 2011). Ein fundiertes Verständnis über solche Barrieren ist essentiell um die Gründe für die – aus ökonomischer Sicht – unerwartet langsame Verbreitung energieeffizienter Technologien besser zu verstehen. Im Folgenden wird ein kurzer Einblick in die Forschung zum Thema der Barrieren gegeben, um anschliessend die Barrieren anhand einer geeigneten Taxonomie klar verständlich zu strukturieren und umfassend zu beschreiben.

² In der Literatur gibt es verschiedene Ansätze zur Berechnung von CO₂-Vermeidungskosten und damit resultierend zur Abschätzung der Energieeffizienzlücke. Eine detaillierte Gegenüberstellung dieser Ansätze findet sich bei (Zumbühl 2013).

Grundsätzlich werden Barrieren in der Literatur aus verschiedenen Perspektiven beschrieben und analysiert (neben der Perspektive der Wirtschaftswissenschaften inklusive der klassischen Ökonomie, der Transaktionskostenökonomie, und der Verhaltensökonomie beispielsweise aus sozial-psychologischen und organisationstheoretischen Perspektiven (Sorrell et al. 2011)), entsprechend gibt es auch eine Vielzahl an existierenden Barrierentaxonomien (Gillingham et al. 2009; Jaffe & Stavins 1994; Sorrell et al. 2004). Für diesen Bericht adaptieren wir die Taxonomie von Granade et al. (2009), welche die Erkenntnisse der verschiedenen Perspektiven berücksichtigt und sie praktikabel und anwendbar strukturiert. In Tabelle 3 ist eine Übersicht über die resultierende Barrierentaxonomie inklusive Definitionen und Beispielen gegeben. Dabei werden die Barrieren in drei Kategorien unterschieden: (1) *Strukturbarrieren* beschreiben institutionelle Rahmenbedingungen (z.B. Marktdesign), die verhindern, dass Akteure in energieeffiziente Technologien investieren; (2) *Verhaltensbarrieren* beschäftigen sich mit verhaltens- und entscheidungstheoretischen Phänomenen von Marktakteuren (z.B. Trägheit und eingeschränkte Rationalität); (3) *Verfügbarkeitsbarrieren* beschreiben Situation, in denen Akteure gewillt sind, energieeffiziente Technologien einzusetzen, aber der Zugang oder die Fähigkeit zur Nutzung fehlt.

Tabelle 3: Barrieren zu energieeffizienten Technologien, adaptiert von Granade et al. (2009)

Barriere	Definition	Beispiel
Strukturbarrieren		
Investor-Nutzer Dilemma	Investments in Energieeffizienz werden nur dann getätigt, wenn der Investor auch von den Vorteilen seiner Investition profitieren kann.	Vermieter haben keinen Anreiz in Effizienz zu investieren, da sie nicht von dem Investment profitieren (sondern die Mieter)
Tiefe Energiepreise	Zentraler Wirtschaftlichkeitstreiber von Energieeffizienz sind Energieeinsparungen, welche vom Energiepreiseniveau abhängen. Sind Energiepreise niedrig (z.B. durch Nicht-Einpreisung negativer Externalitäten wie Umwelteffekten), ist die Investition aus Sicht des Einzelakteurs weniger attraktiv als aus gesamtgesellschaftlicher Sicht.	Niedriger Energiepreis verringert Rentabilität von Energieersparnis
Verhaltensbarrieren		
Risiko und Unsicherheit	Investments in zum Teil noch unerprobte Technologien bergen technisches oder finanzielles Risiko. Die Wirtschaftlichkeit ist wegen langer Amortisationszeiten unsicher. Insbesondere sind zukünftige Einsparungen nicht garantiert und wirken mit zunehmender zeitlicher Distanz weniger positiv auf die Investitionsentscheidung.	Unsicherheit zukünftiger Einsparungen und Cash-Flows; Gefahr versteckter Kosten (z.B. Wartungsaufwand höher als vermutet)
Informationsmangel	Fehlende Informationen zu energieeffizienten Technologien oder Verhalten können dazu führen, dass effiziente Technologien nicht adoptiert werden.	Fehlendes Wissen über Verfügbarkeit, Funktionsweise, Vorteile und Kosten einer Technologie
Trägheit und Gewohnheiten	Menschliche Akteure sind limitiert in ihrer Zeit und Fähigkeit Informationen zu verarbeiten sowie faktenbasierte Entscheidungen zu treffen. Resultierend werden Investitionsmöglichkeiten vernachlässigt, selbst wenn genügend Informationen über energieeffiziente Technologien zur Verfügung stehen.	Wechsel von Gewohnheiten und etablierten Lösungen wird als aufwändig und nicht lohnenswert erachtet
Verfügbarkeitsbarrieren		
Zugang zu Kapital	Unzureichendes Kapital oder die Unfähigkeit Fremdkapital zu beziehen können Investitionen in Energieeffizienz verhindern. Dies ist sowohl für kurz- also auch für langfristige Planungszeiträume von potentiellen Investoren relevant.	Fehlende finanzielle Mittel für Erstinvestition
Produktverfügbarkeit	Bestimmte Technologien können geographisch nicht verfügbar sein (auch temporär). Zudem kann fehlende Kompatibilität einer Technologie mit einem Gebäude zur Nicht-Adoption führen.	Technologie ist lokal nicht verfügbar oder nicht kompatibel mit dem Gebäude
Installation und Gebrauch	Auch wenn energieeffiziente Technologien adoptiert werden, kann eine fehlerhafte Installation oder der falsche Gebrauch einer Technologie das Energieeinsparpotential vermindern, wenn nicht sogar zu einem erhöhten Verbrauch führen.	Unsachgemäße Installation oder Nutzung erzeugt Energieersparnis unterhalb des vollen Potenzials

Im Folgenden wird nun die gewählte Barrierentaxonomie auf priorisierte Technologien angewendet.

3.3 Spezifische Barrieren für priorisierte Technologien

Um die teilweise langsame Verbreitung energieeffizienter Technologien besser zu verstehen und durch entsprechende Massnahmen zu beschleunigen, ist es essentiell zu wissen, welche Barrieren den grössten Einfluss auf die potentiellen Käufer solcher Technologien haben. In diesem Bericht werden sechs Technologien priorisiert und detailliert untersucht. Eine Auflistung der betrachteten Technologien inklusive einer kurzen Beschreibung ist in Tabelle 4 zu finden.

Tabelle 4: Übersicht über priorisierte Energieeffizienztechnologien

Technologie	Beschreibung
Photovoltaik-Dachanlagen ³	• Produktion von Strom mittels Solarzellen auf dem Dach • Kosten: CHF 5'000 – 30'000 (für Wohngebäude, je nach Anlagengrösse) • Professionelle Installation notwendig • Staatliche Förderung durch kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) verfügbar
Intelligente Heizungssteuerungen ²	• Automatisches Ein- und Ausschalten des Heizungssystems mittels Smartphone oder Sensoren im Gebäude • Einsparpotential in der Schweiz: ~1,3 TWh für Einfamilienhäuser, ~5,6 TWh für Haushalte insgesamt (limitierte Kompatibilität) • Kosten: ca. CHF 400 • Technologie nur eingeschränkt verfügbar / kompatibel und noch in frühem Entwicklungsstadium
LED Beleuchtung	• Reduktion des Stromkonsums um ca. 80% durch effiziente LED Birnen • Kosten: ca. CHF 10 - 50 pro Leuchtkörper
Wärmepumpen	• Energieeffiziente, dezentrale Wärmeproduktion mittels Geothermie • Kosten: CHF 25'000 – 40'000 (je nach Anlagengrösse) • Einsparpotential in der Schweiz: bis zu 18,5 TWh • Professionelle Installation notwendig • Ggf. staatliche Finanzierungsunterstützung verfügbar
Energieeffiziente Weissgüter	• Reduktion des Stromkonsums durch effiziente und intelligente Haushaltsgeräte (z.B. Kühlschränke, Fernseher, Spülmaschinen, Waschmaschinen) • Kosten: CHF 1000 – 1'500 (je nach Gerät) • Einsparpotential in der Schweiz: bis zu 3,3 TWh
Retrofits der Gebäudehülle	• Verwendung besserer Isolationsmaterialien in der Gebäudehülle sowie mehrfachverglaster Fenster • Kosten: CHF 40'000 – 70'000 (je nach Gebäude) • Einsparpotential in der Schweiz: bis zu 40 TWh • Professionelle Installation notwendig • Ggf. staatliche Finanzierungsunterstützung verfügbar

Die unterschiedlichen Eigenschaften der betrachteten Technologien wirken sich auf die Relevanz verschiedener Barrieren aus. Abbildung 6 illustriert die Relevanz für die priorisierten Technologien dieses Reports. Die Bewertung der Relevanz dieser Barrieren basiert auf Diskussionsrunden mit den Industriepartnern des SER Projektes während des Workshops zu regulatorische Rahmenbedingungen und Barrieren (26. März 2014). Zudem wurden die speziellen Mechanismen der Technologien detailliert untersucht, um die Relevanz bestimmter Barrieren besser zu verstehen.

³ Detaillierte Beschreibung siehe Kapitel 7.

Barriere	Technologie					
	PV-Dachanlagen in KEV*	Intelligente Heizungssteuerung*	LED Beleuchtung	Wärmepumpe	Energieeffiziente Weissgüter	Gebäudehülle Retrofit
Strukturbarrieren						
Investor-Nutzer Dilemma	Niedrig	Mittel	Niedrig	Hoch	Niedrig	Hoch
Tiefe Energiepreise	Niedrig	Mittel	Hoch	Mittel	Mittel	Hoch
Verhaltensbarrieren						
Risiko und Unsicherheit	Mittel	Mittel	Niedrig	Mittel	Niedrig	Mittel
Informationsmangel	Niedrig	Hoch	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel
Trägheit und Gewohnheiten	Mittel	Hoch	Hoch	Mittel	Mittel	Hoch
Verfügbarkeitsbarrieren						
Zugang zu Kapital	Mittel	Niedrig	Niedrig	Hoch	Niedrig	Hoch
Produktverfügbarkeit	Niedrig	Mittel	Niedrig	Niedrig	Niedrig	Niedrig
Installation und Gebrauch	Niedrig	Mittel	Niedrig	Mittel	Niedrig	Mittel

Siehe auch differenzierte Analyse in Kapitel 7.

Abbildung 6: Relevanz von Barrieren für priorisierte Technologien gemäss Diskussion beim Projektworkshop im März 2014.
Hoch / Mittel / Niedrig beschreibt die Relevanz der Barriere für die Technologie.

Um die Gründe für die Zuordnung der relevanten Barrieren zu erläutern und beispielhafte Massnahmen zur Beseitigung dieser Barrieren vorzustellen, wird nun jede Technologie individuell diskutiert. Tiefe Energiepreise stellen eine Barriere für alle priorisierten Technologien dar, da sie die Rentabilität einer Investition in Energieeffizienz verringern und somit ihre Amortisationszeit verlängern. Sie werden daher nicht individuell diskutiert. Eine Möglichkeit für Energieversorgungsunternehmen diese Barriere zu überbrücken, könnte darin bestehen, Rabatte für den Kauf einer Technologie (z.B. eines Kühlschranks) mitzufinanzieren, um dem niedrigen Einsparpotential (aufgrund tiefer Energiepreise) verringerte Anschaffungskosten entgegenzustellen.

- **PV-Dachanlagen:** Die Barrieren für PV-Dachanlagen werden im Unterkapitel 7.3 im Detail diskutiert, insbesondere auch unter Berücksichtigung verschiedener Einsatzmöglichkeiten, wie zum Beispiel Einspeisung mit kostendeckender Einspeisevergütung (KEV), oder Eigenverbrauch. Die Bewertung hier bezieht sich auf die Einspeisung mit KEV. Die relevanten Barrieren für PV-Dachanlagen sind Risiko und Unsicherheit, Trägheit und Gewohnheiten sowie der Zugang zu Kapital. Unsicherheit besteht bei einer PV-Anlage vor allem darin, ob man überhaupt noch KEV bekommt, da es eine lange Warteliste dafür gibt. Zugang zu Kapital bezieht sich auf die Investitionskosten, die für Haushalte nach wie vor beträchtlich sind. Bei einer KEV-Zusage gestaltet sich die Finanzierung mit Fremdkapital in der Praxis aber oft als unproblematisch. Alle anderen Barrieren entfalten geringe Wirkung, da PV als Technologie inzwischen weithin verbreitet, und technologisch sowie ökonomisch als erprobt gilt.

Um Investitionen in PV-Dachanlagen zu steigern, können Unternehmen innovative Finanzierungsmodelle (z.B. Leasing, Contracting) entwickeln, um sowohl das Investitionsrisiko zu minimieren als auch Kapitalengpässen entgegenzuwirken. Zudem können Energieversorgungsunternehmen eigene Einspeisevergütungen für den produzierten Strom anbieten, was in der Schweiz vielerorts bereits gängige Praxis ist.

- **Intelligente Heizungssteuerung:** Aufgrund der Neuheit dieser Technologie stellen mangelnde Informationen eine zentrale Barriere da. Zusätzlich sind Trägheit und Gewohnheiten relevant, da

Endnutzer die Technologie selbsttätig in ihren Alltag integrieren müssen. Risiko und Unsicherheit bestehen aus Nutzersicht weniger aus wirtschaftlicher Sicht, jedoch in möglicherweise erheblichem Ausmass in Bezug auf den Schutz und die Nutzung der generierten Daten. Auch die Kompatibilität (z.B. mit Zentralheizungen in Mehrfamilienhäusern) stellt eine Barriere zur Realisierung der Einsparpotentiale dar.

Unternehmen könnten die Verbreitung intelligenter Heizungssteuerungen insbesondere durch intensivierte und wissensbildendes Marketing antreiben. Dies würde dem Informationsmangel entgegenwirken. Vor allem gilt es zu zeigen, dass diese Technologie nicht nur Energieersparnis ermöglicht. Persönliche Kundenberatungen könnten zudem helfen die Installation und den Gebrauch solcher Systeme zu vereinfachen. Für Unternehmen könnten solche Technologien ein Mittel zur Kundenbindung und zum Vertrieb von Beratungsdienstleistungen darstellen.

- **LED Beleuchtung:** Viele der gängigen Barrieren sind für LED Beleuchtung nur eingeschränkt relevant. LED sind als Technologie etabliert, weithin verfügbar und einfach in der Nutzung und im Gebrauch. Zentrale Barriere bei ihrer Verbreitung sind Trägheit und Gewohnheiten, da Endnutzer eine Vielzahl von Glühbirnen selbsttätig austauschen müssen. Die zweite zentrale Barriere sind niedrige Energiepreise. Aufgrund der ohnehin geringen Kosten durch Energie für Beleuchtung sind die Einsparungen durch LED Leuchten gering. Vormalig präsente Bedenken bezüglich des Beleuchtungskomforts gelten bei den jüngeren Generationen von LEDs als überwunden.

Unternehmen könnten die Verbreitung von LEDs beschleunigen, indem sie durch massgeschneiderte Stromtarife Anreize für die Nutzung schaffen, und durch gezielte Marketingkampagnen auf die Vorteile hinweisen (z.B. Einsparpotentiale ohne Verlust von Beleuchtungsqualität). Den grössten Hebel zur Umsetzung der Einsparpotentiale sahen die Workshop-Teilnehmer allerdings bei regulatorischen Massnahmen, wie dem EU-Verbot von Glühbirnen.

- **Wärmepumpen:** Bei Mietverhältnissen ist das Investor-Nutzer Dilemma eine grosse Barriere, da der Vermieter die Investitionskosten trägt, diese jedoch nur teilweise auf den Mieter übertragen kann. Die Investitionskosten bzw. der Zugang zu Kapital für die Investition stellen die zweite Kernbarriere dar. Auch die übrigen Barrieren sind relevant für die Verbreitung von Wärmepumpen. Einzig die Produktverfügbarkeit wurde von den Projektteilnehmern als unproblematisch eingeschätzt, da Wärmepumpen in der Schweiz weithin erhältlich sind. Einzig die geologischen Rahmenbedingungen können den Einsatz von Wärmepumpen einschränken.

Unternehmen können zur Verbreitung von Wärmepumpen beitragen, indem sie innovative Finanzierungsmodelle (z.B. Contracting / Leasing) entwickeln, intensiviert Beratungs- und Informationsdienstleistungen für Hauseigentümer anbieten und bei Installation und Betrieb unterstützen.

- **Energieeffiziente Weissgüter:** Energieeffiziente Haushaltsgeräte haben für die Verbreitung im Gebäudesektor vergleichsweise wenige Barrieren zu überwinden. Neben niedrigen Energiepreisen sind vor allem unklare Informationen (z.B. durch fehlende oder schwer verständliche Labels) Hindernisse für ihre Verbreitung. Das Investor-Nutzer Dilemma ist bei Mietverhältnissen relevant, wenn die Haushaltsgeräte für eine Mietwohnung vom Vermieter bereitgestellt werden. Diese Barrieren können, ausser durch gezielte Vermarktung energieeffizienter Weissgüter, nur schwer von Unternehmen bekämpft werden und braucht es für die Gewährleistung von Energieeffizienz bei Haushaltsgeräten oft den Eingriff des Gesetzgebers (siehe Kapitel 6).

- **Retrofit der Gebäudehülle:** Insbesondere das Investor-Nutzer Dilemma, tiefe Energiepreise, Risiko und Unsicherheit (getrieben durch lange Amortisationszeiten), Zugang zu Kapital sowie die Installation sind relevant für den Retrofit von Gebäudehüllen.

Unternehmen haben die Möglichkeit Massnahmen, wie zum Beispiel Ratenzahlungen, Finanzierungsdienstleistungen (z.B. Contracting), technische Beratung sowie Beratung, in Hinsicht auf staatliche Förderangebote zu ergreifen, um Energieeffizienz durch Sanierungen von Gebäudehüllen zu steigern.

4 Konsumentenpräferenzen

Autoren: Sebastian Mayer, Florian Nägele, Bastien Girod

Dieses Kapitel beschreibt die Analyse von Konsumentenpräferenzen anhand einer typischen Smart-Home Technologie: der intelligenten Heizungssteuerung. Im Folgenden werden zusammenfassend die Kernaussagen des Forschungsprojekts dargelegt:

- Um den Einsatz von Gebäudeeffizienztechnologien zu beschleunigen, ist es wichtig zu verstehen, weshalb diese Technologien gekauft werden und welche potentiellen Barrieren die Technologiediffusion behindern. Deshalb untersuchen wir intelligente Heizungssteuerungen als eine typische Smart-Home Applikation, welche Energieeinsparung durch intelligente Steuerung erlaubt.
- Zur Untersuchung wurden zwei repräsentative Umfragen in Deutschland und der Schweiz durchgeführt, die Aufschlüsse über potentielle Konsumenten in diesen Ländern geben. Kern der Umfragen ist ein theoretisches Kaufmodell, das empirisch getestet wird. Das Modell identifiziert mögliche Faktoren, wie beispielsweise wahrgenommene Risiken bei der Nutzung, die zur Kaufentscheidung führen. Ergebnisse des Kaufmodells zeigen potentielle Treiber und Barrieren für die zukünftige Diffusion von Energieeffizienztechnologien auf.
- Ein Faktor, der die Kaufintention in beiden Ländern überdurchschnittlich gut erklärt, ist die Kompatibilität der Technologie mit dem Alltag der Konsumenten. Weiterhin haben der wahrgenommene Nutzen und hedonistische Motivation (Spas) einen starken Einfluss auf die Kaufentscheidung.
- Es wurden Unterschiede zwischen den Umfragen in Deutschland und der Schweiz analysiert mit dem Ergebnis, dass Umweltbewusstsein in der Schweiz keinen signifikanten Einfluss auf die Kaufintention hat. Hingegen scheint der soziale Einfluss in der Schweiz wichtiger.
- Neben dem Kaufmodell wurden demographische und gebäudespezifische Eigenschaften (z.B. Energieverbrauch) in der Umfrage untersucht. Ein wichtiger Kennwert sind die Stunden pro Tag, in denen ein Gebäude leer steht. Sowohl in Deutschland als auch in der Schweiz steht eine Wohnung bzw. ein Haus am Wochentag im Durchschnitt 5 Stunden leer. Setzt man dazu die hohen Heizkosten und die grosse Wohnfläche der Befragten in Relation, zeigt sich das Potenzial von intelligenten Heizungssteuerungen besonders deutlich.
- Konkrete Implikationen: Unternehmen sollten sich auf die Unterstützung bei der Installation und Nutzung von Energieeffizienztechnologien konzentrieren, um Barrieren zu überwinden. Aktuell gibt es eine Vielzahl von Interessenten, die sehr innovationsaffin sind und dadurch weniger Hemmungen gegenüber Installations- und Nutzungsbarrieren haben. Sollen die Produkte jedoch massentauglich werden, muss in diesem Bereich Unterstützung durch Kundenservice und gezieltes Marketing bereitgestellt werden. Nicht Preis, sondern Spas und Kompatibilität mit Heizung und Alltag sollten in den Vordergrund gestellt werden.

4.1 Einführung: Zusammenhang Konsumentenpräferenzen und Technologiediffusion

4.1.1 Nutzerpräferenzen als Barriere

Bei der Untersuchung von möglichen Barrieren, die bei der Diffusion von Energieeffizienztechnologien auftreten, steht die Kundenakzeptanz im Mittelpunkt. Der Erfolg der Innovation ist abhängig von Kundenakzeptanz (vgl. Rogers 2003; Davis 1989; Venkatesh et al. 2012), weshalb diese im Fokus der folgenden Studie steht. Viele Energieeffizienztechnologien sind neue Technologien, die in Privathaushalten

halten zum Einsatz kommen. Einige Energieeffizienztechnologien können als diskontinuierliche Innovation beschrieben werden. Diskontinuierliche Innovation beschreiben radikal neue Produkte, die entscheidende Veränderung in der Vertrautheit und der Nutzung des Produktes bewirken (Veryzer 1998). Solche Produkte sind mit starken Diffusionsbarrieren verbunden und erfordern besondere Aufmerksamkeit bei der Produktentwicklung (Veryzer 1998). Dementsprechend ist das Verständnis von Kundenpräferenzen wichtig um die Diffusion von Energieeffizienztechnologien voranzutreiben (Hauser et al. 2006).

4.1.2 Der Kaufentscheidungsprozess von Konsumenten

Zum besseren Verständnis von Technologiediffusion wird im Folgenden kurz auf die Diffusionstheorie von Rogers (2003) eingegangen und zwei Kernelemente (Adoptionsprozess und Kundenkategorien) daraus vorgestellt.

Der Prozess besteht aus 5 Phasen (vgl. Abbildung 7), beginnend mit der Wissens-Phase (Knowledge), während welcher der potentielle Nutzer von einer Innovation erfährt. Während der Überzeugungs-Phase (Persuasion) wird eine positive oder negative Meinung gegenüber der Innovation gebildet. Folglich ist diese Phase besonders wichtig, da sie massgeblich zur Kaufentscheidung beiträgt. In der Entscheidungs-Phase (Decision) findet die Entscheidung für oder gegen die Innovation statt. Während der Implementierungs-Phase (Implementation) wird die erworbene Innovation implementiert. Letztlich findet während der Bestätigungs-Phase (Confirmation) eine Bestätigung der Innovation statt, mit dem Resultat die Innovation weiterhin zu nutzen oder bei negativer Evaluation die Entscheidung rückgängig zu machen.

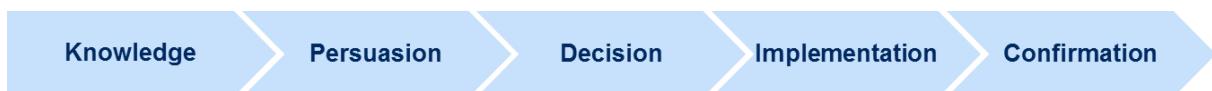


Abbildung 7: Adoptionsprozess (Rogers 2003)

Generell durchlaufen Kunden diesen Prozess zu unterschiedlichen Zeiten und mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Abhängig vom Zeitpunkt der Kaufentscheidung in Relation zum Diffusionsprozess, können Kunden in 5 Gruppen eingeteilt werden (vgl. Abbildung 8)

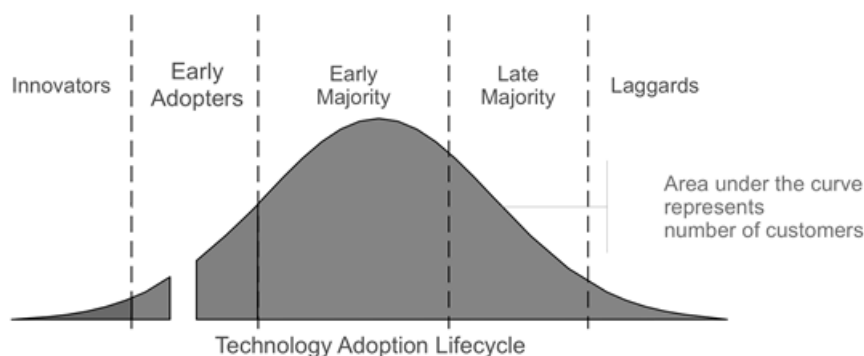


Abbildung 8: Technologieadoptions-Lebenszyklus und Adopterkategorien (Moore 2002; Rogers 2003)

Innovatoren (Innovator) beschreibt die erste Menge an Personen, welche die Technologie kaufen und nutzen. Allgemein stellen neue Technologien einen Kernaspekt in ihrem Leben dar. Der Technologiekauf ist von grundsätzlichem Interesse getrieben und dient häufig keinem rationalen Nutzen.

Frühadopter (Early Adopter) kaufen neue Technologien zu einem frühen Zeitpunkt im Innovationslebenszyklus. Jedoch steht für den Frühadopter nicht der reine Spass oder Interesse im Vordergrund, sondern ein konkreter Nutzen, der durch die neue Technologie erzeugt wird und der im Alltag des Nutzers zu Vorteilen führt (Moore 2002).

Innovatoren und Frühadopter zeichnen sich typischerweise durch einen hohen Bildungsabschluss und einen hohen sozialen Status aus - Alter spielt jedoch keine Rolle (Rogers 2003). Generell unterscheidet sich ihre Persönlichkeit von der Allgemeinheit: „Innovatoren und Frühadopter sind weniger dogma-

tisch, haben eine bessere Fähigkeit abstrakt zu denken, sind rationaler, haben eine offenere Einstellung gegenüber Veränderung und eine bessere Fähigkeit mit Unsicherheit und Risiko umzugehen sowie grösseres Interesse an der Wissenschaft“ (Rogers 2003).

Die frühe Mehrheit (Early Majority) vertraut auf die Erfahrungen der Innovatoren und der Frühadopter und lässt sich von deren Meinung beeinflussen. Ein wichtiger Aspekt im Entscheidungsprozess dieser Gruppe ist das potentielle Risiko, das mit dem Kauf der neuen Technologie einhergeht. Risiken müssen minimiert werden, bevor eine Kaufentscheidung gefällt wird. Diese Personen haben ein grundsätzliches Interesse an neuen Technologien, werden aber überwiegend durch ihren Pragmatismus getrieben (Moore 2002).

Die späte Mehrheit (Late Majority) teilt alle Bedenken mit der frühen Mehrheit. Zusätzlich ist sie nicht in der Lage die Technologie nach dem Kauf unabhängig zu bedienen (Moore 2002). Deshalb wartet sie auf etablierte Standards und vertraut hauptsächlich bekannten Firmen.

Letztlich gibt es die Gruppe der Nachzügler (Laggards), die neue Technologien gänzlich ablehnen. Diese Gruppe hat kein Interesse an Technologien und möchte sich nicht damit beschäftigen. Häufig werden neue Technologien nur übernommen, wenn nicht anders möglich (z.B. gesetzlich bestimmt) oder die Innovation nicht sichtbar ist (z.B. ABS im Auto) (Moore 2002).

Neben der Diffusionstheorie gibt es eine Vielzahl von weiterführende Theorien und Studien um Käufergruppen besser zu verstehen und Schlussfolgerungen für Produktentwicklung, Marketing oder politische Instrumente abzuleiten (z.B. Labay & Kinnear 1981; Mahajan et al. 1990; Goldsmith & Hofacker 1991; Stafford 2003; Moore 2002). Besonders Moore (2002) entwickelt eine relevante Theorie, die den Übergang von einem frühen Markt – geprägt von innovativen Kunden – zu einem „mainstream“ Markt, der von einer breiten Käufermasse repräsentiert wird, beschreibt. Nach Moore (2002), ist es wichtig die Kunden des frühen Marktes im Detail zu verstehen, um erfolgreiche Technologiediffusion zu erhalten. Folglich ist die Analyse von Kunden von neuen Technologien entscheidend, um Technologiediffusion zu verstehen und letztendlich Barrieren frühzeitig zu überwinden.

4.1.3 Forschungslücke und Forschungsfrage

Der *Forschungskontext* der Studie bezieht sich auf Energieeffizienztechnologien in Privathaushalten. Dabei werden speziell potentielle Kunden von intelligenten Heizungssteuerungen im Detail analysiert. Der Kontext Heizung stellt ein wichtiges System dar, das grundlegende Bedürfnisse (Wärme) der Konsumenten sicherstellt. Der lange Produktlebenszyklus (+30 Jahre) ist eine potentielle Barriere, da die Steuerung der Heizung kein alltäglich, präsent Thema für Konsumenten ist. Die intelligente Heizungssteuerungstechnologie ist besonders geeignet als Referenztechnologie für diese Studie, da sie typische Elemente einer Smart-Home Technologie repräsentiert. Intelligente Thermostate reduzieren und optimieren den Energieverbrauch. Das Thema Kompatibilität ist zentral, sowohl technisch als auch aus unter sozialen Gesichtspunkten. Weiterhin besteht ein zusätzlicher Nutzen durch die unterhaltende Komponente der Technologie, die mit dem Smartphone gesteuert werden kann.

Das *Forschungsziel* ist die Untersuchung von Kundenpräferenzen einer typischen Smart-Home Technologie. Eigenschaften dieser untersuchten Technologie sind ein frühes Marktstadium mit geringer Diffusion, der Eingriff der Technologie in den Alltag des Nutzers, sowie die Steigerung der Energieeffizienz durch die Technologie.

Die *Forschungslücke* umfasst vier Aspekte, die im Folgenden erläutert werden:

1. **Theoretische Lücke – Eingebettete Technologie:** Die Entwicklung von neuen Technologien hat neue Produkte (z.B. intelligente Heizungssteuerung) hervorgebracht, die sich grundlegend von bisherigen Informationstechnologien (IT) unterscheiden. Viele aktuelle IT Produkte für Privatkunden sind im Vergleich zu herkömmlichen IT Produkten, wie PCs oder Smartphones, stärker in den Alltag des Nutzers, sowie in andere, bestehende Technologien, eingebunden. Eingebettete IT Produkte stellen eine neue Kategorie von diskontinuierlichen Produkten dar, die das Potential haben, unseren Alltag stark zu verändern (Yoo 2010). Basierend auf dieser

Erkenntnis, ist das Verständnis von Kundenpräferenzen und Kaufentscheidungen für eingebettete Technologien essentiell, um Treiber und Barrieren zu verstehen.

2. **Empirische Lücke – Motivation Umweltschutz:** Eine umfangreiche Literaturrecherche zum Thema Kundenpräferenzen und Kaufentscheidungen mit Fokus auf Energieeffizienztechnologien hat inkonsistente Ergebnisse bezüglich der Relevanz von Umweltschutzmotiven beim Kauf dieser Technologien aufgezeigt. Poortinga et al. (2003) haben herausgefunden, dass die Menge an eingesparter Energie keinen wichtigen Entscheidungsfaktor darstellt und Kunden andere Kriterien zu Grunde legen, um zu entscheiden, ob eine Energiesparmassnahme akzeptabel ist oder nicht. Die Ergebnisse von Achtnicht (2011) hängen von der untersuchten Technologie ab: Umweltfreundlichkeit hat einen signifikanten Einfluss auf die Kaufentscheidung einer neuen Heizung, wohingegen Umweltfreundlichkeit keinen Einfluss auf die Kaufentscheidung einer neuen Isolierung hat. Auf der anderen Seite zeigen Kaenzig et al. (2013), dass Kunden bereit sind, mehr für umweltfreundliche (Strom-) Produkte zu zahlen. Eine andere wichtige Erkenntnis ist, dass die Kaufentscheidung von Energieeffizienztechnologien nicht rein rational ist, sondern von vielen persönlichen Präferenzen abhängt (Michelsen & Madlener 2012). Folglich ist es wichtig, das Verständnis dieser Präferenzen im Kontext von intelligenten Heizungssteuerungen zu untersuchen, um die Kaufentscheidung oder Ablehnung besser zu verstehen.
3. **Methodische Lücke – Untersuchung von Kaufentscheidungen und Kundenpräferenzen zu Energieeffizienztechnologien:** Es gibt keine klare Vorgabe, wie Konsumenten in der Umweltwissenschaft zu untersuchen sind. Akzeptierte Theorien aus angrenzenden Forschungszweigen wie dem Information Systems Research (z.B. Technology Acceptance Model - TAM, Unified Theory of Acceptance and Use of Technologies - UTAUT) werden häufig nicht angewandt. Viele Untersuchungen zu Konsumentenpräferenzen und Kaufentscheidungen basieren auf dem Hintergrund der Forscher (z.B. Psychologie, Soziologie, Politikwissenschaften) und stellen keine umfassenden Überblick zu gängigen Theorien dar, was sich durch die mangelnde Anwendung von akzeptierten Theorien widerspiegelt. Viele Studien fokussieren sich auf die Messung der Zahlungsbereitschaft (Willingness to Pay – WTP) und verwenden phänomen-bezogene anstelle theoretisch-basierter Faktoren zur Erklärung der Kaufentscheidung (Banfi et al. 2008; Ozaki & Sevastyanova 2011; Michelsen & Madlener 2012).
4. **Empirische Lücke – Technologie-Case:** Es gibt nur wenige Studien, die Kundenpräferenzen von Energieeffizienztechnologien in Gebäuden mit geringen Investitions- und negativen Vermeidungskosten untersuchen. Alle existierenden Studien, die sich mit dem Thema Energieeffizienztechnologien in Gebäuden und Kundenpräferenzen beschäftigen, haben gemeinsam, dass die untersuchten Technologien hohe Investitionen sowie eine Umbaumassnahme erfordern (z.B. neues Heizungssystem (Michelsen & Madlener 2012), Photovoltaik und Windturbinen (Claudy et al. 2011)).

Aus den beschriebenen Forschungslücken resultiert die *Forschungsfrage*:

Was führt zu Ablehnung bzw. Kauf von Energieeffizienztechnologien in Privathaushalten?

Mittels einer intensiven Literaturrecherche wurde eine Vielzahl von Verfahren zur Erklärung von Kaufentscheidungen und Kundenpräferenzen identifiziert. Dabei hat sich gezeigt, dass die Untersuchung von Kundenpräferenzen ein breites Feld umfasst, welches sich aus einer grossen Menge von Forschungszweigen unterschiedlicher Disziplinen (z.B. Marketing, Soziologie, Psychologie, Produktentwicklung) zusammensetzt. Basierend auf diesen Ergebnissen wurde ein Modell entwickelt, das die Forschungsfrage anhand einer Vielzahl von untersuchten Faktoren (z.B. Kompatibilität, persönliche Erwartungen und Wahrnehmungen, Normen und soziale Einflüsse) beantworten soll. Diese relevanten Faktoren wurden mittels bestehender Theorien und Expertengesprächen identifiziert. Die umfangreiche Untersuchung der Kaufentscheidungen dient der Erörterung potentieller Barrieren, welche bei der Diffusion von Energieeffizienztechnologien eine Rolle spielen.

4.2 Theorie: Technologienutzung und Kaufentscheidung

Die erfolgreiche Diffusion einer neuen Technologie hängt stark von der Akzeptanz durch die Nutzer ab. Die Untersuchung von Kaufentscheidungen sowie die Akzeptanz von neuen Technologien aus Konsumentensicht stellen wichtige Forschungszweige in den Bereichen Marketing, Produktentwicklung und Informationswissenschaften dar. Speziell innerhalb der Informationswissenschaften gibt es eine Vielzahl von Theorien zur Erklärung von Technologieakzeptanz, wie beispielsweise das *Technology Acceptance Model* (TAM) (Davis 1989). Basierend auf TAM werden bis heute erweiterte Modelle entwickelt und getestet, alle mit dem Ziel, den Kunden besser zu verstehen. Neben den Modellen, die TAM als Basis verwenden, stellt die Innovationstheorie (Rogers 2003), welche bereits in Teilen im vorhergehenden Abschnitt diskutiert wurde, einen wichtigen Beitrag zur Erklärung der Diffusion und der Akzeptanz neuer Technologien dar. Abbildung 9 gibt einen Überblick über ausgewählte Theorien und deren Entwicklung. Im Folgenden werden die Innovationstheorie (Rogers 2003), TAM (Davis 1989) und zwei wichtige Erweiterungen – UTAUT (Venkatesh et al. 2003), UTAUT2 (Venkatesh et al. 2012) – kurz erläutert, um eine Grundlage für das entwickelte Kaufmodell dieser Studie zu schaffen.

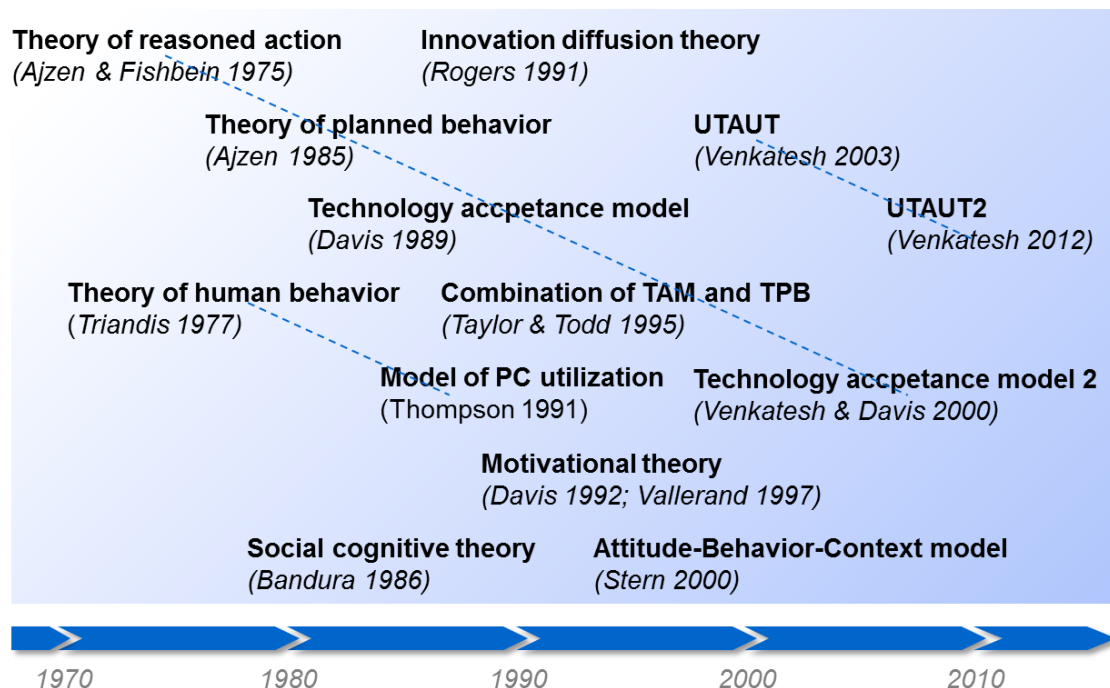


Abbildung 9: Illustrativer Überblick verschiedener, theoretischer Zweige

4.2.1 Diffusionstheorie

Die Diffusionstheorie (Rogers 2003) ist eine vielfach angewandte Theorie, welche die Diffusion von Technologien am Anfangsstadium des Produktlebenszyklus erklärt. Der Fokus der Theorie liegt in der Untersuchung des Prozesses von der Verbreitung einer neuen Technologie zum weitverbreiteten Produkt. Diffusion ist definiert als „der Prozess, bei dem eine Innovation durch bestimmte Kanäle im Laufe der Zeit an die Gesellschaftsmitglieder eines sozialen Systems kommuniziert wird“ (Rogers 2003). Dabei spielen die vier Elemente Innovation (1), Kommunikationskanäle (2), Zeit (3) und Gesellschaftsmitglieder (4) eine entscheidende Rolle, welche die Theorie im Detail erläutert. Für diese Studie besonders relevant sind die Innovationseigenschaften sowie der zeitliche Verbreitungsprozess in der Gesellschaft. Auf verschiedene Käufergruppen und den Adoptionsprozess wurde bereits im vorherigen Abschnitt eingegangen (Kapitel 4.1.2). Im Folgenden werden fünf Eigenschaften von Innovationen erläutert, die hauptsächlich zur Erklärung unterschiedlicher Ausbreitungsraten verschiedener Technologien beitragen:

- Der *subjektive Vorteil einer Innovation* beschreibt den Grad, zu dem eine Innovation als vorteilhafter gegenüber dem Produkt oder der aktuellen Gewohnheit, das/die sie ersetzt, angesehen wird. Der subjektive Vorteil ist nicht nur rein ökonomisch, sondern beinhaltet auch Komfortaspekte oder Sozialprestige.
- Die *Kompatibilität* ist der Grad, zu dem eine Innovation als kompatibel mit einem vorhandenen Wertesystem, vorhergehenden Erfahrungen und Bedürfnissen des Nutzers übereinstimmt. Umso höher die Kompatibilität wahrgenommen wird, desto höher ist die Kaufwahrscheinlichkeit. Falls die Innovation als inkompatibel mit aktuellen Wertevorstellungen wahrgenommen wird, müssen Werte erst angepasst werden, was folglich zur Reduzierung der Technologiediffusion oder sogar zum Stillstand dieser führt.
- Die *Komplexität* beschreibt den Grad, zu dem eine Innovation als einfach oder komplex zu verstehen, wahrgenommen wird. Einfach zu verstehende Innovationen zeigen eine schnellere Diffusionsgeschwindigkeit.
- Die *Probierbarkeit* ist der Grad, zu dem die Möglichkeit des Experimentierens mit der Innovation besteht. Die Möglichkeit, die Innovation vor dem Kauf zu testen, erhöht die Diffusionsgeschwindigkeit.
- Die *Sichtbarkeit der Innovation* ist der Grad, zu dem die Auswirkungen der Innovation sichtbar für andere sind. Je einfacher die Auswirkungen der neuen Innovation zu sehen sind, desto schneller verbreitet sich das neue Produkt, da durch die visuelle Stimulierung Kommunikation angeregt wird.

Zwei wichtige Konzepte der Innovationstheorie wurden im vorherigen Abschnitt beschrieben: Käuferkategorien und der Adoptionsprozess. Die fünf beschriebenen Faktoren spielen eine entscheidende Rolle in der Überzeugungsphase des Adoptionsprozesses, da sie grundlegend die Wahrnehmung bezüglich der neuen Technologie beeinflussen. Basierend auf diesen fünf Kategorien kann ein Modell entwickelt werden, das die Kaufentscheidung theoretisch erklärt. Wie bereits beschrieben, gibt es jedoch eine Menge an weiteren relevanten Modellen, die als Basis des entwickelten Kaufmodells dienen.

4.2.2 Technologieakzeptanz Modell

Das *Technology Acceptance Model* (TAM) ist eines der am häufigsten angewandten und zitierten Theorien im Kontext der Erforschung von Technologieakzeptanz und Technologienutzung. Davis (1989) hatte das Ziel, eine Theorie zu entwickeln, die das Nutzungsverhalten von Konsumenten bezüglich Informationstechnologien theoretisch fundiert erklärt und mit einer geringen Anzahl von erklärenden Faktoren auskommt. Dabei wird die Einstellung einer Person gegenüber einer neuen Technologie durch den wahrgenommenen Nutzen und die wahrgenommene Einfachheit der Nutzung beeinflusst (vgl. Abbildung 10). Der wahrgenommene Nutzen ist als „der Grad, zu dem eine Person glaubt, dass die Nutzung der Technologie seine oder ihre Arbeitsleistung erhöhen würde“ (Davis 1989) definiert. TAM wurde im Kontext des Arbeitsplatzes entwickelt, da Informationstechnologien zunächst vor allem Anwendung im professionellen Bereich fanden und erst später in Privathaushalten genutzt wurden. Die wahrgenommene Einfachheit der Nutzung ist definiert als „der Grad, zu dem eine Person glaubt, dass die Nutzung der Technologie ohne zusätzlichen Aufwand wäre“ (Davis 1989). Das tatsächliche Nutzungsverhalten kann durch die Absicht die Technologie zu Nutzen (Nutzungsintention) erklärt werden.

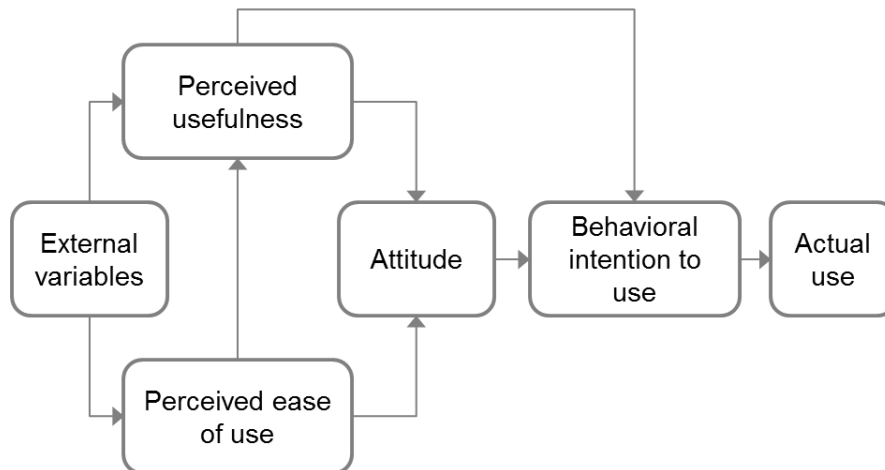


Abbildung 10: Technologieakzeptanz Modell (Davis 1989)

4.2.3 Vereinheitlichte Theorie zur Technologieakzeptanz und -nutzung

Venkatesh et al. (2003) formulieren die *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology* (UTAUT) basierend auf den acht relevantesten Adoptions-, Akzeptanz- und Diffusionstheorien (unter anderem TAM, Diffusionstheorie). Die Autoren hatten das Ziel, alle relevanten Konstrukte der untersuchten Theorien zu synthetisieren und ein umfassendes Modell zu entwickeln, das Technologieakzeptanz und Technologienutzung erklärt. Trotz der allgemeinen Namensgebung der Theorie ist es wichtig anzumerken, dass die Theorie sowie auch TAM, ausschliesslich den Organisationskontext untersucht und erklärt. Nach mehreren empirischen Studien konnten Venkatesh et al. (2003) vier Faktoren ermitteln, welche signifikante Einflüsse auf die Nutzungsabsicht haben (vgl. Abbildung 11):

- **Empfundene Leistungsfähigkeit** (performance expectancy) entspricht dem Konstrukt wahrgenommener Nutzen aus TAM.
- **Aufwandserwartung** (effort expectancy) entspricht dem Konstrukt wahrgenommener Einfachheit der Nutzung aus TAM.
- **Erleichternde Bedingungen** (facilitating conditions) beschreiben “die Wahrnehmung des Konsumenten bezüglich der Verfügbarkeit von Ressourcen und Unterstützung um das Verhalten auszuführen” (Venkatesh et al. 2003). Dieses Konstrukt kann mit dem Kompatibilitätskonstrukt der Diffusionstheorie verglichen werden.
- **Soziale Einflüsse** (social influence) ist definiert, als der Grad, zu dem Nutzer empfinden, dass andere denken, sie sollten die jeweilige Technologie verwenden. (Venkatesh et al. 2003).

Zusätzlich zu den vier Konstrukten werden moderierende Effekt durch die Variablen Alter, Geschlecht, Erfahrung und Freiwilligkeit untersucht. Durch die Einbindung der moderierenden Faktoren erreicht UTAUT einen sehr hohen Erklärungswert (R^2 zwischen 0,47 und 0,70).

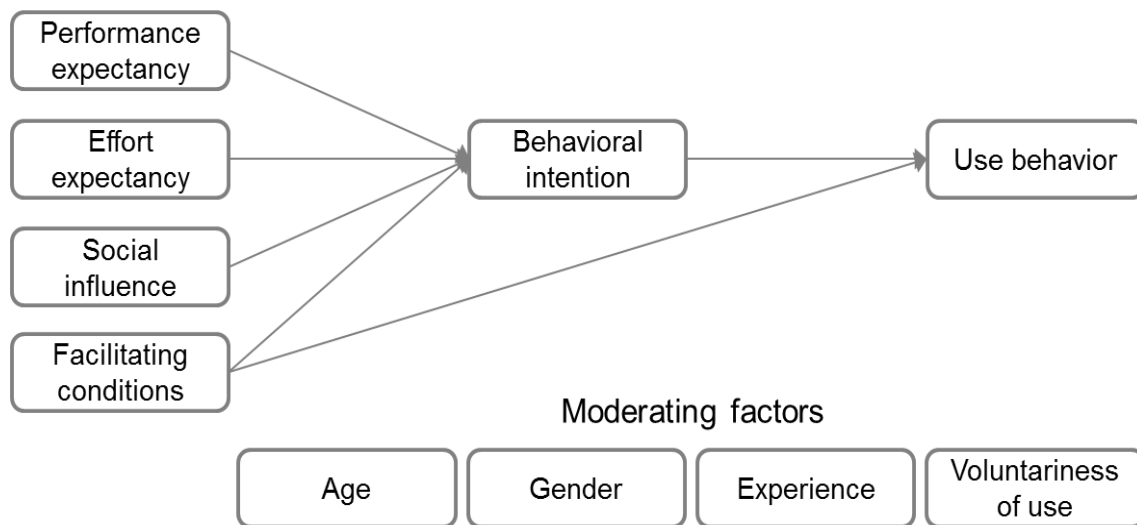


Abbildung 11: Vereinheitlichte Theorie zur Technologieakzeptanz und Nutzung (engl.: theory of acceptance and use of technology) (Venkatesh et al. 2003)⁴

4.2.4 Erweiterung der Theorie zur Technologieakzeptanz und -nutzung für den privaten Kontext

Innerhalb der Informationswissenschaften gab es durch Venkatesh et al. (2012) eine wichtige Weiterentwicklung von UTAUT (engl.: theory of acceptance and use of technology): das Modell UTAUT2. Entscheidender Unterschied der beiden Modelle ist der untersuchte Kontext. Während UTAUT sich auf den Organisationskontext beschränkt, untersucht UTAUT2 die Technologieakzeptanz und Nutzung im privaten Kontext. Basierend auf UTAUT werden drei weitere Faktoren zur Erklärung der Nutzungsabsicht eingeführt (vgl. Abbildung 12).

Der erste zusätzliche Faktor beschreibt die *hedonistische Motivation* (hedonic motivation) neue Technologien zu kaufen und zu nutzen und ist definiert als „Spas und Vergnügen, die von der Nutzung der Technologien abgeleitet werden“ (Venkatesh et al. 2012). Das zweite Konstrukt stellt das wahrgenommene *Preis-Leistungs-Verhältnis* (price value) dar und ist definiert als „der Kompromiss zwischen wahrgenommenen Nutzen der Technologie und Kosten“ (Venkatesh et al. 2012). Zusätzlich wird das Konstrukt *Gewohnheit* (habit) eingeführt. Gewohnheit ist definiert als „vorhergegangenen[es] Verhalten sowie die Empfindung, dass das Verhalten automatisch sei“ (Venkatesh et al. 2012).

