

Smart Metering im Kontext von Smart Grids

Smart Grids Begleitforschung A. Kollmann
S. Moser

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

6/2014

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Smart Metering im Kontext von Smart Grids

Smart Grids Begleitforschung

Dr. Andrea Kollmann

Mag. Simon Moser

Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz

Linz, Dezember 2013

Vorbemerkung

In der Strategie der österreichischen Bundesregierung für Forschung, Technologie und Innovation ist deutlich verankert, dass Forschung und Technologieentwicklung zur Lösung der großen gesellschaftlichen Herausforderungen beizutragen hat, wobei die Energie-, Klima- und Ressourcenfrage explizit genannt wird. In der vom Rat für Forschung und Technologieentwicklung für Österreich entwickelten Energieforschungsstrategie wird der Anspruch an die Forschung durch das Motto „Making the Zero Carbon Society Possible!“ auf den Punkt gebracht. Um diesem hohen Anspruch gerecht zu werden sind jedoch erhebliche Anstrengungen erforderlich.

Im Bereich der Energieforschung wurden in den letzten Jahren die Forschungsausgaben deutlich gesteigert und mit Unterstützung ambitionierter Forschungs- und Entwicklungsprogramme international beachtete Ergebnisse erzielt. Neben der Finanzierung von innovativen Forschungsprojekten gilt es mit umfassenden Begleitmaßnahmen und geeigneten Rahmenbedingungen eine erfolgreiche Umsetzung der Forschungsergebnisse einzuleiten. Ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die Umsetzung ist die weitgehende öffentliche Verfügbarkeit der Resultate. Die große Nachfrage und hohe Verwendungsquoten der zur Verfügung gestellten Ressourcen bestätigen die Sinnhaftigkeit dieser Maßnahme. Gleichzeitig stellen die veröffentlichten Ergebnisse eine gute Basis für weiterführende innovative Forschungsarbeiten dar. In diesem Sinne und entsprechend dem Grundsatz des „Open Access Approach“ steht Ihnen der vorliegende Projektbericht zur Verfügung. Weitere Berichte finden Sie unter www.NachhaltigWirtschaften.at.

DI Michael Paula

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung zur Smart Grids Begleitforschung

In den letzten Jahren setzt das BMVIT aufgrund der Aktualität des Themas einen strategischen Schwerpunkt im Bereich der Weiterentwicklung der Elektrizitätsversorgungsnetze. Dabei stehen insbesondere neue technische, aber auch sozio-technische und sozio-ökonomische Systemaspekte im Vordergrund.

Im Rahmen der „Smart Grids Begleitforschung“ wurden daher Fragestellungen von zentraler Bedeutung für die Weiterentwicklung diesbezüglicher F&E-Strategien identifiziert und dementsprechende Metastudien, Detailanalysen und Aktionspapiere initiiert und - zum Teil gemeinsam mit dem Klima- und Energiefonds - finanziert. Der gegenständliche Bericht dokumentiert eine in diesem Zusammenhang entstandene Arbeit, die nicht zwingend als Endergebnis zur jeweiligen Fragestellung zu verstehen ist, sondern vielmehr als Ausgangspunkt und Grundlage für weiterführende Forschung, Strategieentwicklung und Entscheidungsfindung.

Michael Hübner

Themenmanagement Smart Grids

Abteilung Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Ziele der Studie | 3 |
| 2 | Methodik | 4 |
| 2.1 | Übertragbarkeit von Ergebnissen im D-A-CH-Raum | 5 |
| 2.2 | Begrifflichkeit | 5 |
| 3 | Endkundenseitige Smart Grid-Anwendungen | 6 |
| 3.1.1 | Energieverbrauchsinformation | 7 |
| 3.1.2 | Demand Response | 7 |
| 3.1.3 | Smart Home | 8 |
| 4 | Anmerkungen zu den statistischen Auswertungen | 9 |
| 4.1 | Signifikanz | 9 |
| 4.2 | Selection Bias in Feldtest-Studien | 9 |
| 5 | Ergebnisse | 12 |
| 5.1 | Verbrauchsinformation (VI) | 12 |
| 5.1.1 | Quantitative Ergebnisse | 12 |
| 5.1.2 | Qualitative Ergebnisse | 14 |
| 5.1.2.1 | Lernphase | 14 |
| 5.1.2.2 | Anpassungsphase | 15 |
| 5.1.2.3 | Persistenz der Einsparung | 15 |
| 5.1.2.4 | Zahlungsbereitschaft | 16 |
| 5.1.3 | Smart Meter als Voraussetzung für die Verbrauchsinformation | 17 |
| 5.1.4 | Verbrauchsinformation: Zusammenfassung | 18 |
| 5.2 | Demand Response (DR) | 19 |
| 5.2.1 | Quantitative Ergebnisse | 19 |
| 5.2.2 | Qualitative Ergebnisse | 21 |
| 5.2.2.1 | Lernphase | 21 |
| 5.2.2.2 | Anpassungsphase | 21 |
| 5.2.2.3 | Persistenz der Einsparung | 22 |
| 5.2.2.4 | Zahlungsbereitschaft | 22 |
| 5.2.3 | Smart Meter als Voraussetzung für Demand Response | 22 |
| 5.2.4 | Demand Response: Zusammenfassung | 23 |
| 6 | Exkurs: Motivation der Öffentlichkeit | 25 |
| 7 | Forschungsfragen im Bereich Verbrauchsinformation | 26 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 7.1 | Interesse / Motivation des Endkunden | 26 |
| 7.2 | Soziale Normen | 26 |
| 7.3 | Maßnahmenlebensdauer | 26 |
| 7.4 | Kausaler Hergang der endkundenseitigen Einsparung | 26 |
| 7.5 | Effizienzanalyse | 27 |
| 7.6 | Akzeptanz | 27 |
| 8 | Forschungsfragen im Bereich Demand Response | 28 |
| 8.1 | Variable Energie- und Netztarife | 28 |
| 8.2 | Interesse / Motivation des Endkunden | 29 |
| 9 | Übersicht der analysierten Projekte | 30 |