UTAUT2 eignet sich besonders als Ausgangsmodell für dieses Forschungsprojekt durch den veränderten Forschungskontext von UTAUT gegenüber TAM und UTAUT. Da die Untersuchung von Energieeffizienztechnologien in Privathaushalten im Fokus dieser Studie steht, ist ein Modell nötig, das wichtige Faktoren bei der Kaufentscheidung von Konsumenten berücksichtigt.

⁴ Einflüsse der Moderatoren sind nicht dargestellt. Für Details wird auf die Publikation (Venkatesh et al. 2003) verwiesen

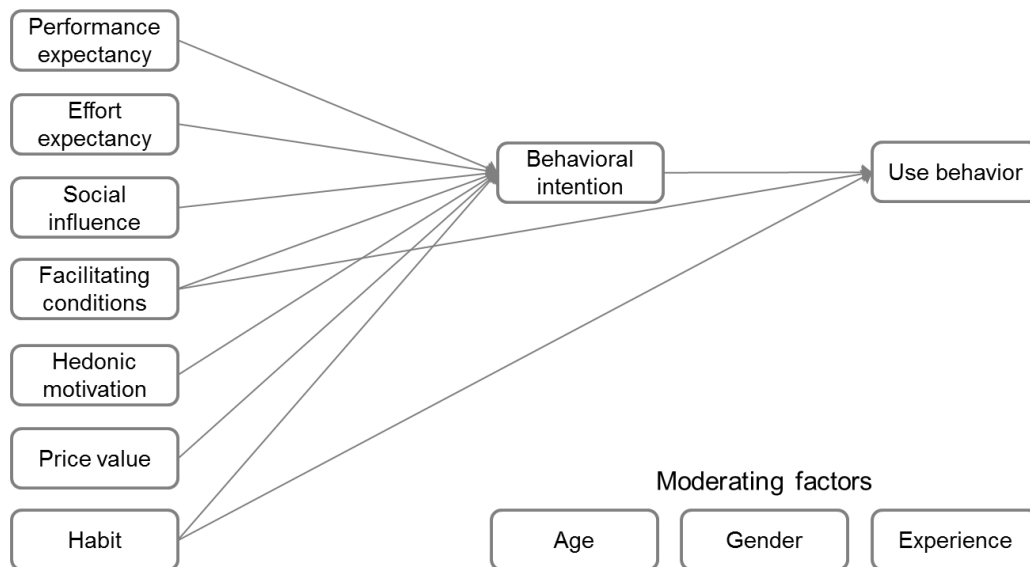


Abbildung 12: Unified theory of use and acceptance of technology 2 (Venkatesh et al. 2012)

4.3 Methode: Identifikation relevanter Faktoren zur Erklärung der Kaufintention

Zur Untersuchung von Konsumentenpräferenzen wurde auf Basis von UTAUT2 und weiteren Studien ein Kaufmodell entwickelt. Mit Hilfe des Modells werden im Feldversuch Faktoren empirisch getestet, um anschliessend Aussagen über deren Einfluss auf die Kaufintention zu ermitteln. Im folgenden Abschnitt wird die Entwicklung des Modells beschrieben. Dabei ist die Definition der zu untersuchenden Konstrukte sowie die Ausarbeitung der benötigten Indikatoren zur Messung der Konstrukte entscheidend.

4.3.1 Entwicklung des Kaufmodells

Da sich Energieeffizienztechnologien und speziell intelligente Heizungssteuerungen noch in einem frühen Marktstadium befinden, ist es schwierig, tatsächliche Kaufentscheidungen zu untersuchen. Jedoch besteht die Möglichkeit die Kaufintention der Konsumenten zu messen und mit Hilfe dieser, wichtige Faktoren bei der Evaluation der Konsumenten von Energieeffizienztechnologien zu identifizieren. Generell ist die Untersuchung der Kaufintention eine weit verbreitete Methode in der Wissenschaft zur Erforschung von Konsumentenpräferenzen und spiegelt tatsächliches Verhalten sehr gut wieder (Venkatesh & Brown 2001).

Wie im vorhergehenden Kapitel beschrieben, stellt UTAUT2 ein geeignetes Modell als Ausgangsbasis für diese Studie dar, da es auf den weit akzeptierten Modellen UTAUT und TAM basiert und zusätzlich Konstrukte (*Hedonistische Motivation*, *Preis-Leistungs-Verhältnis* und *Gewohnheit*) einbindet, die bei Betrachtung von Privatkunden wichtig sind.

Das Modell wurde nach dem Prozess von Spector (1992) (vgl. Abbildung 13) zur Entwicklung von summierten Bewertungsskalen entwickelt. Dabei werden im ersten Schritt relevante Konstrukte, die möglichst auf bestehenden Theorien basieren, definiert. Nach der Konstruktdefinition müssen Umfrageindikatoren entwickelt werden, die diese Konstrukte zuverlässig und valide abbilden. Anschliessend werden die Indikatoren in mehreren Pilotstudien mit Hilfe von Prüfverfahren auf Zuverlässigkeit und Validität getestet. Nach erfolgreichen Tests wird das Modell im ersten Feldversuch (Umfrage Deutschland) getestet und anschliessend mit weiteren Studien (Umfrage Schweiz) validiert.

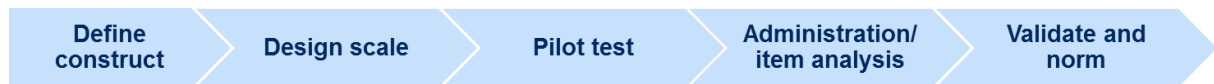


Abbildung 13: Hauptschritte zur Entwicklung eines Modells (vgl. (Spector 1992))

4.3.2 Definition der Konstrukte

Der wichtigste Schritt bei der Entwicklung eines Modells ist die Definition der Konstrukte. Das Hauptproblem besteht darin, dass diese Konstrukte abstrakt und deshalb nicht direkt objektiv messbar sind (Spector 1992). Wichtig ist, dass jedes Konstrukt theoretisch basiert und klar definiert ist (Spector 1992). Folglich wurden alle Konstrukte gründlich recherchiert und relevante Modelle evaluiert. Das Modell basiert grundlegend auf UTAUT2; zusätzlich wurden kontextspezifische Konstrukte untersucht, die speziell eine Rolle bei Energieeffizienztechnologien spielen könnten. Eine Übersicht über alle verwendeten Konstrukte ist in Tabelle 5 gegeben.

Tabelle 5: Konstrukte (unabhängige Variablen) des Kaufmodells

Konstrukt	Definition
<i>Kaufintention</i>	Die Intention eine Technologie zu kaufen und zu nutzen
<i>Empfundene Leistungsfähigkeit</i> (Venkatesh et al. 2012)	Der Grad, zu dem die Nutzung einer Technologie zu Vorteilen für den Nutzer bei der Ausübung einer bestimmten Tätigkeit führt
<i>Aufwandserwartung</i> (Venkatesh et al. 2012)	Der Grad, zu dem eine Person glaubt, dass die Nutzung der Technologie ohne zusätzlichem Aufwand wäre
<i>Erleichternde Bedingungen</i> (Venkatesh et al. 2012)	Die Wahrnehmung des Konsumenten bezüglich der Verfügbarkeit von Ressourcen und Unterstützung, um das Verhalten auszuführen
<i>Soziale Einflüsse</i> (Venkatesh et al. 2012)	Der Grad, zu dem Nutzer empfinden, dass andere denken, sie sollten die jeweilige Technologie verwenden
<i>Hedonistische Motivation</i> (Venkatesh et al. 2012)	Spas und Vergnügen, die von der Nutzung der Technologien abgeleitet werden
<i>Preis-Leistungs-Verhältnis</i> (Venkatesh et al. 2012)	Der Kompromiss zwischen wahrgenommenem Nutzen der Technologie und auftretenden Kosten
<i>Gewohnheit</i> (Venkatesh et al. 2012)	Vorhergegangenes Verhalten sowie die Empfindung, dass das Verhalten automatisch sei
<i>Kompatibilität mit dem Alltag</i> (neu entwickelt)	Die Wahrnehmung des Konsumenten bezüglich der Kompatibilität der Technologie mit dem Alltag des Konsumenten und seinem persönlichen Umfeld
<i>Technische Kompatibilität</i> (neu entwickelt)	Die Wahrnehmung des Konsumenten bezüglich der technischen Kompatibilität der Technologie mit bestehenden Technologien
<i>Risiko</i> (Pavlou & Gefen 2004; Bélanger & Carter 2008; Featherman & Pavlou 2003)	Die Unsicherheit bezüglich negativer Konsequenzen durch die Nutzung einer neuen Technologie
<i>Innovationsaffinität</i> (Agarwal & Prasad 1998; Lu 2005; Yi et al. 2006)	Das Bestreben eines Konsumenten neue Technologien auszuprobieren
<i>Umweltschutzbewusstsein</i> (Sütterlin et al. 2011; Ozaki 2011)	Persönliche Normen bezüglich Umweltschutzes und die Bereitschaft höhere Preise für den Umweltschutz zu zahlen
<i>Einsparpotential</i> (konkret gemessen)	Das tatsächliche Einsparpotential für den Konsumenten gemessen an der Dauer der leerstehenden Wohnung

Die beiden Hauptkonstrukte aus TAM, namentlich *empfundene Leistungsfähigkeit* bzw. *wahrgenommener Nutzen* sowie *Aufwandserwartung* bzw. *wahrgenommene Einfachheit der Nutzung*, sind Kernbestandteile von UTAUT2 und dem Modell dieser Studie. Der *wahrgenommene Nutzen* wurde seit der Einführung von TAM in einer Vielzahl von Studien als wichtigster Einflussfaktor auf die Kaufentschei-

dung identifiziert (vgl. Gounaris & Koritos 2012; Lancelot Miltgen et al. 2013; Wunderlich et al. 2013). Der Hauptnutzen von intelligenten Heizungssteuerungen wird durch das Einsparen von Energie erzielt, weshalb die empfundene Leistungsfähigkeit in dieser Studie auf die verbesserte Energieeffizienz reduziert wird. Zusätzlich spielt der Aufwand, den die Nutzung einer neuen Technologie mit sich bringt, eine entscheidende Rolle bei der Kaufentscheidung.

Erleichternde Bedingungen wurden in UTAUT eingeführt und stellen auch in UTAUT2 einen wichtigen Faktor des Modells dar. Das Konstrukt fasst verschiedene Bedingungen wie die technische Kompatibilität, potentielle Hilfestellungen und verfügbare Ressourcen zusammen.

Das Konstrukt *soziale Einflüsse* findet in vielen Modellen (vgl. Gary C. Moore & Benbasat 1991; Ajzen 1991; Venkatesh, M G Morris, et al. 2003; Venkatesh et al. 2012) Beachtung und wird deshalb auch in dieser Studie getestet. Das Konstrukt erklärt die Tatsache, dass Personen ihr Verhalten von der Meinung anderer beeinflussen lassen. Falls die Meinung vorliegt, dass die Nutzung der Technologie den sozialen Status erhöht, wird auf Grund von sozialen Einflüssen die Kaufentscheidung beeinflusst.

Die Konstrukte *hedonistische Motivation* (Spas) und *Preis-Leistungs-Verhältnis* sind der Kern der Neuerung in UTAUT2 und stellen Hauptmerkmale für den Privatkundenmarkt dar. So werden Produkte von Konsumenten nicht nur aus rationaler Sicht (potentieller Nutzen) sondern auch aus reinem Vergnügen erworben. Diesen Beweggrund misst das Konstrukt *hedonistische Motivation*. Aus ökonomischer Sicht wiederum ist das *Preis-Leistungs-Verhältnis* eines Produkts entscheidend. Insbesondere im Kontext von Energieeffizienztechnologien ist das Verhältnis zwischen Kosten für das Produkt und eingesparter Energie bei der Kaufentscheidung wesentlich.

Letztlich wird das Konstrukt *Gewohnheit* aus UTAUT2 übernommen. *Gewohnheit* kann sich auf die wiederholte Nutzung einer Technologie beziehen, aber auch die Empfindung, dass ein Verhalten automatisch durchgeführt wird.

Die bisher beschriebenen Konstrukte basieren alle auf UTAUT2. Jedoch stand nach der Literaturrecherche und den Expertengesprächen fest, dass es weitere wichtige Faktoren bei der Erforschung von Kaufentscheidungen bezüglich Energieeffizienztechnologien gibt, die im Modell untersucht werden sollen.

Zunächst stellt sich die Frage, ob das Konstrukt *erleichternde Bedingungen* nicht zu allgemein gefasst ist. Deshalb wurden zwei weitere Faktoren in das Modell aufgenommen, die spezifische erleichternde Bedingungen darstellen. Energieeffizienztechnologien greifen direkt in den Alltag des Nutzers ein. Folglich muss die Kompatibilität mit dem Alltag als vorhanden wahrgenommen werden, um die Kaufintention zu erhöhen. Beispielsweise sollte die Wohnung zu bestimmten Zeiten leer stehen, sodass intelligente Heizungssteuerungen ihr volles Potential ausnutzen können. Weiterhin ist der Nutzungskontext der Konsumenten entscheidend (Maguire 2001). Wohnt der Nutzer alleine, mit seiner Familie oder in einer Wohngemeinschaft, müssen diese Faktoren bei der Nutzung berücksichtigt werden und mit dem Produkt kompatibel sein.

Technische Kompatibilität ist eine Grundvoraussetzung, wenn es um Energieeffizienztechnologien geht, die an ein bestehendes System (in diesem Fall Heizung) angeschlossen werden. Deshalb muss die *technische Kompatibilität* vorhanden sein und auch als solche vom Konsumenten wahrgenommen werden.

Viele Studien (vgl. Pavlou & Gefen 2004; Bélanger & Carter 2008; Featherman & Pavlou 2003) untersuchen das wahrgenommene Risiko, dass durch die Nutzung einer neuen Technologie entstehen kann. Besonders bei Produkten, die sich in einem frühen Marktstadium befinden, ist das Risiko hoch mit Fehlern konfrontiert zu werden. Zusätzlich gibt es bei Energieeffizienztechnologien zwei potentielle Risiken: Datenschutz und Sicherheit. Durch Smart-Home Produkte werden viele Daten vom Konsumenten gesammelt und online verarbeitet. Das Thema Datenschutz stellt in der öffentlichen Wahrnehmung eine Barriere bei der Nutzung von Smart-Home Produkten dar (vgl. Wessling 2014) und wird deshalb in der Studie berücksichtigt. Durch die Einbindung der intelligenten Heizungssteuerung an der Heizung besteht ein deutlich höheres Sicherheits- und Komfortrisiko als bei üblichen Informations-

technologien. Diese beiden Konstrukte wurden zusätzlich zum allgemeinem Risiko-Konstrukt im Modell getestet.

Weiterhin wurden die beiden Persönlichkeitsmerkmale *Innovationsaffinität* und *Umweltschutzbewusstsein* abgefragt. Da sich Energieeffizienztechnologien in einem frühen Marktstadium befinden, stellen Energieeffizienztechnologien für technologieinteressierte Konsumenten ein relevantes Produkt dar. Neben der Neuheit der Technologien, ist das Potential den Energieverbrauch signifikant zu senken, eine gute Möglichkeit für den Konsumenten im Privathaushalt einen Beitrag zum Umweltschutz zu leisten. Deshalb ist es wichtig zu verstehen, ob Umweltschutz einen wichtigen Faktor bei der Kaufentscheidung darstellt.

Neben den abstrakten Konstrukten, wurde in der Studie das tatsächliche Einsparpotential je Umfrageteilnehmer abgefragt. Das *Einsparpotential* setzt sich aus der durchschnittlichen täglichen Dauer des leer stehenden Gebäudes und den jährlichen Heizkosten zusammen⁵. Personen mit hohen Heizkosten und häufig leer stehender Wohnung haben theoretisch ein grosses Energiesparpotential. Dieser Faktor sollte die Kaufintention massgeblich beeinflussen.

Zusätzlich wurden demographische Eigenschaften (Geschlecht, Alter, Bildung und Einkommen) sowie Eigenschaften des bewohnten Gebäudes (Gebäudetyp, Gebäudealter, Anzahl der Bewohner, leer stehendes Gebäude in Stunden pro Tag, Heizungskosten und Energieeffizienzmassnahmen) abgefragt.

4.3.3 Ausarbeitung der benötigten Indikatoren

Um die definierten Konstrukte zu messen, werden Indikatoren benötigt, welche die Umfrageteilnehmer beantworten. Jeder Indikator wird mit einer 7-Punkt-Likert-Skala abgefragt mit den Grenzwerten „stimme stark zu“ und „lehne stark ab“. Für die Konstrukte aus UTAUT2 wurden die Indikatoren aus der ursprünglichen Publikation (Venkatesh et al. 2012) übernommen und übersetzt. Für die weiteren Konstrukte wurden soweit möglich Literaturquellen verwendet. Falls keine Quelle vorhanden war, wurden neue Indikatoren anhand der Verfahren von Bagozzi, Yi, & Phillips (1991), Boudreau, Gefen, & Straub (2001), Spector (1992) und MacKenzie, Podsakoff, & Podsakoff (2011) entwickelt. Eine Übersicht über alle verwendeten Indikatoren ist in der Tabelle 1 im Anhang zu finden.

4.3.4 Umfragemethode und Sampleeigenschaften

Um die Daten für den empirischen Test der Methode zu sammeln, wurden zwei Online-Umfragen durchgeführt. Jeweils in Deutschland und in der Schweiz wurden nach Alter und Geschlecht verteilte, repräsentative Umfragen durchgeführt. Zusätzlich wurden die Teilnehmer nach zwei Kriterien gefiltert: der Besitz eines Smartphones und eines eigenen Heizungssystems (keine Zentralheizung), was Grundvoraussetzungen für die Nutzung von intelligenten Heizungssteuerungen sind. Ein Marktforschungsunternehmen stellte hierzu die nötigen Teilnehmer aus seinem Panel bereit.

In Deutschland wurde die Umfrage an 1.975 Teilnehmer gesendet, wobei 755 auf Grund der Ausschlusskriterien gefiltert wurden (vgl. Abbildung 14). Weitere 318 Fragebögen wurden nicht vollständig ausgefüllt oder als „Durchklicker“ mittels einer Testfrage identifiziert und ebenfalls gefiltert. Der übrige Datensatz, der für die Analyse verwandt wurde, besteht aus N=976 validen Teilnehmern.

⁵ Das Einsparpotential wurde durch zwei Kennwerte berechnet: 1. Die Zeitdauer (in Stunden), in der die Wohnung oder das Haus leer steht. Dazu wurden je ein Wert während der Woche und ein Wert am Wochenende abgefragt und anschliessend repräsentativ für eine Woche gemittelt. 2. Die jährlichen Heizkosten wurden direkt abgefragt (in Euro bzw. CHF). Unter der vereinfachten Annahme, die Wohnung wird 24 Stunden am Tag beheizt, wird der Durchschnittswert für das leerstehende Gebäude mit 24 Stunden ins Verhältnis gesetzt, woraus sich der Einsparquotient ergibt (z.B. 6h durchschnittlich leerstehende Wohnung / 24h = 25% Einsparquotient). Der Einsparquotient wird mit den jährlichen Heizkosten multipliziert, wodurch sich das jährliche Einsparpotential (in Euro bzw. CHF) ergibt (z.B. 25% * 1000 CHF = 250 CHF). Dieser Kennwert stellt das Einsparpotential in Relation zu einer theoretisch 24 Stunden beheizten Wohnung dar. Wird die Wohnung beispielsweise durch ein programmierbares Thermostat gesteuert, ist das Einsparpotential deutlich geringer. Da es in dieser Studie jedoch nicht um die exakte Berechnung des Einsparpotentials geht, sondern darum den Einfluss des Einsparpotentials auf die Kaufentscheidung zu messen, ist die beschriebene, vereinfachte Berechnung ausreichend.

In der Schweiz wurde die Umfrage an 4.857 Teilnehmer gesendet, wobei 3.294 auf Grund der Ausschlusskriterien gefiltert wurden. Die hohe Ausschlusszahl kann auf den grossen Anteil an Befragten, die an eine Zentralheizung angeschlossen sind, zurückgeführt werden. Weitere 601 Fragebögen wurden nicht vollständig ausgefüllt oder als „Durchklicker“ mittels einer Testfrage identifiziert und ebenfalls gefiltert. Der übrige Datensatz, der für die Analyse verwandt wurde, besteht aus N=962 validen Teilnehmern.

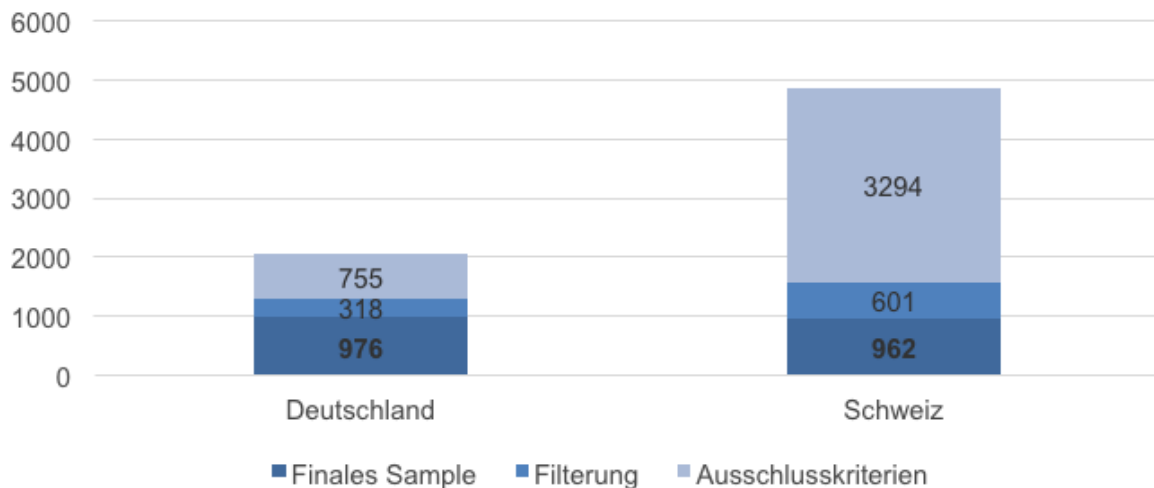


Abbildung 14: Übersicht der Sample Daten in Deutschland und der Schweiz

4.4 Ergebnisse der Konsumentenbefragung in Deutschland und der Schweiz

4.4.1 Sicherstellung der Zuverlässigkeit und Validität der Daten

Nach der Bereinigung der Daten (Filterung von „Durchklicker“) müssen zunächst mit Hilfe statistischer Tests Zuverlässigkeit und Validität der gemessenen Indikatoren und daraus gebildeten Konstrukte sichergestellt werden. Dazu wird zunächst eine konfirmatorische Faktoranalyse durchgeführt, welche die voneinander unterschiedlichen Faktoren (Dimensionen) im Datensatz aufzeigt. Die Faktoranalyse stellt sicher, dass die Konstrukte nicht zu stark korrelieren und unterschiedliche Faktoren repräsentieren. Diese Faktoren sollten mit den zuvor definierten Konstrukten übereinstimmen und die jeweiligen Indikatoren hohe Faktorwerte aufweisen.

Anschliessend werden die Indikatoren zu Konstrukten (latenten Variablen) zusammengefasst (durch Mittelung der Indikatoren). Innerhalb eines Konstrukts ist die interne Konsistenz der Indikatoren sicherzustellen. Zusätzlich werden mögliche Probleme, die durch Multikollinearität verursacht werden können, untersucht. Alle beschriebenen Prüfverfahren wurden in beiden Samples durchlaufen, wobei kein Grenzwert überschritten wurde. Folglich kann bei beiden Umfragen von zuverlässigen und validen Daten ausgegangen werden, die alle Voraussetzungen für die Prüfung auf statistische Zusammenhänge erfüllen.

Als letztes wurden die Daten auf potentielle Methodenverzerrung untersucht. Dabei handelt es sich um einen Fehler, der auftreten kann, wenn unabhängige und abhängige Variablen innerhalb einer Umfrage abgefragt werden. Zum Testen dieses Fehlers wurde ein Faktor in der Umfrage (Interesse an Sport) abgefragt, der keinen Zusammenhang mit den untersuchten Konstrukten aufweist. Erklärt dieser Faktor einen Teil der Varianz der abhängigen Variablen (Kaufintention), ist dieser erklärende Anteil der Methodenverzerrung zuzuordnen. In den Umfragen in Deutschland und der Schweiz konnte kein Fehler durch Methodenverzerrung detektiert werden.

4.4.2 Demographie- und Gebäudeeigenschaften

Tabelle 6 zeigt die Verteilung der Samples aus Deutschland und der Schweiz zu den Eigenschaften Geschlecht, Alter, Bildung und Einkommen. Die Samples wurden nach Geschlecht und Alter per Quote gefiltert, sodass eine möglichst repräsentative Verteilung entsteht. Einzig bei der Gruppe 60-69 konnte in der Schweiz nicht der Vergleichswert realisiert werden, da es in dieser Gruppe zu wenige Smartphone-Besitzer gibt. Repräsentativ ist das Sample jedoch nicht, da die Filterungen Smartphone- und Heizungsbesitz vorausgesetzt wurden.

Im Datensatz aus Deutschland liegt eine leichte Verzerrung bezüglich höherer Bildungsabschlüsse vor. In der Schweiz sind alle Bildungsgruppen gut verteilt abgebildet. Ebenso gibt es beim Einkommen in beiden Datensätzen leichte Abweichungen gegenüber den Vergleichswerten, jedoch kann man grundsätzlich von einer repräsentativen Einkommens- und Bildungsverteilung sprechen.

Tabelle 6: Demographische Eigenschaften der Samples in Deutschland und der Schweiz im Vergleich mit der Gesamtbevölkerung

Variable	Eigenschaft	Sample DE	Vergleich DE	Sample CH	Vergleich CH
Geschlecht	Männlich	52%	49%	45%	50%
	Weiblich	48%	51%	55%	50%
Alter	18-29	20%	21%	29%	22%
	30-39	17%	18%	24%	20%
	40-49	25%	24%	21%	23%
	50-59	22%	21%	17%	20%
	60-69	17%	16%	9%	15%
Bildung	ohne Schulabschluss	0%	1%		
	Hauptschulabschluss	9%	7%		
	Realschulabschluss (Mittlere Reife)	26%	34%		
	Allgemeine oder Fach-Hochschulreife	15%	15%		
	Berufsausbildung	25%	28%		
	Fach-/Hochschulabschluss/Promotion	25%	16%		
	keine Angabe	0%			
	Obligatorische Grundausbildung			6%	11%
	Berufslehre			46%	41%
	Maturität			11%	8%
	Höhere Fach- und Berufsausbildung			16%	16%
	Hochschule / Dissertation			21%	24%
Einkommen	<1300 EUR	6%	19%		
	1300-2600 EUR	26%	33%		
	2601-3600 EUR	25%	19%		
	3601-5000 EUR	22%	16%		
	>5000 EUR	9%	14%		
	keine Angabe	13%			
	0 bis 2000 CHF			7%	14%
	2001 bis 4000 CHF			15%	22%
	4001 bis 6000 CHF			27%	35%
	6001 bis 8000 CHF			20%	16%
	8001 bis 10000 CHF			14%	7%
	10001 bis 12000 CHF			7%	3%
	12001 bis 14000 CHF			4%	2%
	14001 bis 16000 CHF			3%	1%
	mehr als 16000 CHF			3%	2%

In Tabelle 7 sind Gebäudeeigenschaften der Befragten dargestellt, die für das Thema Energieeffizienz und intelligente Heizungssteuerung relevant sind. Beachtung sollte dem Wohnverhältnis geschenkt werden: 98% der Befragten aus Deutschland leben in Privatbesitz und nicht in einem Mietverhältnis. In der Schweiz sind es 70%. Diese Werte liegen stark über dem nationalen Durchschnitt und sollten bei der Interpretation der Daten beachtet werden. Mögliche Potentiale für intelligente Heizungssteuerungen zeigen die Durchschnittswerte der leerstehenden Wohnung am Wochentag und an einem Wochenendtag. Sowohl in Deutschland als auch der Schweiz steht die Wohnung am Wochentag im Durchschnitt 5 Stunden leer. An einem Tag am Wochenende sind es in Deutschland durchschnittlich 3,4 Stunden und in der Schweiz 4,2. Setzt man dazu die höheren Heizkosten (Deutschland: 1455 EUR pro Jahr, Schweiz: 1666 CHF pro Jahr) und die grosse Wohnfläche (Deutschland: 150 m²,

Schweiz: 184 m²) der Befragten in Relation, zeigt sich das Potential von intelligenter Heizungssteuerung besonders deutlich.

Tabelle 7: Gebäudeeigenschaften der Samples in Deutschland und der Schweiz

Variable	Eigenschaft	Sample DE	Sample CH
Gebäudetyp [%]	Wohnung im Mehrfamilienhaus	8%	20%
	Reihenhaus	13%	13%
	Doppelhaushälfte	16%	13%
	Freistehendes Haus	63%	54%
Wohnverhältnis [%]	Eigentum	98%	70%
	Miete	2%	30%
Gebäudeeffizienz (persönliche Einschätzung) [%]	Schlecht	14%	17%
	Normal	56%	51%
	Gut	30%	32%
Gebäudesanierung [%]	Noch nie	37%	40%
	0-5 Jahre	24%	23%
	6-10 Jahre	15%	13%
	11-15 Jahre	10%	7%
	16-20 Jahre	5%	4%
	21-30 Jahre	2%	3%
	Über 30 Jahre	1%	1%
	Unbekannt	7%	9%
Personen im Haushalt [%]	1 Person	6%	9%
	2 Personen	34%	32%
	3 Personen	27%	20%
	4 Personen	23%	27%
	5 Personen	7%	10%
	6 Personen und mehr	3%	2%
Gebäude leerstehend [h]	Durchschnitt Wochentag	5,19	5,01
	Durchschnitt Wochenende	3,37	4,17
Heizkosten [EUR bzw. CHF]	Median	1300	1400
	Durchschnitt	1455,29	1666,85
Wohnungsfläche [m ²]	Median	135	150
	Durschnitt	150,35	183,74

4.4.3 Erklärende Faktoren der Kaufintention

Das Modell wurde mit Hilfe eines varianzbasierten Strukturgleichungsmodells (SEM) getestet. Speziell wurde das Partial-Least-Squares-Verfahren (PLS-Verfahren) angewandt. SEM Verfahren sind zum Standard bei der Analyse von empirischen Modellen in der Management- und Marketingliteratur geworden (Hair et al. 2011), da sie eine Reihe von Vorteilen gegenüber traditionellen Regressionsanalysen aufweisen⁶. Entscheidender Unterschied zu Regressionsanalysen ist die Integration des Messmodells und des Strukturmodells (Faktoranalyse und Regressionsanalyse), wodurch eine Analyse der Messfehler in das Modell integriert wird (Gefen et al. 2000). SEM Modelle eignen sich besonders zum

⁶ Für Details zu SEM Verfahren wird auf folgende Veröffentlichungen verwiesen: (Agarwal & Karahanna 2000; Karahanna et al. 2006; Limayem et al. 2007)

Testen von Theorien und für Daten, die nicht multivariat normalverteilt sind (Hair et al. 2011) und somit für diese Studie.

Ergebnisse der Analyse für beide Datensätze sind in Tabelle 8 dargestellt. Das Modell erklärt die Kaufintention mit Hilfe der beschriebenen Konstrukte, wobei jedes Konstrukt auf Signifikanz und Einflussstärke getestet wird. Das Bestimmtheitsmass R^2 gibt an, zu wieviel Prozent die Varianz der abhängigen Variable (AV) - also die Kaufintention – durch das Modell erklärt wird. Generell sind Werte über 0,40 als sehr gut einzustufen. Verglichen mit diesem Wert ist die Erklärungskraft des Modells mit 0,73 für den Datensatz aus Deutschland und 0,67 in der Schweiz bemerkenswert hoch.

Wie in vielen vorherigen Untersuchungen (vgl. TAM, UTAUT) gezeigt, hat die *empfundene Leistungsfähigkeit* der Technologie einen direkten Einfluss auf die Kaufintention in beiden untersuchten Samples. Weiterhin sind die erleichternden Bedingungen in beiden Analysen signifikant, allerdings auf einem geringeren Signifikanzniveau ($p < 0,05$ bzw. $p < 0,01$). *Hedonistische Motivation* stellt in beiden Analysen einen entscheidenden Einflussfaktor auf die Kaufintention dar (Signifikanzniveau: $p < 0,001$). Ebenso ist der Faktor *Gewohnheit* in beiden Analysen signifikant und beeinflusst die Kaufintention. Die, neben den UTAUT2-Konstrukten, untersuchten Einflussfaktoren *Kompatibilität mit dem Alltag*, *Risiko* und *Innovationsaffinität* erklären in beiden Analysen signifikant die Kaufintention. Besonders die *Kompatibilität mit dem Alltag* steuert im Schweizer Sample den stärksten (in Deutschland den zweitgrössten) Erklärungsgehalt bei.

Überraschenderweise keinen Einfluss hat in den untersuchten Daten das *Preis-Leistungs-Verhältnis* auf die Kaufintention. Ebenfalls weist die Aufwandserwartung einen sehr niedrigen Erklärungswert im Deutschland-Sample und keinen Einfluss im Schweiz-Sample auf. *Technische Kompatibilität* hat im Deutschland-Sample einen direkten Einfluss, im Schweiz-Sample allerdings keinen. Die konkreten Risiken Datenschutz und Sicherheit zeigen ebenfalls keinen direkten Einfluss. Jedoch lässt sich mit Hilfe der Faktoren Sicherheit und Datenschutz das Konstrukt *Risiko* über eine weitere Regressionsanalyse gut erklären⁷. Die Konstrukte *Umweltschutzbewusstsein* und *Einsparpotential* zeigen im Deutschland-Sample einen signifikanten Einfluss, allerdings keinen in der Schweiz. *Soziale Einflüsse* wiederum haben einen hohen Erklärungswert im Schweiz-Sample und keinen im Deutschland-Sample.

⁷ Bei einer mehrstufigen Regressionsanalyse wird das Konstrukt Risiko als abhängige Variable getestet und die Konstrukte Sicherheit und Datenschutz als unabhängige Variablen. Ergebnisse zeigen eine erklärte Varianz von 45%. Somit kann davon ausgegangen werden, dass Sicherheit und Datenschutz wichtige Aspekte des wahrgenommenen Risikos abdecken.

Tabelle 8: Ergebnisse des Kaufmodells Deutschland und Schweiz

AV: Kaufintention	Deutschland	Schweiz
R ²	0,731	0,670
Adjusted R ²	0,728	0,665
N	973	962
Empfundene Leistungsfähigkeit	0,113**	0,176***
Aufwandserwartung	0,046*	0,035
Erleichternde Bedingungen	0,055*	0,075**
Soziale Einflüsse	0,025	0,109***
Hedonistische Motivation	0,245***	0,127***
Preis-Leistungs-Verhältnis	0,005	0,028
Gewohnheit	0,154***	0,148***
Kompatibilität mit dem Alltag	0,232***	0,275***
Technische Kompatibilität	0,084**	0,03
Risiko	-0,076**	-0,062*
Innovationsaffinität	0,118***	0,095***
Umweltschutzbewusstsein	0,061*	0,026
Einsparpotential	0,06*	0,011

Anmerkungen: ***p<0,001; **p<0,01; *p<0,05

4.4.4 Leistungsfähigkeit

Zusätzlich zum Kaufmodell wurde ein weiteres Modell getestet, das die *empfundene Leistungsfähigkeit* als abhängige Variable erklärt. Alle signifikanten Konstrukte des Kaufmodells zeigen ebenfalls einen direkten Einfluss auf die *empfundene Leistungsfähigkeit* der Technologie. In beiden Datensätzen liegt ein hoher Erklärungsgehalt der abhängigen Variablen vor (Deutschland: R²=0,53; Schweiz: R²=0,48; vgl. Tabelle 9).

Weiterhin zeigen die Konstrukte *Umweltschutzbewusstsein* und *Einsparpotential* sowie das *Preis-Leistungs-Verhältnis* im schweizerischen Datensatz einen direkten Einfluss auf den wahrgenommenen Nutzen der Technologie. Demzufolge haben *Umweltschutzbewusstsein*, *Einsparpotential* und das *Preis-Leistungs-Verhältnis* zwar keinen direkten Effekt auf die Kaufintention, jedoch gibt es einen indirekten Einfluss auf die Kaufintention, der durch die *empfundene Leistungsfähigkeit* mediiert wird. Dieses Ergebnis sollte bei der Interpretation der Faktoren *Umweltschutzbewusstsein*, *Einsparpotential* und *Preis-Leistungs-Verhältnis* berücksichtigt werden.

Tabelle 9: Ergebnisse Modell mit empfundener Leistungsfähigkeit als abhängiger Variablen

AV:Empfundene Leistungsfähigkeit	Deutschland	Schweiz
R ²	0,534	0,482
Adjusted R ²	0,530	0,479
N	973	962
Erleichternde Bedingungen	0,134***	0,276***
Soziale Einflüsse	0,068*	0,194***
Hedonistische Motivation	0,293***	0,157***
Preis-Leistungs-Verhältnis	0,011	0,074**
Gewohnheit	0,172***	0,032
Risiko	-0,162***	-0,108***
Innovationsaffinität	0,111***	0,031
Umweltschutzbewusstsein	0,060*	0,083**
Einsparpotential	0,070**	0,055*

Anmerkungen: ***p<0,001; **p<0,01; *p<0,05

4.5 Diskussion

4.5.1 Hohe Erklärungskraft durch die Kompatibilität der Technologie mit dem Alltag

Wichtigste Erkenntnis der empirischen Untersuchung des Modells, ist der hohe Einfluss der Kompatibilität der Technologie mit dem Alltag der Konsumenten auf die Kaufintention. Dieser Faktor fand in bisherigen Untersuchungen zu Kaufentscheidungen wenig Beachtung und stellt sowohl für die Wissenschaft als auch die Industrie einen wichtigen Beitrag dar. Zunächst zeigt der Einfluss, wie wichtig bei der Entwicklung und Vermarktung von Energieeffizienztechnologien der Fokus von Unternehmen auf Konsumenten, den Nutzungskontext (vgl. menschenzentrierter Gestaltungsprozess (ISO 9241-210 2011)) und allgemein den Alltag des Konsumenten ist. Gleichzeitig stellt die Kompatibilität mit dem Alltag der Konsumenten auch eine Barriere für Unternehmen dar. Schliesslich müssen zunächst der Nutzer und der Nutzungskontext im Detail verstanden werden, um die Kompatibilität sicherzustellen. Weiterhin unterscheiden sich Konsumentenpräferenzen und Lebensgewohnheiten der Nutzer entscheidend untereinander. Lebt der Nutzer mit Familie oder alleine? Steht die Wohnung häufig leer? Wie gut ist Wohnung isoliert? Wie wichtig sind dem Nutzer Komfort und Heizkosten? All diese Faktoren müssen untersucht und berücksichtigt werden, um letztlich die Kompatibilität der neuen Technologien mit dem Alltag des Nutzers sicherzustellen.

Es lässt sich festhalten, dass sich Kaufentscheidungskriterien bei Technologien, die direkt in den Alltag der Konsumenten eingreifen, verändern. Die wahrgenommene Leistungsfähigkeit stellt nach wie vor einen entscheidenden Faktor aus Konsumentensicht bei der Evaluation der Kaufentscheidung dar. Solange der Nutzen des Produktes für den Konsumenten nicht erkenntlich ist, wird kein Kauf getätigt. Im Vergleich zur Kompatibilität mit dem Alltag, ist der Einfluss der wahrgenommenen Leistungsfähigkeit jedoch geringer.

Hedonistische Motivation zeigt besonders im deutschen Sample einen hohen Einfluss, allerdings ist auch der Einfluss im schweizerischen Sample hoch. Die Nutzung von neuen Technologien sollte Spass machen. Demzufolge sollten Energieeffizienztechnologien nicht als rein rationale Technologie zur Energieeinsparung vermarktet werden, sondern der Faktor Spass in den Vordergrund gehoben werden.

Interessant ist, dass das *Preis-Leistungs-Verhältnis* keinen direkten Einfluss auf die Kaufintention hat bzw. in der Schweiz nur einen indirekten Effekt, mediiert durch die *empfundene Leistungsfähigkeit* (vgl. Tabelle 9). Dieser Fakt verstärkt den Fokus auf die Kompatibilität mit dem Alltag: Der Nutzer beschäftigt sich offensichtlich wesentlich weniger mit möglichen Energieeinsparungen und dem Verhältnis zu entstehenden Kosten durch die Anschaffung des Produkts. Vielmehr soll das Produkt zum Nutzer passen und Freude bereiten. Diese Aussage stützt weiterhin der geringe Einfluss vom tatsächlichen Einsparpotential auf die Kaufintention. Im schweizerischen Datensatz zeigt das Konstrukt keinen direkten Einfluss, sondern nur einen indirekten Einfluss durch Mediation über die *empfundene Leistungsfähigkeit* (vgl. Tabelle 9). Aus rationaler Sicht müssten Konsumenten, die durch die Nutzung der Technologie Kosten sparen können, am wahrscheinlichsten das Produkt kaufen. Diese Hypothese wird jedoch durch die erhobenen Daten nicht bestätigt.

Mögliche Barrieren wie der Aufwand, der durch die Nutzung der Energieeffizienztechnologie entsteht, scheinen eine geringe Rolle zu spielen.

Potentielle Risiken haben einen direkten Einfluss auf die Kaufintention. Wie im vorherigen Kapitel beschrieben kann *Risiko* sehr gut durch Sicherheits- und Datenschutzbedenken erklärt werden. Durch das direkte Eingreifen in die Steuerung des Heizungssystems, das einen hohen Wert für den Konsumenten darstellt, können Bedenken bezüglich der Sicherheit bei Konsumenten auftreten. Diese sollten durch Sicherheitssysteme und transparente Kommunikation verringert werden. Das Thema Datenschutz stellt Smart-Home Technologien vor eine Hürde, da Nutzer oftmals nicht bereit sind private Daten an Unternehmen weiterzugeben. Ähnlich wie beim Sicherheitsaspekt sollten verschlüsselte Datenverbindungen bereitgestellt werden und Konsumenten transparent über die Nutzung der Daten informiert werden.

Das Konstrukt *Innovationsaffinität* zeigt, dass Konsument mit grossem Interesse an neuen Technologien eher Smart-Home Produkte kaufen als solche, die sich auf bewährte Produkte verlassen. Wie in der Einleitung beschrieben, handelt es sich beim Smart-Home- und Energieeffizienztechnologie-Markt um frühe Marktstadien, weshalb der Einfluss von *Innovationsaffinität* hoch ist. Es ist davon auszugehen, dass bei zukünftiger Verbreitung der Technologie Innovationsaffinität eine untergeordnetere Rolle spielt.

4.5.2 Unterschiede Deutschland - Schweiz

Da zwei Datensätze von unterschiedlichen Bevölkerungsgruppen zur Verfügung stehen, werden die Ergebnisse der beiden Umfragen im Folgenden mit dem Fokus auf signifikante Unterschiede verglichen.

Ein entscheidender Unterschied zwischen den beiden Analysen ist der Einfluss von *Umweltschutzbewusstsein*. In Deutschland zeigt das Konstrukt einen direkten Einfluss auf die Kaufintention, wohingegen in der Schweiz kein direkter Effekt beobachtet werden kann. Zur Interpretation des Ergebnisses stehen drei Möglichkeiten zur Verfügung:

1. Umfrageteilnehmer aus Deutschland haben mehr Interesse an Umweltschutz.
2. Umfrageteilnehmer aus der Schweiz haben Interesse an Umweltschutz, verbinden diesen jedoch nicht mit der Nutzung von intelligenten Thermostaten.
3. Umweltbewusste Schweizer Konsumenten schätzen das Umweltschutzpotential von intelligenten Thermostaten korrekt ein, sehen jedoch Nutzungs-Barrieren als zu gross an, weshalb kein Einfluss auf die Kaufintention entsteht.

Gegen die erste Interpretation spricht die deskriptive Analyse des *Umweltschutzbewusstseins* (vgl. Tabelle 10). In den Daten ist deutlich ersichtlich, dass kein Unterschied beim *Umweltschutzbewusstsein* besteht; die Schweizer Teilnehmer zeigen sogar geringfügig höhere Zustimmung.

Bezieht man neben den Ergebnissen des Kaufmodells auch den indirekten Einfluss auf die Kaufintention durch Mediation über die *empfundene Leistungsfähigkeit* (vgl. Tabelle 9) des *Umweltschutzbewusstseins*

wusstseins ein, lässt sich auch die zweite Interpretation widerlegen. Offensichtlich schätzen Konsumenten mit hohem *Umweltschutzbewusstsein* das Energiesparpotential von intelligenten Heizungssteuerungen als hoch ein.

Folglich lässt sich aus den Daten erklären, dass umweltbewusste, schweizerische Konsumenten das Potential von intelligenten Heizungssteuerungen erkennen, die Barrieren jedoch als zu gross beurteilt werden, um sich für die Nutzung der Technologie zu entscheiden.

Tabelle 10: Vergleich des Umweltschutzbewusstseins Deutschland und Schweiz

Konstrukt	Indikator	Sample DE	Sample CH
Höhere Preis für Umweltschutz	Ich bin bereit Einschnitte in meinem Lebensstandard zu akzeptieren, um die Umwelt zu schützen.	4.19	4.50
	Ich bin grundsätzlich bereit höhere Preise zu bezahlen, wenn ich dadurch einen Beitrag zum Umweltschutz leisten kann.	3.87	4.14
	Ich bin bereit höhere Steuern zu bezahlen, um die Umwelt zu schützen.	3.24	3.53
Umweltschutz-Normen	Ich habe ein schlechtes Gewissen, wenn Energie in meinem Haushalt verschwendet wird.	5.05	4.99
	Ich fühle mich verpflichtet unnötigen Energieverbrauch wann immer möglich zu vermeiden.	5.25	5.20
	Ich denke, es ist wichtig im Alltagsverhalten an die Umwelt zu denken.	5.33	5.55

Anmerkungen: 1=Lehne stark ab, 7=Stimme stark zu

Weiter bekräftigt wird die beschriebene Schlussfolgerung durch den Effekt des tatsächlichen Einsparpotentials. Das tatsächliche Einsparpotential zeigt in Deutschland einen direkten Einfluss auf die Kaufintention und in der Schweiz keinen. Jedoch kann wiederum ein indirekter Effekt des tatsächlichen Einsparpotentials, mediert durch die *empfundene Leistungsfähigkeit*, im Schweizer Datensatz beobachtet werden.

Zusammenfassend lassen sich wichtige Erkenntnisse aus dem analysierten Sachverhalt ziehen. Offensichtlich wird das Energiesparpotential von intelligenten Heizungssteuerungen von umweltbewussten schweizerischen Konsumenten erkannt. Barrieren werden jedoch als zu hoch wahrgenommen, um eine Kaufentscheidung aus dem Energiesparpotential abzuleiten. Demzufolge müssen potentielle Hürden, wie z.B. die Installation der Technologie, verringert werden, um die Diffusion zu beschleunigen. Im Vergleich zu schweizerischen Konsumenten, scheinen in Deutschland nicht nur innovationsaffine, sondern auch umweltbewusste Konsumenten den Kauf von intelligenten Thermostaten zu beabsichtigen.

Weiterhin haben soziale Einflüsse in der Schweiz einen starken Einfluss und in Deutschland keinen. Offensichtlich legten Umfrageteilnehmer mehr Wert auf die Meinung ihnen nahestehender Personen und lassen sich dadurch bei der Kaufentscheidung beeinflussen.

4.5.3 Implikationen für das Marketing zur Überwindung von Barrieren

Aus der Analyse der Daten lassen sich drei Implikation für die Vermarktung von Energieeffizienztechnologien ableiten:

1. Bei der **Kommunikation** sollten die Themen Spass bei der Nutzung und die Kompatibilität der Technologie mit einer Vielzahl von möglichen Alltags- und Lebenssituationen der Konsumenten im Vordergrund stehen. Bedenken bezüglich der Nutzung von Energieeffizienztechnologien müssen durch transparente Informationen zu den Themen Datenschutz und Sicherheit verringert werden.

2. Entscheidend ist, dass der **wahrgenommene und der tatsächliche Nutzen** der Technologie übereinstimmen. Der Konsument muss einen Vorteil bei der Nutzung einfach erkennen können. Nimmt der Konsument das Einsparpotential nicht wahr, entstehen grosse Hürden für Unternehmen.
3. Als **Zielgruppe** eignen sich aktuell innovationsaffine Nutzer, die den Fokus auf Spass bei der Nutzung legen. Diese Gruppe entspricht den Innovatoren und Frühadoptern wie in der Einleitung beschrieben. Im nächsten Schritt müssen jedoch pragmatische Konsumenten angesprochen werden, die mehr Wert auf die einfache Kompatibilität der Produkte mit ihrer Lebenssituation legen. Auch die umweltbewussten Konsumenten in der Schweiz müssen zukünftig davon überzeugt werden, intelligente Heizungssteuerungen zu nutzen. Installations- und Nutzungsbarrieren müssen dazu reduziert werden.

4.5.4 Synthese und Ausblick

Das Ziel dieser Studie war die Untersuchung von Treibern und Barrieren, die zur Ablehnung bzw. Kauf von Energieeffizienztechnologien in Privathaushalten, führen. Anhand des Beispiels von intelligenten Heizungssteuerungen wurde die Forschungsfrage mit Hilfe von zwei Umfragen in Deutschland und der Schweiz untersucht.

Auf Basis einer ausführlichen Literaturrecherche und Expertengesprächen wurden relevante Faktoren identifiziert, die potentiell die Kaufentscheidung von Konsumenten erklären und in einem Kaufmodell festgehalten. Um die Zusammenhänge zwischen diesen Faktoren und der Kaufentscheidung zu analysieren, wurden in den Umfragen Konsumenten nach ihrer Kaufintention befragt, sowie jeder Faktor mit mehreren Indikatoren durch die Befragten bewertet.

Das empirisch getestete Modell erklärt in beiden Umfragen überdurchschnittlich gut die Kaufintention. Besonders auffällig ist der hohe Einfluss der Kompatibilität der Technologie mit dem Alltag der Konsumenten. Grossen Einfluss haben ausserdem der wahrgenommene Nutzen und die hedonistische Motivation.

Es wurden Unterschiede zwischen den Umfragen in Deutschland und der Schweiz analysiert mit dem Ergebnis, dass umweltfreundliche, schweizerische Konsumenten aktuell kein Interesse haben intelligente Heizungssteuerungen zu nutzen. Letztlich wurden Implikationen für die zukünftige Vermarktung von Energieeffizienztechnologien abgeleitet.

Mögliche weitere Untersuchungen beinhalten das Testen des Modells anhand einer anderen Energieeffizienztechnologie. Zusätzlich sollten Konsumenten beim tatsächlichen Kauf von Energieeffizienztechnologien befragt werden, um nicht nur die Kaufintention, sondern auch die tatsächliche Kaufentscheidung zu untersuchen. Neben der Befragung von Konsumenten bieten sich auch Experimente im tatsächlichen Nutzungskontext an, um Bedürfnisse und Barrieren besser zu verstehen.

5 Kooperationen und strategische Ausrichtung schweizerischer Energieversorger

Autoren: Michael Vormittag, Florian Nägele, Bastien Girod

In Kapitel 2 wurden ein Überblick der Technologien im Bereich Gebäudeeffizienz gegeben und wirtschaftliche sowie energetische Einsparpotentiale aufgezeigt. Dass verschiedene Barrieren sowie Haushaltspräferenzen dazu führen, dass wirtschaftliche Potentiale nicht realisiert werden, konnte in Kapitel 3 und 4 aufgezeigt werden. Dieses Kapitel wechselt den Fokus und untersucht, wie unterschiedliche Unternehmen diese Potentiale adressieren, indem sie beginnen, entsprechende Produkte in ihr Produktportfolio aufzunehmen. Der Fokus wird von Gebäudeeffizienz auf Nicht-Kernprodukte erweitert, was im Fall von Stromversorgern Nicht-Stromprodukten entspricht. Im Rahmen der Analyse wurde zunächst das beworbene Nicht-Kernproduktangebot je EVU erfasst. Daraufhin wurde untersucht, ob und in wie weit ein Zusammenhang zwischen Kooperationsaktivitäten und Produktangebot besteht. Als ein wesentlicher Treiber für unterschiedliche strategische Ausrichtungen der EVU konnte die Rolle des Verwaltungsrats und seine Interaktion mit dem Top-Management identifiziert werden. Deshalb wurde dieses Zusammenspiel im Rahmen von verschiedenen Interviews genauer untersucht. Wesentliche Kernaussagen im Rahmen der breit angelegten Untersuchung des folgenden Kapitels sind:

- Es gibt bereits eine Vielzahl an Produkten für Endkunden in der Schweiz, die nicht dem traditionellen Geschäft zuzuordnen sind und angeboten sowie aktiv beworben werden. Dazu gehören dezentrale Stromerzeugung (Photovoltaik, Wärme-Kraft-Kopplung), neue Technologien im Heizungs- und Warmwasserbereich (Wärmepumpe), Lüftungs- und Kühltechnologien, E-Mobility, Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT), Smart Home, Gebäudehülle (Isolation) und Effizienzangebote im Elektronikbereich (Energiesparportale, effiziente Haushaltsgeräte).
- Eine breite Streuung bei dem Angebot neuer Technologien lässt eine Vielzahl an unterschiedlichen Strategien erahnen. Diese grosse Heterogenität bei der strategischen Unternehmensausrichtung wurde im Rahmen qualitativer Interviews bestätigt: Es gibt einerseits Unternehmen, die sich durch ein diversifiziertes Produktangebot neu ausrichten und andererseits jene, die sich auf eine fokussierte Rolle, z.B. als Infrastrukturdienstleister, beschränken.
- Die Anzahl der Nicht-Kernprodukte der EVU korreliert positiv mit der Anzahl an Kooperationen. Dieser Zusammenhang ergibt sich interessanterweise unabhängig von der Unternehmensgröße. Dies deutet auf eine bewusste und im schweizerischen Energiesektor vielfach genutzte Integration von Ressourcen, wie z.B. Technologie-Knowhow durch unternehmensübergreifende Zusammenarbeit, hin.
- Der Verwaltungsrat und sein Wirken wurden als wesentliche Faktoren bei der strategischen Neuausrichtung identifiziert. Der aktuelle Stand der Forschungsaktivitäten zum Verwaltungsrat und seinem Einfluss auf organisationales Lernen bestätigt bereits, dass der Verwaltungsrat wichtige Impulse für die strategische Neuorientierung eines Unternehmens liefern kann, wenn das Management und der Verwaltungsrat auf kritische aber konstruktive Art und Weise zusammenarbeiten. Wie genau der Verwaltungsrat dabei Einfluss auf das Unternehmen nimmt und welche Implikationen das für die Praxis mit sich bringt, ist Gegenstand der noch andauernden Studie.

5.1 Einleitung

Der sich wandelnde Energiemarkt stellt Energieversorgungsunternehmen in der Schweiz vor neue Herausforderungen. Der ehemals regulierte, schweizerische Markt hat sich bereits durch eine teilweise Liberalisierung geöffnet. Eine vollständige Öffnung wird erwartet und erhöht den Druck auf die zuvor konkurrenzlosen Stromversorger (The Boston Consulting Group 2013). Weiterhin versucht die schweizerische Regierung durch die *Energiestrategie 2050* den Energiemarkt in der Schweiz umzugestalten. Bis 2050 soll die Energienachfrage in der Schweiz auf etwa die Hälfte reduziert werden (BFE 2013). In einem ersten Massnahmenpaket wurden Energieeffizienz in Gebäuden, Geräten, Industrie und Mobilität sowie dezentrale, erneuerbare Erzeugung als Kernelemente genannt (Bundesamt für Energie (BFE) 2012). Damit stellen sich neue Herausforderungen aber auch Chancen für Energieversorger. Zusätzlich zu diesen neuen Entwicklungen, und verursacht durch anhaltend sinkende Margen im traditionellen Stromverkauf, wird das einstmals profitable Kerngeschäft durch sinkende Rentabilität bedroht (Ramsauer 2013). Bestehende Geschäftsmodelle der grossen, integrierten Stromversorger werden auf die Probe gestellt und neue Konkurrenten, wie etwa regionale Versorger, IT Unternehmen und Startups wollen auf dem Energiemarkt der Zukunft mitmischen (Carl 2012). Als Reaktion auf diese Herausforderungen und den zunehmenden Wettbewerb wird von vielen Unternehmen ein alternatives Produktangebot eingeführt. Unternehmen wie BKW oder ewz nehmen sich bereits eher als „*Energiedienstleister*“ (BILANZ 2013) als als Stromproduzenten wahr. Dort, wo früher nur Strom verkauft wurde, findet sich heute eine Vielzahl an Produkten in den Bereichen der Energieeffizienz, der Elektromobilität oder Energieberatung. Diese Tendenzen lassen sich bei einer Vielzahl von Energieversorgern feststellen (Graf 2012; The Boston Consulting Group 2013).

Dieses Kapitel soll einen Überblick über die angebotenen Produkte der einzelnen schweizerischen Energieversorger gewähren und dabei Gemeinsamkeiten und Unterschiede aufdecken. In einem zweiten Schritt soll an dieser Stelle auch hinterfragt werden, was Gründe für ein unterschiedliches Verhalten der verschiedenen Energieversorgern sein kann. In diesem Zusammenhang soll insbesondere auf die Rolle von strategischen Allianzen und Kooperationen eingegangen werden, da diese in den Medien und aktuellen Studien zum Energiemarkt als bevorzugtes Vehikel zur Einführung neuer Produkte aufgeführt werden (PWC 2008; BKW 2013; The Boston Consulting Group 2013; BILANZ 2013).

Zu Beginn dieses Kapitels, in Abschnitt 5.2, werden die theoretischen Grundlagen zur Produktdiversifikation, der Rolle von etablierten Unternehmen sowie zu verschiedenen Mechanismen zur Ressourcenakquise gelegt. Der folgende Abschnitt 5.3, widmet sich den Ergebnissen dieser Analyse und beschreibt Produkte und Kooperationen auf dem schweizerischen Energiemarkt. Ebenso wird hinterfragt, wie schweizerische Energieversorger auf die neuen Herausforderungen im sich wandelnden Markt reagieren und welche Rolle Kooperationen einnehmen. Der letzte Abschnitt bespricht die Gründe, warum Unternehmen bestimmte Produktstrategien verfolgen und zeigt mögliche weitere Forschungsfelder auf.

5.2 Theorie zur Produktdiversifikation und Rolle der Kooperation

5.2.1 Grundlagen der Produktdiversifizierung

Um die Handlungsalternativen von Unternehmen in einem sich wandelnden schweizerischen Energiemarkt verstehen zu können, bietet March's Exploration-Exploitation-Unterscheidung das geeignete Framework (March 1991). Nach March lässt sich Exploitation mit Wörtern wie Effizienz, Produktion, Auswahl und Verbesserung beschreiben. Unternehmen, die diese Strategie verfolgen, setzen einen starken Fokus auf bestehende Produkte mit dem Ziel, durch die Fokussierung Effizienz- und Skaleneffekte zu heben. Exploration auf der anderen Seite setzt den Fokus auf Innovation, Entwicklung, Experimente und Flexibilität (March 1991). Diese Strategie birgt im Vergleich zur Exploitationsstrategie

kurzfristig den Nachteil einer niedrigeren Effizienz, birgt längerfristig aber das Potential, neue Produkte, Dienstleistungen, Technologien und Geschäftsmodelle zu erschliessen. Die Verbreiterung des Angebots an Gebäudeeffizienz- und anderen Nicht-Strom-Produkten durch z.B. einen Fokus auf Energiedienstleistungen, wie im Beispiel von Unternehmen wie BKW und ewz, kann als explorative Strategie verstanden werden. Dabei müssen die Energieversorger jedoch in Bereiche vordringen, die nicht ihren gegenwärtigen Kernkompetenzen und Fähigkeiten entsprechen. Im Zuge eines technologischen Wandels und um diese Produkte erfolgreich anbieten zu können, sind neue Fähigkeiten und Ressourcen notwendig (Barney & Hesterly 2010). Bestehende Fähigkeiten im Stromverkauf und -handel alleine sind nicht mehr ausreichend. Neue Technologieströme wie Smart Home Anwendungen, Elektromobilität oder Energieeffizienz in Gebäuden benötigen neue Fähigkeiten. Ob ein starker Fokus auf Exploration oder Exploitation längerfristig erfolgversprechender ist, lässt sich nicht im Voraus sagen. Damit einhergehend kann alleine von der Menge an Produkten, die ein Unternehmen anbietet, noch keine Aussage über dessen Aufstellung für die Zukunft getroffen werden.

5.2.2 Mechanismen zur Akquise neuer Ressourcen

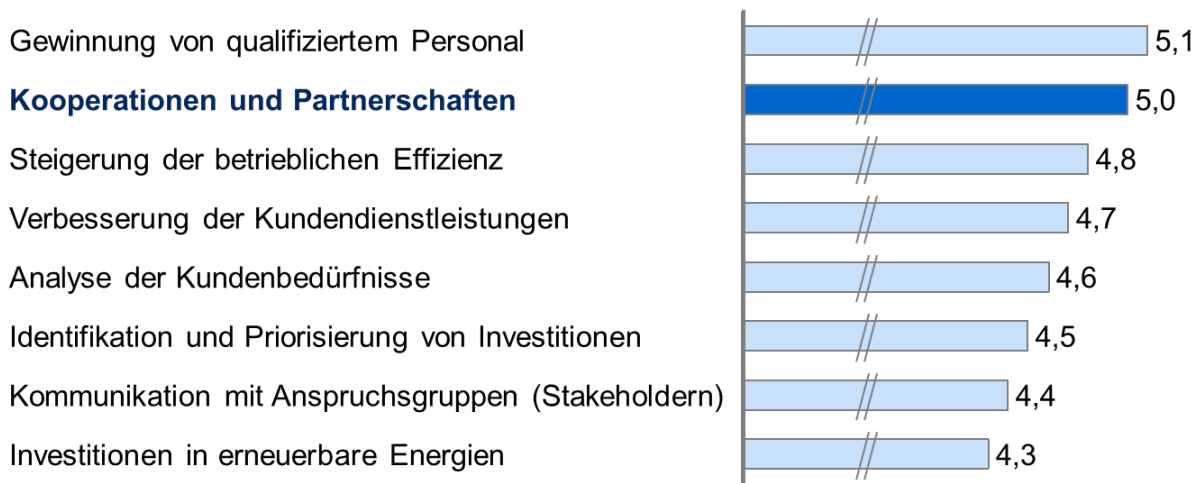
Je nach wahrgenommener Notwendigkeit für eine entweder mehr exploitative oder mehr explorative Strategie benötigen Unternehmen für die erfolgreiche Umsetzung unterschiedliche Fähigkeiten und Ressourcen. Eine Frage, die sich an dieser Stelle stellt, ist, wie Unternehmen die notwendigen, neuen Fähigkeiten und Ressourcen erwerben können. In der Wissenschaft werden häufig folgende drei Strategien zum Erlangen neuer Fähigkeiten und Ressourcen angeführt: (1) *Strategische Allianzen bzw. Kooperationen*, (2) *Fusionen und Übernahmen* sowie (3) *interne Entwicklung* (Rivera-Santos & Inkpen 2009; Mennillo et al. 2012). Die folgende Tabelle fasst Vor- und Nachteile der einzelnen Mechanismen nach Mennillo und Kollegen zusammen:

Tabelle 11: Vor- und Nachteile der einzelnen Mechanismen (Mennillo et al. 2012)

Mechanismus	Vorteile	Nachteile
<i>Interne Entwicklung</i>	• Reversibilität • Kontrolle über geistiges Eigentum • Kompletter Gewinn bleibt im Unternehmen	• Hohe Investitionskosten • Volles Risiko • Relativ langsam
<i>Strategische Allianzen und Kooperationen</i>	• Geteiltes Risiko zwischen (mehreren) Kooperationspartnern • Hohe Flexibilität • Ausstiegsmöglichkeiten • Schneller Zugriff auf neue Ressourcen	• Potentielle Gewinne werden aufgeteilt • Gemeinsame Zielvorstellungen müssen entwickelt werden • Gefahr durch opportunistisches Verhalten und fehlendes Vertrauen
<i>Fusionen und Übernahmen</i>	• Hohe Kontrolle • Schneller Zugriff auf neue Ressourcen	• Sehr hohe Investitionskosten • Volles Risiko • Nicht reversibel • Schwierigkeiten bei der Integration des anderen Unternehmens • Risiko zu viel zu bezahlen

Unter Berücksichtigung des unsicheren und dynamischen Umfelds im schweizerischen Energiemarkt sind Kooperationen ein sinnvolles Mittel um neue Fähigkeiten und Ressourcen zu erlangen (siehe auch Umfrageergebnisse Abbildung 15 (pwc 2011)). Insbesondere die hohe Flexibilität und die Möglichkeit mit verschiedenen Partnern an verschiedenen Projekten zu arbeiten, ohne dabei ein hohes finanzielles Risiko einzugehen, macht diese Methode für schweizerische Energieversorger interessant. Es ist heute noch nicht absehbar, welche Technologie oder welches Geschäftsmodell in Zukunft dominant sein wird. Durch Kooperationen können sich Unternehmen mehrere Optionen offen halten.

Welche strategischen Themen sind besonders wichtig, damit Ihr Unternehmen langfristig wettbewerbsfähig bleibt?



QUELLE: PwC 2011; Umfrage 118 Führungskräfte; Durchschnittswerte, gerundet. Skala: 1 = Vollkommen unwichtig; 6 = Äusserst wichtig

Abbildung 15: Welche strategischen Themen sind besonders wichtig, damit Ihr Unternehmen langfristig Wettbewerbsfähig bleibt? (pwc 2011)

5.3 Produkte, Angebot und Kooperationen Schweizer EVU: Methode und Datengrundlage

Nachdem im vorigen Kapitel Kooperationen als ein wichtiges Vehikel für organisationales Lernen eingeführt wurden, soll in den folgenden Kapiteln die Rolle von Kooperationen für die Entwicklung von Nicht-Kernprodukten von Energieversorgern in der Schweiz näher beleuchtet werden. Unter Nicht-Kernprodukten verstehen wir Produkte und Dienstleistungen, die Energieversorger im Haushaltssektor anbieten, welche jedoch nicht in der bisherigen Wertschöpfungskette eines Energieversorgers liegen. Unter der traditionellen Wertschöpfungskette verstehen wir den Verkauf von Strom, Gas und Wasser sowie einfache Installationsdienstleistungen. Als relevante Kooperation sehen wir im Folgenden jegliche Form der Zusammenarbeit zur Entwicklung oder Erforschung neuer Produkte und Technologien im Bereich der oben genannten Produkte und Technologien.

In der Literatur wird eine Vielzahl an Kooperationsformen diskutiert. Folgende Abbildung stellt einen Überblick der gängigen Kooperationsformen dar. Im Zuge der Analyse wurde für die Gesamtbetrachtung jedoch nur in Forschungs- und Produktkooperationen sowie in Equity- und Non-Equity Allianzen unterschieden.

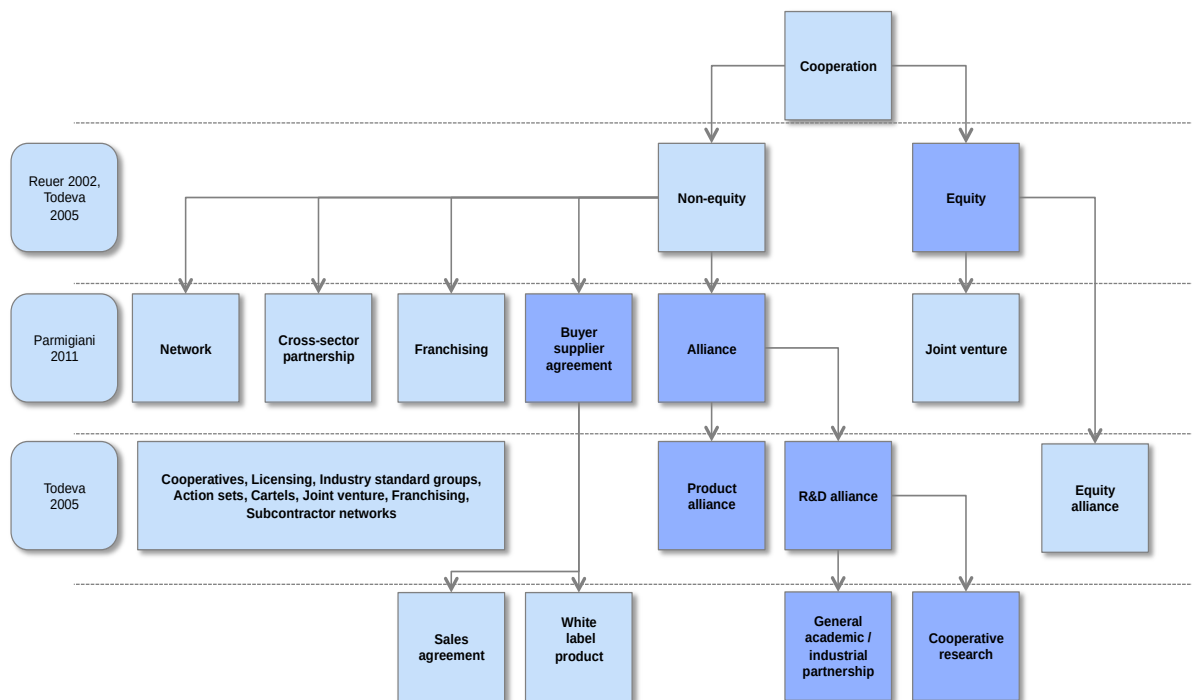


Abbildung 16: Kooperationstypen

Um den Zusammenhang zwischen Kooperationen und Nicht-Kernprodukten näher zu beleuchten, wurde eine quantitative Analyse der 25 nach Umsatz grössten schweizerischen Energieversorger sowie der vier nach Umsatz grössten deutschen vorgenommen. Mit dieser Stichprobe sind jeweils etwa 70% der Endkunden in den Einzugsgebieten abgedeckt, was einen guten Überblick über den Markt gewährleistet.

Von den ausgewählten Unternehmen wurden auf Basis externer, öffentlich verfügbarer Informationen die Produkte und Kooperationsaktivitäten in einer Datenbank zusammengetragen. Diese Methodik erlaubt es nicht alle Produkte und Kooperationen erfassen, ist jedoch gängige wissenschaftliche Praxis (Schilling 2009) und ermöglicht es, Tendenzen im schweizerischen Energiemarkt zu identifizieren. Um die Ergebnisse aus dieser externen Betrachtung weiter interpretieren zu können und Ausreisser zu verstehen, wurden Experteninterviews mit ausgewählten Vertretern aus Energieversorgungsunternehmen, Beratungen oder Interessengemeinschaften im schweizerischen Energiemarkt sowie ein intensiver Vergleich einzelner Unternehmen anhand der Geschäftsberichte durchgeführt. Die Ergebnisse aus diesen Untersuchungen werden im folgenden Abschnitt dargestellt. Eine detailliertere Analyse ausgewählter Kooperationen erfolgt im Teilkapitel „Fallstudien ausgewählter Kooperationen“. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass auf Basis unserer Daten alleine keine Rückschlüsse z.B. auf die relative Wettbewerbsfähigkeit der einzelnen Unternehmen gezogen werden können. Sehr wohl kann man aber Aussagen über die Gesamtsituation treffen.

5.4 Ergebnisse der Datenerhebung zu Produktportfolios und Kooperationen

Im folgenden Abschnitt sollen die Ergebnisse der Analyse, gegliedert in vier Unterkapitel, aufgezeigt werden. Abschnitt 5.4.1 widmet sich dem Produktangebot auf dem schweizerischen Energiemarkt, Abschnitt 5.4.2 erläutert die Rolle von Kooperationen um diese Produkte anbieten zu können, Abschnitt 5.4.3 beschreibt ausgewählte Kooperationen und Abschnitt 5.4.4 beleuchtet Gründe für unterschiedliches Unternehmensverhalten.

5.4.1 Unterschiedliche Produktangebote

Untersucht man die Produktangebote von Unternehmen auf dem schweizerischen Energiemarkt auf Basis öffentlich verfügbarer Daten, so fällt einem eine Vielzahl von unterschiedlichen nicht-traditionellen Produkten auf. Die folgende Tabelle dient als Überblick über die identifizierten Produktkategorien sowie deren wichtigste Produkte.

Tabelle 12: Produktkategorien schweizerischer Energieversorger (Informationen aus dem Internetauftritt der Unternehmen)

Smart Home	Heizung & Wärme	IKT	Elektromobilität	Energieeffizienz & Elektrik	Dezentrale Erzeugung	Energieberatung
• Heizungs-, Licht-, Rolllädensteuerung • Sicherheitssysteme • Intelligente Thermostate • Dynamische Verbrauchssteuerung • Sensoren (Rauch, Gas...)	• Wärmepumpe • Durchlauferhitzer • Pelletheizung • Energieeffiziente Duschwanne • Wasserspar-düsen • Förderungen • Solares Warmwasser • Wärmecontracting	• Glasfasernetz • Radio & TV • Internet	• Ladestationen • Ökostromvignette • E-Bike • E-Scooter • E-Fahrzeug Vermietung	• Energiesparportale • Haushaltsgeräte Förderung • Energiemessgeräte • Energiesparlampen	• Integrierte PV-Anlage • Dachvermietung • Mikro BHKW • Solarkataster • Förderungen • Brennstoffzellen	• Grundberatung • Gebäudehülle und energetische Sanierung • Heizungsberatung • Stromsparberatung • Photovoltaik und Solar

Schweizerische Unternehmen weisen Produkte in Zukunftstechnologien wie Elektromobilität und Smart Home Anwendungen auf, bieten Energieberatungen für ihre Kunden an und ermöglichen z.B. auch eine Selbsterzeugung von Strom auf den Dächern der einzelnen Haushalte. Produkte reichen von einfachen Energiesparlampen zu komplexen Energiecontracting Angeboten.

Im Folgenden soll kurz auf die einzelnen Produktcluster eingegangen werden. Wichtig ist dabei zu beachten, dass es sich um eine Aussenbetrachtung handelt. Informationen sind über die Firmenhomespages und Presseberichte gesammelt worden.

Smart Home: Der Smart Home Bereich ist bei schweizerischen Unternehmen nur sehr schwach vertreten. Die meisten Produkte in dieser Kategorie sind nur einfache Komponenten wie Rauchmelder, Sensoren oder Thermostate, die über einen Onlineshop, für das Unternehmen nahezu risikofrei, angeboten werden. Sieben Unternehmen auf dem schweizerischen Energiemarkt bieten Smart Home Systeme an. Diese sind jedoch in den meisten Fällen auch kaum auf das Unternehmen spezifiziert. Dies steht im deutlichen Gegensatz zu den Unternehmen in Deutschland. Dort weisen alle Unternehmen Produkte im Smart Home Bereich auf, 3 von 4 auch Komplettsysteme, die im Gegensatz zu ihren schweizerischen Pendants auch auf das Unternehmen gebrandet und zugeschnitten sind, sowie deutlich aggressiver vermarktet werden.

Heizung & Wärme: Dieser Bereich ist der am stärksten vertretene, abseits des eigentlichen Kerngeschäfts. Nahezu jedes Unternehmen, ob in Deutschland oder der Schweiz, weist Aktivitäten im Geschäft mit der Wärme auf. Besonders häufig angebotene Produkte und Dienstleistungen finden sich im Rahmen von Wärmecontracting Lösungen und zum Thema Wärmepumpe wieder. Ein Grund für die Verbreitung dieser Produktkategorie kann in der horizontalen Integration vieler Unternehmen auf dem schweizerischen Markt liegen. Wärme wird neben Strom, Gas und Wasser auch in deren Kerngeschäft angeboten.

Informations- und Kommunikationstechnologie: Dieser Bereich wird auch von vielen schweizerischen Unternehmen in Form von Telefonie, Internet sowie Radio und Fernsehprogrammen angeboten. Insbesondere das Glasfasernetz als Technologie der Zukunft wird von vielen schweizerischen Unternehmen forciert und mit hohen Investitionen gefördert. Im Vergleich zu den schweizerischen

Unternehmen lassen die deutschen Pendants durch ihre zumeist stärkere vertikale Integration diesem Bereich weniger Bedeutung zukommen, auch wenn Telefonnetz, Internet und Stromnetz, insbesondere im Hinblick auf zukünftige Smart Grids, Gemeinsamkeiten und Synergieoptionen aufweisen können.

Mobilität: Die meisten schweizerischen Unternehmen weisen momentan noch keine signifikanten Aktivitäten in dieser Produktkategorie auf. Ladestationen werden vereinzelt angeboten, jedoch scheint noch kein Unternehmen viele Ressourcen in diesen Bereich investieren zu wollen. Elektrofahrzeuge werden nur in Form von Rollern oder Fahrrädern angeboten. Die Situation auf dem deutschen Markt unterscheidet sich hier deutlich von jener in der Schweiz. Jeder der vier grossen, deutschen Energieversorger verfügt über Produkte im Bereich Elektromobilität und diese sind auch in den meisten Fällen weiter entwickelt als die schweizerischen Pendants. Unternehmen wie RWE bauen Kompetenzen in Ladeinfrastruktur für den Privathaushalt und in der Öffentlichkeit auf und haben erste Kooperationen mit Automobilherstellern lanciert.

Energieeffizienz und Elektrik: Produkte in diesem Bereich sind neben einfachen Energiesparlampen und anderen einfachen Energieeffizienzprodukten in der Schweiz häufig Online-Energiesparportale auf Basis von BEN ENERGY's Software Lösung. Nahezu jedes Unternehmen in der Schweiz bietet seinen Kunden diesen Service an. Munx.ch, Luca und Oscar's Energiesparwelt sind prominente Beispiele. Diese Art von Service findet sich momentan noch nicht auf dem deutschen Markt.

Dezentrale Erzeugung: Dieser Bereich wird bereits von etwa der Hälfte der Unternehmen auf dem schweizerischen Markt bedient. Insbesondere Photovoltaikanlagen werden angeboten. Produkte reichen von Gesamtlösungen bis hin zum einfachen Vermieten der Dachflächen auf Privathaushalten an die Energieversorger. Andere Technologien wie Mini Blockheizkraftwerke werden in der Schweiz noch nicht angeboten, in Deutschland findet man sie jedoch vermehrt.

Energieberatungen: Etwa die Hälfte aller Unternehmen in sowohl der Schweiz als auch in Deutschland bieten ihren Kunden Energieberatungen in den verschiedensten Bereichen an. Diese Beratungen erstrecken sich von einfachen und kostenlosen Stromeffizienzberatungen zu Thermographie-Analysen der Haushalte oder auch Hauskaufberatungen.

Ausgehend von dieser Vielzahl an Produkten ist es insbesondere interessant zu untersuchen, wie unterschiedlich die einzelnen Unternehmen handeln. Vergleicht man die Produktportfolios der verschiedenen Unternehmen, so fallen schnell grosse Unterschiede auf. Weitgehend unabhängig von der Unternehmensgrösse (Umsatz, Mitarbeiterzahl) und Land (Deutschland, Schweiz) zeigt sich ein breites Spektrum an Produktangeboten. Tabelle 2 im Anhang dient hierbei als Überblick der angebotenen nicht-traditionellen Produkte in unserer Stichprobe.

Wenn man unabhängig von der Art der angebotenen Produkte, auf einer höheren Abstraktionsebene, allein deren Anzahl betrachtet, finden sich bereits grosse Unterschiede zwischen den verschiedenen Unternehmen. Abbildung 17 verdeutlicht diesen Zusammenhang.

Nicht-traditionelle Produkte

Anzahl der nicht-traditionellen Produkten je EVU

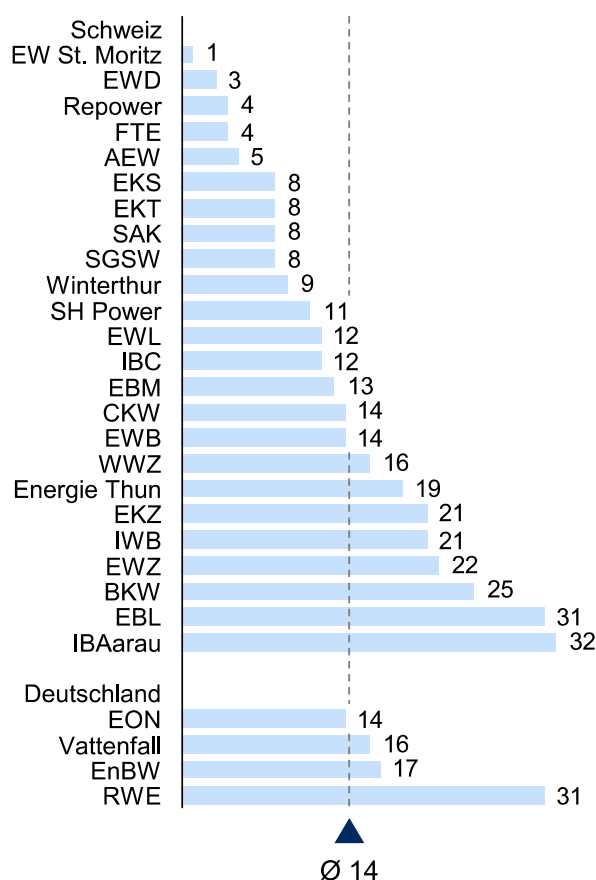


Abbildung 17: Anzahl an Gebäudeeffizienz- und anderer Nicht-Strom Produkten je EVU (Informationen aus dem Internetauftritt der Unternehmen)

Auch wenn man die mögliche Unschärfe der öffentlich verfügbaren Daten berücksichtigt, fällt auf, dass insbesondere in der Schweiz die Anzahl der betrachteten Produkte sehr stark variiert. Kleine Unternehmen wie z. B. das Elektrizitätswerk St. Moritz weisen nahezu keine zusätzlichen Produkte auf und beschränken sich derzeit auf das Kerngeschäft. Diese Tendenz lässt sich auch bei weiteren kleinen Unternehmen wie EWD und FTE beobachten. Um vom Kerngeschäft abweichen zu können, müssen offensichtlich gewisse finanzielle oder personelle Ressourcen vorhanden sein (in St. Moritz sind beispielsweise 22 Mitarbeiter angestellt, in Flims 28 und auch die Umsätze sind die geringsten in unserer Stichprobe, Stand März 2014). Wenn man allerdings von diesen Ausnahmen absieht, so lässt sich kein Einfluss der Grösse feststellen. Es finden sich Beispiele für umsatzstarke Unternehmen, wie Repower, die nur wenige nicht-traditionelle Produkte aufweisen (4), wohingegen relativ kleine Unternehmen wie IBAAarau (32) und EBL (31) eine stark diversifizierte Produktstrategie erkennen lassen. Die Anzahl der nicht-traditionellen Produkte alleine ist allerdings kein belastbarer Indikator für eine erfolgreiche Aufstellung auf dem Markt und lässt auch ohne weitere Untersuchungen keinen direkten Schluss auf die Innovationskraft einer Unternehmung zu.

Ein Unternehmen wie Repower mit einer sehr fokussierten Strategie und einer Vorreiterrolle in ausgewählten Bereichen (BeSmart, Repartner, munx.ch) kann in der Zukunft erfolgreich sein, wenn sich diese Investitionen als richtig und zukunftsweisend erweisen. Andere Unternehmen wie z.B. die IBAAarau AG versuchen ihren Kunden ein möglichst breites Portfolio anzubieten. Produkte in den Bereichen Smart Home, (Elektro-) Mobilität, dezentrale Erzeugung, Heizung und Warmwasser, Telekommunikation, effiziente Elektrik sowie ein breites Beratungsangebot sollen jegliche Kundenwünsche erfüllen.

5.4.2 Rolle der Kooperation

Angesichts der sehr unterschiedlichen Diversifikation des Produktportfolios der Unternehmen stellt sich die Frage, ob es einen Zusammenhang dazu gibt, inwiefern die einzelnen Unternehmen auf unternehmensübergreifende Kooperationen zurückgreifen. Um dieser Frage nachzugehen wurden auf Basis von öffentlichen Informationen die Bereiche, in denen die einzelnen Unternehmen kooperieren, analysiert. Die Ergebnisse dieser Analyse sind im Anhang in Tabelle 3 zusammengefasst. Vergleicht man nun Tabelle 2 und 3 im Anhang, so fällt auf, dass die Kooperationsaktivitäten und Produkte weitgehend dieselben Bereiche abdecken. Dieser Zusammenhang scheint für Produkt- sowie Forschungsk Kooperationen zu bestehen. Der Fokus auf Heizung und Wärme sowie die schwach vertretenen Smart Home Produkte auf dem schweizerischen Markt finden sich hier gleichermassen wieder. Insbesondere der Bereich Smart Home ist in dieser Übersicht interessant, da bei alleiniger Betrachtung von Kooperationen die lediglich zugekauften Produkte nicht mehr erfasst werden. Das Bild wird somit noch deutlicher: Schweizerische Energieversorger sehen im Moment vermutlich noch kein Geschäftsmodell im Bereich Smart Home und verhalten sich sowohl bei Produkten als auch bei Kooperationsaktivitäten zurückhaltend.

Analysiert man die Gesamtheit der Bereiche, in denen die einzelnen Unternehmen kooperieren, so fällt einem schnell ins Auge, dass deutsche Unternehmen in nahezu jedem dieser Bereiche Aktivitäten aufweisen. Dies geht auch mit einer tatsächlich höheren Anzahl an Kooperationsaktivitäten einher.

Abbildung 18 zeigt die absolute Anzahl an Kooperationen je Energieversorger auf. Auch hier ist wieder zu unterstreichen, dass es sich um eine Betrachtung auf Basis von öffentlichen Informationen handelt. Kooperationen, die nicht veröffentlicht werden oder nur informell und mündlich abgeschlossen werden, konnten nicht erfasst werden. Wie auch zuvor lassen sich auch hier jedoch interessante Tendenzen identifizieren, da die Beschränkungen für alle Unternehmen gleichermassen gelten. Weiterhin ist anzunehmen, dass bei den wichtigen Kooperationsaktivitäten formelle Wege bevorzugt werden und diese auch in Homepages und Medien oder Geschäftsberichten erwähnt werden, was zur Folge hat, dass diese auch erfasst wurden.

Kooperationen

Anzahl der Kooperationen je EVU

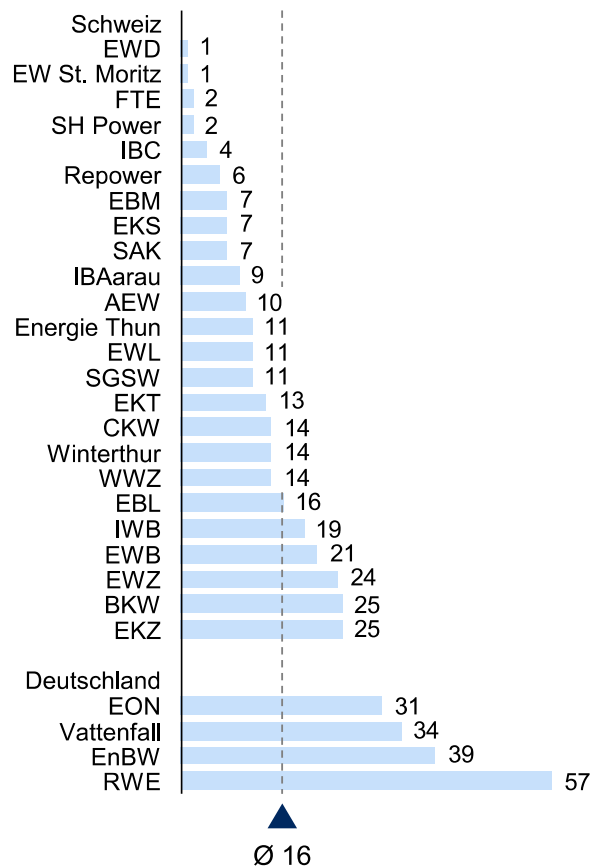


Abbildung 18: Kooperationen je Energieversorger (Informationen aus dem Internet-auftritt der Unternehmen sowie Presse- und Geschäftsberichten)

Analysiert man diese Auswertung, so fällt, analog zu den angebotenen Produkten, eine grosse Varianz zwischen den einzelnen Unternehmen auf. Die kleinen Elektrizitätswerke, wie das in Davos oder das in St. Moritz markieren die untere Schranke mit nur einer Kooperation, wohingegen EKZ und BKW die Anzahl der Kooperationen in der Schweiz mit 25 identifizierten Kooperationen anführen und RWE in Deutschland sogar 57 aufweisen kann. Wie zuvor angesprochen weisen die deutschen Energieversorger generell deutlich mehr Kooperationen auf als ihre Schweizer Konkurrenten. EON verfügt mit 31 Kooperationen über die geringste Anzahl in Deutschland, liegt dabei jedoch immer noch deutlich vor den Spitzenreitern aus der Schweiz.

Was kann ein Grund für die doch signifikant grössere Anzahl von Kooperationen der deutschen Energieversorger sein? Betrachtet man die Gesamtheit der Kooperationen differenziert und unterscheidet zwischen Forschungs- und Produktkooperationen, so ergibt sich ein Erklärungsansatz (Forschungs- und Produktkooperationen können theoretisch mit den Begriffen Exploration und Exploitation nach March (1991) beschrieben werden). Die folgende Abbildung stellt einen Überblick der Forschungsoperationen dar.

Forschungskooperationen Anzahl der Forschungskooperationen je EVU

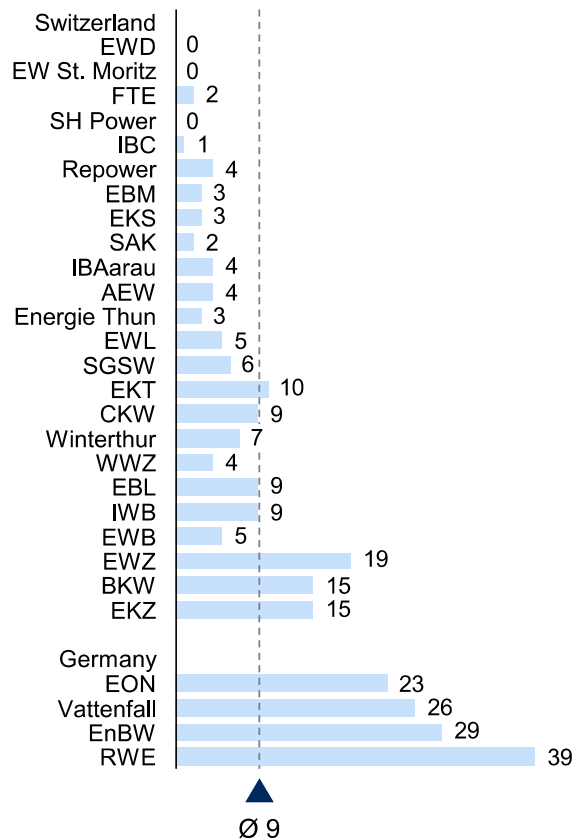


Abbildung 19: Forschungskooperationen je Energieversorger (Informationen aus dem Internetauftritt der Unternehmen sowie Presse- und Geschäftsberichten)

Die grössere Anzahl an Kooperationen der deutschen Energieversorger lässt sich offensichtlich durch deren deutlich erhöhte Anzahl an Forschungskooperationen erklären. Der Branchendurchschnitt liegt bei 9 Forschungskooperationen und nur 4 schweizerische Unternehmen weisen mehr Kooperationen auf. Der Durchschnitt der deutschen Unternehmen liegt mit etwa 31 Kooperationen mehr als drei Mal so hoch. Was können Gründe für diese Unterschiede sein? Ein möglicher Faktor können die Unternehmensgrösse und die grösseren finanziellen Mittel der deutschen Unternehmen sein. Folgt man Lavie et al. (2010), so kann eine erhöhte Mittelverfügbarkeit (Kapital, Personal) Exploration verstärken. Ob dies tatsächlich immer sinnvoll und zielführend ist, wird kontrovers diskutiert (Lavie et al. 2010). Gleichwohl bietet es eine Erklärung für unsere Beobachtungen bei den deutschen Unternehmen und ermöglicht auch eine Erklärung, warum die kleinsten Unternehmen keine Forschungskooperationen aufweisen können. Um das Kooperationsverhalten im schweizerischen Energiemarkt besser verstehen zu können, soll im Folgenden exemplarisch auf drei verschiedene Kooperationen eingegangen werden.

5.4.3 Fallstudien ausgewählter Kooperationen

An dieser Stelle werden drei Kooperationen vorgestellt, die durch innovative Themen oder weitreichenden Zuspruch bzw. eine Vielzahl an Partnern aus der Menge der Kooperationen herausstechen.

Munx.ch

Beschreibung: Das Energiesparportal ist eine Kooperation des Bits to Energy Lab der ETH Zürich, des Bundesamts für Energie, der BEN Energy AG, einem Spin-off der ETH Zürich und der Repower AG. Die Energiesparapplikation wird neben Repower noch von weiteren Partnerunternehmen wie z.B. die IBC Chur oder den Sankt Galler Stadtwerken verwendet (Munx 2014). Mit Energiesparportalen wie

diesem können die Endkunden bzw. Haushalte im spielerischen Wettstreit Energie sparen und sich mit ihren Nachbarn vergleichen. Neben munx.ch finden sich auf dem schweizerischen Energiemarkt noch die Konkurrenzportale Luca, Oscars Energiesparwelt und Dailyplus Energy, die in ähnlichen Kooperationen entstanden sind.

Kooperationsform: Die in der Theorie klar definierten Kooperationsformen sind in der Praxis und insbesondere auf Basis von öffentlichen Informationen schwierig zu identifizieren. Auf dem munx.ch Internetauftritt wird die Zusammenarbeit als eine Forschungsk Kooperation beschrieben. Im Geschäftsbericht lässt sich keine Equity-Beteiligung feststellen. Noch schwieriger ist das Beschreiben der Zusammenarbeit mit weiteren Stadtwerken wie z.B. IBC Chur. Diese werden zwar als Partner beschrieben, wahrscheinlich ist aber eine sehr lose Kooperationsform.

Ressourcen und Fähigkeiten: Repower hat als Energieversorgungsunternehmen Kontakt und Zugang zu den Endkunden im Haushalt und verfügt über ausreichende Mittel dieses Forschungsprojekt mit Partnern zu initiieren, was bei kleineren Stadtwerken nicht gegeben sein muss. Durch eine Kooperation mit Forschungseinrichtungen und dem Bund sowie BENErgy kommen Fähigkeiten aus der Wissenschaft und IT Kompetenzen hinzu, die nötig sind, um ein solches Projekt zu initiieren und auch auszuwerten.

VEiN – Verteilte Einspeisung in Niederspannungsnetze

Beschreibung: Dieses Projekt ist ein Feldversuch zur Erforschung des Einflusses von kleinen, dezentralen Energieerzeugern auf das Niederspannungsnetz. Diese dezentralen Erzeuger können Photovoltaikanlagen auf Privathäusern, Windturbinen, kleine Wasserkraftwerke oder Blockheizkraftwerke mit Gasmotoren oder Brennstoffzellen sein. VEiN wird von einer Vielzahl an Unternehmen und Interessengruppen unterstützt: AEW, BKW, IWB, BFE, CKW, EKZ, EWZ, RE, onyx Mittelland, EWB, WWZ, Stadtwerk Winterthur, Dachverband Schweizer Verteilnetzbetreiber und der Group E sowie die ETH Zürich und die FH Nordwestschweiz (VEiN 2013).

Kooperationsform: VEiN ist ein Feldversuch zum praktischen Erforschen von theoretischen Zusammenhängen. Von daher sehen wir es als eine Forschungsk Kooperation. Equity-Beteiligungen lassen sich ebenfalls nicht in den Geschäftsberichten feststellen (VEiN 2013).

Ressourcen und Fähigkeiten: Folgt man insbesondere dem Organigramm, so wird schnell ersichtlich, dass zwei Interessengruppen im Projekt VEiN vertreten sind. Auf der einen Seite Energieversorgungsunternehmen, die Zugang zu Kunden und vermutlich Kapital aufweisen können, auf der anderen Seite Forschungseinrichtungen, die das theoretische Know-how beisteuern (VEiN 2013).

Energieeffizienz Plug & Play

Beschreibung: Durch Integration eines Webstores können Energieversorger eine breite Palette an Energieeffizienzprodukten anbieten (VSE 2014). Der Onlineshop ist eine für den VSE entwickelte 2. Version des White Label FlexStore der Firma synesix (synesix.com). Die meisten Energieversorger, die Produkte über einen Onlineshop anbieten, nutzen diese Umgebung.

Kooperationsform: Für die Energieversorger handelt es sich um hierbei um eine einfache Lieferbeziehung zum VSE, der das Produkt für seine Mitglieder zu einem Einrichtungspreis von 10 000 CHF sowie ab dem 2. Jahr fällige 299 CHF pro Monat anbietet (VSE 2014). Die Kooperation des VSE mit synesix ist vermutlich loser Natur, da der Shop von synesix als White Label Produkt angeboten wird. Lediglich Anpassungen erfordern Austausch und Zusammenarbeit.

Ressourcen und Fähigkeiten: Die IT Kenntnisse, die zum Aufbau eines solchen Onlineshops nötig sind, sowie die logistischen Hintergrundprozesse werden von aussen durch die Firma synesix beigesteuert. Der VSE als Verband bietet allen seinen Mitgliedern eine auf die Branche zugeschnittene Lösung an und vereinfacht den Prozess erheblich. Die Unternehmen können ihre Kunden nun direkt mit dem Produkt in Kontakt bringen.

5.4.4 Kooperationen und Produkte

Nachdem Kooperationen generell besprochen und einige Beispiele im Detail analysiert wurden, ist die nächste Frage, die sich stellt, wie Kooperationen und Produkte im Verhältnis stehen. Im Folgenden soll deren Verhältnis und Abhängigkeit näher beleuchtet werden. Dazu wird in der folgenden Grafik der Zusammenhang zwischen nicht-traditionellen Produkten und Kooperationen auf Basis der erhobenen Daten dargestellt.

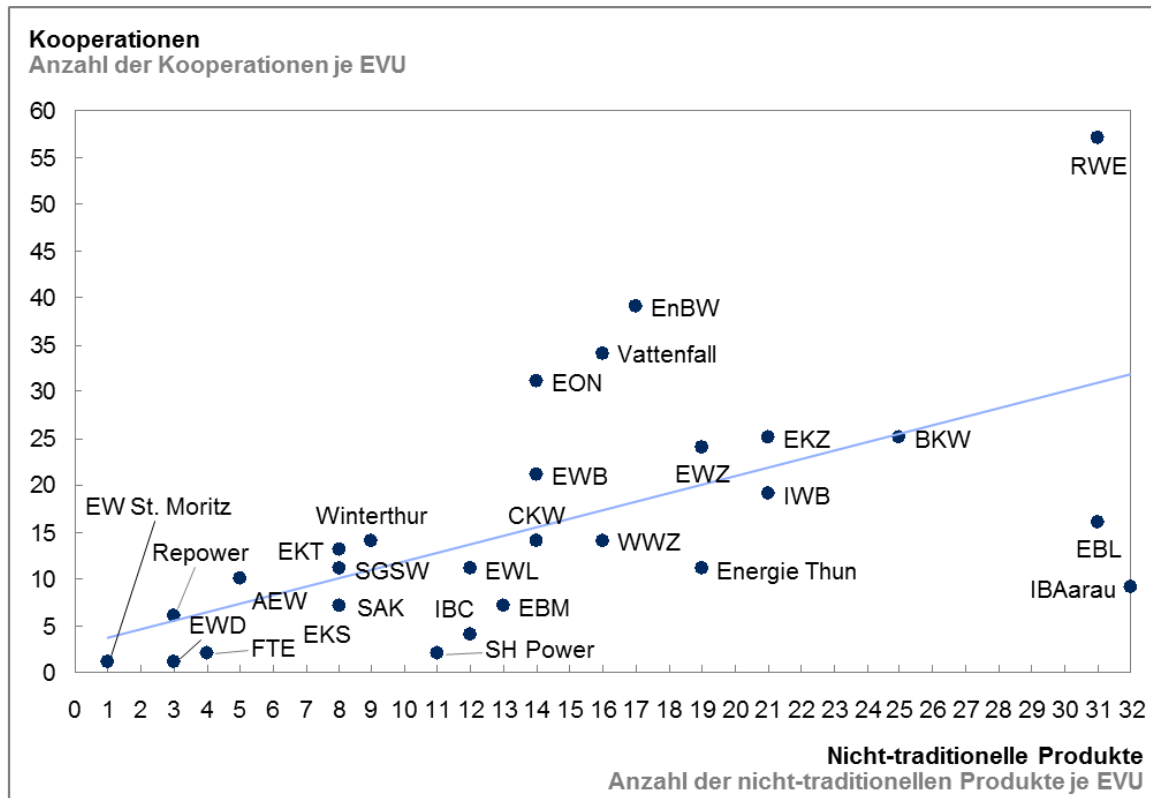


Abbildung 20: Zusammenhang zwischen nicht-traditionellen Produkten und Kooperationsaktivitäten

Die Grafik bestätigt den vermuteten Zusammenhang und zeigt eine Korrelation zwischen den beiden Dimensionen, Produkte und Kooperationen. Zwei Gruppen von Ausreissern konnten jedoch identifiziert werden. Die erste Gruppe, die hier allerdings aufgrund des geographischen Fokus auf die Schweiz nicht im Detail erörtert werden soll, umfasst die deutschen Energieversorger. Bei diesen konnte, wie bereits diskutiert, eine im Verhältnis zu den nicht-traditionellen Produkten stark erhöhte Anzahl von Kooperationen, hauptsächlich verursacht durch die erhöhte Anzahl an Forschungsk Kooperationen, festgestellt werden. Interessanter ist die zweite Gruppe der Ausreisser. EBL und IBAarau weisen im Verhältnis zu ihren Kooperationsaktivitäten eine deutlich grössere Zahl an nicht-traditionellen Produkten auf und die Anzahl oder Art der Kooperationen liefert an dieser Stelle keine einfache Erklärung. Der folgende Abschnitt gibt auf Basis eines Vergleichs der Unternehmen anhand ihrer Geschäftsberichte und mittels qualitativer Interviews einen Erklärungsansatz für das unerwartete Verhalten der beiden Unternehmen.

5.5 Gründe für unterschiedliche strategische Ausrichtung und Ausreisser

Was sind die Gründe dafür, dass sich Unternehmen in unterschiedlichem Masse dafür entscheiden, ihr Produktportfolio auszubauen? Warum greifen einige Unternehmen auf Kooperationen zurück, während andere Unternehmen andere strategische Vehikel zu wählen scheinen? Durch Erkenntnisse aus

den verschiedenen Analysen konnte eine Reihe an Einflussfaktoren identifiziert werden, die in Abbildung 21 zusammengefasst sind.

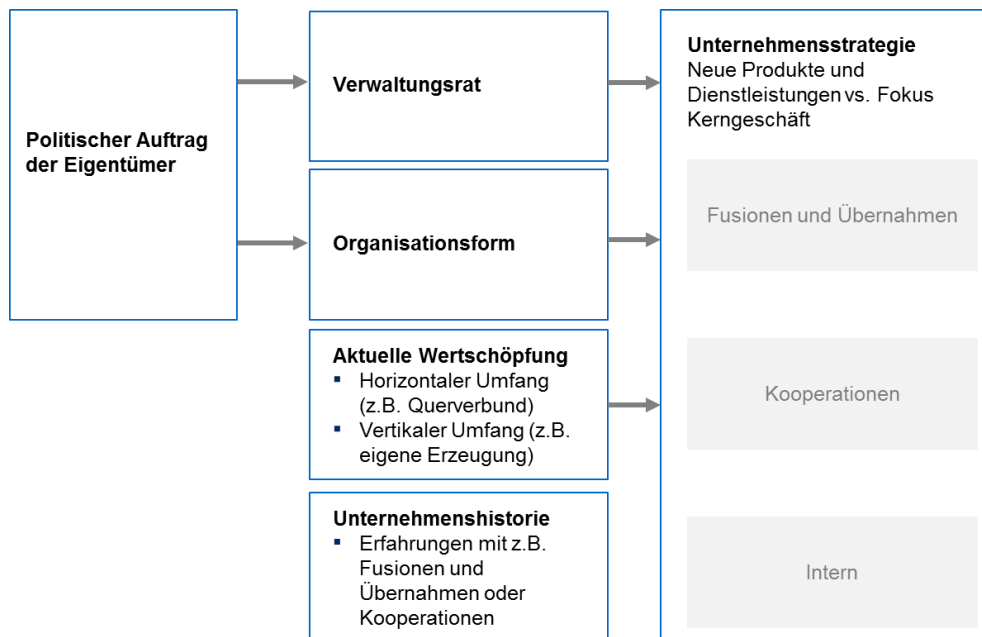


Abbildung 21: Einflussfaktoren auf Unternehmensentscheidungen

Von zentraler Bedeutung für Unternehmensentscheidungen und die Produktstrategie ist der politische Auftrag der Eigentümer an die Unternehmung. Dieser Auftrag wird über die Organisationsform und den Verwaltungsrat in das Unternehmen bzw. die Unternehmensstrategie übertragen. Die Organisationsform der schweizerischen Energieversorger variiert stark. Das Spektrum dieser erstreckt sich von Genossenschaften über Aktiengesellschaften bis zu Dienstabteilungen der einzelnen Städte. Gleichermassen sind auch die Besitzverhältnisse höchst unterschiedlich. Sind die Unternehmensanteile bei Genossenschaften im Besitz der einzelnen Genossenschaftler, d.h. häufig Liegenschaften in der Gemeinde, so gehört ein Stadtwerk bzw. eine Dienstabteilung gewöhnlich der Stadt. In einem Kantonswerk, das als Aktiengesellschaft organisiert ist, hat der Kanton die meisten Anteile und Entscheidungskraft. Abhängig von den Besitzverhältnissen wird auch der Verwaltungsrat als Gremium der strategischen Entscheidungsfindung besetzt und damit Einfluss auf Produkt- und Unternehmensstrategie genommen. Dessen strategische Rolle und weitreichender Einfluss konnte in verschiedenen Interviews bestätigt werden und bietet eine Möglichkeit für weitere Forschung.

Hinsichtlich der Frage, ob ein Unternehmen beim Anbieten, Entwickeln oder Erforschen von neuen Produkten und Technologien Kooperationen oder andere Methoden favorisiert, konnten neben den Eigentumsverhältnissen noch zwei weitere, entscheidende Einflussfaktoren identifiziert werden. Der erste Faktor ist die aktuelle Form der Wertschöpfung im Unternehmen, d.h. die Frage, ob ein Unternehmen horizontal oder vertikal integriert ist, und der zweite Faktor die Unternehmensgeschichte, d.h. in welchen Bereichen ein Unternehmen bereits Erfahrungen gesammelt hat.

Unterschiedliche Ausgangspositionen und bereits vorhandene Fähigkeiten haben entscheidenden Einfluss darauf, ob eine Unternehmung für ein neues Produkt kooperieren muss oder ob bereits ausreichende Ressourcen und Fähigkeiten im Unternehmen vorhanden sind. Horizontal integrierte Unternehmen weisen im Gegenteil zu ihren vertikal integrierten Wettbewerbern bereits Produkte in anderen Sektoren, wie z.B. Wärmeversorgung, Gebäudetechnik oder Telekommunikation auf. Konkrete Beispiele für horizontal integrierte Unternehmen sind die beiden Ausreisser EBL und IBAarau. Durch diese bereits vorhandenen Fähigkeiten sind keine weiteren Kooperationen nötig und Produkte können intern entwickelt werden. Ob diese breite Fächerung tatsächlich gut oder schlecht ist, kann kontrovers diskutiert werden und ist von dem Auftrag der Eigentümer abhängig. Unabhängig davon werden jedoch unter Umständen weniger Kooperationen für die gleiche Anzahl an Produkten benötigt.

Ein zweiter Faktor, der das Verhältnis zwischen Kooperationen und anderen Mechanismen zum Erlangen neuer Fähigkeiten beeinflusst, ist die Historie bzw. sind die Erfahrungswerte einer Unternehmung. Nach Gulati et al. (2000) lernen beispielsweise Unternehmen aus ihren vorherigen Kooperationsaktivitäten. Mit der Zeit kann nicht nur der wirtschaftliche Wert einer bestimmten Kooperation, sondern vielmehr auch der Folgenden gesteigert werden. Firmen werden besser im Kooperieren (Gulati et al. 2000). Analoges kann auch für andere Mechanismen gesagt werden. Viele Firmen im schweizerischen Energiemarkt haben eine eher technisch geprägte Kultur und versuchen möglichst viel selbst, d.h. „auf der grünen Wiese“, umzusetzen. Unternehmen mit dieser Einstellung werden weniger Kooperieren oder Akquirieren, verglichen mit Unternehmen, die eine lange Historie von Kooperationen haben. Analog zum vorherigen Fall der horizontal integrierten Unternehmen ist es hier ebenfalls nicht möglich einen Weg strikt zu bevorzugen. Durch Erfahrungen in einem Bereich werden Firmen besser in diesem und bevorzugen ihn auch in zukünftigen Entscheidungen und bleiben auf ihrem eingeschlagenen Pfad (Danneels 2002).

5.6 Rolle des Verwaltungsrates für strategische Ausrichtung

Autoren: Florian Nägele, Bastien Girod

Der Verwaltungsrat überwacht und kontrolliert Entscheidungen, Aktivitäten (Walsh & Seward 1990), beruft oder entlässt (in Extremfällen) das Management (Castrogiovanni et al. 1992), versorgt das Management mit Informationen aus seinem Umfeld (Zahra & Pearce II 1989) und kann auch eine aktive Rolle bei der Strategieformulierung spielen. Durch diese Aktivitäten nimmt der Verwaltungsrat massgeblich Einfluss auf organisationales Lernen (Tainio et al. 2001). Dennoch weiss man aktuell nur wenig über die genauen Abläufe, die sich hinter der Einflussnahme durch den Verwaltungsrat und die damit zusammenhängende Interaktion mit dem Top-Management verbergen. Aus diesem Anlass haben wir im Rahmen des in diesem Bericht zusammengefassten Forschungsprojekts die Rolle des Verwaltungsrats bei der Veränderung der Unternehmensausrichtung näher untersucht. Insbesondere der Wechsel vom protektionistischen Marktgefüge mit exploitativem Charakter hin zu einem liberalisierten Markt mit Vorgaben zur nachhaltigen Stromerzeugung, die plötzlich eine explorative Herangehensweise erfordern, war dabei im Fokus. Die dazugehörige Forschungsfrage lautet: Wie nimmt der Verwaltungsrat Einfluss auf die Exploitation-Exploration Balance eines Unternehmens in Zeiten des Wandels?

Um die oben aufgeworfene Frage zu beantworten, wurde eine qualitative Fallstudie durchgeführt. In einer theoretisch ausgewählten Stichprobe, bestehend aus derzeit 4 (später 8) Schweizer Energieunternehmen, wurden jeweils Mitglieder des Verwaltungsrats sowie des Kaders in teilstrukturierten Interviews befragt. Durch immer neue regulatorische Veränderungen, primär mit den Zielen nachhaltige Stromerzeugung zu realisieren sowie den schweizerischen Strommarkt zu liberalisieren, wurden und werden Unternehmen gezwungen ihre strategische Ausrichtung, d.h. ihre Exploitation-Exploration Balance anzupassen. Während sie lange Zeit als Monopolisten keine Abwanderung ihrer Kunden befürchten mussten, ist eine Vorbereitung auf die Dynamiken in einem freien Markt nun unumgänglich. Die sich daraus ergebenden Dynamiken auf den Ebenen Verwaltungsrat und Top-Management waren Gegenstand unserer Untersuchung.

Basierend auf den erhobenen Daten lässt sich feststellen, dass in Abhängigkeit der Zusammensetzung des Verwaltungsrats und des Kaders, der Impuls für eine strategische Umorientierung einer Firma sowohl vom Top-Management als auch vom Verwaltungsrat kommen kann. Je nach Impulsgeber unterscheiden sich im Anschluss die Interaktionsmuster zwischen den beiden Instanzen bei einer Neuausrichtung der Unternehmensstrategie, d.h. dem Prozess des organisationalen Lernens. Dabei konnten wir zwei archetypische Pfade identifizieren: Falls der Lernimpuls vom Top-Management ausgeht und noch nicht vom Verwaltungsrat erkannt oder proklamiert wurde, ist es Aufgabe des Managements den Verwaltungsrat mit entsprechenden Informationen zu versorgen und zu begründen, wa-

rum und wie genau eine Uorientierung in Richtung Exploration vorgenommen werden sollte. Das Management stösst dabei unweigerlich bereits (einseitig) in explorative Bereich vor, auch wenn noch keine Einigkeit über eine gemeinsame Ausrichtung besteht (siehe (a) in Abbildung 22).

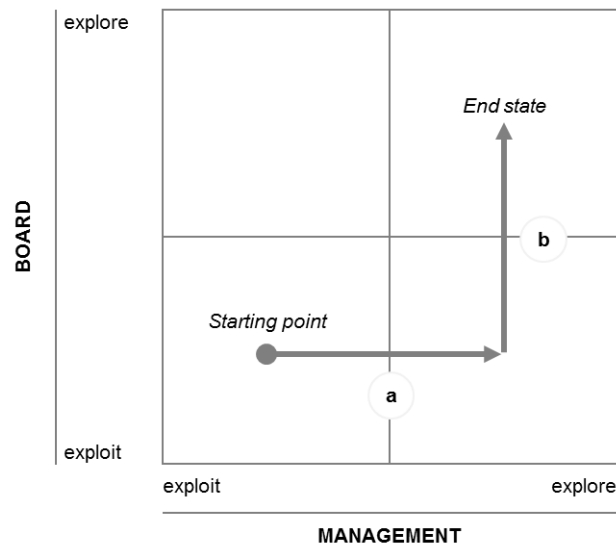


Abbildung 22: Lernimpuls geht vom Top-Management aus

Der Verwaltungsrat bleibt zunächst seiner Rolle als Überwachungs- und Kontrollinstanz treu und berät ggf. über eine Freigabe der neuen strategischen Elemente (auf Basis der vom Top-Management ausgearbeiteten Vorschläge). Eine derartige Proaktivität des Managements wird vom Verwaltungsrat grundsätzlich als vertrauensbildend wahrgenommen, wenngleich auch die Inhalte der vorgeschlagenen Strategieänderung entscheidend sind. Gleichwohl kann ein solch proaktives Vorgehen und das Vorschlagen einer explorativeren Strategie das Management selbst in Frage stellen, auch dann, wenn das Top-Management den Verwaltungsrat von einer explorativeren Ausrichtung überzeugen kann (b). Nämlich genau dann, wenn im Rahmen einer für das Unternehmen richtig und wichtigen Neuausrichtung bestehende Personalien z.B. nicht mehr strategiekompatibel sind. Das kann z.B. dann der Fall sein, wenn aufgrund des vorherigen Unternehmenskurses Kadermitglieder für den neu eingeschlagenen Kurs gegen aussen nicht mehr die gleiche Glaubwürdigkeit aufweisen oder mit dem neuen Kurs auch andere fachliche Kompetenzen gefragt sind – das Management kann also Gefahr laufen sich durch den Vorschlag einer neuen Strategie selbst „überflüssig“ zu machen. Auf der anderen Seite besteht die Gefahr, dass eine zu enge Kontrolle des Managements durch den Verwaltungsrat das Management „frustriert“ und dadurch organisationales Lernen im Ansatz verhindert wird.

Geht der Impuls zur Neuausrichtung der Exploitation-Exploration Balance vom Verwaltungsrat aus, dann verändert der Verwaltungsrat seine Rolle und übernimmt proaktive Aufgaben, die z.B. mit den Begriffen Service und Strategie (Zahra & Pearce II 1989) beschrieben werden. Der Verwaltungsrat agiert dabei proaktiver als das Top-Management und muss den Kader von der Notwendigkeit zunehmender Exploration überzeugen (siehe (c) in Abbildung 23). Dabei rutscht das Top-Management in eine reaktive Rolle und muss ggf. die neue Strategie des Verwaltungsrats umsetzen. Eine solche Situation verringert typischerweise das Vertrauen des Verwaltungsrats in das Management und in die Kompetenz zur Unternehmensführung. Vertrauen ist schnell verloren und kann nur mühsam oder u.U. gar nicht wiedergewonnen werden. Als Konsequenz bei hoher Diskrepanz zwischen den beiden Instanzen kann der Verwaltungsrat den Kader neu zu besetzen, d.h. Personalentscheidungen treffen. Eine Entlassung bedarf aber grösserer Differenzen und teilweise können solche Veränderungen im Rahmen der natürlichen Personalfuktuationen des Management adressiert werden. Gleichzeitig begibt sich der Verwaltungsrat bei einer solch proaktiven Rolle bei der Strategieformulierung auf aussergewöhnliches Terrain, abseits von seiner traditionellen Überwachungs- und Kontrollfunktion. Derart proaktives Verhalten (d.h. Service und Strategie) ist nicht immer einfach mit dem Selbstverständnis und dem Kompetenzprofil eines Verwaltungsrats zu vereinbaren. Es besteht z.B. Konfliktgefahr mit

der (persönlichen) Haftung, dem daraus resultierenden eher risikoaversen Verhalten eines Verwaltungsrats und einer aus unternehmerischer Perspektive möglicherweise angebrachten explorativen Strategie.

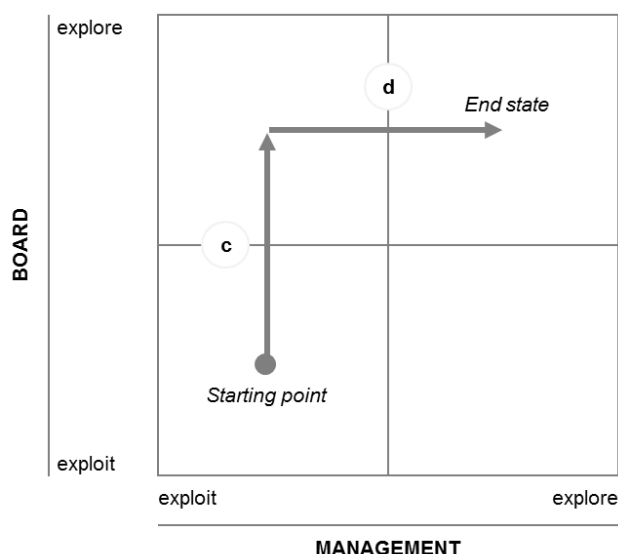


Abbildung 23: Lernimpuls geht vom Verwaltungsrat aus

Eine erfolgreiche Neuausrichtung erfordert daher die Fähigkeit, sowohl seitens des Managements als auch seitens des Verwaltungsrats, Wandel rechtzeitig zu erkennen. Des Weiteren ist ein gewisses Mass an Diskrepanzen zwischen Verwaltungsrat und Management in vielen Fällen die Grundvoraussetzung für die im Folgenden konstruktiven Dialoge. Es darf allerdings nicht passieren, dass dabei insbesondere auf Seiten des Verwaltungsrats der Eindruck entsteht, dass Management komme seinen Aufgaben in der Strategieentwicklung nicht nach. Dementsprechend wichtig ist die Fähigkeit in Zeiten des Wandels viel und offen zu kommunizieren. Das dadurch gestärkte Vertrauen ist Grundvoraussetzung um die jeweils andere Partei von einer strategischen Umorientierung überzeugen zu können. Dadurch sind einerseits umfangreichere Umorientierungen überhaupt erst möglich, und andererseits können ineffiziente Personalwechsel vermieden werden. Diese und ähnliche Überlegungen sind Teil des derzeit laufenden Forschungsvorhabens zum Thema „Einfluss des Verwaltungsrats auf organisationales Lernen“. Die oben genannten Erkenntnisse sind dabei als erste abstrahierte Erkenntnisse auf Basis der ersten Interviews zu verstehen und werden in den folgenden Monaten weiter entwickelt und vertieft.

5.7 Synthese und Ausblick

Autoren: Florian Nägele, Bastien Girod

In dieser Analyse konnte ein erster Überblick über den schweizerischen Energiemarkt sowie die schweizerischen Energieversorgungsunternehmen gewonnen werden. Es wurde gezeigt, dass EVU eine Vielzahl an Produkten in den Bereichen Smart Home, Heizung und Wärme, dezentrale Erzeugung, Informations- und Telekommunikationstechnologie, E-Mobilität und effiziente Elektrik verfolgen. Bei dieser Betrachtung fällt jedoch auch die unterschiedliche Herangehensweise der schweizerischen EVU auf. Es gibt Unternehmen, die passiv auf Liberalisierung und die Veränderung des Marktes reagieren und eine abwartende Haltung mit wenigen neuen Produkten einnehmen, jedoch auch eine grosse Anzahl an Energieversorgern, die den Veränderungen proaktiv entgegen blicken. Weiter lassen sich innerhalb der Gruppe proaktiver Unternehmen verschiedene Strategien feststellen. Es gibt auf der einen Seite vertikal integrierte, fokussiert agierende Unternehmen, wie z.B. Repower, die mit wenigen nicht-traditionellen Produkten auftreten, aber dabei dennoch versuchen eine dominante Rolle und Technologieführerschaft einzunehmen. Auf der anderen Seite stehen diversifizierte Unternehmen, wie die IBAarau, die horizontal integriert sind und eine Vielzahl an Produkten und Dienstleistungen für

ihre Endkunden anbieten. Diese Haltung ist z.T. durch die Eigentümerstrategie oder durch Unternehmensgrösse bestimmt, da zu kleine Unternehmen nicht über das humane und finanzielle Kapital verfügen, um in neue Technologien zu investieren. Auf der anderen Seite gibt es aber auch eine Vielzahl von proaktiven Unternehmen in fast jeglicher Grössenordnung und unabhängig von der Organisationsstruktur. Welche Strategie langfristig erfolgsversprechender ist, kann hier nicht beantwortet werden und wird die Zukunft zeigen.

Unabhängig von der Ausrichtung konnte in diesem Kapitel aufgezeigt werden, dass die meisten Unternehmen neue Produkte und Technologien über Kooperationen entwickeln und anbieten. Diese Strategie konnte in Interviews, einer quantitativen Datenerhebung mit Hilfe von öffentlich zugänglichen Daten sowie theoretisch durch eine Literaturrecherche untermauert werden. Kooperationen sind ein sinnvolles und vielfältig eingesetztes Mittel, um neue Fähigkeiten in einer unsicheren Umgebung wie dem schweizerischen Energiemarkt zu erlangen. Gewisse Ausreisser in der Analyse konnten ebenfalls durch eine Analyse der Form der aktuellen Wertschöpfung, sowie der Historie einer Unternehmung plausibilisiert werden.

Die Frage, warum Unternehmen verschiedene Produktstrategien verfolgen, konnte noch nicht hinlänglich beantwortet werden und erfordert weiteren Forschungsaufwand. Relevante Einflussfaktoren konnten allerdings bereits mit dem Eigentümerauftrag, dem Verwaltungsrat sowie der Organisationsform identifiziert werden. Insbesondere die Rolle des Verwaltungsrats und die Interaktion mit dem Kaderteam bei einer Neuorientierung der Unternehmensstrategie sind dabei aus theoretischer Sicht heute nur ungenügend verstanden. In einer qualitativen Studie wurden eine Auswahl von Verwaltungsratsmitgliedern und Managementvertretern zur Rolle und Interaktion von Verwaltungsrat und Management befragt. Auf Basis der Daten zeigt sich, dass obwohl grundsätzlich eine Initiative seitens des Managements erwartet wird, vereinzelt auch der Verwaltungsrat direkt bei der Ausarbeitung der Strategie entscheidend mitwirkt. Dies geschieht über die als dem Verwaltungsrat allgemein zugeschriebene Kontrollfunktion hinaus. Ein massives Eingreifen des Verwaltungsrats in die Strategieausarbeitung (nicht die Beurteilung der selbigen) ist dabei jedoch ein Zeichen für schwindendes Vertrauen in die Exekutive einer Firma ist. Eine hierüber hinausgehende Beschreibung der Dynamiken und Implikationen für die Strategiebildung von Unternehmen erfordert jedoch weitere Forschung.

6 Regulatorische Rahmenbedingungen für energieeffiziente Gebäude

Autoren: Alexander Langguth, Tillmann Lang, Bastien Girod

Dieses Kapitel beschreibt mögliche Massnahmen des Staates zur Verbesserung von Energieeffizienzlevels durch die Unterstützung der Verbreitung energieeffizienter Technologien. Dabei wird insbesondere auf die verschiedenen energiepolitischen Instrumente und Determinanten ihrer Effektivität eingegangen. Anschliessend wird ein Überblick über die derzeitige energiepolitische Massnahmenlandschaft der Schweiz und Europas gegeben. Abschliessend werden neueste Ergebnisse zur Effektivitätsbewertung energiepolitischer Massnahmen präsentiert und der Einfluss solcher Massnahmen auf die priorisierten Technologien dieses Berichts diskutiert.

Die Kernaussagen dieses Kapitels lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Verschiedene Energieeffizienzbarrieren legitimieren auch aus ökonomischer Sicht staatliche Eingriffe zur Förderung der Energieeffizienz.
- Es existiert eine Vielzahl an regulatorischen Massnahmen zur Unterstützung von Energieeffizienz. Verschiedene Länder setzen sehr verschiedene Massnahmenpakete ein, um ihre jeweiligen Energieeffizienzziele zu erreichen.
- Die Effektivität regulatorischer Massnahmen hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab, u.a. dem Massnahmentyp (Instrument), dem Massnahmenmix, der Stringenz sowie zahlreicher anderer Faktoren.
- Als stärkste Einflussfaktoren auf das Energieeffizienzniveau in der EU und Norwegen haben sich Energiepreise sowie legislative Massnahmen (Gebäudestandards) erwiesen. Andere Instrumente können aber einen wichtigen indirekten Beitrag zur Verbesserung der Gebäudeeffizienz leisten.

6.1 Theoretischer Überblick über verschiedene politische Massnahmen und Instrumente sowie Determinanten ihrer Effektivität

In der Forschung wird die Nutzung von regulatorischen Massnahmen zur Verbreitung energieeffizienter Technologien oft mit der Notwendigkeit der Überwindung von Diffusionsbarrieren und Marktversagen gerechtfertigt (vgl. Stoneman und Diederer 1994; Jaffe und Stavins 1994; Gillingham und Sweeney 2010; Golove und Eto 1996). Zudem kann Regulierung die Transaktionskosten zwischen Marktakteuren verringern und somit zusätzliche Anreize schaffen, um energieeffiziente Technologien anzubieten und nachzufragen (Golove und Eto 1996).

Regulatorische Massnahmen zur Steigerung von Energieeffizienz können Technologiediffusion in zwei Weisen beeinflussen: durch die Unterstützung der Entwicklung neuer Technologien („Technology-push Policies“, z.B. Fördergelder für Forschung & Entwicklung) oder durch Anregung der Nachfrage nach energieeffizienten Technologien („Demand-pull Policies“, z.B. Einspeisevergütung für PV-Anlagen) (Nemet 2009). Dieser Report bezieht sich auf nachfrageorientierte Massnahmen, da diese sich in der Vergangenheit als effektivste Werkzeuge zur Verbreitung von Technologien erwiesen haben (Nemet 2009). Die Effektivität von Demand-pull Policies hängt unter anderem von ihrer Konsis-

tenz mit der langfristigen politischen Zielsetzung ab. Diese Ziele werden je nach Organisationsstruktur zum Beispiel zunächst auf nationaler Ebene (z.B. Bundesebene) beschlossen und dann auf regionaler Ebene (z.B. Kantonsebene) umgesetzt. Dabei haben die regionalen Organisationseinheiten zumeist auch eigene Gesetzgebungsrechte. Innerhalb der EU werden zudem EU-weite Direktiven beschlossen, welche die einzelnen Mitgliedsstaaten dann in nationales Gesetz umwandeln. Dem Schweizer Gesetzgeber dienen diese Direktiven in der Regel zur Orientierung. Der Prozess der Gesetzgebung in der Schweiz und in der EU ist in Abbildung 24 nochmals veranschaulicht.

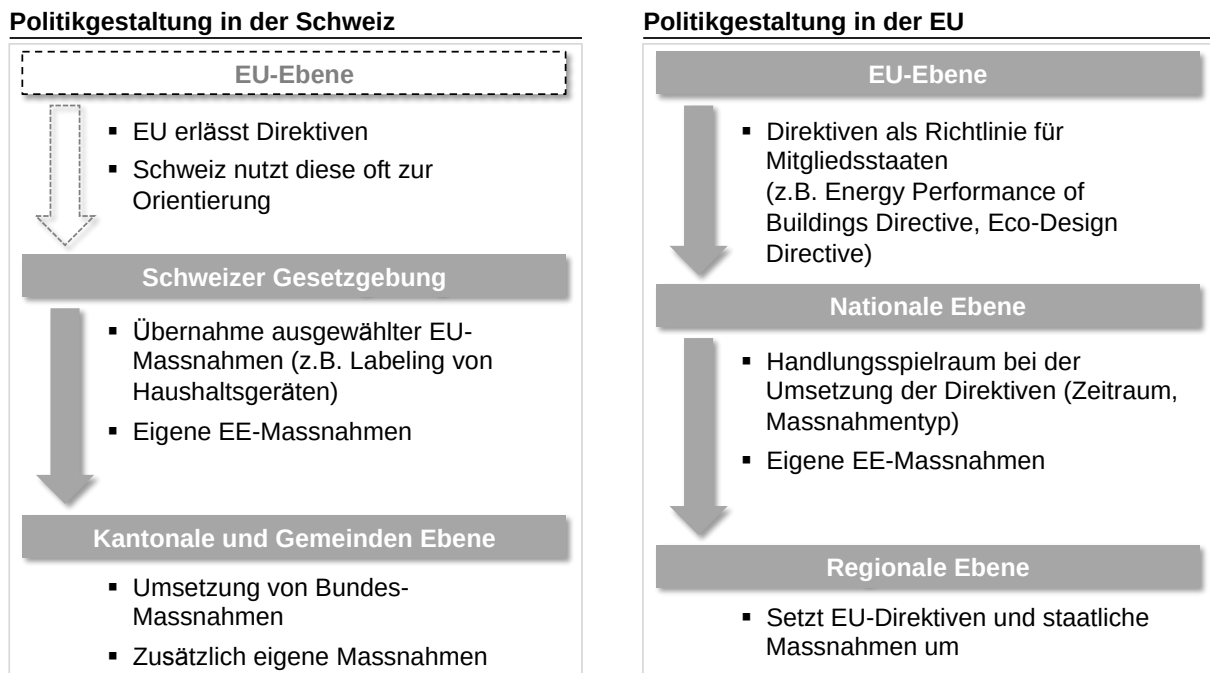


Abbildung 24: Gesetzgebungsprozess in der Schweiz und der EU

Bei der Umsetzung dieser energiepolitischen Ziele stehen dem Gesetzgeber verschiedene Instrumente zur Verfügung. Diese Instrumente werden in der Literatur oft unterschiedlich diskutiert. In diesem Report schlagen wir eine umfassende Klassifizierung vor, welche mehrere akademische Arbeiten aufnimmt, hauptsächlich aber auf der Klassifizierung der MURE-Energieeffizienz Massnahmen Datenbank beruht (IEEPEC et al. 2011). Wie in Tabelle 13 veranschaulicht, unterstützen politische Massnahmen die Nachfrage von energieeffizienten Technologien entweder durch Vorschriften (legislative Massnahmen), durch das Schaffen finanzieller und fiskaler Anreize, dem Bereitstellen von Informationen (Labels, Informationskampagnen) oder durch alternative Ansätze wie kooperative Massnahmen.

Tabelle 13: Instrumente politischer Massnahmen (basierend auf IEEPEC et al. 2011)

Instrument	Definition	Beispiel
Legislative Massnahmen	Standards und Vorschriften, welche minimale Akzeptanzlevels für Energieeffizienzniveaus in Gebäuden vorschreiben	• Bauvorschriften für Isolierungen • Standards für Elektrogeräte
Labels und Informationskampagnen	Vorschriften, welche allein der Information von Haushalten bezüglich Energieeffizienz dienen	• Zertifizierungen von Gebäuden • Labels für Elektrogeräte
Finanzielle Unterstützung	Finanzielle Unterstützung für die Implementierung oder Aufrüstung energieeffizienter Technologien	• Finanzielle Zuschüsse vom Staat
Fiskale Anreize	Anreize durch die Gewährleistung von Vorzugskrediten und Steuerreduktionen für Investitionen in energieeffiziente Technologien	• Vorzugskredite • Mehrwertsteuerreduktionen
Kooperative Massnahmen	Verschiedene freiwillige Massnahmen, welche der Information, Beratung und Bildung dienen	• Public-Private-Partnerships
Freiwillige Instrumente	Freiwillige Vereinbarungen zwischen privaten Unternehmen und Regierungen zur Förderung von Energieeffizienz	• Rabatte für energieeffizientes Equipment
Marktbasierte Instrumente	Massnahmen, welche auf Marktmechanismen vertrauen und somit entsprechende Anreize über den Markt setzen	• CO₂-Steuern • Zertifikathandel

Jedes energiepolitische Instrument adressiert verschiedene Energieeffizienz-Barrieren. In einer Studie zu nachfrage-orientierten Massnahmen im Gebäudesektor untersuchen Haney et al. (2011) im Detail, welche Barrieren von einem bestimmten politischen Instrument adressiert werden. Demnach adressieren legislative Massnahmen eine Vielzahl von Barrieren, wie zum Beispiel das Investor-NutzerDilemma sowie Trägheit und Gewohnheiten. Ein Baustandard für neue Gebäude könnte demnach zur Beseitigung des Investor-Nutzer Dilemmas beitragen, indem er den Vermieter verpflichtet, in energieeffiziente Technologien zu investieren. In der Schweiz ist dies, im Gegensatz zu den meisten EU Ländern, jedoch nur bedingt möglich, da das schweizerische Recht keine Regulierung von bestehendem Eigentum erlaubt. Finanzielle Unterstützung, fiskale Anreize und marktbasierte Instrumente dienen im Gegensatz zu den legislativen Massnahmen der Beseitigung von Barrieren, wie tiefen Energiepreisen, Risiko und Unsicherheit und Zugang zu Kapital. So kann eine Regulierung der Energiepreise durch marktbasierte Instrumente (z.B. Pigou-Steuer) dazu beitragen, dass Energiepreise für den Konsumenten höher sind. Somit verringert sich auch das Risiko einer Investition, da die Rentabilität einer Investition in Energieeffizienz bei steigenden Energiepreisen steigt. Labels und Informationskampagnen adressieren vorwiegend Informationsmangel und Trägheit und Gewohnheit von potentiellen Käufern durch die Bereitstellung von wesentlichen Technologie-Informationen. Zudem dienen sie zur Unterstützung von Installation und Gebrauch von energieeffizienten Technologien. Kooperative Massnahmen lassen sich letztlich nur sehr schwer einer bestimmten Barriere zuordnen, da diese sehr diverse Gestalten annehmen können (Haney et al. 2011).

Diese Beispiele verdeutlichen, dass es kein „One-type-fits-all“-Instrument gibt, welches der Gesetzgeber zum Erreichen seiner Effizienzziele einsetzen kann. Da es diverse Barrieren zur Adoption von energieeffizienten Technologien gibt, muss der Gesetzgeber vielmehr einen ausgewogenen Mix von Massnahmen in seine politische Strategie zur Steigerung von Energieeffizienz in Gebäuden aufnehmen (Rogge und Reichardt 2013). Der Instrumentenmix ist dabei nicht nur eine Kombination verschiedener Instrumente, sondern hängt auch von Interaktionen zwischen verschiedenen Instrumenten ab. In der Forschung gibt es viele Studien, die versuchen zu beschreiben, welche Eigenschaften des Mixes von Instrumenten am relevantesten sind. Die *Konsistenz*, die *logische Zusammensetzung*, die *Glaubwürdigkeit*, die *Stabilität* und die *Vollständigkeit* sind beispielsweise wichtige Eigenschaften, welche in der Forschung oft als relevant für einen effektiven Instrumentenmix genannt werden (Rogge

& Reichardt 2013; Kern & Howlett 2009). Neben der Wahl der politischen Instrumente ist ausserdem die Ausgestaltung einzelner Massnahmen von Relevanz. Dies beinhaltet verschiedenste Kriterien, wie zum Beispiel die Ambition des Gesetzgebers, die Reichweite und das finanzielle Budget einer Massnahme. In diesem Bericht stellen wir acht der wichtigsten Determinanten effektiver politischer Massnahmen vor (siehe Tabelle 14) (Rogge und Reichardt, 2013; Kemp und Pontoglio, 2011; Hascic et al. 2012).

Tabelle 14: Determinanten der Effektivität energiepolitischer Massnahmen

Determinante	Definition	Beispiel	Quelle
Stringenz	Das Level der Ambition einer Massnahme in Hinblick auf ihr Ziel und Design	Höhe des maximal erlaubten Energiekonsums eines elektrischen Haushaltsgerätes (z.B. Kühlschränke)	(Rogge & Reichardt 2013)
Höhe der Unterstützung	Menge der Unterstützung durch den Gesetzgeber (insbesondere relevant für finanzielle Massnahmen und fiskale Anreize)	Höhe des jährlichen Budgets für Subvention zur Förderung von Gebäudeisolationen	(Rogge & Reichardt 2013)
Vorhersagbarkeit	Grad der Sicherheit verbunden mit der Entwicklung zukünftiger, energiepolitischer Aktivitäten in Bezug auf Inhalte politischer Massnahmen und das Timing der Implementierung solcher Massnahmen	Vorhersehbarkeit der Entwicklung von Energiesteuern könnte einen Einfluss Investitionsentscheidungen von Haushalten haben	(Rogge & Reichardt 2013)
Flexibilität	Grad der Freiheit für Energiekonsumenten in Bezug auf die Umsetzung der Massnahme	Minimal-Standard für Gesamt-Gebäudeeffizienz statt Vorschriften für einzelne Bauelemente	(Rogge & Reichardt 2013)
Differenzierung	Umfang und Spezifität einer Massnahme in Bezug auf die Geographie, die Sektoren, die Zielgruppen und die Technologien, die sie adressiert	Informationskampagnen könnten nur der Bewusstseinssteigerung in Bezug auf Energiekonsum dienen oder auch konkrete Beratung zu Investitionen anbieten	(Hascic et al. 2012)
Ausmass der Unterstützung	Grad, zu dem eine Massnahme der Unterstützung bis hin zur Installation von energieeffizienten Technologien unterstützt wird oder nur einen Teil davon	Finanzielle Unterstützung kann nur für das Informieren von Konsumenten dienen oder auch Investitionskosten einschliessen	(Hascic et al. 2012)
Glaubwürdigkeit	Grad der Glaubwürdigkeit des Gesetzgeber bezüglich des Einhaltens von Versprechen und Ankündigungen	Glaubwürdigkeit der Gesetzgeber, ob die versprochene finanzielle Unterstützung für PV-Dachanlagen tatsächlich gewährleistet wird oder nicht, könnte Investitionsverhalten von Haushalten beeinflussen	(Kemp & Pontoglio 2011)
Umsetzungsschärfe	Höhe des institutionellen Drucks zur Einhaltung und Durchführung politischer Massnahmen	Jährliche Inspektionen von Gebäuden (z.B. Audits) zur Sicherstellung, ob Gebäudevorschriften eingehalten werden	(Kemp & Pontoglio 2011)

6.2 Überblick über bestehende politische Massnahmen für Energieeffizienz

Nachdem ein theoretischer Überblick über die politischen Rahmenbedingungen im Bereich Energieeffizienz in Gebäuden gegeben wurde, befasst sich dieses Teilkapitel nun mit der deskriptiven Beschreibung der energiepolitischen Landschaft in der Schweiz und in der EU.

6.2.1 Beschreibung der politischen Landschaft in der Schweiz

2013 hat der Schweizer Bundesrat seine neue Energiestrategie 2050 verabschiedet und damit die energiepolitischen Ziele der Schweiz neu formuliert. Eines der Ziele ist es den durchschnittlichen Energieverbrauch pro Person und Jahr bis 2050 um 54% (im Vergleich zum Basisjahr 2000) zu verringern. Dafür will der Bundesrat verstärkt Energieeffizienzmassnahmen fördern und implementieren (Maurer und Casanova 2014).

Tabelle 15 veranschaulicht die derzeitigen und geplanten energiepolitischen Massnahmen des Schweizer Bundesrates sowie geplante Änderungen im Rahmen der Energiestrategie 2050. Neben den nationalen Instrumenten sind auch kantonale und kommunale Instrumente wichtig, welche aber nicht aufgeführt sind.

Tabelle 15: Energieeffizienzmassnahmen des Bundes im Rahmen der Energiestrategie 2050 (Maurer und Casanova 2014)

Bereich	Ausgewählte aktive Massnahmen	Ausgewählte Massnahmen & geplante Massnahmen des ersten Massnahmenpakets der Energiestrategie 2050
Gebäude	- Erhöhung der CO₂-Abgaben von 36 auf 60 Franken pro Tonne CO₂ per 2014, weitere Schritte sind für 2016 und 2018 geplant in Abhängigkeit von Zwischenzielen - Unterstützung kantonaler Massnahmen (z.B. Weiterentwicklung von Normen und Standards, MuKE, harmonisiertes Fördermodell oder Gebäudeenergieausweis der Kantone) sowie Finanzierung von Projekten wie MINERGIE (Qualitätslabel für neue und modernisierte Gebäude) oder energo (Kompetenzzentrum für Energieeffizienz in Gebäude)	- Von Zwischenzielen losgelöste Erhöhung des minimalen Abgabesatz auf 85 Franken pro Tonne CO₂ - Verstärkung des Gebäudeprogramms durch den höheren Gesamtertrag aus der CO₂-Teilzweckbildung (jährliches Budget von rund 525 Million Franken) - Neue Auflagen an die Kantone: gemeinsames, harmonisiertes Basisförderprogramm für die energetische Sanierung der Gebäudehüllen und den Ersatz ortsfester elektrischer oder Ölheizungen, Entrichtung von Förderbeiträge an Gebäudesanierungen nur beim Vorlegen eines Gebäudeenergieausweises
Elektrogeräte	- Effizienzanforderungen für gewisse Gerätekategorien (bist jetzt 13) - Unterstützung von Programmen, welche auf die Verbreitung effizienter Elektrogeräte abzielen (Bestgeräte-Programme)	- Periodische Weiterentwicklung der Effizienzvorschriften entsprechend dem technischen Fortschritt und Ausweitung auf weitere Gerätekategorien, insbesondere auf Elektromotoren - Verstärkung der finanziellen Anreize für Bestgeräte - Ergänzende indirekte Massnahmen, wie die Verstärkung der Kommunikations- und Beratungsaktivitäten
Stromlieferanten	keine konkreten Massnahmen aktiv	- Stromlieferanten ab einem jährlichen Absatz von 30 GWh: Einführung von verpflichtenden Effizienzzielen (angelehnt an die EU-Energieeffizienzrichtlinie) bei ihren schweizerischen EndkundInnen - Stromlieferanten bis einem jährlichen Absatz von 30 GWh: Möglichkeit zur Leistung einer Ersatzabgabe anstelle der verpflichtenden Effizienzziele - Erzielte Effizienzgewinne werden mit einem weissen Zertifikat bestätigt, welches frei unter den verpflichteten Unternehmen handelbar ist
Erneuerbare Energien	- Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) ist seit 2009 verfügbar, jedoch durch einen Gesamtdeckel begrenzt (maximaler Netzzuschlag von 1.5 Rp./kWh) - Möglichkeit zum freien Vermarkten des ökologischen Mehrwerts des Stroms (z.B. am Ökostrommarkt) anstelle der KEV - Einmalige Investitionshilfe (Einmalvergütung) für kleine Photovoltaik-Anlagen (bis 30 kW) in Höhe von max. 30 % der Investitionskosten	- Erhöhung des Gesamtkostendeckels auf 2.3 Rp./kWh und Auflösung der bisherigen Teildeckel für einzelne Technologien - Umbau der KEV zu einem Einspeisevergütungssystem mit Direktvermarktung: Ökologischer Mehrwert wird durch eine Einspeiseprämie in Abhängigkeit der Steuerbarkeit der Anlage vergütet - Einführung einer Untergrenze für die Förderung der Kleinwasserkraft (keine Förderung für Anlagen kleiner 300 kW) - Optimierung der Vergütungssätze, welche einerseits nicht mehr kostendeckend sein sollen und andererseits, über Auktionen bestimmt werden können - Erarbeitung eines gesamtschweizerischen Konzepts für den Ausbau erneuerbarer Energien in Bezug auf raumplanerische Aspekte - Verkürzung und Vereinfachung der Bewilligungsverfahren

6.2.2 Beschreibung der politischen Landschaft in der EU

Betrachtet man die energiepolitische Landschaft in Europa über Zeit (siehe Abbildung 25), ist ersichtlich, dass die politische Aktivität europäischer Länder in den letzten Jahren stark zugenommen hat. Dabei sind drei Meilensteine politischer Aktivität besonders hervorzuheben:

- **2002: Energy-Performance of Buildings Directive (Directive 2002/91/EC):** Die Energy-Performance of Buildings Richtlinie verpflichtet die Mitgliedstaaten der EU, Gebäudestandards einheitlich zu implementieren. Zudem schreibt die Richtlinie das Zertifizieren neuer Gebäude vor (European Parliament 2003).
- **2005: Eco-design Directive for Energy-using Products (2005/32/EC):** Eco-design ist eine Richtlinie der EU, die neue Standards für Haushaltsgeräte (z.B. Kühlschränke, Fernseher, Waschmaschinen, Spülmaschinen) setzt und zudem das transparente Zertifizieren der Geräte vorschreibt.
- **2009: Performance of Heat Generators for Space Heating and Hot Water Directive (92/42/EEC):** Diese Richtlinie der EU verpflichtet ihre Mitgliedsstaaten zur Unterstützung von Heizungssystemen sowie effizienteren Wasserboilern.

Wie Ergebnisse aus unseren Studien im Rahmen dieses Projektes zeigen, unterscheidet sich die Umsetzung dieser Direktiven stark von Land zu Land innerhalb der EU. Insbesondere die Anzahl und der Mix politischer Instrumente variiert deutlich. Dies ist dadurch zu erklären, dass die EU zwar länderübergreifende Klimaziele und entsprechende, verbindliche Direktiven vorgibt, jedes Land aber selbst über die konkrete Umsetzung entscheiden kann. Die Anzahl politischer Massnahmen per Instrumententyp in Europa ist in Abbildung 26 veranschaulicht (marktbasierte Instrumente und kooperative Massnahmen sind als „Sonstige“ spezifiziert). Legislative Massnahmen sind insbesondere in den Ländern Bulgarien, Italien, Slowakei und Spanien vertreten. Labels und Informationskampagnen sind in allen Ländern gleichermassen oft vertreten. Finanzielle Unterstützung ist als Massnahme hingegen eher in Estland, Luxemburg, Norwegen, Spanien und dem Vereinigten Königreich populär. Monetäre Anreize, kooperative Massnahmen und marktbasierte Instrumente nehmen eine Nischenrolle ein.

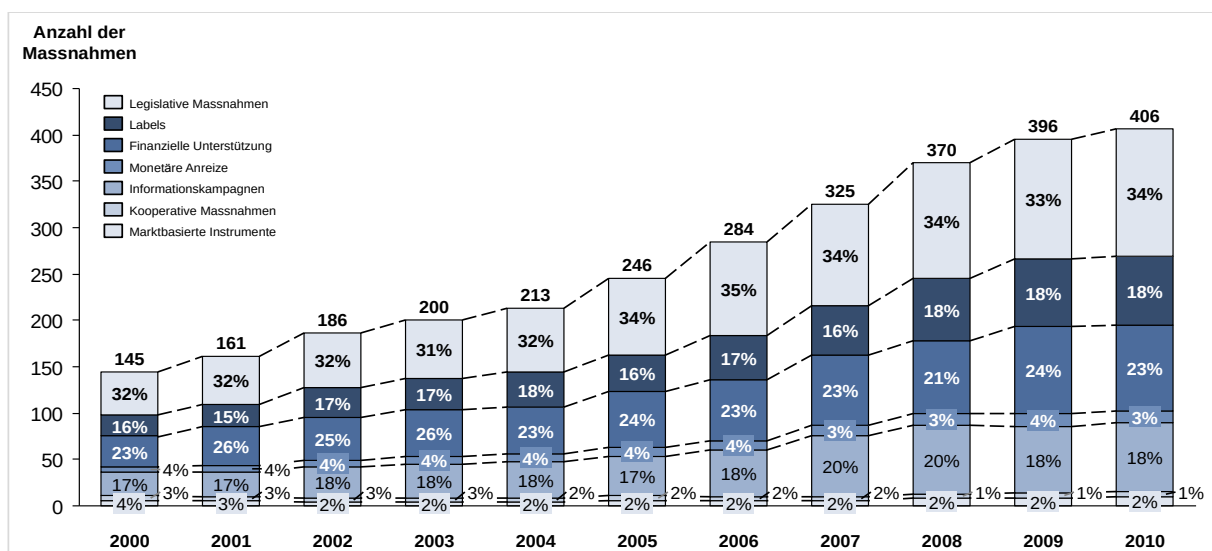


Abbildung 25: Kumulierte Anzahl politischer Massnahmen im Verlauf der Zeit (2000 – 2010) (IEEPEC et al. 2011)

Stellt man die Anzahl politischer Massnahmen der relativen Verringerung des Energiekonsums je Gebäude gegenüber, lässt sich jedoch beobachten, dass sich eine höhere Anzahl von Massnahmen nicht automatisch in erhöhter Energieeffizienz auswirkt (siehe Abbildung 27). Das liegt nicht nur am bereits erwähnten Einfluss von Gestaltungscharakteristika der politischen Massnahmen, sondern auch an anderen wichtigen Einflussfaktoren wie beispielsweise Energiepreisen und Einkommensniveaus.

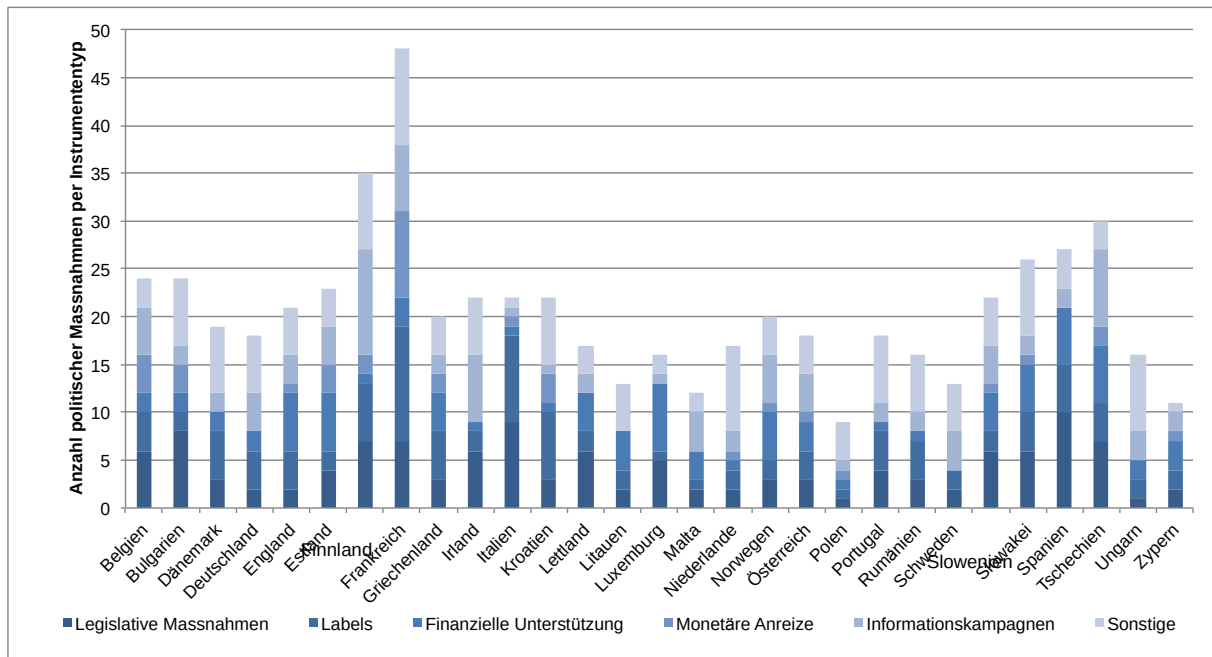


Abbildung 26: Energiepolitische Landschaft Europäischer Länder in 2010 (IEEPEC et al. 2011)

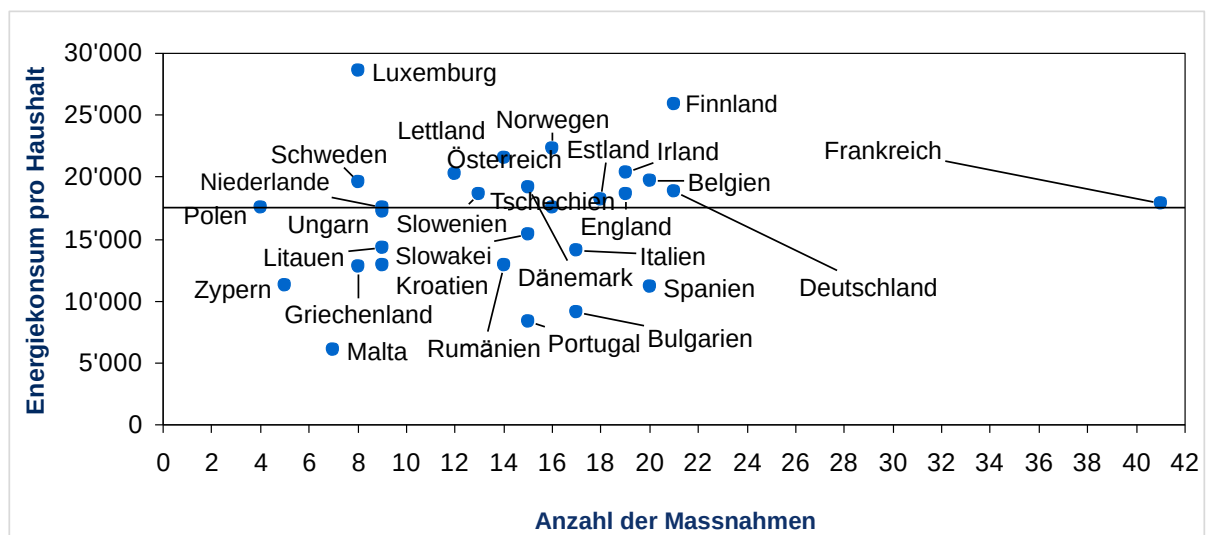


Abbildung 27: Anzahl energiepolitischer Massnahmen vs. prozentuale Verringerung des Energiekonsums von 2000 – 2010 (IEEPEC et al. 2011; Enerdata 2012)

6.3 Bewertung der Effektivität ausgewählter politischer Effizienzmassnahmen

Die Forschung zeigt, dass verschiedene Eigenschaften von politischen Massnahmen verschiedene Effekte auf Energieeffizienz haben können. Wie bereits in den vorgehenden Teilkapiteln beschrieben, können insbesondere die Wahl politischer Instrumente (Jaffe et al. 2002; Popp et al. 2010; Requate 2005; Johnstone et al. 2010; Hascic et al. 2012), das Design individueller Massnahmen (Rogge und Reichardt 2013; Kemp und Pontoglio 2011; Ashford et al. 1985; Frondel et al. 2007), aber auch der Massnahmenmix (Sovacool 2009; Rogge & Reichardt 2013; Flanagan et al. 2011) entscheidend für die Effektivität politischer Interventionen zur Beseitigung von Barrieren energieeffizienter Technologien sein. Dies zeigt auch die Praxis, in welcher sich verschiedene Instrumente als unterschiedlich effektiv erweisen. Welche Instrumente allerdings am effektivsten sind, ist bis heute noch nicht vollständig ver-

standen. Auch in der Forschung gibt es nur wenige ex-post Analysen, die den Erfolg politischer Interventionen untersuchen. Sorrell et al. (2011) fassen zusammen:

„Bis heute fokussierten sich Wissenschaftler zu stark auf das Modellieren von dem was erreicht werden könnte und nicht auf die Bewertung von dem[,] was man bereits erreicht (oder nicht erreicht) hat. Daher sollte die Evaluation von politischen Massnahmen viel mehr Aufmerksamkeit geniessen.“

Im Rahmen einer Masterarbeit wurde die Effektivität energiepolitischer Massnahmen in Europa bezüglich ihres Einflusses auf die Entwicklung der Energieeffizienz für Raumwärme in Gebäuden untersucht. Dabei wurden alle Massnahmen der EU-28 sowie Norwegens innerhalb des Zeitraumes von 1980 bis 2010 analysiert. Für eine detaillierte Dokumentation der Analyse und der Ergebnisse siehe Artikel „How do energy efficiency policies reduce energy use in residential buildings? An evaluation of European countries“ (Girod et al. n.d.) sowie die Masterarbeit „How to Close the Gap? - An Ex Post Evaluation of Policy Effects on Energy Efficiency in Europe's Residential Building Sector“ (Langguth 2013). Im Folgenden werden die Schlüsselergebnisse dieser Studien zusammengefasst:

- Der **Energiepreis** hat einen wichtigen Einfluss auf die Energieeffizienz. Dies entspricht den Erwartungen, da hohe Energiepreise die Investition in energieeffiziente Heizungssysteme sowie Gebäudeisolationen rentabler machen und die Amortisationszeit verringern. Zudem können hohe Energiepreise das Konsumverhalten (z.B. Innentemperatur, Lüftung) von Haushalten verändern.
- **Politische Aktivität**, gemessen als Anzahl politische Instrumente zur Verbesserung der Energieeffizienz in Gebäuden, zeigt auch einen wichtigen Effekt auf die Reduktion des Energieverbrauchs. Dieser Effekt ist im Vergleich zu dem von Energiepreisen etwas kleiner. Dabei ist zu beachten, dass die politische Aktivität im Unterschied zu Energiepreisen direkt beeinflusst wurde.
- **Legislative Massnahmen** stellen sich als das effektivste, politische Instrument heraus. Es hatte einen ähnlichen Effekt wie Energiepreise. Dabei haben nicht nur die Anzahl legislativer Massnahmen einen signifikant positiven Effekt auf Energieeffizienz sondern auch die Stringenz von Isolationsvorschriften. Wie in Unterkapitel 2.1 beschrieben, können legislative Massnahmen insbesondere dabei helfen, das Inverstor-Nutzer Dilemma zu umgehen sowie Trägheit und Gewohnheitsbarrieren zu überwinden.
- Ein Effekt von den **übrigen politischen Instrumenten** (Labels, finanzielle Unterstützung, fiskale Anreize, Informationskampagnen) kann in dieser Studie nicht nachgewiesen werden. Dies muss jedoch nicht bedeuten, dass andere politische Massnahmen keinen Einfluss auf Energieeffizienz haben, sondern nur dass der Effekt mittels der verwendeten Methode nicht nachgewiesen werden konnte. Weitere Analysen sind notwendig um zu beweisen, ob diese Instrumente einen Einfluss haben oder nicht.
- Die Kontrollvariable **Einkommen pro Person** hat ebenfalls einen starken Einfluss auf Energieeffizienzlevels. Höhere Einkommen erhöhen den Komfortanspruch, welcher mit einer stärkeren Isolation möglich ist (Raumklima und Lärmschutz). Höhere Einkommen erleichtern auch den Zugang zu Kapital und erleichtern somit Investitionen in neuere, oft auch energieeffiziente Technologien und steigern so letztlich die Effizienz eines Gebäudes.

Zudem konnten komplementäre Untersuchungen zur Effektivität von politischen Massnahmen zur Verbesserung von Energieeffizienz in Gebäuden zeigen, dass solche Massnahmen verschiedene Effekte haben, wenn sie in Bezug auf unterschiedliche Technologien implementiert werden. Labels könnten beispielsweise einen starken Einfluss auf die Verbreitung energieeffizienter Haushaltsgeräte haben, jedoch wirklos in Bezug auf Energieeffizienz im Wärmebereich sein (mehr hierzu im folgenden Kapitel 6.4).

6.4 Möglichkeiten politischer Einflussnahme auf die Verbreitung priorisierter Technologien

Politische Massnahmen zur Steigerung von Energieeffizienz sind sehr vielseitig und variieren auch bezüglich der Technologien, welche sie adressieren (De T'Serclaes 2007). Deshalb haben Massnahmen des Staates auch unterschiedliche Einflüsse auf jede der in diesem Bericht priorisierten Technologien. Im Folgenden werden die Möglichkeiten zur politischen Unterstützung der Verbreitung dieser Technologien diskutiert. Grundlage der hier aufgeführten Punkte sind insbesondere die Ergebnisse der Gruppendiskussionen des dritten SER Workshops zu Regulierung und Barrieren vom 26. März 2014. Zusätzlich liefert die Literatur Hinweise zu den Möglichkeiten von politischer Einflussnahme (vgl. Haney et al. 2011), auch unter Zuhilfenahme der Zuordnung relevanter Barrieren (siehe Kapitel 3.3) hergeleitet. Tabelle 16 beschreibt Möglichkeiten der regulatorischen Rahmenbedingungen für die in diesem Report priorisierten Technologien.

Tabelle 16: Möglichkeiten durch Änderungen der regulatorischen Rahmenbedingungen für priorisierte Technologien

Technologie	Möglichkeiten politischer Einflussnahme
PV-Dachanlagen	• Beibehalten der Einspeisevergütungen zur Sicherstellung der Rentabilität von PV-Installationen für potentielle Investoren • Finanzielle Unterstützung für Anschaffungsinvestitionen in Form von Subventionen oder zinsgünstigen Darlehen können Investitionsbereitschaft für Gebäudebesitzer erhöhen
Intelligente Heizungssteuerungen	• Informationskampagnen zu Einsparmöglichkeiten durch intelligente Heizungssteuerungen
LED Beleuchtung	• Periodisch zu aktualisierende Labels für effiziente Beleuchtungsprodukte (mit dem Ziel der Informationsaufbereitung für potentielle Käufer)
Wärmepumpen	• Verpflichtung zur Installation von Wärmepumpen beim Bau neuer Gebäude, so dass kollektiv irrationales Verhalten (z.B. Investor-Nutzer Dilemma) vermindert werden kann • Finanzielle Unterstützung für Anschaffungskosten in Form von Subventionen oder zinsgünstigen Darlehen können Investitionsbereitschaft für Gebäudebesitzer erhöhen
Energieeffiziente Weissgüter	• Periodische Intensivierung der Effizienzstandards für neue Haushaltsgeräte, sodass nicht-effiziente Geräte sukzessive aus den Markt gedrängt werden und nur noch effiziente Geräte verkauft werden • Periodisch adaptiertes Labeling von effizienten Geräten zur Information potentieller Käufer
Gebäudehülle	• Direktes Vorschreiben der Isolationsstandards, die bei Renovierung oder dem Bau neuer Gebäude einzuhalten sind, sodass kollektiv irrationales Verhalten (z.B. Investor-Nutzer Dilemma) vermindert werden kann • Finanzielle Unterstützung für Anschaffungskosten in Form von Subventionen oder zinsgünstigen Darlehen können Investitionsbereitschaft für Gebäudebesitzer erhöhen
Alle	• Änderung der Regulierung zu Energiepreisen (z.B. CO₂-Steuer oder Streichung von Subventionen für fossile Energiequellen), so dass Einsparpotentiale durch das Tätigen einer Investition garantiert werden können

6.5 Synthese

Dieser Bericht hebt hervor, dass es eine Lücke zwischen dem optimalen Energieeffizienzniveau und dem tatsächlichen Energieeffizienzniveau im schweizerischen Gebäudesektor gibt. Diese Lücke kann – laut Literatur - hauptsächlich auf die Existenz von Barrieren zurückgeführt werden, welche die Verbreitung energieeffizienter Technologien verlangsamen oder gar verhindern. Es wurde zudem herausgestellt, dass es eine Vielzahl von Barrieren gibt, die für die im Rahmen des SER Projektes untersuchten Technologien relevant sind. Um diese Barrieren zu überwinden und somit Energieeffizienzlevels zu erhöhen, gibt es zahlreiche Massnahmen, die Unternehmen wie auch der Staat ergreifen können. Zumeist bedarf es jedoch innovativer Lösungsansätze um die Dynamik des Marktes zu verstehen und

adäquat zu adressieren. Die folgenden Punkte können aus der Forschung der ETH zu Barrieren und Regulierungen abgeleitet werden:

- ***Um Energieeffizienz in Gebäuden zu erhöhen, ist es essentiell die Gründe für das Zustandekommen von suboptimalen Effizienzniveaus zu verstehen.*** Einer der Gründe ist die mangelnde Diffusion von energieeffizienten Technologien. Eine individuelle Betrachtung einer bestimmten Technologie in Hinblick auf die Barrieren, welche die Verbreitung dieser Technologie beeinflussen, schafft eine gute Informationsbasis um die Dynamik des Marktes besser zu verstehen.
- ***Sobald die Gründe für nicht-optimale Energieeffizienz in Gebäuden und der schleichenden Verbreitung dieser Technologien bekannt sind, können Massnahmen zu deren Überwindung entwickelt werden.*** Die Gesetzgeber haben zahlreiche Möglichkeiten Energieeffizienz durch die Förderung bestimmter Technologien zu erhöhen. Jedoch ist es wichtig zu erkennen, welche Massnahmen am effektivsten sind um eine bestimmte Technologie in den Markt zu tragen. Die Betrachtung von Barrieren hilft bei der Suche nach innovativen Lösungsansätzen.
- ***Staatliche Eingriffe können helfen Energieeffizienz in Gebäuden zu erhöhen, bergen jedoch auch Gefahren.*** Das Ziel des Gesetzgebers ist es Energieeffizienzniveaus im Gebäudesektor nachhaltig zu erhöhen. Dafür implementiert der Staat zahlreiche Massnahmen um zu gewährleisten, dass sich energieeffiziente Technologien schnell im Markt verbreiten. Allerdings können staatliche Interventionen auch negative Einflüsse auf Effizienzniveaus haben. Kooperative Ansätze zwischen Staat und der Industrie können deshalb ein effektiver Ansatz sein, um Massnahmen zur Steigerung von Energieeffizienz effektiv zu gestalten.

7 Technologie-Fallstudien

In diesem Kapitel wird das wirtschaftliche Potential von drei ausgewählten Technologien vertieft untersucht. Das Kapitel ist dementsprechend in drei Abschnitte unterteilt. Der erste Abschnitt 7.1 befasst sich mit intelligenten Heizungssteuerungen, wobei die wesentlichen Kernaussagen dieses Abschnittes wie folgt lauten:

- Intelligente Heizungssteuerung ermöglicht in allen untersuchten Haushalten eine Erhöhung der Energieeffizienz. Die relativen Einsparungen lagen dabei im Durchschnitt bei ca. 25%. Gleichzeitig wurde im Vergleich zu heute oft üblichen programmierbaren Thermostaten eine Erhöhung des Komforts ermöglicht, da ungenau programmierte Anwesenheitszeiten vermieden werden.
- Insbesondere in alten Gebäuden mit einem hohen absoluten Heizbedarf können durch intelligente Heizungssteuerung Effizienzpotenziale realisiert werden und es ergeben sich für den Endkunden attraktive Amortisationszeiträume (unter 2 Jahren).
- Wohnungen, die an eine Zentralheizung angeschlossen sind, können nicht durch eine intelligente Steuerung am Heizkessel optimiert werden. Es bedarf einer derzeit noch nicht kommerziell verfügbaren Einzelraumsteuerung.

Im zweiten Abschnitt 7.2 wird das Potential von Lastprognosen für Gebäude untersucht. Die erzielten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Der externe Wert der Stromverbrauchsprognosen, die durch ein Gebäude selbst erstellt werden können, ist sehr gering und damit ökonomisch für ein Geschäftsmodell zunächst uninteressant ($<0,5\%$ der gesamten Stromrechnung für Deutschland und 1-3% der gesamten Stromrechnung für die Schweiz). Selbst bei einer perfekten Vorhersage entstehen kaum Einsparpotenziale.
- Nicht direkt untersucht wurde, ob Lastprognosen für Gebäude in Zukunft möglicherweise einen Wert erzeugen, indem sie beispielsweise helfen Energiespeicher (Batterien, Wärmepuffer) optimal zu nutzen.

Im letzten Abschnitt 7.3 werden Aufdach-Solaranlagen untersucht. Die wesentlichen Kernaussagen dieses Abschnittes lauten wie folgt:

- Die Förderunterstützung von Photovoltaik befindet sich im Umbruch, weshalb neue Konzepte (z.B. Eigenverbrauch) langfristig die Profitabilität einer PV-Anlage gewährleisten müssen, wenn Einspeisetarife nicht mehr verfügbar sind.
- In der durchgeführten Studie wurde das wirtschaftliche Potential von Aufdach-Solaranlagen für verschiedene Gebäudetypen untersucht. Es hat sich gezeigt, dass Mehrfamilienhäuser sowie grosse Bürogebäude heute schon für PV-Eigenverbrauchsanlagen wirtschaftlich interessant sind, auch ohne Förderunterstützung.
- Für die weitere Diffusion von Eigenverbrauchsanlagen stellt vor allem die Finanzierung eine grosse Barriere dar, welche aber durch neue Geschäftsmodelle umgangen werden kann.

7.1 Intelligente Heizungssteuerung

Autoren: Thomas Kasper, Florian Nägele, Bastien Girod

7.1.1 Einleitung

Innerhalb des Wirtschaftsprogramms Europa 2020 wurde das Ziel formuliert, die Energieeffizienz bis 2020 um 20% zu steigern. Dies bedingt die Formulierung nationaler Ziele; so wurde im Energiekonzept für Deutschland eine Reduzierung des Wärmebedarfs im Wohnsektor bis 2020 um 20% gefordert

(Energiekonzept 2010). Zur Zielerreichung können etablierte Energieeffizienzmassnahmen angewendet werden, beispielsweise die Erneuerung der Gebäudeisolation oder der Heizungsanlage. Jedoch führen der hohe Aufwand sowie hohe Investitionskosten, die mit diesen Massnahmen verbunden sind, zu niedrigen Erneuerungsraten von ca. 1,5% im Falle der Gebäudeerneuerung in der Schweiz (SIA 2012). Daher ist die Erreichung der Zielstellung auch unter optimistischen Szenarien sehr ehrgeizig (Schimschar et al. 2011).

Durch neue Produktentwicklungen im Bereich Heizungssteuerungen entsteht eine Handlungsalternative zur Steigerung der Energieeffizienz im Wohnsektor. So können intelligente Heizungssteuerungen unter Berücksichtigung des Bewohnerverhaltens sowie Wetter- und Gebäudeinformationen erhebliche Einsparungen von Heizenergie bei nur marginaler Beeinflussung des Komforts der Bewohner ermöglichen. Derzeitig verfügbare Produkte sind für den Wohnsektor beispielsweise Nest in USA und Kanada, tado° im europäischen Markt und für den gewerblichen Sektor eGain (eGain 2013; tado° 2013; Nest 2013). Aufgrund der überwiegend fossil geprägten Beheizungsstruktur im Wohnsektor in der Schweiz und in Deutschland werden durch den Einsatz intelligenter Heizungssteuerungen hohe CO₂-Emissionsreduktionen ermöglicht. Im Gegensatz zur Erneuerung der Wärmedämmung oder Heizungsanlage ist die Installation von intelligenten Heizungssteuerungen (IHCS - intelligent heating control system) bereits mit einem deutlich geringeren Aufwand möglich.

Im Folgenden wird eine Technologie- und Potentialbetrachtung von IHCS durchgeführt und anschliessend Barrieren für deren Diffusion und Regulierungsinstrumente zur Überwindung dieser untersucht. Abschliessend werden mögliche Geschäftsmodelle für Anbieter intelligenter Heizungssteuerungen genannt.

7.1.2 Technologiebetrachtung

Innerhalb der Technologiebetrachtung werden zunächst technische Eigenschaften von IHCS beschrieben. Anschliessend werden ökonomische und energetische Aspekte für deren Betrieb erläutert, auf der eine nachfolgende Betrachtung nationaler Emissionsreduktionspotentiale aufbaut.

Technische Beschreibung

Die technische Beschreibung beinhaltet zunächst eine Darstellung des Funktionsprinzips typischer IHCS. Weiterhin wird auf die Installation und Betriebsführung des Systems sowie auf technische Einschränkungen eingegangen.

Funktionsprinzip: Die Heizungssteuerung erfolgt mittels einer Box, die mit der vorhandenen Therme verbunden wird und mit einem Server kommuniziert, welcher den Algorithmus zur Heizungssteuerung bereitstellt. Durch eine Adaption der Heizleistung auf das Bewohnerverhalten sowie das Gebäude- und Heizungssystem wird ein bedarfsgerechtes, "intelligentes" Heizen ermöglicht. Darüber hinaus werden aktuelle Wettervorhersagen aus dem Internet eingebunden, um die Heizleistung bei prognostizierter Sonneneinstrahlung zu reduzieren.

Installation: Die Box ersetzt das bestehende Thermostat und wird direkt an der Therme angebracht. Die Umrüstung kann vom Bewohner selbst durchgeführt oder alternativ als Servicedienst vom Unternehmen übernommen werden. Diese Box muss im nächsten Schritt an das Internet angebunden werden, beispielsweise durch Kopplung an ein bestehendes Heimnetzwerk. Derzeitige Lösungen sind bereits durch das Einstecken in vielfach vorhandene Router betriebsbereit.

Betrieb⁸: Die Box sowie die Smartphones der Haushaltsbewohner kommunizieren kontinuierlich mit dem Server. Durch die App werden die Temperaturwünsche und die Nutzerlokalisierung der Bewohner an den Server weitergegeben, welcher mithilfe des Algorithmus in kurzen Zeitabständen die optimale Steuerung der Heizung berechnet und an die Box weitergibt. Die Box passt hiernach die Heiz-

⁸ Angelehnt an tado°-System (tado° 2013)

leistung an und überprüft innerhalb eines geschlossenen Regelkreises den thermischen Zustand des Innenraums.

Technische Einschränkungen: Für die Nutzung von IHCS muss der Haushalt über ein kompatibles Heizsystem verfügen. Für Zentralheizungen sind anwendbare IHCS derzeit noch in Entwicklung, zudem ist eine Kompatibilität mit Anlagen sämtlicher Heizsystemhersteller erst für zukünftige Produktversionen zu erwarten. Darüber hinaus benötigt der Nutzer eine Internetverbindung und ein Smartphone.

Energetische Betrachtung

Die energetische Betrachtung erfolgt zunächst auf Haushalts-, anschliessend auf sektoraler Ebene in der Schweiz. Hierfür wurde der Heizenergieverbrauch in einer thermischen Gebäudesimulation auf Basis empirischer Langzeitdaten von 285 Haushalten ermittelt (siehe (Kasper 2013)).

Das spezifische Einsparpotenzial intelligenter Heizungssteuerungen wurde in Bezug auf den Bestand derzeitiger Heizungssteuerungen berechnet und ist für verschiedene Gebäudearten in Tabelle 17 aufgetragen. Das grösste Einsparpotenzial intelligenter Heizungssteuerungen besteht innerhalb alter Gebäudetypen mit Baujahr bis 1980 (siehe Tabelle 17). Durch die hohen Wärmeverluste in diesen Gebäudetypen ist der Heizenergieverbrauch höher, weswegen das spezifische Einsparpotenzial um mehr als 50% grösser im Vergleich zu neuen Gebäudetypen ist. Für das Einfamilienhaus besteht aufgrund der höheren Wärmeverluste an die Umgebung ein höheres spezifisches Einsparpotenzial im Gegensatz zum Mehrfamilienhaus, in welchem angrenzende beheizte Wohneinheiten einen zusätzlichen Wärmebeitrag für den Haushalt liefern.

Tabelle 17: Einsparpotenziale intelligenter Heizungssteuerungen für verschiedene Gebäudearten

Gebäudetyp	Spezifisches Einsparpotenzial pro Haushalt in kWh/m ² p.a. ⁹ (Median über Testhausbewohner)	Sektorales Einsparpotenzial in GWh p.a. ¹⁰
Einfamilienhaus Baujahr bis 1980	20	1210
Einfamilienhaus Baujahr 1981-2000	15	362
Einfamilienhaus Baujahr nach 2000	13	133
Mehrfamilienhaus Baujahr bis 1980	17	3047
Mehrfamilienhaus Baujahr 1981-2000	13	595
Mehrfamilienhaus Baujahr nach 2000	10	215

Finanzielle Auswirkungen

Im Folgenden werden die finanziellen Auswirkungen des Einsatzes intelligenter Heizungssteuerungen auf den Haushalt betrachtet. Im Gegensatz zu Einsparungen von Energie und Emissionen ist hieraus

⁹ Einsparung des Netto-Heizenergiebedarfs (ohne Berücksichtigung von Verlusten durch Heizanlage und -rohren)

¹⁰ Mit Berücksichtigung der Beheizungsstruktur, bestehender Heizungsregelungen (gewichteter Durchschnitt) sowie durchschnittlicher Gebäudegrösse für eine Gebäudeart

das Diffusionspotential der Technologie ableitbar, da die Kaufentscheidung hiervon unmittelbar beeinflusst wird (Zumbühl 2013).

Es wurden die finanziellen Einsparungen im Energieverbrauch im Median der Bewohnerverhalten für verschiedene Gebäudetypen ermittelt. Hierfür wurden die jährlichen Einsparungen in den Energiekosten anhand durchschnittlicher Wohnungsgrößen und Energiekosten mit den spezifischen Einsparungen aus Tabelle 17 für einen jeweiligen Gebäudetyp verrechnet. Der jährliche finanzielle Nutzen entsteht durch die Verrechnung der laufenden Technologiekosten für den Haushalt, welche auf Basis derzeit angebotener IHCS mit 100 CHF ermittelt wurden.

Für die Berechnung des Kapitalwertes der Technologie wurde eine Abschreibungszeit und Lebensdauer von 5 Jahren und eine Diskontierungsrate von 4% angenommen. Weiterhin belaufen sich die Investitionskosten des Systems auf 250 CHF, wovon 150 CHF für die Hardware und weitere 100 CHF für die Installationskosten anfallen.

Tabelle 18: Jährlicher, finanzieller Nutzen und Kapitalwert von IHCS für verschiedene Gebäudetypen

Gebäudetyp	Finanzieller Nutzen in CHF p.a. ¹¹ (Median über Testhausbewohner)	Kapitalwert von IHCS in CHF
Einfamilienhaus Baujahr bis 1980	209	681
Einfamilienhaus Baujahr 1981-2000	91	154
Einfamilienhaus Baujahr nach 2000	31	-110
Mehrfamilienhaus Baujahr bis 1980	172	515
Mehrfamilienhaus Baujahr 1981-2000	80	106
Mehrfamilienhaus Baujahr nach 2000	20	-163

Der Kapitalwert der intelligenten Heizungssteuerung ist am höchsten für ein Einfamilienhaus mit Baujahr bis 1980 (s. Tabelle 18). Dies liegt zum einen an den hohen spezifischen Einsparungen für diesen Gebäudetyp, zum anderen an den durchschnittlich grösseren Wohnflächen, durch welche sich das absolute Einsparpotenzial erhöht. Für Mehrfamilienhäuser mit Baujahr nach 2000 ergibt sich ein negativer Kapitalwert.

7.1.3 Potentialanalyse

In der Potentialanalyse wird für den Wohnsektor in der Schweiz untersucht, welche Einsparpotentiale hinsichtlich des Energieverbrauchs und den CO₂-Emissionen bei Einsatz von IHCS entstehen. Die Reboundeffekte erläutern Faktoren, die das Einsparpotenzial in der Praxis verringern.

Einsparpotential im Wohnsektor

Eine Hochrechnung des Einsparpotenzials wird durch eine Berücksichtigung des aktuellen Gebäude- und Heizungsbestandes ermöglicht. So wurde die Häufigkeit der Gebäudetypen, die durchschnittliche

¹¹ Mit Berücksichtigung der Beheizungsstruktur, bestehender Heizungsregelungen (gewichteter Durchschnitt) sowie durchschnittlicher Gebäudegröße für eine Gebäudeart

Grösse einer Wohneinheit und die Beheizungsstruktur nach Energieträgern und Heizungssystemen herangezogen, um das sektorale Einsparpotenzial für die Schweiz zu ermitteln. Durch die verhältnismässig hohe Zahl an Mehrfamilienhäuser mit Baujahr bis 1980 und das hohe spezifische Einsparpotenzial ist 55% des gesamten Einsparpotenzials zur Energie sowie den Emissionen innerhalb dieses Gebäudetyps vorhanden. Die Gebäudetypen mit Baujahr nach 2000 und später machen zusammengefasst nur ein Einsparpotenzial von 6% aus. Das gesamte Einsparpotenzial für den Heizwärmebedarf innerhalb des Wohnsektors in Schweiz wurde auf 9,5% bzw. 5,6 TWh berechnet. Nimmt man nur Einfamilienhäuser, in denen intelligente Heizungssteuerungen einfach eingebaut werden können (23% der Haushalte) beträgt das Potential immer noch etwa 1,3 TWh.

Indikation zu nationalen CO₂-Emissionen

Zur Erreichung des EU2020-Zieles sind insbesondere die Anwendungsfälle für intelligente Heizungssteuerungen herauszuheben, welche mit geringem, finanziellen Aufwand einen hohen Beitrag zur CO₂-Emissionsvermeidung leisten können. Dies wird durch die CO₂-Kosten-Vermeidungskurve in Abbildung 28 dargestellt. Für einen jeweiligen Gebäudetyp sind hierin die Kosten in CHF pro vermiedener Tonne CO₂ und das Gesamtvermeidungspotential dargestellt. Hierbei wird deutlich, dass die Anwendung intelligenter Heizungssteuerungen in Gebäudetypen mit älterem Baujahr einen hohen Beitrag zur Emissionsvermeidung bei positivem, finanziellen Nutzen leisten kann. Das Gesamtpotenzial zur Vermeidung von CO₂-Emissionen für intelligente Heizungssteuerungen in Schweiz liegt bei 1,8 Mio. t CO₂ oder 3,4% der gesamten CO₂-Emissionen.

Vermeidungskosten

EUR/tCO₂-äq

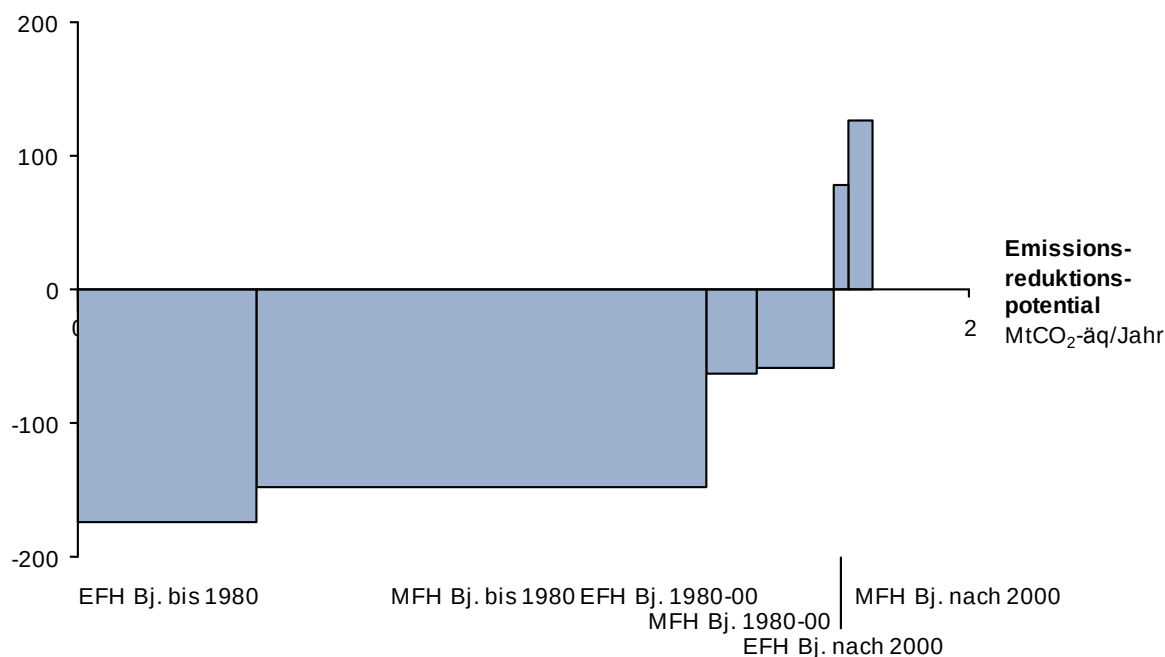


Abbildung 28: CO₂-Kosten-Vermeidungskurve für intelligente Heizungssteuerungen in der Schweiz

7.1.4 Rebound-Effekte

Aufgrund von Rebound-Effekten ist es möglich, dass Einsparungen, die durch den Einsatz intelligenter Heizungssteuerungen erzielt werden, durch anderweitigen Energieverbrauch teilweise kompensiert werden. Diese Rebound-Effekte können unterschiedliche Gründe haben und werden wie folgt eingegrenzt:

1. **Komfortbedingter Rebound:** Der gesunkene Energieverbrauch wird dadurch kompensiert, dass Bewohner ein allgemein höheres Komfortniveau einstellen. Dies ist möglich im Falle einkommensschwacher Haushalte, welche das gewünschte Komfortniveau nicht erreichen. Durch die Anwendung intelligenter Heizungssteuerungen wird die "Energiearmut" dieser Haushalte verrin-

gert, jedoch wird der reduzierte Energieverbrauch durch die höheren Temperaturniveaus kompensiert. Laut Monitoringbericht der Bundesnetzagentur (2013) sind ca. 15% der Haushalte in Deutschland in einem Zahlungsrückstand in der Begleichung ihrer Energierechnung, in ca. 1% der Fälle wurde die Energieversorgung durch den Netzbetreiber gesperrt.

2. **Einkommensbedingter Rebound:** Ein einkommensbedingter Rebound entsteht, wenn die eingesparten Energiekosten für Investitionen aufgewendet werden, die wiederum mit einem Energieverbrauch verbunden sind. Der Einkommensrebound kann abgeschätzt werden, indem der kumulierte Energieaufwand pro eingesparter Energie mit dem kumulierten Energieaufwand verschiedener Ausgaben verglichen wird (Tabelle 19). Es zeigt sich, dass der Rebound nur bedeutend wird, wenn die Ausgaben allein oder zu einem grossen Teil für Flugreisen verwendet werden.

Tabelle 19: Möglicher Einkommen Rebound von IHCS (Beispiel Einfamilienhaus)

	Kumulierter Energieaufwand ¹² [MJ]	Rebound Effekt ¹³ [% der Einsparung]
Ermöglichte Einsparung (ohne Rebound)	99	
Mögliche Einkommenseffekte (Rebound)		
Durchschnittliche Ausgabe	4	4%
Dienstleistung	1	1%
Flugreise	57	58%

3. **Technischer Rebound:** Durch die Anwendung von IHCS im Mehrfamilienhaus wird der Wärmetransfer zwischen den Wohneinheiten beeinflusst. Durch die Temperaturabsenkung wird ein höherer Temperaturgradient zu umliegenden Wohneinheiten mit konstant hoher Temperatur hervorgerufen, was deren Energieverbrauch erhöhen kann (Wärmefluss von Wohneinheiten ohne intelligente Heizungssteuerung zur Wohneinheit mit intelligenter Heizungssteuerung). In einer Simulation eines Haushaltes in einem Mehrfamilienhaus wurde ein 3-prozentiger Mehrverbrauch ermittelt bei Gegenüberstellung eines angrenzenden Haushaltes mit konstanter Heiztemperatur und einem angrenzenden Haushalt mit intelligenter Heizungssteuerung und 32-prozentiger Abwesenheit.

7.1.5 Barrieren

Der Diffusion intelligenter Heizungssteuerungen stehen verschiedene Barrieren gegenüber, die im Folgenden erläutert werden. Die vorhandenen Barrieren werden anhand der Kategorisierung in Tabelle 20 erläutert (vgl. Zumbühl 2013). Für intelligente Heizungssteuerungen wurden Barrieren in den Bereichen Information, Kompatibilität, Finanzen, Regulierungen und sozio-kulturellen Aspekten ermittelt.

¹² Basierend auf der Untersuchung des ökologischen Fußabdruckes der schweizerischen Haushalte (Girod & De Haan 2010), beträgt der kumulierte Energieaufwand: 10MJ/ CHF für Strom, 4 MJ/CHF für durchschnittliche Haushaltsausgaben, 60 MJ/CHF für Flugreisen und 1 MJ/CHF für Dienstleistungen.

¹³ Rebound-Effekte werden wie folgt berechnet (Girod et al. 2010): $RE=1-((Einsparung-Einkommenseffekt)/Einsparung)$

Tabelle 20: Übersicht vorhandener Barrieren für intelligente Heizungssteuerungen

Typ der Barriere	Ausprägung
Informationsbarrieren	• Knappheit an Informationen • Informationsasymmetrie • Geringes Bewusstsein und Bekanntheit
Kompatibilität	• Technologischer Lock-In Effekt
Finanzbarrieren	• Unsicherheit zu finanziellen Einsparungen • Technische Performance • Realisierbare Einsparungen • Individuelle Finanzentscheidungen
Soziale und kulturelle Barrieren	• Hindernisse durch sozio-kulturelle Normen • Standpunktabhängige Präferenzen

Informationsbarrieren

Für intelligente Heizungssteuerungen existieren derzeit Informationsbarrieren. Da es sich um eine neue Technologie handelt, existieren noch wenige Informationen zum Produkt und dessen langfristige Auswirkungen auf den Haushalt. Dies kann zur Folge haben, dass Kunden zusätzliche Kosten für die Suche von Informationen aufwenden müssen.

Darüber hinaus besteht eine Informationsasymmetrie, da sämtliche Informationen von Unternehmen bereitgestellt werden. Da der finanzielle Nutzen einer intelligenten Heizungssteuerung erst nach einer Heizperiode zu ermitteln ist, vertraut der Kunde möglicherweise nicht denen ihm zur Verfügung gestellten Informationen.

Eine weitere Informationsbarriere stellt das geringe Bewusstsein der Kunden für Umweltprobleme dar. Die Vorteile erhöhter Energieeffizienz auf Treibhausgasemissionen sind nur unzureichend bekannt, was zur Folge hat, dass die Motivation für Aktivitäten zur Förderung des Klimaschutzes gering ist. Zudem haben energieeffiziente Technologien durch die Energieeinsparung einen nur "unsichtbaren" Vorteil und werden gegenüber sichtbaren Änderungen im Wohnraum, beispielsweise neuen Einrichtungsgegenständen, weniger präferiert (geringe Salienz).

Kompatibilität

Für IHCS existieren Kompatibilitätsbarrieren in Form von technologischen Lock-in Effekten. Aufgrund der begrenzten Kompatibilität zu bestehenden Heizsystemen sowie der Notwendigkeit ein Smartphone und Internetanschluss verfügbar zu haben, ist derzeit nur ein Teil der Kundenbasis mit einer intelligenten Heizungssteuerung zu versorgen. Zukünftige Produktversionen werden die Kompatibilität schrittweise erweitern und diese Barriere verringern.

Finanzbarrieren

Die Neuheit des Produktes hat zur Folge, dass die Unsicherheit über die langfristigen finanziellen Auswirkungen für den Einsatz intelligenter Heizungssteuerungen hoch ist. Dies folgt einerseits aus der unbekannten Lebensdauer des Produktes. Ein finanzielles Risiko entsteht hieraus, wenn die Lebensdauer geringer als die notwendige Amortisationszeit ist. Für IHCS besteht andererseits die Ungewissheit der möglichen Einsparungen. Wie in Tabelle 17 erläutert wurde, hängt der Kapitalwert der Technologie stark von den Gebäudeeigenschaften ab. Aufgrund der allgemeinen Risikoaversion von Konsumenten stellt diese Unsicherheit eine Barriere dar. Diese kann erst durch eine langfristige Untersuchung zur Produktperformance abgebaut werden.

Ferner kann die Kaufentscheidung eines Kunden individuell getroffen werden und von rationalen Entscheidungsmodellen abweichen. Hierzu gehört zum einen die eingeschränkte Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Informationen. Komplexe Entscheidungen werden vereinfacht, indem nur

eine Teilmenge der Informationen verarbeitet wird und beispielsweise zu einer zu geringen Gewichtung des zukünftigen Einsparpotenzials führt. Damit einhergehend werden Amortisationsrechnungen häufig zu sehr vereinfacht. So fällt der Kapitalwert intelligenter Heizungssteuerungen höher aus, wenn Preissteigerungen in den Energiekosten berücksichtigt werden. Ebenso besteht eine hohe Sensitivität gegenüber den Investitionskosten. Die Lebenszykluskosten werden in der Kaufentscheidung in vielen Fällen vernachlässigt, weshalb der Kunde die Option mit den geringsten Investitionskosten präferiert.

Soziale und kulturelle Barrieren

Für die Adaption der Technologie spielen insbesondere sozio-kulturelle Aspekte eine Rolle. So prägt der soziale und kulturelle Hintergrund die persönlichen Werte und Normen. Dies kann sowohl eine Barriere, als auch einen Treiber höherer Energieeffizienz darstellen. Beispielsweise kann die intelligente Heizungssteuerung in sozialen Gruppen, die einen hohen Wert auf Luxus und Status legt, als Beeinträchtigung wahrgenommen werden, wenn der thermische Komfort der Bewohner geringfügig sinkt¹⁴. Im Gegensatz hierzu kann in einem sozialen Umfeld, das viel Wert auf Umweltschutz legt, der Status einer Person durch den Kauf energieeffizienter Produkte erhöht werden.

Als weitere Barriere können Standpunkt abhängige Präferenzen genannt werden. So sind einige Konsumenten dem Trugschluss ausgesetzt sich bereits umweltfreundlich zu verhalten und verzichten daher auf weitere Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz. Hinzu kommt eine Trägheit gegenüber einer Änderung bestehender Produkte. Dies entsteht aus einer Risikoaversion der Konsumenten, die zur Folge hat, dass bei der bestehenden Unsicherheit zu den technischen und finanziellen Auswirkungen intelligenter Heizungssteuerungen der Status Quo bevorzugt wird.

7.1.6 Regulierungen

Es wurden mehrere regulatorische Massnahmen zur Überwindung der Barrieren ermittelt. Diese bieten sowohl politische als auch unternehmensstrategische Möglichkeiten zur Förderung der Diffusion intelligenter Heizungssteuerungen. Tabelle 21 fasst die ausgewählten Massnahmen zusammen und veranschaulicht die Adressierung dieser zu den beschriebenen Barrieretypen.

Tabelle 21: Ausgewählte Massnahmen zur Überwindung der Barrieren. Adressierbarkeit einer Massnahme zu einem Barrieretyp ist mit ✓ gekennzeichnet.

Barriere	Information	Kompatibilität	Finanzen	Sozio-kulturell
Massnahmen				
CO ₂ -Steuer	✓	✗	✓	✗
Informationskampagne	✓	✗	✗	✓
Effizienzlabel	✓	✗	✗	✓
Energiestandard	✓	✓	✓	✓
Finanzielle Anreize	✗	✗	✓	✓

Beschreibung der regulatorischen Massnahmen:

- **CO₂- Steuer:** CO₂-Steuern können zur Förderung energieeffizienter Technologien eingesetzt werden. Dies kann beispielsweise durch zusätzliche Abgaben auf die Brennstoffpreise umgesetzt werden. Somit entsteht eine Regulierung zugunsten energieeffizienter Technologien wie IHCS, welche einer vergleichsweise geringeren Steuerabgabe ausgesetzt sind. Alternativ können CO₂-

¹⁴ Der Komfortverlust kann durch gezielte Wahl intelligenter Heizungssteuerungen auf marginale Werte reduziert werden (Kasper 2013)

Einsparungen mittels Weisser Zertifikate durchgesetzt werden, welche Energielieferanten dazu bewegen bei Konsumenten Energieeffizienzmassnahmen durchzuführen.

- **Informationskampagne:** Politisch initiierte Informationskampagnen bieten für intelligente Heizungssteuerungen besonderes Potential zur Barrierenüberwindung. Zum einen vergrössern sie das knappe Informationsangebot und bieten bei objektiver Betrachtungsweise die Möglichkeit, die vorhandene Informationsasymmetrie von Unternehmen zu Kunden zu verringern. Zum anderen wird das Bewusstsein der Konsumenten für energieeffiziente Massnahmen gestärkt, welches eine relevante Barriere für die Kaufentscheidung intelligenter Heizungssteuerungen darstellen kann. Darüber hinaus können sozio-kulturelle Barrieren verringert werden, beispielsweise Trugschlüsse zur Umweltfreundlichkeit des Konsumentenverhaltens sowie Voreingenommenheit bestimmter sozialer Gruppen zu neuen Produkten. Die Umsetzung könnte beispielsweise durch kommunale Unternehmen wie Stadtwerken mit engem Kundenkontakt erfolgen.
- **Effizienz-Label:** Effizienz-Label dienen zur Kennzeichnung des Energieverbrauchs der Technologie und fördern somit die Kaufentscheidung zugunsten energieeffizienter Produkte. Die Effekte bezüglich der Barrieren sind vergleichbar zur Informationskampagne (s. oben).
- **Energiestandards:** Ein Energiestandard kann Vorgaben zu den Energieverbräuchen festlegen oder beispielsweise technische Eigenschaften in der Haustechnik vorschreiben. Dies kann im Fall der Heizenergie eine Obergrenze für den spezifischen Heizenergieverbrauch im Haushalt oder die Notwendigkeit zur Installation intelligenter Heizungssteuerungen darstellen. Daher können Energiestandards dazu genutzt werden eine Regulierung zugunsten energieeffizienter Technologien umzusetzen.
- **Finanzielle Anreize:** Finanzielle Anreize zur Adressierung von Barrieren können insbesondere durch Unternehmen gesetzt werden. So besteht einerseits die Möglichkeit die Kosten zu senken, um eine zusätzliche Motivation für die Konsumenten zu schaffen, eine neue Technologie zu erwerben. Eine weitere Möglichkeit besteht andererseits darin, die Investitionskosten zu reduzieren und jährlich wiederkehrende Lizenzgebühren zu erheben. Hierdurch kann die beschriebene Sensitivität gegenüber Investitionskosten überwunden werden.
- **Fiskalische Anreize:** Als fiskalische Anreize durch die Politik können beispielsweise Subventionen zur Steuerlast energieeffizienter Produkte angewendet werden. Dies stellt eine regulatorische Möglichkeit dar, intelligente Heizungssteuerungen zu fördern.

7.1.7 Geschäftsmodelle

Die Art des Geschäftsmodells bestimmt einerseits die Höhe des Profits für den Anbieter je gewonnenem Kunden, aber kann auch einen entscheidenden Einfluss auf die Technologiediffusion nehmen. Es werden drei Ertragsmodelle für IHCS erläutert und deren mögliche Auswirkungen auf die Diffusion genannt.

- **Reines Investitionskostenmodell:** In diesem Ertragsmodell führt der Kunde eine einmalige Zahlung zu Beginn der Nutzung der IHCS durch. Zukünftige Service- und Betriebskosten sind hierin bereits inbegriffen. Dies hat den Vorteil, dass sämtliche Zahlungsverpflichtungen durch den einmaligen Kauf abgegolten sind. Dem Unternehmen stehen unmittelbare liquide Mittel zu, die beispielsweise für die weitere Produktentwicklung und den Aufbau der Unternehmensstruktur eingesetzt werden können. Nachteilig ist dieses Ertragsmodell allerdings hinsichtlich bestehender Finanzbarrieren. Weil Kunden sensitiv gegenüber Investitionskosten sind, besteht ein Risiko, dass hohe Investitionskosten zu einer geringeren Adaption von IHCS führen.
- **Gemischtes Investitionskosten-/Betriebskostenmodell:** In diesem Ertragsmodell übernimmt der Kunde einen Beitrag in Form einer einmaligen Zahlung sowie laufender Betriebskosten. Dieses Modell trifft die tatsächlich anfallenden Kosten von IHCS am passendsten, da sowohl einmalige Kosten durch Hardwarebereitstellung und Installation als auch weiterführende Kosten in Form der Serveranbindung entstehen. Obwohl für den Kunden hierdurch eine nachvollziehbare Kosten-

struktur vorhanden ist, bleiben Finanzbarrieren hierdurch erhalten. Der Kunde ist weiterhin sensitiv gegenüber den Investitionskosten und könnte durch die erhöhte Komplexität der zusätzlichen Betriebskosten dazu geneigt sein, eine irrationale Kaufentscheidung zu treffen.

- **Reines Betriebskostenmodell:** Dieses Ertragsmodell verhält sich wie ein klassisches Abonnement: Der Kunde zahlt eine monatliche Gebühr zur Nutzung der IHCS, solange die Nutzung dieser besteht. Für den Anbieter entsteht zunächst ein Nachteil, da liquide Mittel erst zu späteren Zeitpunkten verfügbar sind. Darüber hinaus ist ein Risiko vorhanden, dass bei kürzerer Nutzung die Kosten für die Bereitstellung der Hardware nicht amortisiert werden. Die Barriere zur Sensitivität der Investitionskosten kann hierdurch allerdings vollständig abgebaut werden und der Kunde sieht sich nicht mehr dem Risiko gegenüber, dass geringe Einsparungen zu langen Amortisationszeiten führen. Daher besteht trotz anfänglicher anbieterseitiger Nachteile für dieses Ertragsmodell die Möglichkeit einer langfristig erhöhten Technologiediffusion.

7.2 Lastprognose für Gebäude

Autoren: Benedikt Deuchert, Florian Nägele, Bastien Girod

7.2.1 Einleitung

Systeme zum Energiemanagement in Gebäuden werden als vielversprechende Energieeffizienztechnologie diskutiert. Durch intelligente Steuerung und Koordinierung diverser Verbraucher innerhalb eines Gebäudes ist eine Reduktion des Energieverbrauchs und somit eine verbesserte Energieeffizienz erzielbar. So gibt beispielsweise die International Energy Agency (IEA 2013b) je nach Gebäudetyp ein Einsparpotential bei Strom in Höhe von 2% bis 14% und ein Einsparpotential bei Wärme in Höhe von 9% bis 40% an, wenn Systeme zur Gebäudeautomation bzw. zum Energiemanagement eingesetzt werden. Das geschätzte Marktvolumen für Energiemanagementsysteme ist dementsprechend beträchtlich: In einer Studie von Memoori Business Intelligence (2013) wird es für das Jahr 2013 weltweit auf rund \$17 Mrd. beziffert. Für das Jahr 2017 wird ein Marktvolumen von \$23 Mrd. erwartet.

Wie unter anderem vom amerikanischen Argonne National Laboratory (Zavala et al. 2011) beschrieben wird, sind grosse Erwartungen mit der Vernetzung zwischen Gebäude und Aussenwelt verbunden, wo zunehmend intelligente Stromnetze, sogenannte „Smart Grids“, das herrschende Energieangebot mit der Nachfrage in Einklang bringen werden. Im Gegensatz zu einem passiven Gebäude ohne derartige Fähigkeiten zur Kommunikation ermöglicht die Ausrüstung eines Gebäudes mit moderner Energiemanagementtechnologie den Bezug von Informationen vom Stromversorger, um bei Bedarf die Flexibilität variabler Lasten im Gebäude nutzen zu können. Derartige variable Lasten sind beispielsweise Heizungs-, Lüftungs- und Klimasysteme (HLK), die beim Betrieb einen gewissen Spielraum im Rahmen der Komfortbedingungen eines Gebäudes bieten. Smart Grid Informationen können aus zeitvariablen Preissignalen bestehen, welche einen Anreiz schaffen, variable Lasten in Zeiten mit günstigen Konditionen zu verschieben. Sie können aber auch aus direkten Anweisungen bestehen die gebäudeseitige Last um einen gewissen Betrag abzusenken oder zu erhöhen. Vor diesem Hintergrund überrascht es nicht, dass die International Electrotechnical Commission (IEC) Technologien zur Gebäudeautomation als einen von sechzehn „Elementen eines Smart Grid“ auflistet (IEC 2014).

Zusätzlich erhält das Gebäude durch den Einsatz eines Energiemanagementsystems die Fähigkeit, Informationen an den Stromversorger bzw. das Smart Grid zurückzuführen. Derartige Information besteht zum einen aus dem historischen Lastprofil eines Gebäudes, wie es von einem intelligenten Stromzähler üblicherweise in 15-min Intervallen aufgezeichnet wird. Eine leistungsfähige Kommunikationsschnittstelle ermöglicht zudem die Übertragung des Ist-Werts des Stromverbrauchs. Bedingt durch die Intelligenz des Energiemanagements können aber auch weitergehende Informationen zur Verfügung gestellt werden, beispielsweise bestehend aus der vorhandenen Flexibilität der Verbraucher, wie diese zu- oder abgeschaltet werden können, ohne die Gebäudefunktionalität zu beeinträch-

tigen. Das intelligente Energiemanagement eines „Smart Buildings“ ermöglicht somit in Verbindung mit dem Austausch diverser Informationen in beiden Richtungen eine optimale Teilnahme des Gebäudes am Smart Grid. Konzepte hierzu wurden beispielsweise im Rahmen des von der EU-Kommission ausgerichteten Forschungsprojekts *THINK* diskutiert (He et al. 2013).

Bedingt durch die technischen Eigenschaften moderner Regelsysteme in der Gebäudetechnik können zusätzlich zu den Ist-Werten des Stromverbrauchs auch Prognoseinformationen über den zu erwartenden Stromverbrauch, beispielsweise am Folgetag, gewonnen werden (für technische Details siehe Kapitel 2). Das Gebäude kann also dem Smart Grid den Verbrauch übermitteln, der in Zukunft erwartet wird und dabei auf Informationen über gebäudeinterne Prozesse zurückgreifen.

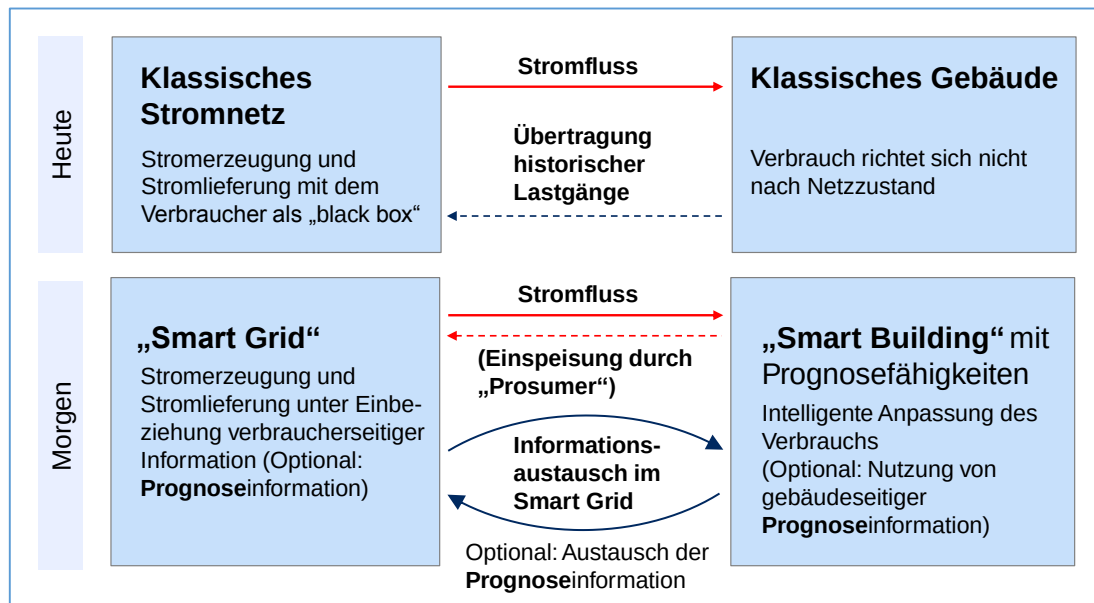


Abbildung 29: Die mögliche Rolle von gebäudeseitigen Lastprognosen im Kontext eines Smart Building im Smart Grid.

Der Paradigmenwechsel der Interaktion zwischen Netz und Gebäude ist in Abbildung 29 dargestellt. Im klassischen System tauscht das Gebäude keine oder nur historische Lastgangdaten mit dem Netz aus. Im Smart Grid ergibt sich hingegen die Möglichkeit, den Verbrauch gezielt an die Bedürfnisse des Netzes anzupassen und damit Mehrwert sowohl für das Gebäude als auch für das Netz zu schaffen. Besonders hervorzuheben ist die Möglichkeit der Übertragung von gebäudeseitigen Lastprognosen im Rahmen des stattfindenden Informationsaustauschs. Während der Informationsaustausch im Smart Grid allgemein bereits Gegenstand zahlreicher Untersuchungen ist¹⁵, ist der Teilaspekt der Prognoseübertragung bisher nur oberflächlich betrachtet worden. Überlegungen hierzu wurden beispielsweise von Wakefield (2010) angestellt.

Lastprognosen sind bereits heute essentieller Bestandteil einer zuverlässigen Stromversorgung. Während aber bisher derartige Lastprognosen zentral vom Stromversorger erstellt wurden, darf von der Verwendung gebäudeseitiger Lastprognosen eine Verbesserung der Prognosequalität auch auf aggregierter Ebene erwartet werden. Im Idealfall ermöglicht die Technologie eine perfekte Prognose der erwarteten Gebäudelast am Folgetag. Mit abnehmender Genauigkeit sind Prognosen bis zu einem Prognosehorizont von einer Woche möglich.

In eine intelligente, gebäudeseitige Lastprognose fließt die Kenntnis von Prozessen ein, die im Gebäude ablaufen. Beispielsweise ist Information darüber vorhanden, wann welche Räume eines Gebäudes typischerweise belegt sind und welche Geräte verwendet werden. Dementsprechend kann die Gebäudetechnik optimal betrieben werden. Im Gegensatz dazu steht einem Stromversorger derzeit

¹⁵ Ein Überblick zum Thema Informationsaustausch im Smart Grid wurde beispielsweise von Farhangi (2010) zusammengestellt.

lediglich die Information über historische Lastgänge oder bestenfalls über den aktuellen Stromverbrauch zur Verfügung. Selbst unter Zuhilfenahme modernster Algorithmen darf erwartet werden, dass Smart Buildings bedingt durch den Informationsvorsprung in gebäudeinternen Prozessen Prognosen von überlegener Qualität liefern können.

Die Übermittlung der Prognoseinformation zusätzlich zu weiteren Informationen ist potentiell wertvoll für Teilnehmer an einem Smart Grid. Die hier beschriebene Untersuchung setzt sich mit der Frage auseinander, an welchen Stellen entlang der elektrischen Wertschöpfungskette dieser Wert entsteht. Darüber hinaus wird der Wert perfekter, gebäudeseitiger Lastprognosen im Rahmen dieser Untersuchung quantifiziert.

Die Untersuchung beschränkt sich dabei auf kommerziell genutzte Gebäude in der DACH-Region¹⁶ mit einem Stromverbrauch > 100.000 kWh/a, was dem Verbrauch eines mittelgrossen Bürogebäudes entspricht. Derartige kommerziell genutzte Gebäude sind heute bereits häufig mit einem Energiemanagementsystem ausgestattet. Die Übertragung von Prognoseinformation ist bei dieser Gebäudekategorie durch Skaleneffekte grundsätzlich ökonomisch sinnvoller als bei Gebäuden mit niedrigerem Verbrauch.

7.2.2 Einführung der technischen Grundlagen

Energiemanagementsysteme in Gebäuden werden derzeit üblicherweise mit regelbasierten Systemen betrieben, genannt „Rule based control“ oder RBC. Diesen Systemen liegen Regeln zugrunde, wie „aktiviere die Heizung, wenn die Temperatur unter 21°C fällt“ oder ähnlich. RBC-Technologie wird in stark ausgefeilter Form von führenden Anbietern in der Gebäudetechnik, wie beispielsweise Siemens Building Technologies, kommerziell eingesetzt.

Es zeichnet sich jedoch ein Übergang hin zu modellprädiktiven Systemen ab, auf Englisch „Model predictive control“ oder MPC genannt. Die Funktionsweise eines modellprädiktiven Reglers zum Betrieb eines Gebäudes basiert auf einem Computermodell des Gebäudes, welches ausgehend von der tatsächlichen Gebäudephysik erstellt wird. Parameter wie die Raumaufteilung, die Fensterfläche und Isolierung, aber auch weitere technische Details wie die Art des Heizungs-, Lüftungs- und Klimasystems oder fakultativ dezentrale Anlagen zur Stromerzeugung wie Blockheizkraftwerke oder Photovoltaik werden zur Erstellung des individuellen Modells berücksichtigt. Im tatsächlichen Betrieb wird der Gebäudezustand fortlaufend überwacht. Zusätzlich werden Prognosen der Gebäudebelegung und des Wetters an den Controller übermittelt, um die Reaktion des Gebäudemodells auf diese externen Einflüsse bestimmen zu können.

In Verbindung mit vordefinierten Randbedingungen (z.B. „die Temperatur muss zwischen 21°C und 25°C liegen“) sowie fakultativen Informationen seitens des Smart Grid über variable Energiekosten, ergibt sich die optimale Betriebsführung des Gebäudemodells. Dies geschieht über den vollständigen Prognosehorizont, der in der Regel eine Woche nicht übersteigt. Ein noch längerer Prognosehorizont ist aufgrund von ungenauen Informationen sowohl zum Wetter als auch zur Gebäudenutzung nicht möglich.

¹⁶ Deutschland, Österreich, Schweiz

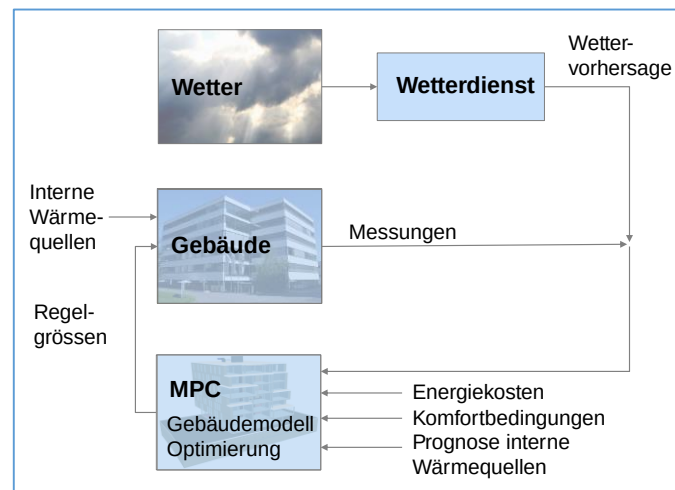


Abbildung 30: Die Verwendung von modellprädiktiver Regelung für Gebäuderegelung.
Abgewandelt von Oldewurtel et al. (2010).

Die Prozedur zur Regelung von Gebäuden mittels modellprädiktiver Regelung ist in Abbildung 30 veranschaulicht. Die Stellwerte der Gebäudesteuerung, die gemäss Gebäudemodell zu einem optimalen Betrieb des Gebäudes führen, werden vom Energiemanagementsystem umgesetzt. Es wird also beispielsweise ein Plan festgelegt, wann Heizung oder Klimaanlage eingeschaltet werden. Stimmt das Gebäudemodell gut mit der tatsächlichen Gebäudephysik überein und sind die Prognosen des Wetters und der Gebäudebelegung exakt, so ist ein optimaler Betrieb des Gebäudes gewährleistet. Gleichzeitig ist dann auch eine exakte Information verfügbar, wie viel Strom das Gebäude in Zukunft verbrauchen wird. Dies ist die Lastprognoseinformation, die an das Smart Grid übertragen werden kann.

Bedingt durch die noch geringe Verbreitung der Technologie existieren keine zuverlässigen Erkenntnisse darüber, wie präzise die auf diese Art ermittelten Lastprognosen sind. Da Lastprognosen seitens der Stromversorger bisher aber hauptsächlich auf historischen Lastgangdaten beruhen und somit unter Verwendung einer unterlegenen Datenbasis erstellt werden, kann durch Einsatz modellprädiktiver Regelung von einer Verbesserung der Prognosegüte ausgegangen werden. Wie beispielsweise von Vrettos et al. (2013) beschrieben, ermöglicht ein modernes Energiemanagement eine gezielte Beeinflussung der tatsächlichen Gebäudelast. Diese Fähigkeit kann zur Einhaltung einer abgegebenen Prognose eingesetzt werden.

Die ohnehin vorhandenen Kommunikationsschnittstellen können eingesetzt werden, um die Prognoseinformation an weitere Stakeholder entlang der elektrischen Wertschöpfungskette zu übertragen. Profiteure der gebäudeseitigen Prognoseinformation werden in Kapitel 7.2.3 identifiziert.

Insgesamt ist nur von geringem Aufwand für die Übermittlung der Information auszugehen, da die gebäudeseitigen Lastprognosen beim beschriebenen Verfahren ohnehin erstellt werden. Es entstehen also nur sehr geringe Kosten, um gebäudeseitige Lastprognosen für externe Stakeholder nutzbar zu machen.

Im Folgenden stellt sich die Frage, inwieweit verbesserte gebäudeseitige Lastprognosen einen Mehrwert generieren können. Hierzu werden im folgenden Kapitel die Einsatzbereiche von Lastprognosen entlang der Wertschöpfungskette vorgestellt. Besonderes Augenmerk wird auf die Frage gelegt, inwieweit die entlang der Wertschöpfungskette heute verwendeten Lastprognosen von gebäudeseitigen Lastprognosen profitieren können.

7.2.3 Potentielle Einsatzbereiche gebäudeseitiger Lastprognosen

Zur Untersuchung des Werts von gebäudeseitigen Lastprognosen musste zunächst eine Übersicht über Einsatzgebiete von Lastprognosen gewonnen werden. Hierfür floss neben einschlägiger Fachlite-

ratur auch die Expertise diverser SER-Projektteilnehmer ein, die sich für wissenschaftliche Interviews zur Verfügung stellten.

Das Endprodukt in Form einer ganzheitlichen Übersicht von Lastprognoseaktivitäten entlang der elektrischen Wertschöpfungskette, unterschieden nach Prognosehorizont und Prognosenutzer, ist in Abbildung 31 dargestellt.

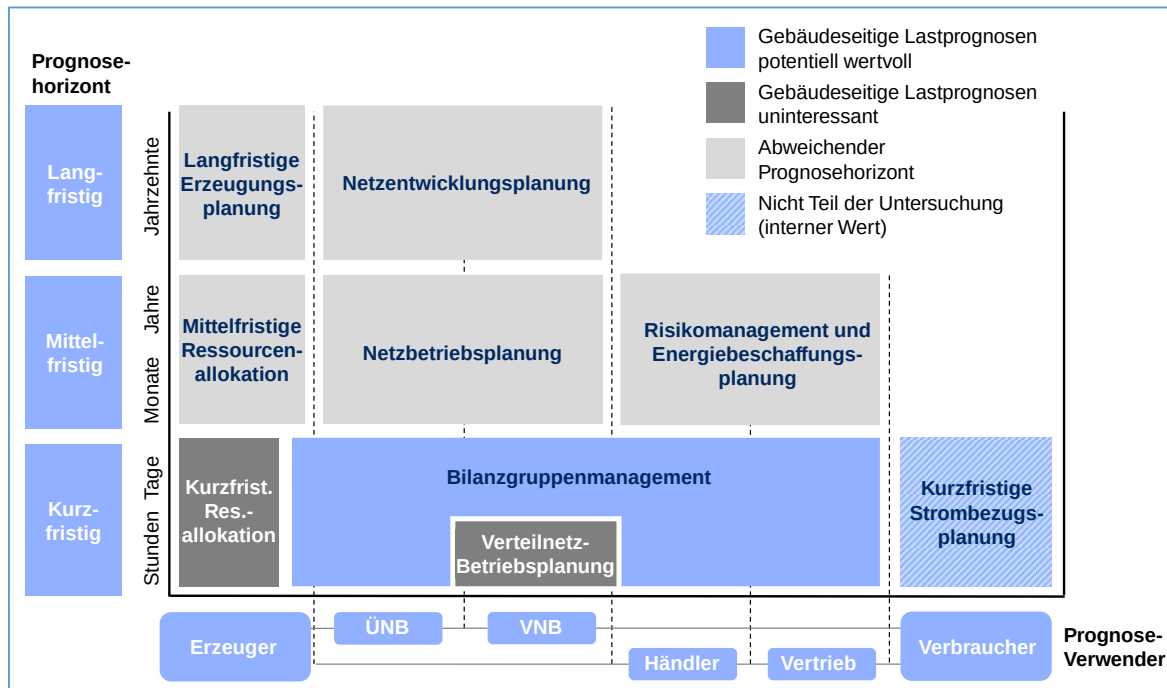


Abbildung 31: Übersicht über bestehende Aktivitäten entlang der elektrischen Wertschöpfungskette mit Relevanz von Lastprognosen.

Ein grosser Teil der Prognoseaktivitäten ist alleine schon aus Gründen des Prognosehorizonts für die Verwendung gebäudeseitiger Prognosen aus einem Energiemanagementsystem irrelevant, da der Prognosehorizont einen Zeitraum von Tagen („Kurzfrist-Prognose“) nicht überschreitet.

In einem liberalisierten Strommarkt sind jedoch auch im kurzfristigen Zeithorizont nicht alle Stakeholder entlang der Wertschöpfungskette grundsätzlich Profiteure verbesserter Lastprognosen. Eine Übersicht über die Verwendbarkeit gebäudeseitiger Lastprognosen für die identifizierten Aktivitäten ist in Tabelle 22 dargestellt.

Tabelle 22: Relevanz gebäudeseitiger Stromverbrauchsprognosen für kurzfristige Vorhersageaktivitäten

Bestehende Aktivitäten (kurzfristig)	Betroffener Stakeholder	Vorteil bei Verwendung gebäudeseitiger Lastprognosen
Bilanzgruppenmanagement	Vertrieb ¹⁷	Bilanzgruppen können durch verbesserte Prognosegenauigkeit grundsätzlich Kosten sparen, indem Strafen verringert werden. Auch Prognosen einzelner Teillasten (zum Beispiel einzelner Gebäude) leisten hierzu einen Beitrag.
Verteilnetzbetriebsplanung	Verteilnetzbetreiber	Reine Prognoseinformation hat keinen Einfluss auf die Stabilität des Verteilnetzes. Ein Vorteil im Betrieb ergibt sich erst, wenn gebäudeseitige <i>Flexibilität</i> vom Verteilnetzbetreiber abgerufen werden kann, wenn also Lasten gezielt zugeschaltet oder abgeworfen werden können. ¹⁸
Kurzfristige Ressourcenallokation	Erzeuger	In einem liberalisierten Markt sind Stromerzeuger wirtschaftlich nicht daran interessiert, dass die abgegebene Verbrauchsprognose exakt ist. Erzeuger müssen dagegen ihre Erzeugungsprognosen einhalten. (Padhy 2004; Shahidehpour et al. 2002)
Kurzfristige Strombeschaffungsplanung	Verbraucher (z.B. Gebäude)	(Nicht Gegenstand der Betrachtung. Hierfür müsste man die Funktionsweise des Energiemanagementsystems selbst untersuchen, was ausserhalb der Möglichkeiten dieser Untersuchung ist.)

Gemäss Tabelle 22 ist also das Bilanzgruppenmanagement die einzige Aktivität, bei der externe Stakeholder (ausserhalb des Gebäudes selbst) potentiell von gebäudeseitigen Lastprognosen profitieren können. Im Folgenden werden zum Verständnis einige Grundlagen des Bilanzgruppenmanagements erläutert.

Was ist eine Bilanzgruppe?

Die Aufgabe, Erzeuger und Verbraucher sowohl bilanziell als auch netzseitig zusammenzuführen, fällt in der DACH-Region den sogenannten Bilanzgruppen zu, in denen am Tag vor der tatsächlichen Stromlieferung jeder prognostizierten Stromeinspeisung eine prognostizierte Stromentnahme zugeordnet werden muss. Hierfür liefert jeder Erzeuger Informationen über die am Folgetag geplante Stromerzeugung an die Bilanzgruppe, der er angehört. Analog dazu liefert auch jeder Stromverkäufer entsprechende Informationen über die prognostizierte Last seiner Kunden an die Bilanzgruppe. Auch die Lastprognose einzelner Gebäude wird zu diesem Zweck ermittelt, jedoch ist der Verbraucher (bzw. das Gebäude) selbst derzeit nicht an der Erstellung von Lastprognosen beteiligt.

Ist also der Verbraucher „Firma 1“ im Netzgebiet von „EVU 1“, so kann „Firma 1“ sich im liberalisierten Markt auch Strom von „EVU 2“ beschaffen. Dann muss die Bilanzgruppe von „EVU 2“ eine Lastprognose für „Firma 1“ erstellen und die entsprechenden Strommengen bereitstellen. Die Lastprognoseinformation wird an den Verteilnetzbetreiber übertragen, der als Bilanzgruppenkoordinator fungiert. Zudem ist „EVU 1“ gegenüber „EVU 2“ verpflichtet, Daten des Stromzählers (für den „EVU 1“ als Verteilnetzbetreiber verantwortlich ist) an „EVU 2“ zu übertragen.

Es ergibt sich für die Betreiber der Bilanzgruppen, die sogenannten Bilanzgruppenverantwortlichen, (im vorherigen Beispiel wäre das „EVU 2“) ein finanzieller Anreiz, die am Vortag erstellten Prognosen von Erzeugung und von Verbrauch einzuhalten. Eine systemweite Abweichung von Produktion und Verbrauch über alle Bilanzgruppen hinweg bringt nämlich kostspielige Massnahmen zur Netzstabilisie-

¹⁷ Wie aus Abbildung 31 hervorgeht, sind Händler, Verteilnetzbetreiber und Übertragungsnetzbetreiber für das Management bestimmter Bilanzgruppen verantwortlich. Sie sind aber nicht oder nur indirekt mit der Prognose verbraucherseitiger Lasten konfrontiert.

¹⁸ Es wurde im Rahmen dieser Arbeit durch Experteninterviews bestätigt, dass Verteilnetzbetreiber tatsächlich kein Interesse an reinen gebäudeseitigen Lastprognosen haben.

ung in Form der Aktivierung von Regelreserven mit sich. Die Kosten hierfür werden an die Verursacher weitergegeben - die Bilanzgruppenverantwortlichen, die ihre Prognose nicht einhalten konnten. Die Höhe der Aufwendungen für Regelernergie in Deutschland lag zwischen Juli 2012 und Juni 2013 bei 300 Mio. €¹⁹. Kosten, die durch Prognosefehler beim Bilanzgruppenmanagement ausgelöst werden, sind also erheblich.

Das Zusammenspiel der verschiedenen Akteure bei der Erstellung von Lastprognosen, die zentrale Rolle von Bilanzgruppen sowie der Geldfluss bei Abweichung der realen Strommengen von den ursprünglichen Prognosen ist in Abbildung 32 veranschaulicht.

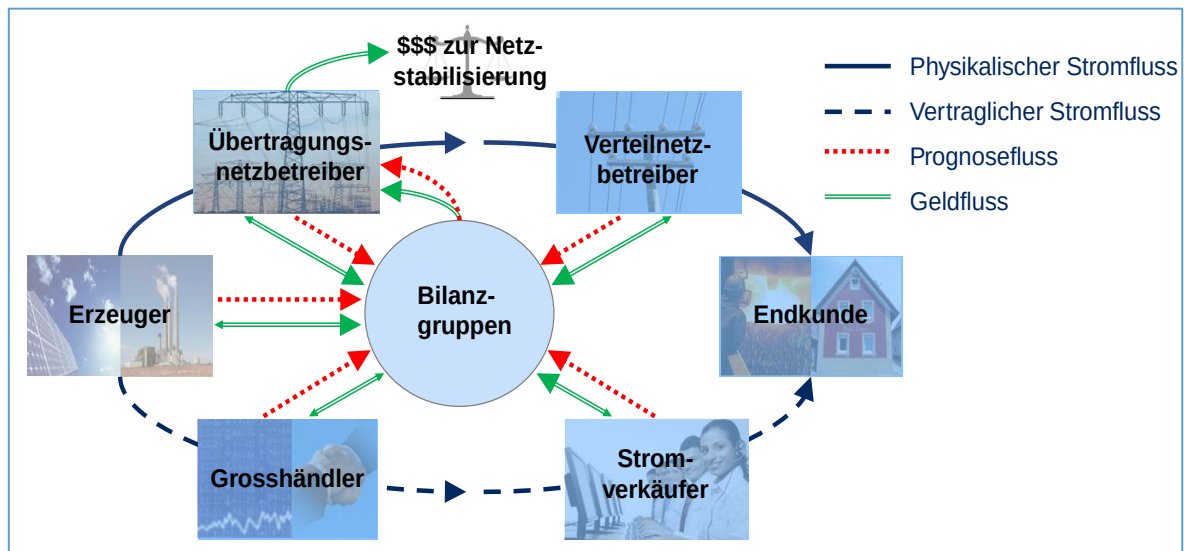


Abbildung 32: Übersicht über Prognose- und Geldflüsse beim Bilanzgruppenmanagement.

Es ist aus Abbildung 32 ersichtlich, dass der Endkunde selbst nicht am Bilanzgruppenmanagement beteiligt ist. Hingegen ist der Stromverkäufer als Lieferant der verbrauchten Energie verpflichtet, im Rahmen seiner Bilanzgruppenaktivitäten eine Prognose des Stromverbrauchs seiner Endkunden abzugeben.

Zur Quantifizierung des Werts einer gebäudeseitigen Stromverbrauchsprognose muss folglich analysiert werden, inwieweit der Stromverkäufer von einer Verbesserung der Prognosegüte profitieren kann, die aus der Verwendung von gebäudeseitiger Information resultiert. Es müssen also zunächst die Geldflüsse bzw. die Strafzahlungen ermittelt werden, die durch Prognoseabweichungen im Allgemeinen und durch Prognoseabweichungen von Gebäudelasten im Besonderen hervorgerufen werden. Hierzu ist eine separate Betrachtung der Märkte Deutschland, Österreich und Schweiz erforderlich, da bedingt durch ein abweichendes Marktdesign auch die Geldflüsse zwischen den einzelnen Märkten abweichen.

¹⁹ Berücksichtigt nur den Arbeitspreis (reBAP). Daten bezogen von 50 Hertz Transmission GmbH (2013).

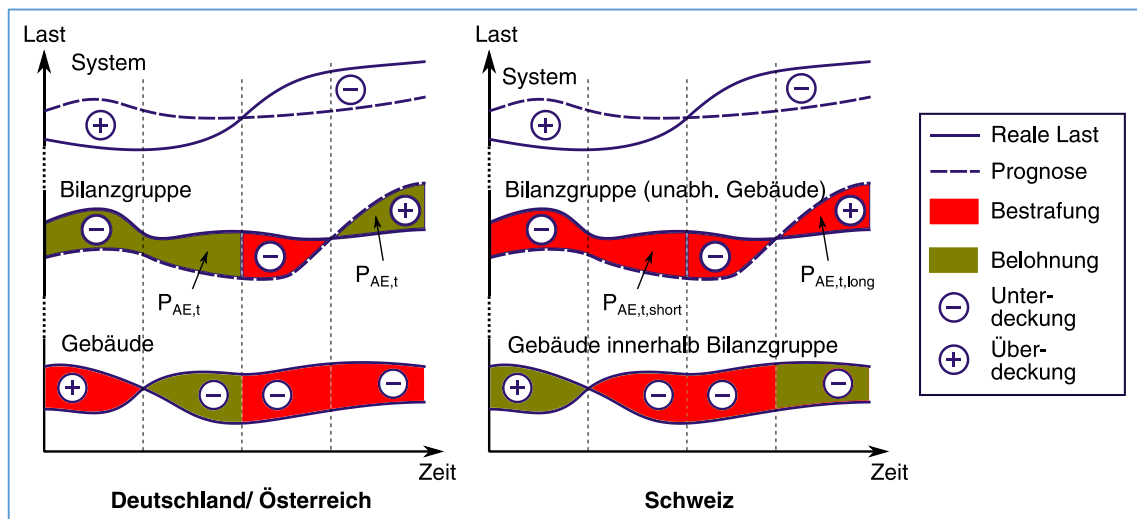


Abbildung 33: Schematisierter Geldfluss durch Prognoseabweichung auf Bilanzgruppenebene und auf Gebäudeebene.

In Abbildung 33 ist ein Beispiel illustriert, in dem das Gesamtsystem zu bestimmten Zeiten mehr Energie benötigt bzw. weniger produziert als ursprünglich in der Gesamtprognose vorgesehen (das System ist *short* oder *unterdeckt*). Das Gesamtsystem setzt sich in diesem Fall grundsätzlich aus einigen Bilanzgruppen mit Stromknappheit (*short*) und anderen mit Stromüberschuss (*long* oder *überdeckt*) zusammen. Wenn die Abweichungen aller Bilanzgruppen allerdings zusammengefasst werden, verbleibt im Gesamtsystem eine Stromknappheit. Die Abrechnung der Abweichungskosten erfolgt über den Mechanismus der sogenannten Ausgleichsenergie, um Prognoseabweichungen einen Preis zuzuweisen.

In Deutschland und Österreich ist der Preis für Ausgleichsenergie $P_{AE,t}$ in jedem Zeitintervall einheitlich. Beim Beispiel einer Situation mit Stromknappheit im Markt (*short*) ist der Preis für Ausgleichsenergie, den unterdeckte Bilanzgruppen zahlen müssen, identisch zu dem Preis, den überdeckte Bilanzgruppen als Entschädigung für zu viel hergestellten Strom erhalten. Der Markt wird deshalb als „symmetrisch“ bezeichnet. Diese Regelung mag zunächst nicht intuitiv erscheinen, sie erschliesst sich aber bei näherer Betrachtung: Da das Gesamtsystem unterdeckt ist, muss vom Netzbetreiber zusätzlich Regelenergie zur Verfügung gestellt werden. Die Kosten hierfür werden von allen Bilanzgruppen getragen, die ebenso wie das Gesamtsystem unterdeckt sind und folglich das System destabilisieren. Diese müssen also je MWh Prognoseabweichung einen Betrag $P_{AE,t}$ als Strafgebühr entrichten. Umgekehrt erhalten aber jene Bilanzgruppen mit einer *long*-Position für ihre systemstabilisierende Funktion eine Gutschrift vom Netzbetreiber, ebenfalls in Höhe von $P_{AE,t}$ je abweichender MWh. Es kommt also zu Geldflüssen zwischen einzelnen Bilanzgruppen, abhängig von der Richtung der Abweichung von Gesamtsystem und von einzelnen Bilanzgruppen. Nur ein Teil der Zahlungsströme verbleibt bei diesem Vorgehen beim Netzbetreiber und wird zur Bezahlung der nötigen Regelenergie verwendet.

Aus Gebäudeperspektive ist vor diesem Hintergrund zu beachten, dass nicht nur die Höhe der Prognoseabweichung, sondern auch die Richtung der Abweichung (*short* oder *long*) entscheidenden Einfluss auf den Wert einer verbesserten Prognose hat. Es ist auch eine Situation denkbar, in der eine ungenaue Lastprognose der Bilanzgruppe einen Gewinn erbringt. Dies ist normalerweise dann der Fall, wenn die jeweilige Prognoseabweichung systemstabilisierende Wirkung hat. Es lässt sich ausgehend vom Marktmechanismus in Deutschland und Österreich also nicht pauschal beurteilen, welchen Wert eine verbesserte, gebäudeseitige Lastprognose aufweist.

Dieser komplexe Sachverhalt erschliesst sich besser durch Visualisierung: In Abbildung 33 (links) ist dargestellt, welche Zahlungsflüsse für Ausgleichsenergie in einem symmetrischen Markt durch Prognoseabweichungen von Bilanzgruppen und durch Prognoseabweichung einzelner Gebäude ausgelöst werden. Zur besseren Orientierung ist der Unterschied zwischen Bestrafung oder Belohnung farblich gekennzeichnet.

In der Schweiz wurde hingegen ein „asymmetrisches“ Ausgleichsenergiesystem eingeführt. Dies bedeutet, dass unterdeckte Bilanzgruppen einen anderen Preis für Ausgleichsenergie zahlen als diejenigen, den überdeckte Bilanzgruppen erhalten. Das Preissystem wurde derart ausgestaltet, dass jede Bilanzgruppe zu möglichst genauen Prognosen animiert wird, unabhängig davon, ob die Prognoseabweichungen systemstabilisierende oder systemdestabilisierende Wirkung haben.

Es ist jedoch zu beachten, dass einzelne Gebäude nicht selbst als Bilanzgruppen fungieren. Abweichungen der Lastprognosen für einzelne Gebäude können *innerhalb* von Bilanzgruppen entweder stabilisierende oder destabilisierende Wirkung entfalten. Entsprechend ist auch im Falle eines asymmetrischen Ausgleichsenergiesystems die pauschale Aussage „verbesserte Prognosegüte = geringere Kosten“ aus Gebäudeperspektive nicht zutreffend, sofern das Gebäude nicht über einen eigenen Marktzugang und somit über eine eigene Bilanzgruppe verfügt.

Die resultierenden Zahlungsströme sind ebenfalls in Abbildung 33 (rechts) dargestellt. Es ist zu beachten: Während die Bilanzgruppe durch den Schweizer Ausgleichsenergiemechanismus für jegliche Abweichung bestraft wird, kann es auf der Ebene einzelner Verbraucher, also auf der Gebäudeebene, durchaus zu Belohnungen bedingt durch Prognoseabweichungen kommen. Die Mechanismen arbeiten aber anders als im Falle des symmetrischen Marktes in Deutschland und Österreich.

Vor diesem Hintergrund sind für eine Bestimmung des Werts einer verbesserten gebäudeseitigen Verbrauchsprognose Realdaten von Gebäudeverbrauch und von Prognosedaten nötig. Die Ergebnisse einer im Rahmen dieser Untersuchung durchgeführten Fallstudie werden im folgenden Kapitel präsentiert.

7.2.4 Quantifizierung des Werts in der DACH-Region

Das Ziel der durchgeführten Fallstudie bestand darin, einen möglichst realitätsnahen Wert gebäudeseitiger Lastprognosen zu ermitteln. Hierzu wurde ein repräsentatives Testgebäude ausgewählt. Es ist ein Bürogebäude in Allschwil (BL), welches im Rahmen des *Opticontrol* Projekts unter Beteiligung von Siemens Building Technologies und der ETH Zürich bereits eingehend untersucht und mit modernen Energiemanagementsystemen ausgestattet wurde. Es kann als Referenz für den Schweizer Standard von Büroneubauten angesehen werden. Unter anderem wurden für das Jahr 2011 Verbrauchsdaten in 15-min Auflösung erhoben und zusätzlich diverse Computersimulationen verschiedener Betriebsmodi ebenfalls für das Jahr 2011 durchgeführt. Details können im Endbericht des *Opticontrol* Projekts (Gwerder et al. 2013) nachgelesen werden. Die relevanten Eingangsgrößen zur Bestimmung des Werts gebäudeseitiger Lastprognosen bestanden aus insgesamt vier verschiedenen, gleichwohl für moderne Bürogebäude repräsentativen Lastprofilen.

Diese Lastprofile wurden einem Schweizer EVU übergeben, wo mittels in der Praxis üblicher Verfahren „Baseline“-Prognosen erstellt wurden. Hierzu wurden dasselbe Vorgehen und auch dieselbe Software (*BeVis*) angewendet, die heute bei zahlreichen EVUs für das Bilanzgruppenmanagement eingesetzt wird. Durch die Verwendung dreier verschiedener Prognoseverfahren konnten aus den vier Lastprofilen insgesamt zwölf Paare aus Lastprofilen und zugehörigen day-ahead Prognosen erstellt werden. In Verbindung mit den realen Preisdaten des Jahres 2011 in den Märkten Deutschland, Österreich und Schweiz konnten auf diese Weise die tatsächlichen Kosten ermittelt werden, die seitens des EVU durch eine fehlerhafte Prognose des Lastprofils verursacht worden wären.

Es wurde ferner angenommen, dass ein mit prädiktivem Energiemanagement ausgestattetes Gebäude in der Lage ist, eine *perfekte* day-ahead Prognose zu liefern. Die ermittelten Kosten der EVU-seitigen Prognoseabweichung sind identisch mit dem Wert einer solchen perfekten, gebäudeseitigen Prognose. Der ermittelte Wert einer gebäudeseitigen Prognose ist also der Maximalwert, der erreicht werden kann. Er würde im realen Einsatz der Technologie niedriger liegen.

Unter Berücksichtigung der Unterschiede im Marktdesign und unter Verwendung der realen Marktdaten ergibt sich für das Jahr 2011 der Wert perfekter gebäudeseitiger Lastprognosen gemäss Abbildung 34.

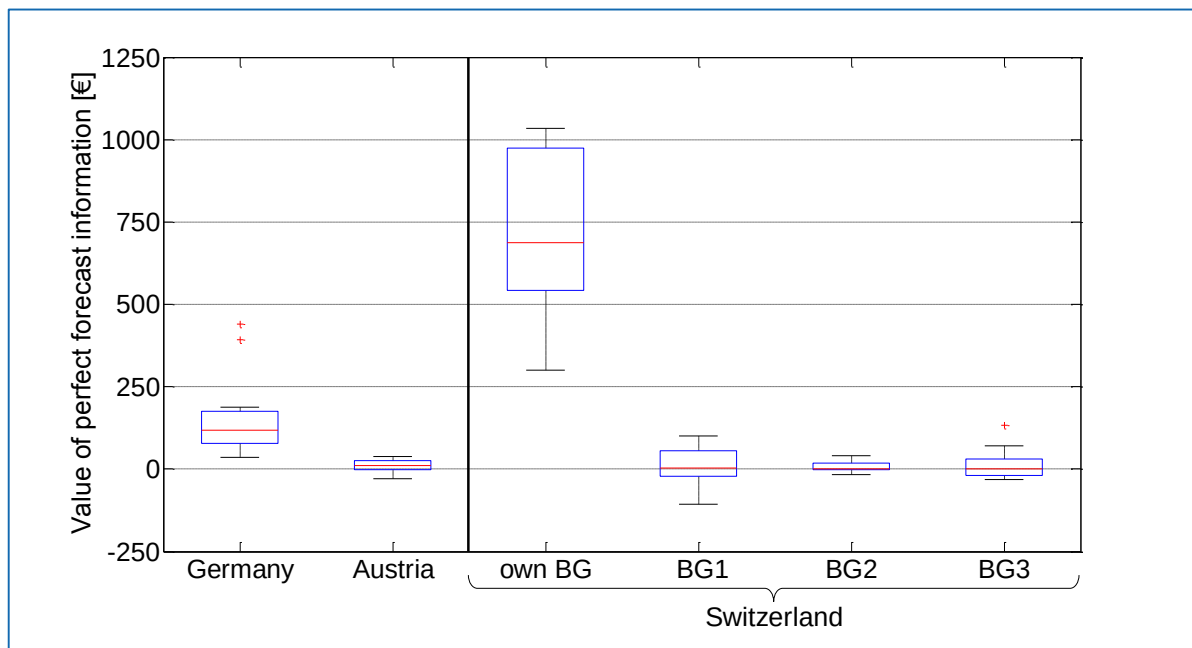


Abbildung 34: Wert einer perfekten day-ahead Lastprognose [€] für das Testgebäude, Jahr 2011 (n=12).²⁰

Setzt man die in Abbildung 34 aufgetragenen Absolutwerte ins Verhältnis zur gesamten Stromrechnung des Gebäudes, ergibt sich ein Einsparpotential von 1-2% der Stromrechnung, wenn man von einem direkten Marktzugang des Gebäudes ausgeht. Geht man vom tatsächlichen Fall eines Gebäudes als Teil einer bestehenden Bilanzgruppe aus, liegt das Einsparpotential durchgehend tiefer als 1% der Stromrechnung und ist teilweise sogar negativ oder nicht signifikant verschieden von Null.

7.2.5 Diskussion

Der Wert, der durch die Übertragung gebäudeseitiger Lastprognosen geschaffen wird, ist mit einem theoretischen Einsparpotential von <1% der Stromrechnung in allen beobachteten Märkten (in der Schweiz mit dem Gebäude als Teil einer bestehenden Bilanzgruppe) sehr gering. Es lässt sich folglich unter den heute vorherrschenden Marktbedingungen kein tragfähiges Geschäftsmodell aus der Übertragung gebäudeseitiger Lastprognosen ableiten, obwohl dies technisch ohne grösseren Aufwand realisierbar wäre.

Angesichts vorangegangener Überlegungen zu den hohen Systemkosten von Prognoseabweichungen überrascht der niedrige Wert perfekter gebäudeseitiger Lastprognosen zunächst. Bei näherer Betrachtung sind die Ergebnisse allerdings nachvollziehbar.

Einerseits sind zwar die absoluten Kosten für die systemstabilisierende Regelenergie beträchtlich, doch relativiert ein Blick auf die Gesamtumsätze im Strommarkt das Bild schnell. So wurden beispielsweise im Jahr 2012 in der Schweiz auf dem Grossmarkt etwa 3,5 Mrd. € durch Stromverkäufe Erlöst.²¹ Im gleichen Zeitraum wurden 164 Mio. CHF für Regelreserven aufgewendet. Die Gesamtkosten zur Systemstabilisierung (grösstenteils bedingt durch Prognoseabweichungen) sind also verhältnismässig niedrig. Es sind auch keine Indizien für steigende Kosten zur Systemstabilisierung erkennbar. So lagen die Gesamtkosten im Jahr 2010 bei 277 Mio. CHF und im Jahr 2011 bei 197 Mio. CHF, und damit jeweils höher als im Jahr 2012 (Swissgrid 2012).

²⁰ Boxplots für alle verfügbaren Datensets (n=12). Die mittige Markierung ist der Medianwert, die Begrenzungen der Box markieren die 25. (q₂₅) bzw. 75. (q₇₅) Perzentile. Die maximale Länge der Balken ist auf 1.5 festgelegt. Es werden also Punkte als Ausreisser dargestellt, die grösser als $q_{75} + 1.5(q_{75} - q_{25})$ oder kleiner als $q_{25} - 1.5(q_{75} - q_{25})$ sind.

²¹ Überschlagsrechnung ausgehend von einem durchschnittlichen Preis von ~60CHF/MWh bei einem Gesamtverbrauch von 57,7 TWh/a.

Zudem offenbart ein Blick auf die Marktmechanismen sowohl in Deutschland und Österreich, als auch in der Schweiz, dass eine schlechte Prognose der Gebäudelast nicht zwingend auch zu Kosten führt. Vielmehr ist es die Abweichung in eine bestimmte Richtung, die Kosten verursacht, während eine Abweichung in die Gegenrichtung sogar zu Vergütungen führt. Solange also der Fehler der spezifischen Gebäudelastprognose nicht systematisch mit dem Fehler der Gesamtprognose auf Systemebene korreliert ist, entstehen auch keine hohen Kosten durch Prognosefehler. Eine nennenswerte Korrelation dieser Prognosefehler konnte in der vorliegenden Untersuchung nicht festgestellt werden.

Ausgehend von den beobachteten Resultaten können folgende Empfehlungen an die Projektpartner ausgesprochen werden:

Aus der Übertragung gebäudeseitiger Lastprognoseinformation lässt sich derzeit kein Geschäftsmodell ableiten. Auch eine Überprüfung der Sensitivitäten im Modell führt kaum zu einem signifikanten ökonomischen Nutzen. Dies gilt für die EVUs, welche die Prognoseinformation einsetzen würden, und auch für die Technologieanbieter, welche die erforderlichen Kommunikationsschnittstellen im Energiemanagementsystem implementieren würden.

Es lohnt sich jedoch, über den Wert der Prognose gebäudeseitiger Flexibilität für das Verteilnetz bzw. für den Stromverkäufer nachzudenken. Es ist zu erwarten, dass die Ausnutzung gebäudeseitiger Flexibilität eine wertvolle Ressource für das „Smart Grid“ darstellt. Wenn darüber hinaus die zur Verfügung stehende Flexibilität vorab prognostiziert werden kann, kann die Flexibilität ideal eingesetzt und somit der Nutzen für die beteiligten Stakeholder noch gesteigert werden. Die Quantifizierung dieses Nutzens sollte Gegenstand zukünftiger Untersuchungen sein.

Insgesamt empfiehlt es sich unabhängig von diesen Erkenntnissen, die Lastprognoseinformation für gebäudeinterne Zwecke zu verwenden. Das Gebäude kann auf diese Art den Betrieb variabler Verbraucher, insbesondere des Heizungs-, Lüftungs- und Klimasystems, optimieren und dadurch Energie und Kosten einsparen. Hierauf wurde beispielsweise im *Opticontrol* Projekt (Gyalistras & The Opticontrol Team 2010; Gwerder et al. 2013) hingewiesen.

7.2.6 Ausblick

Die Frage ist zulässig, inwieweit das derzeitige Strommarktdesign für die ernüchternden Ergebnisse dieser Untersuchung verantwortlich ist. Es zeigt sich, dass es in der momentanen Marktkonstellation grundsätzlich keinen Anreiz für kleine Lasten gibt, eine exakte Lastprognose zu liefern, solange die Prognoseabweichung nicht nennenswert mit der Abweichung des Gesamtsystems korreliert ist. Es ist zu befürchten, dass die vorherrschenden Rahmenbedingungen somit das technologische Potential und das gesamte volkswirtschaftliche Einsparpotential der untersuchten Technologie nicht oder nur ungenügend erschliessen. Es sollte Aufgabe der betroffenen Stakeholder, insbesondere der Technologieanbieter sein, den Regulator auf bestehende Probleme der Ausgleichsenergiemechanismen hinzuweisen, um mittelfristig das Marktdesign in Richtung einer stärkeren Einbeziehung kleiner Lasten anzupassen.

Abgesehen davon kann eine deutliche Steigerung der Regelenenergiekosten das Geschäftsmodell der Prognoseübertragung verbessern. Es finden sich jedoch in der momentanen Marktkonstellation keine Anzeichen für eine solche Steigerung. Inwieweit eine deutlich höhere Verbreitung von intermittierender Erzeugung durch Photovoltaik oder Wind die Marktkonstellationen verändert, bleibt abzuwarten.

7.3 Aufdach-Photovoltaik Anlagen

Autoren: David Ammann, Tillmann Lang, Bastien Girod

Energieeffizienz in Gebäuden muss sich nicht nur auf einzelne Gebäudekomponenten beziehen, sondern kann auch aus der Sicht der Energieversorgung betrachtet werden. Dazu wird das gesamte Gebäude als ein System definiert, welches sich mit Energie aus lokalen Quellen versorgt. Der Bezug von externer Energie, beispielsweise aus dem Gas- oder Stromnetz, wird dadurch reduziert. Dies kann

wiederum in verringerten Übertragungs- wie auch Umwandlungsverluste im Übertragungsnetz resultieren. Die Gesamteffizienz der Energieversorgung kann somit erhöht werden. Im extremen Fall wird das Gebäude gar zum Nettoenergie-Produzenten, wenn es mehr Energie produziert als verbraucht.

Eine vielversprechende Technologie zur lokalen Energieversorgung und zur erhöhten Energieeffizienz ist die Photovoltaik (PV), welche eine erneuerbare und CO₂-arme Stromproduktion ermöglicht. Diese Technologie wird in diesem Kapitel im Detail untersucht. Zu erwähnen ist, dass sich die nachfolgenden Betrachtungen in erster Linie auf Aufdach-PV beziehen. Die präsentierten Resultate können unter gewissen Umständen auch auf Freiflächen PV-Anlagen angewendet werden, jedoch wurden diese nicht explizit untersucht.

7.3.1 Entwicklungen im PV-Markt

In der Vergangenheit wurde der profitable Betrieb von PV-Anlagen weitestgehend nur durch regulatorische Fördermechanismen ermöglicht, wobei die sogenannten Einspeisetarife die am weitesten verbreitete Unterstützung darstellten. Bei der Förderung durch Einspeisetarife wird das Einkommen für den Investor anhand des in das öffentliche Netz eingespeisten Stroms²² generiert, welcher pro kWh mit einem bestimmten Tarif vergütet wird. Die Höhe des Vergütungssatzes wird in der Regel von der Förderinstitution so festgelegt, dass die PV-Anlage auch trotz hoher Investitionskosten profitabel betrieben werden kann. Des Weiteren gilt die Einspeisevergütung meistens für einen fixen Zeitraum, typischerweise zwischen 20 und 25 Jahren, und stellt somit ein regelmässiges Einkommen über den Grossteil der Anlagelebensdauer sicher. In der Schweiz wird diese Förderung durch die Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) betrieben, welche seit 2009 verfügbar ist (siehe Kapitel 7.3.2).

Die globale Förderung von PV durch die Verfügbarkeit von Einspeisetarifen in über 70 Ländern (REN 21 Steering Committee 2013) hat zu einem enormen Ausbau der global installierten PV-Kapazität von fast 10 GW in 2007 auf über 102 GW in 2012 geführt (Masson et al. 2013). Durch diese rasante Entwicklung der PV-Industrie konnte die Kostenstruktur von PV-Anlagen in den letzten Jahren massiv verbessert werden. Entscheidend für diese Kostenreduktion waren unter anderem Lerneffekte bei der Herstellung der Solarzellen, der Markteintritt von asiatischen Solarzellen-Herstellern, lokale Lerneffekte bei der Installation sowie zeitweise Überkapazitäten bei der Produktion. In Deutschland, wo bisher rund ein Viertel der globalen PV-Kapazität installiert wurde (Photovoltaik Barometer 2014), konnte so beispielsweise der durchschnittliche Endkundenpreis für fertig installierte Aufdach-PV-Anlagen bis 10 kWp seit 2006 um 68% gesenkt werden (Bundesverband Solarwirtschaft (BSW) 2014).

Als Folge der massiven Kostenreduktion, befindet sich die Förderunterstützung von PV nun im Umbruch. So kann einerseits die Abschaffung der Förderung nach Erreichen eines bestimmten Anlagekostenziels oder beim Erreichen eines vordefinierten Förderkostendeckels von Beginn an geplant sein. Andererseits können je nach politischer Lage und Machtverteilung grundlegende Änderungen in der Förderung von erneuerbaren Energien beschlossen werden.

Um diese Unsicherheiten in der Entwicklung der Förderregulierung umgehen zu können, braucht es neue Geschäftsmodelle, welche die Wirtschaftlichkeit von Aufdach-PV-Anlagen auch ohne staatliche Förderprogramme gewährleisten. Neue Geschäftsmodelle ergeben sich vor allem durch die erreichte Wettbewerbsfähigkeit von PV-Strom im Vergleich zum Netzstrom, die sogenannte Netzparität, welche seit ca. 2011 in immer mehr Ländern (u.a. Deutschland, Spanien, Österreich, Italien (Masson et al. 2013)) für Haushalts- wie auch Industriestrom erreicht wurde. Unter der Netzparität versteht man den Zeitpunkt, ab dem die Stromgestehungskosten von PV-Strom gleich oder kleiner den Kosten für Strom aus dem Netz sind. Die Gestehungskosten bezeichnen wiederum die Gesamtkosten in Rp./kWh für die Umwandlung von einer anderen Energieform (hier Solarenergie) in elektrische Energie.

²² Das von lokalen Verbrauchern unabhängige Einspeisen des Solarstroms in das Stromnetz ist das klassische Betriebsmodell und wird im Rahmen dieses Berichtes als Base Case bezeichnet.

Eine Übersicht über die aktuellen Stromgestehungskosten sowie Zeitpunkte der Netzparitäten in verschiedenen Ländern ist im *Grid Parity Monitor* (Perez 2014) und in den Studien von Gerlach & Breyer (2012) gegeben.

Durch das Erreichen der Netzparität wird in erster Linie der Eigenverbrauch²³ von Solarstrom als Alternative zur Stromeinspeisung (*Base Case*) interessant. Dies ist darin begründet, dass es für den Endkunden wirtschaftlich günstiger ist, den Strom lokal selbst zu produzieren und zu konsumieren, als diesen aus dem öffentlichen Stromnetz zu beziehen. Das Einkommen wird dabei nicht direkt wie beim *Base Case* generiert, sondern äussert sich durch die gesparten Stromkosten. Das bedeutet, je mehr des eigenen Energieverbrauchs durch lokal produzierten Strom gedeckt werden kann, desto höher sind Einsparungen bei der Stromrechnung durch den reduzierten Bezug aus dem Netz. Nicht genutzter PV-Überschussstrom kann trotzdem wie im *Base Case* in das Netz eingespeist werden und wird entsprechend vergütet. Alternativ kann der Überschussstrom auch in lokalen Speichern (z.B. Batteriespeichern) für den späteren Eigenverbrauch zwischengespeichert werden (Hoppmann et al. 2013) oder der Verbrauch der aktuellen Produktion angepasst werden (sogenanntes Demand Side Management), womit höhere Eigenverbrauchsraten möglich sind.

Der Unterschied zwischen dem *Base Case* (Einspeisung) und PV-Eigenverbrauch ist in Abbildung 35 grafisch dargestellt.

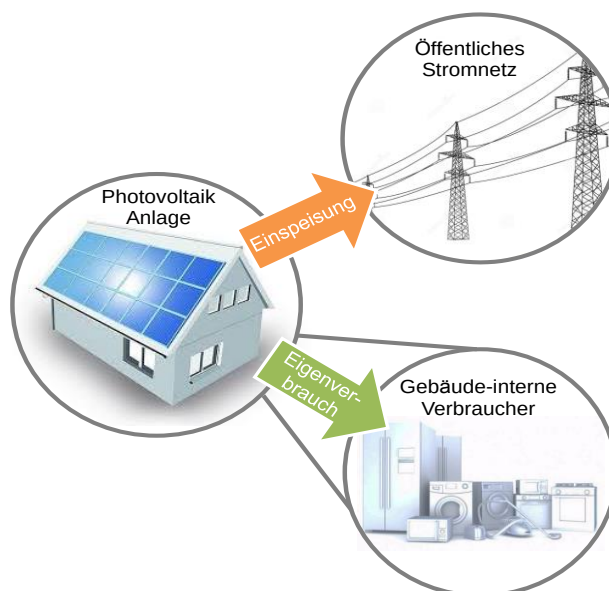


Abbildung 35: Unterschied zwischen Einspeisung und Eigenverbrauch

Eigenverbrauch bietet eine Möglichkeit sich gegen langfristig steigende Strompreise abzusichern, da die Versorgungskosten über die gesamte Lebensdauer der PV-Anlage den anfänglichen Stromgestehungskosten entsprechen. Jedoch besteht das Risiko, dass in Zukunft Netznutzungskosten umgelagert werden, wie z.B. per Netzanschluss oder durch eine sonstige Pauschale. Diese ist relevant, da auch Gebäude mit hohem Eigenverbrauchsanteil kaum vollständig autark betrieben werden können und somit ein Netzanschluss trotzdem notwendig ist. Momentan werden die Netznutzungskosten jedoch noch ausschliesslich über den vom Netz bezogenen Strom abgerechnet. Eine Beteiligung der Stromproduzenten an den Netzkosten würde aber, wenn alle Produzenten gleich behandelt würden, auch für Grosskraftwerke eine Verteuerung bedeuten.

Auch der *Base Case* lässt sich heute schon unter gewissen Umständen in einem nicht-geförderten Markt profitabel betreiben. Dazu braucht es aber entsprechende Regeln zur Stromvermarktung und

²³ Eigenverbrauch wird in diesem Bericht auch stellvertretend für Power Purchase Agreement (PPA) betrachtet.

vor allem einen Börsenzugang, wie z.B. zur Ökostrombörse oder direkt zur European Energy Exchange (EEX). Zudem muss die erzielte Vergütung ausreichend hoch sein. Ohne eine fixe Einspeisevergütung besteht jedoch ein grosses Risiko, dass der Markt am Mittag, wenn die PV-Anlagen am meisten produzieren, mit Solarstrom geschwemmt wird und die Preise entsprechend stark zurückgehen (Hirth 2013).

Die Wahl des profitableren Betriebsmodells im nicht-geförderten Markt ist vom aktuellen Strompreis und dem verfügbaren Einspeisevergütungssatz abhängig. Dies bedeutet, dass auch nach dem Erreichen der Netzparität der *Base Case* profitabler als Eigenverbrauch sein kann. Dieser Fall besteht solange, bis der Einspeisevergütungssatz unter den aktuellen Strompreis fällt bzw. der Strompreis über den Vergütungssatz steigt.

Die im Rahmen dieses Berichtes durchgeführten Untersuchungen haben ergeben, dass Eigenverbrauch heute schon profitabel sein kann. Dies trifft vor allem für grosse Gebäude zu, wie es die Ergebnisse im Kapitel 7.3.4 zeigen. Zudem können Speicher den Eigenverbrauchsanteil erhöhen. Um auch einen wirtschaftlichen Beitrag zu leisten, müssen die Kosten für die Speichertechnologien in vielen Regionen jedoch noch weiter sinken.

7.3.2 Regulierung in der Schweiz

In der Schweiz wurde 2011 der schrittweise Atomausstieg bis 2034 beschlossen. Die Kernenergie soll dabei grösstenteils mit Energie aus erneuerbaren Quellen ersetzt werden. Ziel ist es gemäss Vorschlag des Bundesrates bis 2020 inländisch rund 4'400 GWh pro Jahr aus erneuerbaren Energien (exkl. Wasserkraft) zu produzieren und diese Menge bis 2035 auf 14'500 GWh zu erhöhen. Um dieses Ziel zu erreichen, hat der Bundesrat die Energiestrategie 2050 entwickelt, welche die Förderung von Solarstrom auf Bundesebene mittels der KEV vorsieht.

Revision des Energiegesetzes

Die Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) ist seit 2009 verfügbar. Seit dem 1.1.2014 bzw. 1.4.2014 ist die neuste Revision des Energiegesetzes in Kraft, welche auch Auswirkungen auf die KEV beinhaltet. Die wichtigsten Punkte dieser Revision sind:

- Erhöhung des KEV Deckels auf 1.4 Rp./kWh
- Festlegung des PV-Kontingents in der ordentlichen KEV auf 150 MW für 2014 (je auch für 2015 und 2016 vorgesehen)
- Kürzung der Vergütungsdauer von 25 auf 20 Jahre
- Reduktion der Vergütungstarife um bis zu 12%
- Eigenverbrauchsregelung auch für KEV-Anlagen anwendbar (siehe weiter unten)
- Neue Möglichkeit der Einmalvergütung für kleine Anlagen anstelle der KEV (siehe weiter unten)

Eine detaillierte Beschreibung über die Auswirkungen der neusten Revision des Energiegesetzes auf PV-Anlagen ist im Factsheet von Swissolar (2014) gegeben.

Neben der Förderung auf Bundesebene gibt es auch viele unterschiedliche kantonale und kommunale Förderprogramme. Diese sind vor allem dann interessant, wenn man die lange Warteliste für die KEV Förderung umgehen bzw. überbrücken möchte. Alternativ gibt es auch die Ökostrombörse, an welcher man seinen Solarstrom vermarkten kann.

Eine Übersicht über die aktuell zur Verfügung stehenden Fördermöglichkeiten können bei Swissolar (2014) nachgeschlagen werden. Die alternativen Fördermechanismen werden normalerweise nur ausbezahlt, wenn die Anlage nachweislich nicht durch KEV gefördert wird.

Als weitere Fördermassnahme sind die Investitionskosten in fast allen Kantonen steuerlich abzugsfähig. Zudem sind PV-Anlagen typischerweise einem vereinfachten Baubewilligungsverfahren unterstellt.

Neue Eigenverbrauchsregelung

In der oben beschriebenen Revision des Energiegesetzes wurde das *Recht zum Eigenverbrauch von Strom* explizit gesetzlich für alle PV-Anlagen, auch für KEV-Anlagen, verankert. Damit kann der produzierte Strom selbst verbraucht werden, während der Überschuss ins Netz eingespeist und mit den KEV Tarifen abgerechnet wird. Dabei wird die Überschussproduktion wie folgt definiert: *Gesamtproduktion abzüglich der gleichzeitig vor Ort selbst verbrauchten Elektrizität*.

Für neue Geschäftsmodelle wie das Contracting oder das Solar Power Purchase Agreement (siehe Kapitel 7.3.6) ist vor allem interessant, dass Eigenverbrauch auch dann vorliegt, wenn der Strom am Produktionsort nicht vom Produzenten selbst, sondern von Dritten (z.B. von der Mieterschaft) verbraucht wird. Durch diese Gesetzesänderung wird das *Investor-Nutzer Dilemma* abgeschwächt und die Anwendung von Eigenverbrauchsanlagen in Mehrfamilienhäusern vereinfacht.

Für den Netzbetreiber wird zudem die Möglichkeit geschaffen, für Produzenten im Eigenverbrauch separate Netztarif-Kundengruppen zu bilden, wenn eine erhebliche Abweichung vom Bezugsprofil vergleichbarer Verbraucher vorliegt. Diese Regelung ist jedoch nicht für Anlagen kleiner 10 kWp gültig.

Einmalvergütung

Eine weitere, wichtige Änderung des Energiegesetzes ist die Einführung der Einmalvergütung. Dies bedeutet, dass kleine Photovoltaik-Anlagen von bis zu 10 kWp neuerdings einen einmaligen Investitionsbeitrag (Einmalvergütung) anstelle der KEV erhalten. Die Einmalvergütung beträgt dabei maximal 30% der Investitionskosten von Referenzanlagen.

Betreiber von Anlagen ab 10 und bis unterhalb 30 kWp können zwischen Einspeisevergütung und Einmalvergütung wählen. Für Anlagen oberhalb 30 kWp ist jedoch nur die Einspeisevergütung möglich.

Die Wahlmöglichkeiten sind in Abbildung 36 dargestellt.

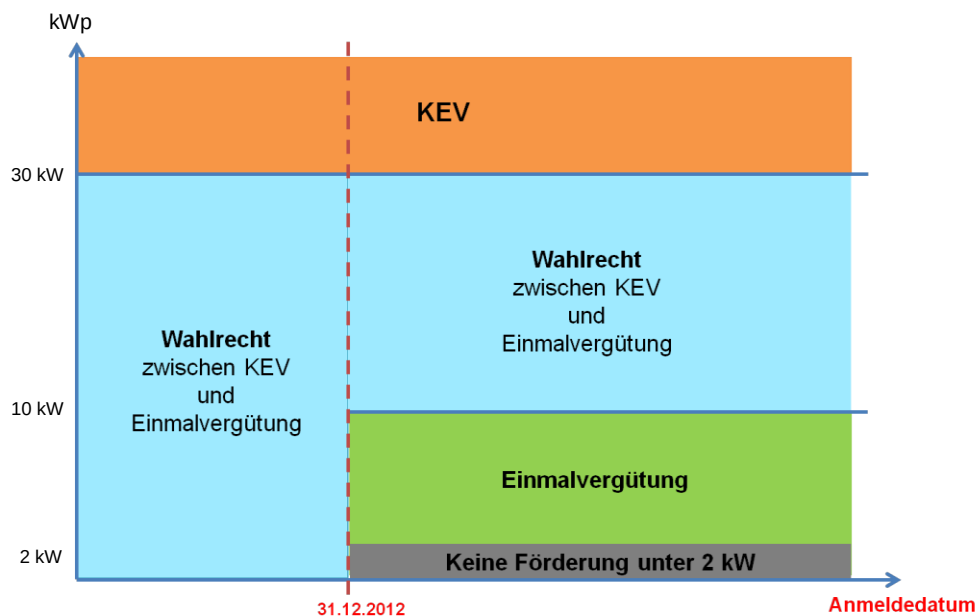


Abbildung 36: Übersicht Wahlmöglichkeit – Einmalvergütung oder KEV (Swissolar 2014).

Aktuelle Tarife und Höhe der Einmalvergütung

Auch die Vergütungstarife wurden angepasst und gelten für Anlagen, die nach dem 1. Januar 2014 in Betrieb genommen wurden. Die Tarife sind Abbildung 37 dargestellt.

Anlagenkategorie	Leistungsklasse	Vergütungssatz (Rp./kWh)
Freistehend	≤30 kW	23,8
	≤100 kW	19,8
	≤1000 kW	19,2
	>1000 kW	17,2
Angebaut	≤30 kW	26,4
	≤100 kW	22,0
	≤1000 kW	21,3
	>1000 kW	19,1
Integriert	≤30 kW	30,4
	≤100 kW	25,3

Abbildung 37: KEV Tarife 2014, wobei die Leistungsklasse die Nennleistung der PV-Anlage bezeichnet (Schweizerischer Bundesrat 2013).

Die Beiträge für die Einmalvergütung sind in Abbildung 38 dargestellt.

Kategorie		Inbetriebnahme ab 01.01.2013	Inbetriebnahme ab 01.01.2014
Angebaut/Freistehend	Grundbeitrag (CHF)	1500	1400
	Leistungsbeitrag (CHF/kWp)	1000	850
Integriert	Grundbeitrag (CHF)	2000	1800
	Leistungsbeitrag (CHF/kWp)	1200	1050

Abbildung 38: Einmalvergütung für Anlagen (Swissolar 2014).

7.3.3 Technologische Funktionalität

Die physikalische Grundlage der Solarstromerzeugung beruht auf dem photoelektrischen Effekt²⁴. Dabei wird bewegungs-, geräusch- und emissionsfrei Sonnenenergie (Photonen) direkt in elektrische Energie umgewandelt. Das elektrische Bauelement, in welchem diese Umwandlung stattfindet, wird als Solarzelle bezeichnet. Beim Bestrahlen der Solarzelle mit Sonnenlicht wird durch den photoelektrischen Effekt eine Gleichspannung (DC) erzeugt, welche als Energiequelle verwendet werden kann. Meistens ist für die Weiterverwendung der generierten elektrischen Energie eine weitere Umwandlung von Gleichstrom in Wechselstrom (AC) mittels eines Wechselrichters notwendig.

Einzelne Solarzellen werden zu sogenannten Solarmodulen zusammengefasst. Die Solarmodule werden über elektrische Leitungen mit dem Wechselrichter verbunden. Die Anzahl der verwendeten Solarmodule hängt meist von der zur Verfügung stehenden (Dach-) Fläche sowie dem zur Verfügung stehenden Investitionsbudget ab und definiert die Nennleistung der PV-Anlage. Der Wechselrichter bildet das Bindeglied zwischen einem lokalen Stromnetz (z.B. im Gebäude) und einem öffentlichen Stromnetz. Eine Übersicht über eine typische PV-Anlage ist in Abbildung 39 dargestellt²⁵.

²⁴ Eine umfassende Behandlung des Thema Photovoltaik und des photoelektrischen Effekts kann in (Schmitz & Volkmann, 2013) gefunden werden.

²⁵ Neben der gezeigten gibt es auch andere gängige Topologien zur Verschaltung der Anlage.

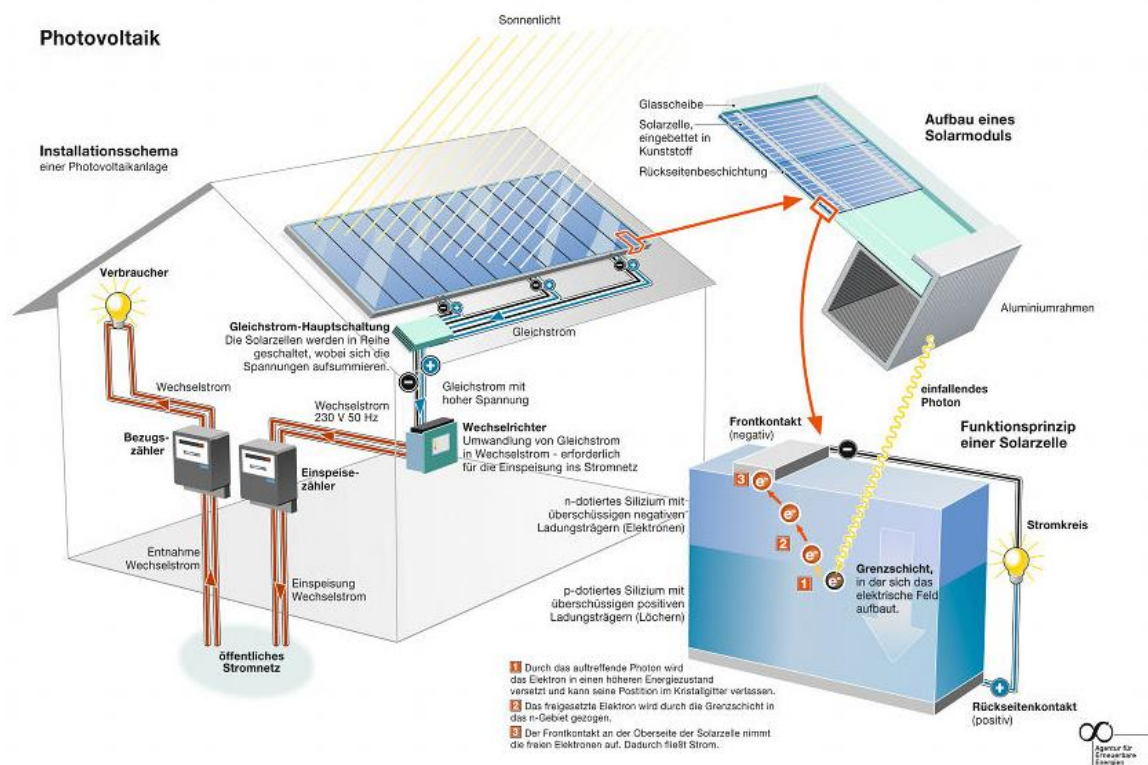


Abbildung 39: Beispielhafte Übersicht einer PV-Anlage ohne Speicher. Ein Speicher kann, je nach Konfiguration, vor oder nach dem Wechselrichter eingebunden werden. (Agentur für erneuerbare Energien 2013).

Zur Befestigung und zum optimalen Ausrichten der Solarmodule wird meistens eine Metallkonstruktion verwendet. Alternativ können die Solarmodule auch direkt in Gebäudeelemente wie z.B. Dachziegel oder Wandverkleidung integriert werden (BIPV). Jedoch ist diese Anwendung heutzutage eher noch selten, da BIPV in der Regel mit hohen Kosten verbunden ist.

7.3.4 Potentialanalyse

Die nachfolgend präsentierten Resultate und Analysen stützten sich hauptsächlich auf die Arbeit von Ammann (2014). Weitere Analysen und detaillierte Beschreibungen der Methode können in Ammann (2014) nachgeschlagen werden.

Vorbemerkung zur Amortisationszeit als Leistungskennzahl: Auf Wunsch unserer Projektpartner verwenden wir in diesem Kapitel die Amortisationszeit als wirtschaftliche Leistungskennzahl (Key Performance Indicator – KPI) einer PV-Anlage. Grund für die Wahl dieser Kennzahl ist ihre weite Verbreitung in der Wirtschaft. Die Amortisationszeit beschreibt die Zeitdauer, nach der Anfangsinvestition und kumulierte Folgekosten erstmals durch das kumulierte Einkommen vollständig ausgeglichen sind. Sie bildet damit einen Indikator, der die relative Wirtschaftlichkeit und die Cash-Flow-Dynamik verschiedener Investitionen vergleichbar macht. Damit ist sie für den in diesem Kapitel angestrebten Leistungsvergleich verschiedener Performance-Faktoren sehr gut geeignet. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist allerdings zu beachten, dass die Amortisationszeit keine direkten Rückschlüsse auf die Rentabilität einer PV-Anlage zulässt, da sie weder Kapitalkosten noch den Zeitwert des Geldes berücksichtigt.

Cash Flow Breakdown

In Abbildung 40 ist dargestellt, wie sich die Amortisationszeit für die betrachteten Gebäudetypen berechnet und von welchen Faktoren diese hauptsächlich abhängig ist.

Erkenntnis 1: Der Gebäudetyp hat einen grossen Einfluss auf den resultierenden Eigenverbrauchsanteil

Es ist zu sehen, dass bei Einfamilienhäusern unter den getroffenen Annahmen nur ein Eigenverbrauchsanteil von ca. 30-40% erreicht wird. Dies ist einerseits auf eine schlechte zeitliche Übereinstimmung von Last- und Produktionskurve zurückführbar. Während der Hauptenergieverbrauch in einem Wohnhaus in den Abendstunden stattfindet, hat die PV-Anlage die grösste Stromerzeugung um die Mittagszeit. Dadurch ist die Überlappung eher gering. Andererseits übersteigt die Produktion den Verbrauch um ein vielfaches, da eine relativ grosse Anlage angenommen wurde, welche die gesamte, vorhandene Dachfläche ausfüllt.

Des Weiteren ist das modellierte Gebäude verhältnismässig stark elektrifiziert, da das Heizen und die Bereitstellung von Warmwasser durch eine elektrische Wärmepumpe erfolgt. Würde man ein Gebäude mit einem niedrigeren Elektrifizierungsgrad (z.B. mit einer fossilen Heizung) betrachten, wäre der elektrische Verbrauch, und damit der Eigenverbrauchsanteil, geringer. Auf der anderen Seite würde eine verkleinerte Dimensionierung der Anlage bei gleichbleibendem Verbrauch typischerweise zu einem höheren Eigenverbrauchsanteil führen.

Dies ist beim Mehrfamilienhaus zu sehen, welches im Verhältnis zum Verbrauch eine viel kleinere PV-Anlage besitzt als das Einfamilienhaus, da weniger Dach- pro Wohnfläche zur Verfügung steht. Der Eigenverbrauchsanteil von ca. 90% ist dementsprechend hoch.

Bei den beiden Bürogebäuden überschneiden sich die Last- und Produktionskurve relativ gut, da die Arbeits-, und somit die Hauptverbrauchszeiten, mit den Sonneneinstrahlungszeiten übereinstimmen. Dies resultiert in einem hohen Eigenverbrauchsanteil von ca. 85%. Jedoch gibt es jeweils am Wochenende viel überschüssigen Solarstrom, welcher ins Netz eingespeist werden muss, da zu diesen Zeiten fast keine Lasten im Gebäude vorhanden sind.

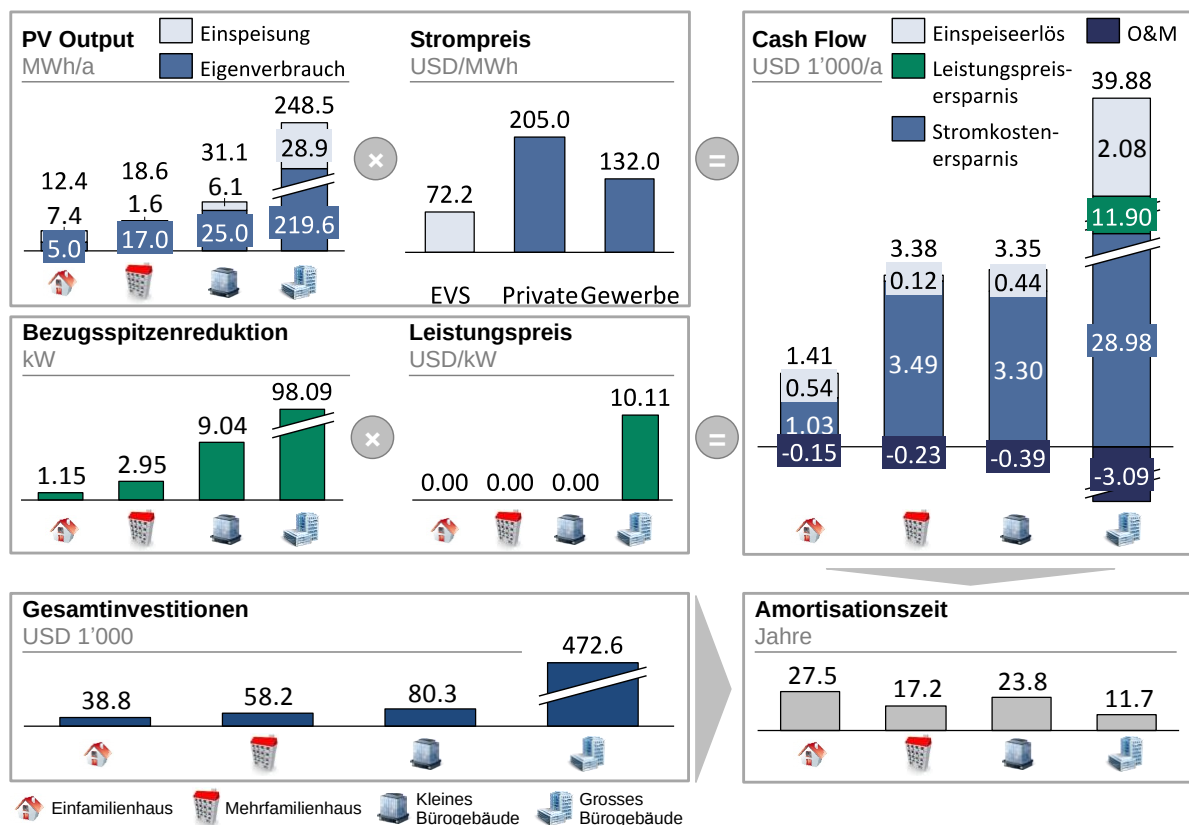


Abbildung 40: Cash Flow Breakdown für alle vier Gebäudetypen in Bern.

Erkenntnis 2: Die Wirtschaftlichkeit der Anlage ist stark abhängig vom Eigenverbrauchsanteil sowie vom Strom- und Leistungspreis.

Weiter zeigt Abbildung 40, dass der Eigenverbrauch unter den getroffenen Annahmen mehr Cash Flow generiert als die Einspeisung ins Netz. Dies ist der Fall, weil der angenommene marktbasierende Einspeisevergütungssatz (EVS) viel tiefer als die KEV oder die aktuellen Strompreise ist. Ein hoher Eigenverbrauchsanteil ist daher wünschenswert.

Der Strompreisvergleich zwischen Privat- und Gewerbekunden zeigt, dass die eingesparten Kosten für die Bürogebäude um einiges kleiner sind als für das Ein- und das Mehrfamilienhaus. Demzufolge ist auch der Cash Flow für das kleine Bürogebäude kleiner als für das Mehrfamilienhaus, obwohl es deutlich mehr Strom produziert.

Bei Grossverbrauchern wie dem grossen Bürogebäude spielt zusätzlich zu den Stromkostensparnissen, auch der Leistungspreis eine Rolle. Durch die Reduktion der maximalen Netzleistung können zusätzliche Ersparnisse erzielt werden, welche aber im Vergleich zu den Stromkostensparnissen nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Erkenntnis 3: Mehrfamilienhäuser und grosse Bürogebäude sind heute schon wirtschaftlich interessant.

Die Simulation hat für den Standort Bern für das Mehrfamilienhaus eine Amortisationszeit von 17,2 und für das grosse Bürogebäude eine Amortisationszeit von 11,7 Jahren ergeben. Der Amortisationswert für das grosse Bürogebäude ist nicht nur auf den relativ hohen Eigenverbrauchsanteil zurückzuführen, sondern vor allem auch auf Skaleneffekte, wodurch die Kosten pro installierte kWp Nennleistung signifikant abnehmen. Bei dem Mehrfamilienhaus spielt neben dem hohen Eigenverbrauchsanteil vor allem auch der hohe Strompreis für Privatkunden eine wichtige Rolle für eine kurze Amortisationszeit.

Vergleich von verschiedenen Fördermechanismen

In Abbildung 41 sind die Amortisationszeiten für alle vier Gebäudetypen aufgezeigt, welche sich unter verschiedenen Fördermechanismen ergeben. Für den Eigenverbrauch wurde angenommen, dass der überschüssige Strom nur mit einem marktbasierten EVS vergütet wird (siehe dazu auch Abbildung 40). Der Cash Flow ergibt sich aus Eigenverbrauch und Einspeisung. Die Wirtschaftlichkeit bei Erhalt der Einmalvergütung berechnet sich wie die Wirtschaftlichkeit für den Eigenverbrauch, jedoch wurden die Investitionskosten pauschal um 30% reduziert, was der maximal möglichen Einmalvergütung entspricht. Für die KEV-Berechnung ist der EVS für 20 Jahre konstant und entspricht den KEV Tarifen von 2013, wie sie in Abbildung 37 dargestellt sind. Für die restlichen 5 Jahre wurde weiterhin 100% Einspeisung angenommen, allerdings mit angepasstem EVS.

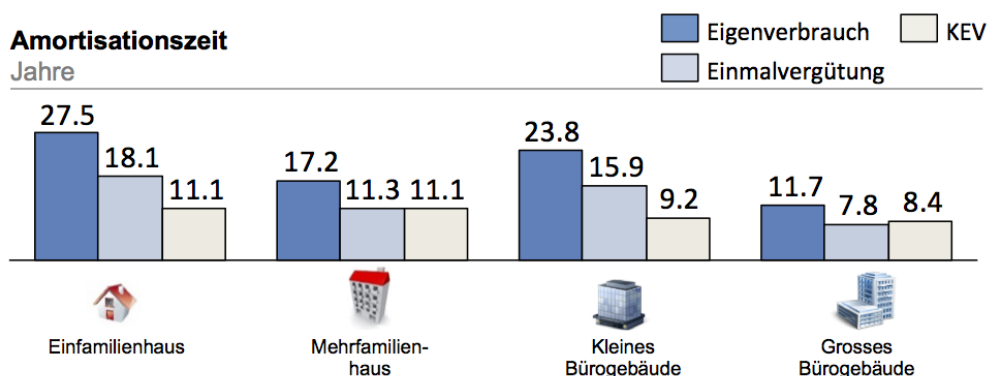


Abbildung 41: Vergleich zwischen verschiedenen Fördermechanismen in Bern (KEV – Kostendeckende Einspeisevergütung. Direktbetrag – Einmalvergütung von 30% der Investitionssumme)

Erkenntnis 4: Durch Eigenverbrauch mit Einmalvergütung können heute schon ähnlich gute Ergebnisse wie mit der KEV erzielt werden.

Die heute zur Verfügung stehenden Vergütungssätze wie die KEV oder die Tarife der Ökostrombörse sind um einiges höher als der angenommene, marktbasierte EVS. Dadurch wird die Wirtschaftlichkeit im Vergleich zum normalen Eigenverbrauch signifikant verändert. Für private Haushalte sind mit den KEV Tarifen und PV-Kosten von 2013 (siehe Abbildung 37) Amortisationszeiten von ca. 11 Jahren möglich, während für das grosse Bürogebäude die Amortisationszeit sogar auf 8,4 Jahre fällt.

Neben der KEV ist es in der Schweiz seit Anfang 2014 möglich für Anlagen kleiner als 30 kWp, eine Einmalvergütung von 30% der Gesamtinvestitionskosten zu erhalten (siehe Kapitel 7.3.2). Mit diesem Beitrag ist die Amortisationszeit von Eigenverbrauchsanlagen für alle vier Gebäudetypen kürzer als die angenommene Lebensdauer der Anlage. Für das Mehrfamilienhaus wird eine ähnliche Amortisationszeit wie für die KEV erreicht, während für das grosse Bürogebäude die KEV Amortisationszeit noch unterschritten wird.

Da heute der Direktbeitrag für das grosse Bürogebäude noch nicht verfügbar ist, ist der *Base Case* mit KEV momentan noch die wirtschaftlich beste Option in der Schweiz.

Vergleich über Regionen hinweg

In Abbildung 42 sind alle Amortisationszeiten für alle Gebäudetypen und alle betrachteten Regionen aufgelistet.

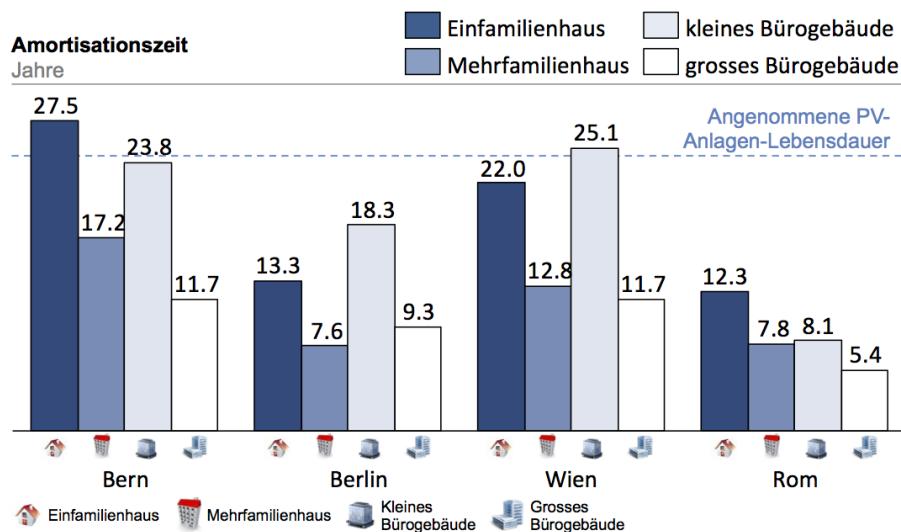


Abbildung 42: Vergleich über Regionen hinweg

Erkenntnis 5: Die Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage ist stark von den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, wie Installationskosten oder Strompreisen, bestimmt.

Es ist zu sehen, dass im Vergleich zu den anderen untersuchten Ländern Deutschland, Österreich und Italien, PV-Anlagen in der Schweiz eine sehr lange Amortisationszeit haben. Für Österreich ergeben sich ähnliche Werte wie für die Schweiz, jedoch sind die Amortisationszeiten für private Haushalte in Österreich leicht besser.

Deutlich kürzere Amortisationszeiten können in Deutschland und vor allem in Italien erzielt werden. PV-Anlagen in Italien können zu tiefen Investitionskosten errichtet werden und profitieren von hohen Sonneneinstrahlungswerten (vgl. Abbildung 43). Zudem sind die Stromkosten in Italien allgemein hoch (vgl. Abbildung 43), was Einsparungen durch Eigenverbrauch vergrössert.

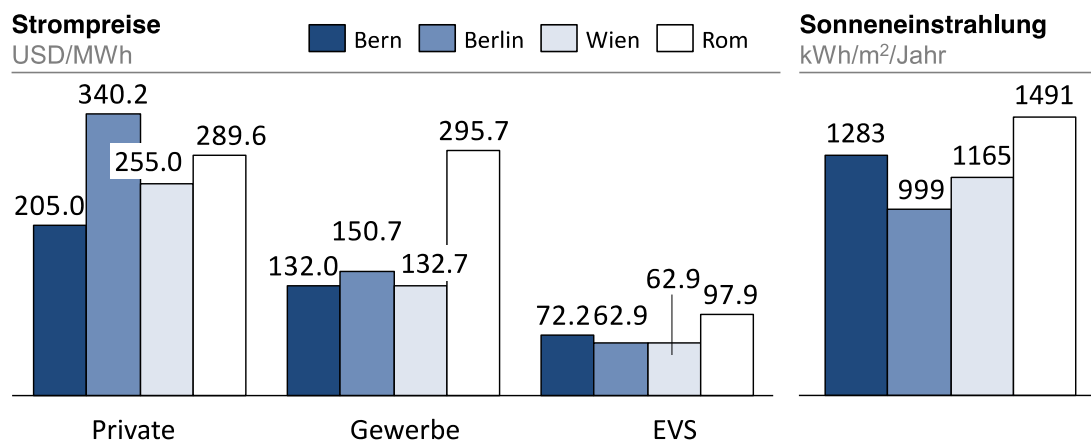


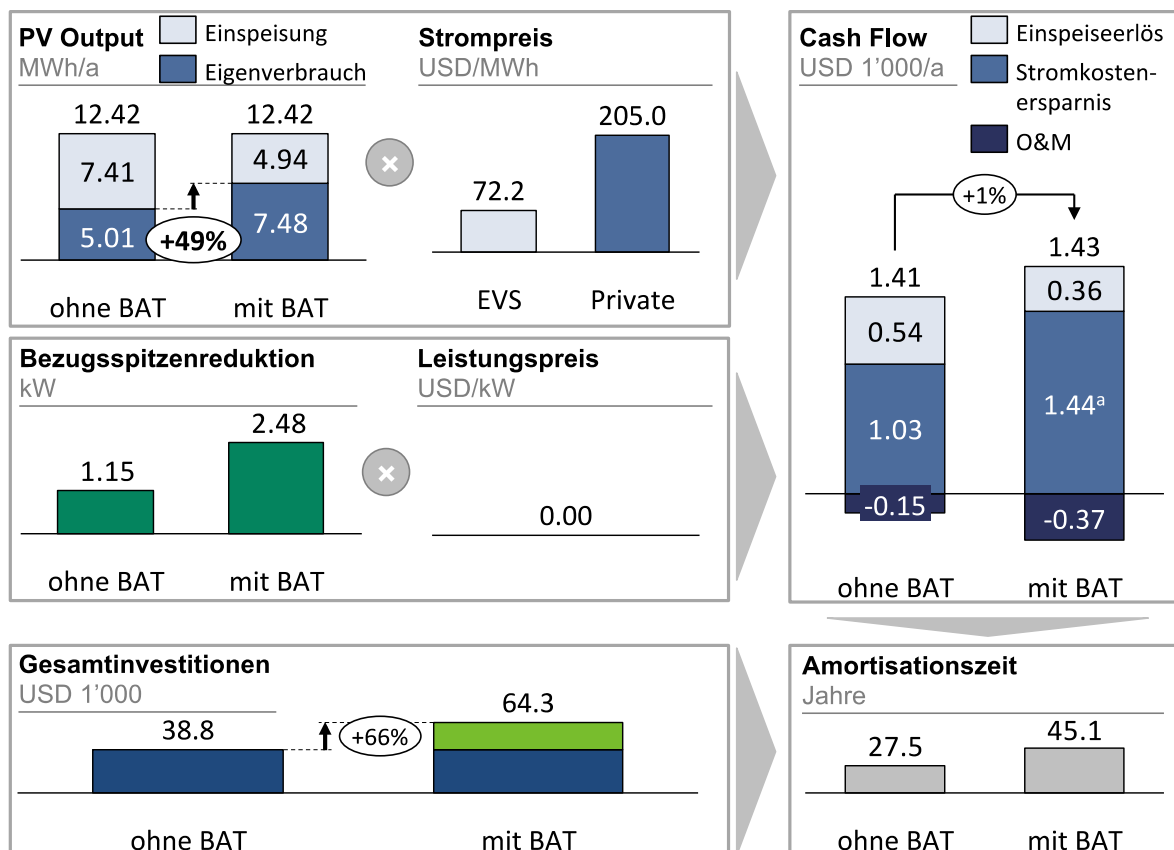
Abbildung 43: Strompreise und Sonneneinstrahlungswerte für die betrachteten Regionen

Erkenntnis 6: Wirtschaftlich attraktive PV-Anlagen sind auch in weniger sonnenintensiven Ländern wie z.B. Deutschland möglich.

In Deutschland können trotz der vergleichsweise geringsten jährlichen Sonneneinstrahlung sehr gute Amortisationszeit-Werte erzielt werden. Dies ist einerseits auf die fortgeschrittene Entwicklung der PV-Industrie und die damit verbundenen tiefen Installationskosten zurückzuführen. Andererseits sind die Stromkosten für Privatkunden relativ hoch, was in hohen Einsparungen resultiert.

Einfluss von Batteriespeichern

In Abbildung 44 und Abbildung 45 ist dargestellt, wie sich die Amortisationszeit für das Einfamilienhaus bzw. das grosse Bürogebäude, ausgestattet mit einer Batterie (BAT), berechnet und von welchen Faktoren diese hauptsächlich abhängig ist.

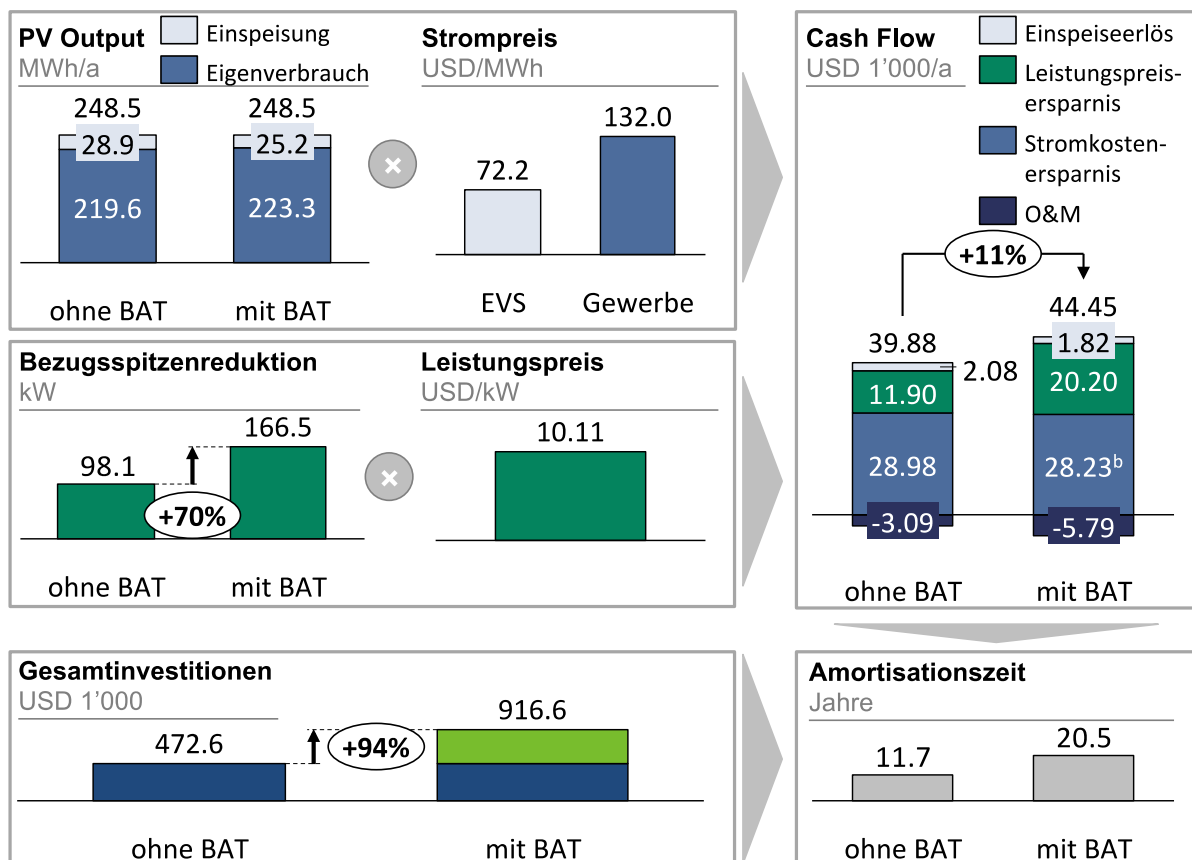


^a Aufgeführte Eigenverbrauchsenergie enthält auch mögliche Effizienzverluste, welche keinen Cash Flow generieren.

Abbildung 44: Cash Flow Breakdown von Eigenverbrauch mit Batterie für das Einfamilienhaus in Bern

Erkenntnis 7: Speichertechnologien erhöhen den Eigenverbrauchsanteil, die Kosten müssen aber unter den getroffenen Annahmen weiter sinken, um in der Schweiz eine verbesserte Wirtschaftlichkeit zu erreichen.

Durch den Batteriespeicher kann der Eigenverbrauchsanteil für das Einfamilienhaus um rund 50% erhöht werden. Jedoch steigen durch den Speicher nicht nur die Wartungskosten (O&M), sondern vor allem auch die Gesamtinvestitionen. Der zusätzlich generierte Cash Flow, bestimmt durch die Differenz zwischen EVS und Privatkundenstrompreis, ist deshalb mit den heutigen Batteriekosten noch nicht ausreichend, um die zusätzlichen Investitionskosten zu amortisieren. Die resultierende Amortisationszeit für eine PV-Anlage mit einer Batterie verlängert sich deshalb signifikant im Vergleich zur Anlage ohne Speicher.



^b Aufgeführte Eigenverbrauchsenergie enthält auch mögliche Effizienzverluste, welche keinen Cash Flow generieren.

Abbildung 45: Cash Flow Breakdown von Eigenverbrauch mit Batterie für das grosse Bürogebäude

Beim grossen Bürogebäude trägt der Batteriespeicher in erster Linie dazu bei, die Strombezugsspitze zu verringern. Da der Eigenverbrauchsanteil bereits fast 90% beträgt, kann der Speicher hier nur geringfügige Verbesserungen erreichen. Die durchschnittliche Bezugsspitzenreduktion kann mit der Batterie um rund 70% erhöht werden, was sich in einer höheren Leistungspreisersparnis niederschlägt. Der gesamte Cash Flow wird aber nur um 11% erhöht, wobei sich die Gesamteinvestitionen um 94% verteuern. Als Folge verlängert sich die Amortisationszeit der Anlage mit der Batterie auf über 20 Jahre.

7.3.5 Barrieren

In diesem Kapitel werden die verschiedenen Diffusionsbarrieren für PV-Dachanlagen diskutiert, welche im Kapitel 3 definiert wurden. Die nachfolgende Bewertung über die Relevanz der einzelnen Barrieren stützt sich einerseits auf die Ergebnisse des Workshops vom 26. März 2014 mit allen Projektteilnehmern, sowie andererseits auf Meinung von Experten aus Wissenschaft und Praxis.

Strukturbarrieren

In der Tabelle 23 ist eine Übersicht über die betrachteten Strukturbarrieren sowie deren jeweilige Relevanz für KEV- und Eigenverbrauchsanlagen dargestellt. Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Barrieren erfolgt im anschliessenden Text.

Tabelle 23: Bewertung der Strukturbarrieren für PV-Dachanlagen

Barriere	Relevanz für KEV/Eigenverbrauch	Begründung
Investor-Nutzer Dilemma	Niedrig/Hoch	• Niedrige Relevanz für KEV, da Investor auch KEV bekommt • Eigenverbrauch: bei Mehrfamilienhäusern sowie bei Bürogebäuden sind Besitzer und Bewohner typischerweise unterschiedlich • Daher zentrale Barriere für den Ausbau von Eigenverbrauchsanlagen über die Einfamilienhäuser hinaus
Tiefe Energiepreise	Niedrig/Hoch	• KEV ist weitgehend unabhängig von den Energiepreisen • Wirtschaftlichkeit von Eigenverbrauch und Einspeisung mit marktbasiertem EVS sinkt jedoch mit tiefen Strompreisen • Tiefe Energiepreise vermindern Bereitschaft für energieeffiziente Massnahmen, da Aufwand-Nutzen Verhältnis nicht stimmt • Barriere für Eigenverbrauch verliert an Relevanz, je tiefer Stromgestehungskosten sinken

Investor-Nutzer Dilemma

Die Relevanz der ersten Strukturbarriere, das *Investor-Nutzer Dilemma*, wird für Eigenverbrauchsanlagen als hoch eingeschätzt, ist jedoch sehr stark vom Gebäudebesitzverhältnis abhängig.

Für Einfamilienhäuser ist sie eigentlich kaum von Relevanz, da die Bewohner meistens die Besitzer des Hauses sind. In diesem Fall ist der Investor auch der Nutzer des Solarstroms und das Dilemma existiert nicht.

Bei Mehrfamilienhäusern ist das *Investor-Nutzer Dilemma* jedoch eine sehr grosse Diffusionsbarriere, da der Besitzer und die Bewohner typischerweise unterschiedlich sind. Auch bei Bürogebäuden besteht oft ein Mietverhältnis und somit das gleiche Dilemma wie bei Mehrfamilienhäusern.

Laut Bundesamt für Statistik sind rund 57% der Gebäude in der Schweiz Einfamilienhäuser (Bundesamt für Statistik 2012), was darauf schliessen lassen würde, dass das *Investor-Nutzer Dilemma* für die Mehrzahl der Gebäude in der Schweiz keine Rolle spielt. Jedoch sind in dieser Statistik keine rein gewerblichen Gebäude, wie Bürogebäude, enthalten. Das *Investor-Nutzer Dilemma* ist dementsprechend für den Ausbau von PV-Dachanlagen für den Eigenverbrauch über Einfamilienhäusern hinaus eine zentrale Diffusionsbarriere.

Im KEV Fall wird die Vergütung an den Investor bzw. Besitzer der Anlage ausbezahlt. Da durch das Einspeisen in das Netz sowieso kein direkter Nutzer definiert werden kann, existiert das Dilemma im KEV Fall gar nicht.

Tiefes Energiepreisniveau

Die Relevanz der zweiten Strukturbarriere, das *tiefe Energiepreisniveau*, ist von den befragten Experten und Workshop Teilnehmern für den KEV Fall als niedrig und für den Eigenverbrauch als hoch eingeschätzt worden. Bei Eigenverbrauchsanlagen sowie Einspeisung mit einem marktbasierten EVS ist diese Barriere von sehr hoher Relevanz. Dies ist der Fall, da tiefe Energiepreise die Attraktivität von Eigenverbrauchsanlagen vermindern, weil die Einsparungen gering sind. Ausserdem drücken tiefe Energiepreise den Ertrag bei einer marktbasierten Einspeisevergütung. Weiterhin ist der Einfluss der Energiekosten auf das Gesamtbudget eher klein und nimmt mit tiefen Energiepreisen weiter ab. Die Bereitschaft die Energieversorgung durch PV sicherzustellen ist dementsprechend klein, da die wirtschaftlichen Vorteile nur minimal sind. Zudem haben alternative kostensenkende Massnahmen meistens ein besseres Aufwand-Nutzen Verhältnis und werden priorisiert. Besonders für Geschäftskunden stellen tiefe Energiepreise eine hohe Barriere dar, da Geschäftskunden typischerweise bessere Strompreiskonditionen haben und die durch Eigenverbrauch generierten Einsparungen somit zusätzlich tiefer sind als für Privatkunden.

Die Barriere verliert jedoch mit der Zeit an Bedeutung, je tiefer die PV-Stromgestehungskosten sinken. Nach dem Erreichen eines gewissen Gestehungskostenschwellwerts garantiert die PV-Anlage eine Energieversorgung zu einem fixen Preis über einen Zeitraum von 25 bis 30 Jahren, unabhängig von eventuellen Preisvolatilitäten. Tiefe Energiepreise stellen ausserdem keine Barriere mehr dar, wenn Solarstrom durch staatliche Förderprogramme wie die KEV vergütet werden, deren Vergütungssätze über Strompreisniveau liegen. In diesem Fall kann eine PV-Anlage in der Regel unabhängig von den Strompreisen profitabel betrieben werden.

Verhaltensbarrieren

Tabelle 24: Bewertung der Verhaltensbarrieren für PV-Dachanlagen

Barriere	Relevanz für KEV/Eigenverbrauch	Begründung
Risiko und Unsicherheit	Mittel/Hoch	- Für Base Case mit KEV kaum von Relevanz, da Einkommen für 20 Jahre sichergestellt - Aktuelle Warteliste beinhaltet jedoch eine gewisse Unsicherheit - Abhängigkeit von unklarer Strompreisentwicklung bei Eigenverbrauch und Einspeisung mit markbasierendem EVS - Mögliche Änderung der regulatorischen Rahmenbedingungen (z.B. Umlagerung der Netznutzungskosten)
Informationsmangel	Niedrig/Mittel	- PV-Technologie und ihre Verfügbarkeit, Funktionsweise und Vorteile sind weitgehend bekannt und bestens dokumentiert - Versteckte Kosten: Installation ist komplizierter als angenommen (z.B. spezielle Architektur, besondere Richtlinien/Baugesetze), vor allem für Eigenverbrauchsanlagen relevant
Trägheit und Gewohnheit	Mittel/Mittel	- Hohe Investitionskosten sowie Installationsaufwand zu Beginn - Kleiner Einfluss von Energiekosten am Gesamtbudget fördert Trägheit und Status Quo - Energiewende, öffentliche Diskussion und steigendes Umweltbewusstsein fördern Bereitschaft zur Veränderung

Risiko und Unsicherheit

Die *Risiko und Unsicherheit* Barriere ist stark vom Betriebsmodell abhängig. So ist sie für den Base Case mit KEV kaum von Relevanz, da das Einkommen für eine vorab definierte Zeit von 20 Jahren sichergestellt und der zukünftige Wartungsaufwand inzwischen gut bekannt ist. Die Profitabilität kann so schon vor Projektbeginn relativ genau und mit wenig Unsicherheit berechnet werden. Das Risiko ist deshalb vor allem für einen Kapitalgeber wie z.B. eine Bank überschaubar, was die Finanzierung stark vereinfacht. Bei Einspeise-Anlagen mit marktbasierter Vergütung ist die Unsicherheit und somit das Risiko sehr hoch, da die Strompreisentwicklung sehr schwierig prognostizierbar, sowie stark volatil sein kann. Die Profitabilität der Anlage kann daher nicht genau berechnet werden. Auch bei Eigenverbrauchsanlagen ist diese Barriere sehr relevant. Da die Profitabilität direkt von der Strompreisentwicklung abhängt und zudem das grosse Risiko der Umlagerung von Stromnetzkosten (z.B. durch Einführung einer Anschlussgebühr) besteht. Jedoch bietet Eigenverbrauch eine Möglichkeit einen Grossteil der Energiekosten für die nächsten 25 bis 30 Jahren zu fixieren, da Stromgestehungskosten der PV-Anlage bekannt sind. Dies vermindert wiederum die Relevanz der Barriere *Risiko und Unsicherheit*.

Eine weitere grosse Unsicherheit entsteht durch mögliche Änderungen in den regulatorischen Rahmenbedingungen. Die Relevanz ist für politisch und wirtschaftlich stabile Länder zwar abgeschwächt, da Entwicklungen im regulatorischen Umfeld absehbar sind bzw. momentane Regulierung bindend ist. Jedoch können in anderen Ländern regulatorische Änderungen retrospektiv auch bereits existierende Anlagen treffen (z.B. Spanien), was ein grosses Risiko darstellt. Zudem können Umlagerungen der Netzkosten bzw. eine Besteuerung des Eigenverbrauchs ohne Verletzung des Bestandschutzes in allen Ländern stattfinden (z.B. Deutschland), was eine zusätzliches Risiko darstellt.

Ein weiteres Risiko ergibt sich aus der langen Lebensdauer der PV-Anlage. Durch den Bau einer PV-Anlage wird das Hausdach für die nächsten 25 bis 30 „blockiert“, d.h. eventuelle Aus- und Umbauten sind in dieser Zeit nur bedingt möglich. Zusätzlich kann die Lebensdauer kürzer als angenommen/versprochen sein. So können Schäden oder ein Austausch von Modulen die Wirtschaftlichkeit stark negativ beeinflussen.

Des Weiteren lässt sich die PV-Stromerzeugung kaum steuern und ist stark von aktuellen Wetterverhältnissen abhängig, was schon von sich aus eine gewisse Unsicherheit beinhaltet. Die Auswirkungen auf die Anlagelebensdauer durch extreme Wetterbedingungen wie Sturm, Schnee oder Hagel lässt sich schwer im Vorhinein abschätzen. Zudem kann ein regnerischer Sommer zu einer viel tieferen Stromproduktionsmenge als angenommen und somit zu verringertem Einkommen führen.

Informationsmangel

Die zweite Verhaltensbarriere *Informationsmangel* wurde mit einer niedrigen bis mittleren Relevanz bewertet. Dies liegt vor allem daran, dass die Technologie und ihre Verfügbarkeit, Funktionsweise und Vorteile durch die globale PV-Industrieentwicklung weitgehend bekannt und gut dokumentiert sind.

Argumente für eine höhere Relevanz der Informationsbarriere sind einerseits mögliche versteckte Kosten. Mehrfamilienhäuser und Bürogebäude haben typischerweise eine kompliziertere Architektur und Gebäudetechnik als Einfamilienhäuser. Dadurch kann man die Komplexität der Installation im Vorhinein nur schwer abschätzen und mögliche zusätzliche Kosten müssen bei der Planung miteingerechnet werden. Zudem können durch nicht ausreichendes Wissen über das Baugesetz und lokale Richtlinien (z.B. zu Feuer- oder Blitzschutz) weitere Kosten bei der Installation auftreten und die Wirtschaftlichkeit somit negativ beeinflussen.

Andererseits könnte weiter ein *Informationsmangel* über die aktuellen Systemkosten und die Gesamtprofitabilität von PV-Anlagen bestehen, da die Modulkosten in letzter Zeit stark gesunken sind sowie die regulatorischen Bedingungen sich wechselhaft zeigten.

Trägheit und Gewohnheit

Die Barriere *Trägheit und Gewohnheit* ist vor allem dadurch relevant, dass sich der finanzielle (hohe Investitionskosten) und zeitliche Aufwand (komplexe Installation und Projektplanung) vorwiegend auf eine kurze Zeit zu Beginn beschränkt. Die Bereitschaft diesen Aufwand auf sich zu nehmen, anstatt bei der kommerziellen Energieversorgung zu bleiben, stellt eine grosse *Trägheit und Gewohnheit* Barriere dar. Dies ist vor allem bei privaten Nutzern relevant, da diese nicht so stark von ökonomischen Anreizen getrieben sind und daher weniger rational agieren als beispielsweise ein Unternehmen. Geschäftskunden hingegen sind typischerweise hohe Investitionen und grosse Projekte gewohnt. Daher werden PV-Projekte bei erwiesener Wirtschaftlichkeit eher schnell umgesetzt.

Durch die öffentlich ausgetragene Diskussion zur Energiewende und dem Atomausstieg sowie das konstant steigende Umweltbewusstsein wird jedoch die Bereitschaft zu Veränderungen von Privat- wie auch Geschäftskunden gefördert, wodurch die Barriere *Trägheit und Gewohnheit* an Relevanz verliert.

Verfügbarkeitsbarrieren

Tabelle 25: Bewertung der Verfügbarkeitsbarrieren für PV-Dachanlagen

Barriere	Relevanz für KEV/Eigenverbrauch	Begründung
Zugang zu Kapital	Mittel/Hoch	• Hohe Investitionskosten und lange Amortisationszeit erschweren Finanzierung bzw. erfordern Fremdfinanzierung • Eigenverbrauchsmodell ist bei Banken noch nicht bekannt und beinhaltet gewisse Unsicherheiten • Mit KEV Zusage lässt sich Profitabilität relativ genau berechnen und Banken gewähren Kapital • Von politischer und wirtschaftlicher Stabilität des Landes abhängig
Produktverfügbarkeit	Niedrig/Niedrig	• Industrie ist entwickelt, PV-Anlagebestandteile sind im Grunde Handelsware • Geeignete Dachflächen sind beschränkt bzw. für Investoren nicht zugänglich
Installation und Gebrauch	Niedrig/Mittel	• Professionelle Installation notwendig • Erfahrung und ausreichende Dokumentationen zur fachgerechten Installation sind inzwischen vorhanden • Bewegungs-, geräusch- und emissionsfreie Stromerzeugung • Geringer Wartungsaufwand

Zugang zu Kapital

Die hohen Investitionskosten und die lange Amortisationszeit einer PV-Anlage erschweren die Finanzierung. Deshalb ist die Diffusionsbarriere *Zugang zu Kapital* eine der wichtigsten Barrieren, welche es für einen weiteren Ausbau der PV-Technologie zu überwinden gilt. Besonders für marktbasierter Einspeisevergütung oder im Eigenverbrauchsmodell kommt dies zum Tragen. Da die zukünftige Strompreis- und Regulierungsentwicklung unklar ist, kann der Cash Flow für die nächsten 20 Jahre nur schwer prognostiziert werden, was wiederum die Bewertung eines Projektes für den Kapitalgeber erschwert. Zusätzlich ist vor allem das Eigenverbrauchsmodell bei den Kapitalgebern noch nicht ausreichend bekannt, wodurch Anträge vorerst noch auf grosse Skepsis stossen. Diese wird sich aber im Laufe der Zeit mit steigender Erfahrung abschwächen.

Für Firmen ist die Finanzierung grundsätzlich eine kleinere Barriere als für Privatpersonen, da Investitionen zum alltäglichen Geschäft eines Unternehmens gehören. Jedoch wird die Finanzierung für Firmen mit hohen Kapitalkosten zu einer grossen Investitionsbarriere. Da eine PV-Anlage kaum Wartungsaufwand benötigt, sind die laufenden Kosten im Wesentlichen durch die Finanzierungskosten verursacht.

Letztlich ist die Barriere *Zugang zu Kapital* wie bei allen Investitionen von der politischen und wirtschaftlichen Stabilität eines Landes abhängig, wie dies schon von Lang et al. (Lang et al. 2013) erläutert wurde.

Produktverfügbarkeit

Im Gegensatz zu der Barriere *Zugang zu Kapital* wird die *Produktverfügbarkeit* als niedrig eingestuft. Dies ist damit zu begründen, dass sich die Industrie in den letzten Jahren stark entwickelt hat und die Bestandteile einer PV-Anlage standardisiert und typischerweise gut verfügbar sind. Im Grunde können die einzelnen Teile der PV-Anlage als Handelsware angesehen werden.

Aus Sicht eines Investors könnte die Verfügbarkeit von geeigneten (Dach-) Flächen eine Barriere darstellen. Da das Errichten einer PV-Anlage eine geeignete Fläche voraussetzt, muss diese entweder erworben oder gemietet werden. Somit ist ein zusätzlicher Vertrag zwischen Investor und Hausbesitzer notwendig. Zudem muss die Kompatibilität der PV-Anlage mit dem Gebäude (Gebäudestabilität) und der Umgebung (Landschaftsbild) gewährleistet sein.

Installation und Gebrauch

Wie schon bei den Verhaltensbarrieren stellt vor allem der hohe Aufwand für die Installation eine Barriere dar, welche professionelle Beratung und Ausführung benötigt. Ein Fehler bei der Installation, z.B. eine falsche Dimensionierung der Wechselrichter, die Beschädigung des Daches oder eine Unterbrechung der Modulverbindungen können über die ganze Lebensdauer der Anlage Auswirkungen auf die produzierte Strommenge und damit auf den generierten Cash Flow haben.

Dieser Barriere wirken das inzwischen weithin aufgebaute Knowhow und entsprechende Dokumentationen zur fachgerechten Installation von PV-Anlagen entgegen. Da die Diffusion von Eigenverbrauchsanlagen im Vergleich mit Einspeiseanlagen noch nicht weit fortgeschritten ist, stellt die Installation und der Gebrauch für den Eigenverbrauch eher eine Barriere dar. Allerdings kann eine PV-Anlage, unter der Annahme einer fachgerechten Installation, nicht „falsch“ gebraucht werden, da sie keine Steuerung durch den Nutzer verlangt. Auch stellen der bewegungs-, geräusch- und emissionsfreie Betrieb sowie der geringe Wartungsaufwand keine wirklichen Gebrauchsbarrieren dar. Weiter gibt es mittlerweile gute Versicherungsprodukte, welche die Bestandteile einer Anlage gegen Ausfall versichern (z.B. Inverterversicherung).

7.3.6 Unternehmensherausforderungen

Im vorausgegangenen Kapitel wurden die wichtigsten Diffusionsbarrieren für Aufdach-PV-Anlagen erläutert. Unternehmen stehen nun vor Herausforderung diese Barrieren zu überwinden, sowie profitable Geschäftsmodelle zu entwickeln und umzusetzen. Nachfolgend wird auf verschiedene Geschäftsmodelle eingegangen, welche vor allem auf die Überwindung von den finanziellen Barrieren, wie *Zugang zu Kapital*, abzielen. Die beschriebenen Modelle beziehen sich vor allem auf Anlagen, welche nicht durch die KEV finanziert werden sollen.

Im zweiten Teil dieses Kapitels wird aufgezeigt, welche konkreten unternehmerischen Herausforderungen Firmen ausserdem zu meistern haben, um im Gebiet von PV-Dachanlagen profitabel agieren zu können und welche Massnahmen dazu getroffen werden können. Die präsentierten Herausforderungen stützen sich unter anderem vor allem auf Experteninterviews, Zeitungsausschnitte und der aktuellen wissenschaftlichen Literatur.

Geschäftsmodelle zur Überwindung der finanziellen Barrieren

Contracting

Ein mögliches Geschäftsmodell zur Überwindung der finanziellen Barrieren ist das sogenannte *Contracting*. Dabei wird die PV-Anlage weder vom Mieter noch vom Vermieter eines Gebäudes, sondern von einer Drittpartei (Contractor) installiert und betrieben. Zwischen dem Contractor und dem Gebäudebesitzer wird dafür einen Mietvertrag für die Dachfläche für einen definierten Zeitraum abgeschlossen. Der Contractor ist typischerweise ein grosses Unternehmen, wie z.B. ein Technologieprovider oder ein Energieversorgungsunternehmen, welches über ausreichend Geldmittel verfügt.

Dadurch können verschiedene Barrieren einfacher bewältigt werden. So wird das *Investor-Nutzer Dilemma* durch das Contracting eingedämmt, da der Gebäudebesitzer eine fixe Rendite für die Vermietung seiner Dachfläche erhält. Des Weiteren ist das Risiko für den Gebäudebesitzer gering, da ein Zahlungsausfall durch den Contractor (grosses Unternehmen mit ausreichenden Ressourcen) eher unwahrscheinlich ist. Die Finanzierung der Anlage kann auch einfacher realisiert werden, da der Contractor im Vergleich zum Gebäudebesitzer entweder selbst genug Kapital besitzt oder aber vereinfachten Zugang zu Kapital hat.

Durch die Bearbeitung einer Vielzahl von ähnlichen Projekten, kann zusätzliches Knowhow innerhalb des Contractor-Unternehmens entwickelt und die Projektabwicklung dadurch effizienter gestaltet werden. Einerseits werden so die Barrieren *Installation und Gebrauch* sowie *Gewohnheit und Trägheit* abgeschwächt. Andererseits profitiert der Contractor durch den Aufbau eines Portfolios an PV-

Anlagen von einer stärkeren Verhandlungsposition gegenüber Zulieferern und von möglicherweise niedrigeren Finanzierungskosten.

Leasing

Ein dem *Contracting* ähnliches Geschäftsmodell ist das *Leasing*. Dabei übernimmt der Leasinggeber, welcher wie bei *Contracting* eine Drittpartei (weder Mieter noch Vermieter) darstellt, die Installation und den Betrieb der Anlage. Der Gebäudebesitzer bezahlt dafür eine monatliche Leasingrate, kann dafür aber auch den produzierten Strom selbst verbrauchen. Überschüssiger Strom wird ins Netz eingespeist.

Mit diesem Modell wird in erster Linie die Barriere *Zugang zu Kapital* angegangen, da der Gebäudebesitzer durch das Leasing die anfänglichen Investitionskosten sehr stark reduzieren bzw. sogar vermeiden kann.

Für den Leasinggeber ergibt sich den Vorteil, dass die Rendite der Investition durch den ausgehandelten Leasingzins gegeben ist. Jedoch besteht natürlich das Risiko eines Zahlungsausfalls durch den Leasingnehmer, welches bei der Berechnung des Geschäftsmodells miteinbezogen werden muss.

Leasing ist auch mit dem Einspeise-Betriebsmodell möglich, reduziert dabei aber nicht die Risiken von volatilen Strompreisen oder sich ändernden regulatorischen Rahmenbedingungen.

Solar Power Purchase Agreement

Ein weiteres, ähnliches Geschäftsmodell ist das sogenannte *Solar Power Purchase Agreement (SPPA)*. Die eine Seite des *SPPA* ist wie beim *Contracting* ein Unternehmen, welches die PV-Anlage bezahlt, installiert und betreibt. Die andere Seite stellt wiederum die dazu benötigte (Dach-) Fläche zur Verfügung. Beim *SPPA* wird der produzierte Strom jedoch direkt an den Besitzer der Fläche weitergegeben. Dieser kann so tiefere Stromkosten erzielen, muss sich aber nicht um die Installation und den Betrieb der Anlage kümmern. Der Hauptunterschied zum Leasing besteht darin, dass beim *SPPA* pro verbrauchte kWh abgerechnet wird, während beim Leasing eine fixe, monatliche Zahlung erfolgt.

Einerseits wird so die Barriere *Risiko und Unsicherheit* für den (Dach-) Flächenbesitzer aufgelöst, da dieser nur für den erhaltenen Strom bezahlen muss und sich dies – aus Sicht des Konsumenten – von der konventionellen Energieversorgung kaum unterscheidet. Andererseits hat das Unternehmen einen Zugang zu einer Dachfläche und muss sich nicht weiter um den Verkauf des produzierten Stroms kümmern, da dies Bestandteil der Abmachung ist.

Herausforderungen, die dabei beachtet werden müssen, sind unter anderem mögliche komplexe Verhandlungen und Administration, welche nötig ist, da der Stromverbrauch des Dachflächenbesitzers meist nicht zu 100% aus lokal produziertem PV-Strom gedeckt werden kann. Zudem wäre der klassische Solarstromeinkauf von einem Energieversorgungsunternehmen für den Gebäudebesitzer eigentlich mit weniger Aufwand verbunden und ohne Blockierung des eigenen Daches möglich. Die *Trägheit und Gewohnheit* Barriere kann deshalb beim *SPPA*, wie auch beim Leasing, eine grosse Herausforderung darstellen.

Crowdfunding

Eine PV-Anlage lässt sich auch durch viele kleine Kapitalgeber finanzieren, die nur einen Bruchteil der gesamten Investitionskosten zur Verfügung stellen. Ist dies der Fall, spricht man vom sogenannten *Crowdfunding*. Planung, Installation und Betrieb der Anlage übernimmt jedoch weiterhin der Nutzer der Anlage, welcher das Kapital bekommt.

Für den Nutzer stellt das *Crowdfunding* einen alternativen Zugang zu Kapital dar, welcher gegenüber der klassischen Finanzierung geringere finanzielle Risiken beinhalten kann.

Das *Crowdfunding* benötigt jedoch eine Plattform, über welche die Geldbeträge überwiesen und sicher verwaltet werden. Für Unternehmen ergibt sich daraus die Möglichkeit als zuverlässige Plattformbetreiber agieren zu können und dabei einerseits eine Vermittlungsgebühr zu erheben und ande-

rerseits die Plattform als Werbefläche für Installateuren und Lieferanten von PV-Anlagen anzubieten. In den USA wird solch eine Plattform von *Solar Mosaic* betrieben, in Deutschland gibt es unter anderem *bettervest* oder *GreenCrowding* und in der Schweiz existiert ein ähnliches Projekt von *Energie Genossenschaft Schweiz*.

Für den Betrieb der Plattform müssen natürlich die entsprechenden, regulatorischen Rahmenbedingungen gegeben sein. Zudem kann fehlendes Vertrauen auf beiden Seiten das Geschäftsmodell zum Erliegen bringen.

Property Assessed Clean Energy

Bei der *Property Assessed Clean Energy (PACE)* Finanzierung agiert die Wohngemeinde als Zwischenhändler, welche an Investoren ein Kommunalanleihe ausgibt und die erhaltenen Geldmittel an Privatkunden bzw. Firmen weitergibt, welche damit in PV-Anlagen (oder andere Energieeffizienzmassnahmen) investieren. Das Darlehen wird dabei über die Grundstückssteuer über einen Zeithorizont von 15 bis 20 Jahren abbezahlt. Speziell ist bei der *PACE* Finanzierung, dass das Darlehen nicht an eine natürliche oder juristische Person, sondern an das Grundstück gebunden ist.

In erster Linie wird so der Zugang zum Kapital sichergestellt. Zudem bietet die *PACE* Finanzierung für den Kapitalgeber eine zusätzliche Sicherheit, indem das Darlehen an das Grundstück gebunden wird. Auch sind die Vermittlungsgebühren günstiger, da die Wohngemeinde nicht gewinnorientiert agieren muss.

Das Risiko wird für alle Seiten geringer. Einerseits weil der Kapitalgeber das Grundstück als Pfand sowie die Gemeinde als verlässlichen Partner hat. Andererseits weil der Rückzahlungszeitraum von 15 bis 20 Jahren eine tiefe, jährliche Zinsbelastung ermöglicht und dadurch auch wirtschaftlich schwächere Projekten realisierbar sind.

Konkrete Unternehmensherausforderungen

Für ein Unternehmen, welches PV-Anlagen installiert, ist es wichtig, *günstig* und möglichst schnell die benötigten Bestandteile zu erhalten. Einerseits liegt dies daran, grosse Lagerkapazitäten zu umgehen, sowie andererseits dem Endkunden konkurrenzfähige Preise anbieten zu können. Dazu benötigt es verlässliche Lieferanten mit lokalem oder zumindest nationalem Standort, welche zu günstigen Konditionen liefern können. Im europaweiten Vergleich sind die schweizerischen Lieferanten jedoch eher teuer. Lieferanten aus Deutschland, Spanien oder Frankreich können weitaus günstiger liefern und stellen dementsprechend eine interessante Alternative dar. Für den Import von Bestandteilen aus dem Ausland braucht es allerdings ausreichendes Wissen über die Zollbestimmungen und effiziente Zollabwicklungsmechanismen. Zudem gibt es eventuell auch sprachliche Barrieren mit den Lieferanten, die überwunden werden müssen.

Neben der Beschaffung von günstigen Bestandteilen stellt eine fachgerechte Installation eine grosse Herausforderung dar. Dies, damit *Installation und Gebrauch* keine Barriere darstellt und die maximale Performance der Anlage über die gesamte Lebensdauer erzielt werden kann. Eine fachgerechte Installation kann aber nur mit lokalen Installateuren, welche die entsprechenden Fähigkeiten aufweisen, durchgeführt werden. Auf Basis der Befragungen, die wir im Rahmen dieses Projektes durchgeführt haben, scheint es, dass in der Schweiz zu wenig ausreichend trainierte Installateure vorhanden sind, bzw. dass zu wenig Neue ausgebildet werden. Für das Unternehmen ergibt sich dadurch eine Verfügbarkeitsbarriere.

Um diese umgehen zu können, kann das entsprechende Knowhow entweder firmenintern aufgebaut oder extern eingekauft werden. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass das Finden und Schulen von geeigneten Mitarbeiter typischerweise eine zeit- und kostenintensive Angelegenheit ist, sowie dass auch Installateure aus Frankreich und Deutschland in der Schweiz für ähnliche Löhne wie lokale Installateure arbeiten.

Eine *Risiko und Unsicherheit* Barriere stellen die aktuellen KEV Wartezeiten dar, welche viele potenzielle PV-Nutzer abschrecken. Dies ist der Fall, da der Nutzer das Risiko trägt, nach der Abarbeitung

der Warteliste keine KEV mehr zu bekommen. Die finanzielle Sicherheit ist somit für den Nutzer nicht mehr gewährleistet.

Eine weitere wichtige, unternehmerische Herausforderung ist das Einholen von Genehmigungen und Einhalten von Richtlinien. Dazu muss das Unternehmen zu jeder Zeit über die aktuelle und sich manchmal ändernde Gesetzesgrundlage informiert sein. Dies beinhaltet nicht nur PV-Fördermassnahmen, sondern vor allem auch Bau- und Sicherheitsbewilligungen, wie z.B. allgemeine Baugesuche, Feuer-, Arbeits-, Strom- oder Stabilitätssicherheit. Das Fehlen dieses Wissens repräsentiert eine *Informationsbarriere*.

Neben dem fehlendem Wissen stellt die sich häufig ändernde Gesetzesgrundlage einen grossen Unsicherheitsfaktor dar, sowie die Tatsache, dass auch widersprechende Projekte wegen lokaler Richtlinien häufig nicht durchgeführt werden können. In das Bewilligungsverfahren sind meistens viele verschiedene Parteien und Ämter involviert, was den Prozess kompliziert und träge macht. Insbesondere in der Schweiz ist dies im Vergleich zu den anderen Ländern eine grosse Barriere. So braucht es beispielsweise schon für den Blitzschutz hierzulande ein eigenes Bewilligungsverfahren, während der Blitzschutz in anderen Ländern als wenig relevant betrachtet wird. Zudem müssen allgemein bei der Neuerrichtung von Anlagen die neusten Standards eingehalten werden, was wiederum höhere Kosten nach sich zieht. Im Vergleich zu Deutschland entstehen so, gemäss Expertenaussage, rund 20-30% Mehrkosten nur durch Bewilligungsverfahren. Weiter können mögliche Einsprache-Verfahren von Nachbarn eine Barriere darstellen, welche ein Projekt verzögern oder sogar verhindern können.

Um die benötigte Zeit für die Bewilligungsverfahren möglichst kurz zu halten, ist es für Unternehmen wichtig, die lokalen Prüfspezialisten/Inspektoren und deren Eigenheiten zu kennen, da die Auslegung und Gewichtung der Gesetzgebung subjektiv sein kann.

Neben der Gesetzesgrundlage für das Errichten, kann auch das Betreiben der PV-Anlage gewisse Herausforderungen beinhalten. So kann z.B. der Eigenverbrauch gesetzlich nicht erlaubt sein, wodurch sich gewisse Geschäftsmodelle nicht umsetzen lassen. Dies ist jedoch für die Schweiz nicht der Fall. Des Weiteren kann es sein, dass der produzierte Strom vom Besitzer der Anlage verbraucht werden muss, damit das Modell als Eigenverbrauchsmodell anerkannt wird. Dadurch wird einerseits das *Investor-Nutzer Dilemma* gefördert und andererseits Contracting eingeschränkt.

8 Literaturverzeichnis

- 50 Hertz Transmission GmbH, 2013. Regelzonenübergreifender einheitlicher Bilanzausgleichsenergiepreis - reBAP. *Online*. Available at: <http://www.50hertz.com/de/Energiebeschaffung/Regelenergie/Ausgleichsenergiepreise/Dateiarchiv-2013>.
- Achtnicht, M., 2011. Do environmental benefits matter? Evidence from a choice experiment among house owners in Germany. *Ecological Economics*, 70(11), pp.2191–2200.
- AG Energiebilanzen e.V., 2011. *Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den Jahren 2009 und 2010*, Berlin, Germany. Available at: <http://www.bmwi.de/Dateien/BMWi/PDF/studie-anwendungsbilanz-2009-2010,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>.
- Agarwal, R. & Karahanna, E., 2000. Time Flies When You're Having Fun: Cognitive Absorption and Beliefs about Information Technology Usage. *MIS Quarterly*, 24(4), p.665. Available at: <http://www.jstor.org/stable/3250951?origin=crossref> [Accessed August 4, 2014].
- Agarwal, R. & Prasad, J., 1998. A Conceptual and Operational Definition of Personal Innovativeness in the Domain of Information Technology. *Information Systems Research*, 9(2), pp.204–215. Available at: <http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/isre.9.2.204> [Accessed August 19, 2014].
- Agentur für erneuerbare Energien, 2013. Solaranlage Ratgeber. Available at: <http://www.solaranlage-ratgeber.de/photovoltaik/photovoltaik-technik/komponenten-einer-photovoltaikanlage> [Accessed June 26, 2014].
- Ajzen, I., 1991. The theory of planned behavior. *Organizational behavior and human decision processes*, 50(2), pp.179–211.
- Ammann, D., 2014. *The Economic Potential of Self-Consumption for Building Rooftop Photovoltaic*. ETH Zürich.
- Ashford, N.A., Ayers, C. & Stone, R.F., 1985. Using Regulation to Change the Market for Innovation. *Harvard Environmental Law Review*, 9, pp.419–466. Available at: <http://hdl.handle.net/1721.1/1555>.
- Bagozzi, R.P., Yi, Y. & Phillips, L.W., 1991. Assessing Construct Validity in Organizational Research. *Administrative Science Quarterly*, 36(3), p.421. Available at: <http://www.jstor.org/stable/2393203?origin=crossref> [Accessed August 19, 2014].
- Banfi, S. et al., 2008. Willingness to pay for energy-saving measures in residential buildings. *Energy Economics*, 30(2), pp.503–516. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988306000764>.
- Barney, J.B. & Hesterly, W., 2010. *Strategic Management and Competitive Advantage* 3rd ed., New Jersey: Pearson Education.
- Becker, D., Wichmann, J. & Bader, N., 2012. *Effizienzmodell für Schweizer Stromlieferanten* B. Schweiz, ed., Berlin: ECOFYS.
- Bélanger, F. & Carter, L., 2008. Trust and risk in e-government adoption. *The Journal of Strategic Information Systems*, 17(2), pp.165–176.

- BILANZ, 2013. BKW CEO: Wir wandeln uns zu einem Energiedienstleister. *www.bilanz.ch*. Available at: <http://www.bilanz.ch/news/bkw-ceo-wir-wandeln-uns-zu-einem-energiedienstleister>.
- BKW, 2013. BKW Group Half-Year Report 2013 Facts & Figures BKW Group.
- Boudreau, M.-C., Gefen, D. & Straub, D.W., 2001. Validation in Information Systems Research: A State-of-the-Art Assessment. *MIS Quarterly*, 25(1), p.1. Available at: <http://www.jstor.org/stable/3250956?origin=crossref> [Accessed August 19, 2014].
- Bundesamt für Energie (BFE), 2013. *Aufteilung des Endverbrauchs der Schweiz nach den wichtigsten Verbrauchergruppen*, Bern: Bundesamt für Energie (BFE).
- Bundesamt für Energie (BFE), 2011. *Der Energieverbrauch der Privaten Haushalte 2000 - 2010*, Basel, Switzerland.
- Bundesamt für Energie (BFE), 2012. *Erläuternder Bericht zur Energiestrategie 2050*, Bern: Bundesamt für Energie (BFE).
- Bundesamt für Statistik, 2012. Gebäude und Wohnungen - Daten, Indikatoren. *online*. Available at: http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/09/02/blank/key/gebaeude/art_und_groesse.html [Accessed June 26, 2014].
- Bundesnetzagentur, 2013. *Monitoringbericht 2012*, Bonn: Bundesnetzagentur und Bundeskartellamt.
- Bundesrat, 2014. *Botschaft zum ersten Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050 und zur Volksinitiative «Für den geordneten Ausstieg aus der Atomenergie (Atomausstiegsinitiative)»*, Bern.
- Bundesverband Solarwirtschaft (BSW), 2014. Preisindex Photovoltaik. *online*. Available at: www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/Grafiken/pdf/BSW_Preisindex_1304.pdf [Accessed June 1, 2014].
- Carl, C., 2012. Stromriesen in der Innovationsfalle. *Finanz und Wirtschaft*, p.18. Available at: http://german.uraniumenergy.com/_resources/media/20120118.pdf.
- Castrogiovanni, G.J., Baliga, B.R. & Kidwell, R.E., 1992. Curing sick businesses: changing CEOs in turnaround efforts. *The Executive*, 6(3), pp.26–41. Available at: <http://www.jstor.org/stable/4165076>.
- Claudy, M.C., Michelsen, C. & O'Driscoll, A., 2011. The diffusion of microgeneration technologies—assessing the influence of perceived product characteristics on home owners' willingness to pay. *Energy Policy*, 39(3), pp.1459–1469.
- Danneels, E., 2002. The dynamics of product innovation and firm competences. *Strategic Management Journal*, 23(12), pp.1095–1121.
- Davis, F.D., 1989. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS quarterly*, pp.319–340.
- eGain, 2013. eGain Forecasting.
- Enerdata, 2012. Odyssee - Energy Efficiency Indicators in Europe. *Odyssee Database*.
- European Parliament, 2003. *Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings*,
- Farhangi, H., 2010. The Path of the Smart Grid. *IEEE Power & Energy Magazine*, (february).

- Featherman, M.S. & Pavlou, P.A., 2003. Predicting e-services adoption: a perceived risk facets perspective. *International Journal of Human-Computer Studies*, 59(4), pp.451–474.
- Flanagan, K., Uyarra, E. & Laranja, M., 2011. Reconceptualising the “policy mix” for innovation. *Research Policy*, 40, pp.702–713.
- Fronzel, M., Horbach, J. & Rennings, K., 2007. End-of-Pipe or Cleaner Production ? An Empirical Comparison of Environmental Innovation Decisions Across OECD Countries End-of-Pipe or Cleaner Production ? An Empirical Comparison of Across OECD Countries. *Business Strategy and the Environment*, 16, pp.571–584.
- Gefen, D., Straub, D.W. & Boudreau, M.-C., 2000. Structural equation modeling and regression: guidelines for research practice. *Communications of the Association for Information Systems*, 4.
- Gerlach, A. & Breyer, C., 2012. Global Grid-Parity Dynamics On A National And Regional Level. In *Proceedings of the 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 24–28 September 2012*. München, Germany: WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co Planungs KG, pp. 4467 – 4492.
- Gillingham, K. et al., 2009. Energy efficiency economics and policy.
- Gillingham, K. & Sweeney, J., 2010. Market Failure and the Structure of Externalities. In B. Morselle, P. Jorge, & R. Schmalensee, eds. *Harnessing Renewable Energy in Electric Power Systems*. Washington, DC: RFF Press, pp. 69–92.
- Girod, B. & De Haan, P., 2010. More or Better? A Model for Changes in Household Greenhouse Gas Emissions due to Higher Income. *Journal of Industrial Ecology*, 14(1), pp.31–49.
- Girod, B., Haan, P. & Scholz, R.W., 2010. Consumption-as-usual instead of ceteris paribus assumption for demand. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(1), pp.3–11.
- Girod, B., Langguth, A. & Lang, T., How to increase residential energy efficiency? An evaluation of past European policy activity (1980 – 2010). *Ecological Economics*.
- Goldsmith, R.E. & Hofacker, C.F., 1991. Measuring Consumer Innovativeness. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 19(3), pp.209–221.
- Golove, W.H. & Eto, J.H., 1996. *Market Barriers to Energy Efficiency: A Critical Reappraisal of the Rationale for Public Policies to Promote Energy Efficiency*, University of California Berkeley, California.
- Gounaris, S. & Koritos, C.D., 2012. Adoption of Technologically Based Innovations: The Neglected Role of Bounded Rationality. *Journal of Product Innovation Management*, 29(5), pp.821–838.
- Graf, P., 2012. *Strategische Herausforderungen von Elektrizitätsversorgungsunternehmen in der Schweiz*.
- Granade, H.C. et al., 2009. *Unlocking Energy Efficiency in the U.S. Economy*,
- Gulati, R., Nohria, N. & Zaheer, A., 2000. Strategic Networks. *Strategic Management Journal*, 21(3), pp.203–215.
- Gwerder, M. et al., 2013. *Final Report: Use of Weather And Occupancy Forecasts For Optimal Building Climate Control – Part II: Demonstration (OptiControl-II)*, Zurich, Switzerland. Available at: http://www.opticontrol.ethz.ch/Lit/Gwer_13_Rep-OptiCtrl2FinalRep.pdf.
- Gyalistras, D. & The Opticontrol Team, 2010. *Final report Use of Weather and Occupancy Forecasts for Optimal Building*,

- Hair, J.F., Ringle, C.M. & Sarstedt, M., 2011. PLS-SEM: Indeed a silver bullet. *The Journal of Marketing Theory and Practice*, 19(2), pp.139–152.
- Haney, A.B. et al., 2011. Demand-side management strategies and the residential sector: Lessons from international experience. In T. Jamasb & M. G. Pollitt, eds. *The Future of electricity Demand: Customers, Citizens and Loads*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 337–378.
- Hascic, I., Johnstone, N. & Kalamova, M., 2012. Environmental policy flexibility, search and innovation. *Czech Journal of Economics and Finance (Finance a uver)*, 59, pp.426–441.
- Hauser, J., Tellis, G.J. & Griffin, A., 2006. Research on innovation: A review and agenda for marketing science. *Marketing Science*, 25(6), pp.687–717.
- He, X. et al., 2013. *Shift , Not Drift : Towards Active Demand Response and Beyond*, European University institute.
- Hirst, E. & Brown, M., 1990. Closing the efficiency gap: barriers to the efficient use of energy. *Resources, Conservation and Recycling*, 3(4), pp.267–281.
- Hirth, L., 2013. The Market Value of Variable Renewables: The Effect of Solar Wind Power Variability on Their Relative Price. *Energy Economics*, 38, pp.218–236.
- Hoppmann, J. et al., 2013. The Economic Viability of Battery Storage for Residential Solar Photovoltaic Systems – A Review and a Scenario-Based Optimization Model.
- IEA, 2013a. Policies and Measures Database - Energy Efficiency. *Policies and Measures Database*.
- IEA, 2013b. *Transition to Sustainable Buildings*, OECD Publishing.
- IEC, 2014. IEC - Smart grid Background - Elements of Smart Grid.
- IEEPEC et al., 2011. MUREII - Database on energy efficiency policies and measures. *MURE database*.
- ISO 9241-210, 2011. *Human-centred design for interactive systems*, Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.
- Jaffe, A.B., Newell, R.G. & Stavins, R.N., 2002. Environmental Policy and Technological Change. *SSRN Electronic Journal*, (Jaffe 2000), pp.41–69.
- Jaffe, A.B. & Stavins, R.N., 1994. The energy-efficiency gap What does it mean? *Energy Policy*, 22(10), pp.804–810.
- Jakob, M., 2006. Marginal costs and co-benefits of energy efficiency investments: The case of the Swiss residential sector. *Energy policy*, 34(2), pp.172–187.
- Jakob, M., 2007. The drivers of and barriers to energy efficiency in renovation decisions of single-family home-owners. , 18(56).
- Johnstone, N., Ivan, H. & Kalamova, M., 2010. *Environmental Policy Design Characteristics and Technological Innovation Evidence from Patent Data*,
- Kaenzig, J., Heinzle, S.L. & Wüstenhagen, R., 2013. Whatever the customer wants, the customer gets? Exploring the gap between consumer preferences and default electricity products in Germany. *Energy Policy*, 53, pp.311–322.

- Karahanna, E., Agarwal, R. & Angst, C., 2006. Reconceptualizing compatibility beliefs in technology acceptance research. *MIS Quarterly*.
- Kasper, T., 2013. *The energy efficiency potential of intelligent heating control approaches in the residential sector*, Zurich, Switzerland.
- Kemp, R. & Pontoglio, S., 2011. The innovation effects of environmental policy instruments—A typical case of the blind men and the elephant? *Ecological Economics*, 72, pp.28–36.
- Kern, F. & Howlett, M., 2009. Implementing transition management as policy reforms: a case study of the Dutch energy sector. *Policy Sciences*, 42(4), pp.391–408. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s11077-009-9099-x> [Accessed August 9, 2014].
- Labay, D.G. & Kinnear, T.C., 1981. Exploring the consumer decision process in the adoption of solar energy systems. *Journal of Consumer Research*, pp.271–278.
- Lancelot Miltgen, C., Popovič, A. & Oliveira, T., 2013. Determinants of end-user acceptance of biometrics: Integrating the “Big 3” of technology acceptance with privacy context. *Decision Support Systems*, 56, pp.103–114.
- Lang, T., Gloerfeld, E. & Girod, B., 2013. Don't just follow the sun - A global assessment of economic performance for residential building photovoltaic. *submitted to Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Langguth, A., 2013. *How to Close the Gap? - An Ex Post Evaluation of Policy Effects on Energy Efficiency in Europe's Residential Building Sector*. ETH Zurich.
- Lavie, D., Stettner, U. & Tushman, M.L., 2010. Exploration and Exploitation Within and Across Organizations. *The Academy of Management Annals*, 4(1), pp.109–155.
- Limayem, M., Hirt, S.G. & Cheung, C.M.K., 2007. How habit limits the predictive power of intention: the case of information systems continuance. *MIS quarterly*, pp.705–737.
- Lu, 2005. Personal innovativeness, social influences and adoption of wireless Internet services via mobile technology. *The Journal of Strategic Information Systems*, 14(3), pp.245–268.
- MacKenzie, S.B., Podsakoff, P.M. & Podsakoff, N.P., 2011. Construct measurement and validation procedures in MIS and behavioral research: Integrating new and existing techniques. *MIS Quarterly*, 35(2), pp.293–334.
- Madlener, M. & Reinhard, J., 2004. Riding down the experience curve for energy-efficient building envelopes : the Swiss case for 1970 – 2020. *International Journal of Energy Technology and Policy*, 2(1/2), pp.153–178.
- Maguire, M., 2001. Methods to support human-centred design. *International journal of human-computer studies*, 55(4), pp.587–634.
- Mahajan, V., Muller, E. & Srivastava, R.K., 1990. Determination of adopter categories by using innovation diffusion models. *Journal of Marketing Research*, pp.37–50.
- March, J.G., 1991. Exploration and Exploitation in Organizational Learning. *Organization Science*, 2(1), pp.71–87.
- Masson, G. et al., 2013. GLOBAL MARKET OUTLOOK - For Photovoltaics 2013-2017.
- Memoori Business Intelligence, 2013. The Market for BEMS and Enterprise Energy Management 2013 to 2017.

- Mennillo, G., Schlenzig, T. & Friedrich, E., 2012. *Balanced Growth- Finding Strategies for Sustainable Development*, Berlin.
- Michelsen, C.C. & Madlener, R., 2012. Homeowners' preferences for adopting innovative residential heating systems: A discrete choice analysis for Germany. *Energy Economics*, 34(5), pp.1271–1283.
- Moore, G.A., 2002. *Crossing the chasm: Marketing and selling disruptive products to mainstream customers*, New York, United States: Harper Collins.
- Moore, G.C. & Benbasat, I., 1991. Development of an instrument to measure the perceptions of adopting an information technology innovation. *Information Systems Research*, 2(3), pp.192–222.
- Nemet, G.F., 2009. Demand-pull, technology-push, and government-led incentives for non-incremental technical change. *Research Policy*, 38(5), pp.700–709.
- Nest, 2013. Nest: The learning thermostat.
- Oldewurtel, F. et al., 2010. Increasing Energy Efficiency in Building Climate Control using Weather Forecasts and Model Predictive Control. In *10th REHVA World Congress Clima 2010*.
- Ozaki, R., 2011. Adopting sustainable innovation: what makes consumers sign up to green electricity? *Business Strategy and the Environment*, 20(1), pp.1–17.
- Ozaki, R. & Sevastyanova, K., 2011. Going hybrid: An analysis of consumer purchase motivations. *Energy Policy*, 39(5), pp.2217–2227.
- Padhy, N.P., 2004. Unit Commitment—A Bibliographical Survey. *IEEE Transactions on Power Systems*, 19(2), pp.1196–1205.
- Pavlou, P.A. & Gefen, D., 2004. Building effective online marketplaces with institution-based trust. *Information Systems Research*, 15(1), pp.37–59.
- Perez, D., 2014. Photovoltaic Grid Parity Monitor | Leonardo ENERGY. Available at: <http://www.leonardo-energy.org/photovoltaic-grid-parity-monitor> [Accessed August 7, 2014].
- Photovoltaik Barometer 2014, 2014. *Photovoltaik Barometer 2014*, Paris.
- Poortinga, W. et al., 2003. Household preferences for energy-saving measures: A conjoint analysis. *Journal of Economic Psychology*, 24(1), pp.49–64.
- Popp, D., Newell, R.G. & Jaffe, A.B., 2010. Energy, the environment and technological change. *Handbook of the Economics of Innovation*, 2(10), pp.873–937.
- Prognos AG, 2011. Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 - 2010 nach Verwendungszwecken.
- pwc, 2011. *Offene Kundenwünsche - Schweizer Energiemarkt 2011*, pwc. Available at: http://www.pwc.ch/user_content/editor/files/publ_energy/pwc_energie_studie_11_d.pdf.
- PWC, 2008. *Wie verändert sich das Klima im Schweizer Energiemarkt ? 102 Führungskräfte von Energieversorgungsunternehmen nehmen Stellung zu Entwicklungen im Schweizer Energiemarkt und zu Herausforderungen für EVU .*
- Ramsauer, D., 2013. *Energie panorama*,

- REN 21 Steering Committee, 2013. RENEWABLES 2013 - GLOBAL STATUS REPORT. Available at: <http://www.ren21.net/REN21Activities/GlobalStatusReport.aspx>.
- Requate, T., 2005. Dynamic incentives by environmental policy instruments - a survey. *Ecological Economics*, 54, pp.175–195.
- Rivera-Santos, M. & Inkpen, A.C., 2009. *Joint ventures and Alliances in The SAGE Handbook of International Marketing*,
- Rogers, E.M., 2003. *Diffusion of innovations*, New York, United States: Free Press.
- Rogge, K.S. & Reichardt, K., 2013. *Towards a more comprehensive policy mix conceptualization for environmental technological change: a literature synthesis*,
- Schilling, M.A., 2009. UNDERSTANDING THE ALLIANCE DATA. , 260(August 2008), pp.233–260.
- Schimschar, S. et al., 2011. Germany's path towards nearly zero-energy buildings—Enabling the greenhouse gas mitigation potential in the building stock. *Energy Policy*, 39(6), pp.3346–3360.
- Schweizerische Bundesrat, 2013. *Energieverordnung (EnV) 730.01*, Switzerland. Available at: http://www.admin.ch/ch/d/gg/pc/documents/2400/EnV-HKNV-Revision-2013_Entwurf-EnV_de.pdf.
- Shahidehpour, M., Yamin, H. & Li, Z., 2002. Price-Based Unit Commitment. In *Market Operations in Electric Power Systems: Forecasting, Scheduling, and Risk Management*. pp. 115–160.
- SIA, 2012. Deklarationspflicht für Bauten.
- Sorrell, S. et al., 2004. The economics of energy efficiency: barriers to cost-effective investment. *Journal of Economic Literature*, 44, pp.190–191.
- Sorrell, S., Mallett, A. & Nye, S., 2011. *Barriers to industrial energy efficiency: A literature review*, Vienna.
- Sovacool, B.K., 2009. The importance of comprehensiveness in renewable electricity and energy-efficiency policy. *Energy Policy*, 37(4), pp.1529–1541.
- Spector, P.E., 1992. *Summated rating scale construction: An introduction*, New York, United States: Sage.
- Stafford, T.F., 2003. Differentiating between adopter categories in the uses and gratifications for Internet services. *Engineering Management, IEEE Transactions on*, 50(4), pp.427–435.
- Stoneman, P. & Diederer, P., 1994. Technology diffusion and public policy. *The Economic Journal*, 104(425), pp.918–930.
- Sutherland, R.J., 1991. Market barriers to energy-efficiency investments. *The Energy Journal*, 12, pp.15–34.
- Sütterlin, B., Brunner, T.A. & Siegrist, M., 2011. Who puts the most energy into energy conservation? A segmentation of energy consumers based on energy-related behavioral characteristics. *Energy Policy*, 39(12), pp.8137–8152.
- Swissgrid, 2012. *Geschäftsbericht 2012*,
- Swissolar, 2014. Übersicht der gesetzlichen Änderungen ab 2014 sowie absehbare politische Entwicklungen danach.

- Swissolar, 2014. Solarstrom 2014: Förderung durch Bund, Kantone und Gemeinden. Available at: http://www.swissolar.ch/fileadmin/files/swissolar_neu/1._Unsere_Themen/1.03_Foerderung/Infodossier_Foerderung_PV.pdf [Accessed July 26, 2014].
- De T'Serclaes, P., 2007. *Financing energy efficient homes: Existing policy responses to financial barriers*,
- tado°, 2013. tado° intelligent heating control.
- Tainio, R., Lilja, K. & Santalainen, T.J., 2001. The role of boards in facilitating or limiting learning in organizations. In *Handbook of organizational learning and knowledge*. pp. 428–445.
- The Boston Consulting Group, 2013. *Schweizer Stromwirtschaft: Durch falsche Anreize ins Abseits ?*, Zürich, Schweiz.
- VEiN, 2013. *Verteilte Einspeisungen in Niederspannungsnetze Jahresbericht*,
- Venkatesh, V. et al., 2003. User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS quarterly*, 27(3), pp.425–478.
- Venkatesh, V. & Brown, S.A., 2001. A longitudinal investigation of personal computers in homes: adoption determinants and emerging challenges. *MIS quarterly*, pp.71–102.
- Venkatesh, V., Thong, J.Y.L. & Xu, X., 2012. Consumer Acceptance and Use of Information Technology: Extending the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology. *MIS quarterly*, 36(1), pp.157–178.
- Veryzer, R.W., 1998. Discontinuous innovation and the new product development process. *Journal of product innovation management*, 15(4), pp.304–321.
- Vrettos, E., Oldewurtel, F. & Vasirani, M., 2013. Centralized and Decentralized Balance Group Optimization in Electricity Markets with Demand Response. In *PowerTech (POWERTECH)*.
- VSE, 2014. Branchenlösung Energieeffizienz Plug & Play.
- Wakefield, M., 2010. *Methodological Approach for Estimating the Benefits and Costs of Smart Grid Demonstration Projects*,
- Walsh, J.P. & Seward, J.K., 1990. On the Efficiency of Internal and External Corporate Control Mechanisms. *The Academy of Management Review*, 15(3), pp.421–458.
- Wessling, C., 2014. Smart Home für Senioren: Zwischen Unterstützung und Überwachung. *Handelsblatt*.
- Wunderlich, P. et al., 2013. The Impact of Endogenous Motivations on Adoption of IT-Enabled Services: The Case of Transformative Services in the Energy Sector. *Journal of Service Research*, 00(0), pp.1–16.
- Yi, M.Y. et al., 2006. Understanding information technology acceptance by individual professionals: Toward an integrative view. *Information & Management*, 43(3), pp.350–363.
- Yoo, Y., 2010. Computing in Everyday Life: A Call for Research on Experiential Computing. *Mis Quarterly*, 334(2), pp.213–231.
- Zahra, S.A. & Pearce II, J.A., 1989. Boards of Directors and Corporate Financial Performance: A Review and Integrative Model. *Journal of Management*, 15(2), p.291.

Zavala, V.M. et al., 2011. *Next-Generation Building Energy Management Systems and Implications for Electricity Markets*,

Ziegler, M. & Bättig, R., 2009. Swiss Greenhouse Gas Abatement Cost Curve. *McKinsey&Company*.

Zumbühl, T., 2013. Mind the Gap – Barriers for the Adoption of Energy Efficiency Technologies in Residential Buildings.

Anhang

ÜBERSICHT UND ZUGANG ZU ELEKTRONISCHEN UNTERLAGEN

Für die durchgeführten Veranstaltungen (Kick-off, zwei Workshop, Schlussveranstaltung), wissenschaftliche Arbeiten gemäss Tabelle 1 sowie Anhang zu diesem Bericht wurde ein Onlineordner erstellt²⁶. Der Ordner ist für Partner des Forschungsprojektes frei gegeben.

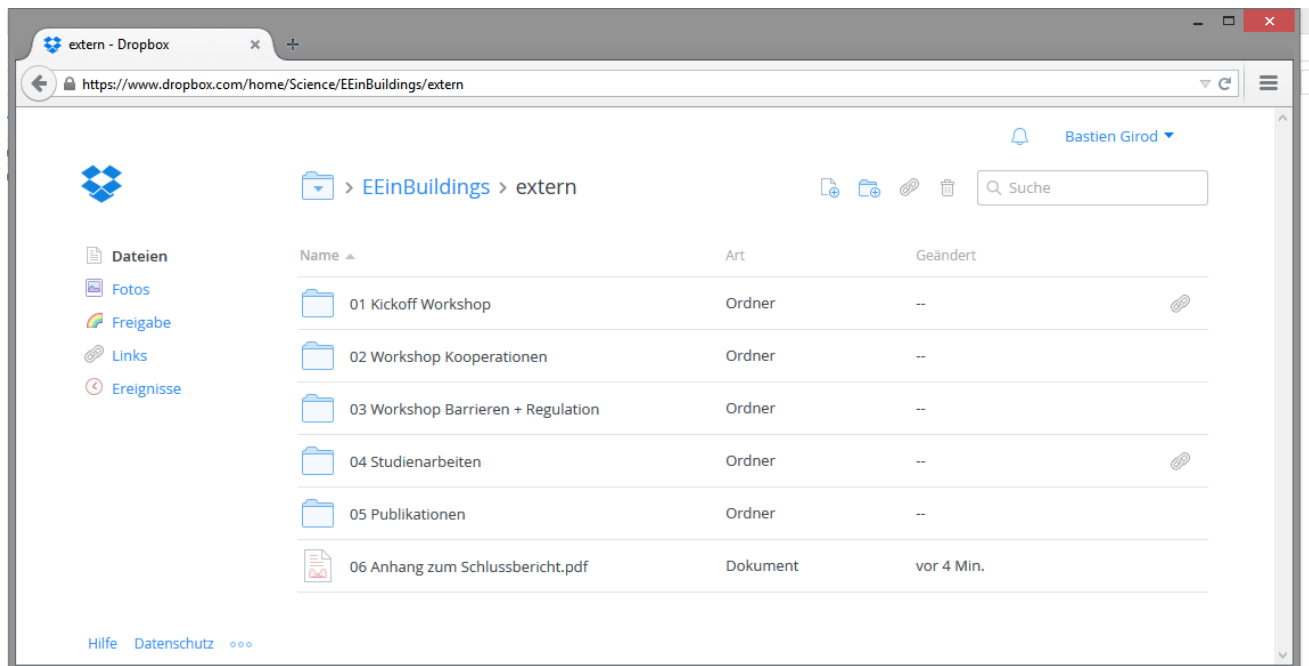


Abbildung 46: Screenshot des Onlineordners.

²⁶ Dropbox, Link : https://www.dropbox.com/sh/rsrj8lu574n35iy/AAALWVtxuh8lemPauf9qk2_Wa?dl=0

ETH zürich

SusTec

Group for Sustainability and Technology

ETH Zurich
Departement of Management and Economics
Group for Sustainability and Technology
Weinbergstrasse 56/58
8092 Zurich