1 Ziele der Studie

Intelligente Systemlösungen gelten angesichts der ambitionierten nationalen und internationalen Ziele der Verringerung der CO₂-Emissionen, der Integration erneuerbarer Energieträger und der Erhöhung der Energieeffizienz als ein Schlüssel zur Schaffung einer nachhaltigen Energieversorgung. Smart Meter, die bis zum Jahr 2020 bei 95% aller österreichischen Endkunden installiert sein sollen, bieten – als Teil dieser intelligenten Infrastruktur – die Möglichkeit die Endkunden stärker als bisher in die Erreichung dieser Ziele miteinzubeziehen.

Smart Metering ermöglicht es einerseits den Endkunden mehr Informationen über ihren eigenen Stromverbrauch zu geben: neue Anwendungen und Produkte können dabei unterstützen, den Energieverbrauch zu senken oder zeitlich zu verschieben, wodurch sowohl CO₂- als auch Energieeinsparungen erzielt werden können. Andererseits können durch Verwendung der im Smart Meter in kurzen Zeitabständen erfassten Daten die Lastprognosen verbessert und dadurch die Einspeisung aus erneuerbaren Energieträgern optimiert werden. Ebenso wird Demand-Side Management ermöglicht und neue Tarifsysteme können entwickelt und eingesetzt werden.

Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel der vorliegenden Studie, im Rahmen einer breit angelegten Literaturanalyse eine umfassende Synthese der bislang gewonnenen Erkenntnisse zum Beitrag, den Smart Metering zu den Energie- und Klimazielen leisten kann, durchzuführen. Dabei wird insbesondere auf das Potential von Smart Metering als Basis für Anwendungen, die Zeitpunkt und Intensität des Energieverbrauchs senken bzw. verschieben können, eingegangen.

Seit einigen Jahren werden in Österreich Projekte und Feldtests durchgeführt, die sich den Fragen der optimalen Entwicklung der Energieinfrastruktur widmen. Die österreichischen Partner in der D-A-CH-Kooperation, Deutschland und Schweiz, führen ebenfalls Pilotprojekte durch bzw. gaben Studien in Auftrag. Die vorliegende Studie stellt die österreichischen Ergebnisse in den Kontext der Resultate, die bereits in Deutschland und der Schweiz vorliegen.

2 Methodik

Zur Beantwortung der einleitend genannten Fragestellungen wurde die themenspezifische Literatur auf Basis

- der Förderentscheidungen der letzten Jahre in Österreich in den relevanten Energie- und umweltspezifischen Ausschreibungen (Haus der Zukunft, Energie der Zukunft, Neue Energien 2020),
- der zusammenfassenden Publikationen der Schriftenreihe des BMVIT, sowie
- eigener Recherchen,

identifiziert (eine vollständige Liste der gesichteten Literaturquellen ist im Anhang dieser Studie zu finden). Die vorhandene Literatur wurde in drei Gruppen unterteilt, da die Aussagen unterschiedliche Aspekte von Smart Grids bzw. Smart Metering betreffen:

- Studien, in denen Aussagen zu Energie- bzw. Stromverbrauchsinformationen getroffen werden,
- Studien, in denen Aussagen zu Lastverschiebungspotentialen getroffen werden und
- Studien, in denen Aussagen zu den allgemeinen Rahmenbedingungen getroffen werden.

Die vorhandene Literatur wurde systematisch gesichtet. Im Bedarfsfall, insbesondere bei noch laufenden Projekten, wurden zudem die jeweiligen Projektteams direkt kontaktiert, um bereits vorhandene Ergebnisse abbilden zu können.

Zielgrößen der **quantitativen** Literaturrecherche waren konkrete Aussagen, wie viel Energieeinsparung und Energieverbrauchsverschiebung (v.a. im Energieträger Strom) bzw. welche CO₂-Einsparung in Feldtests oder Demonstrationsprojekten erzielt werden können. Dabei wird auch analysiert unter welchen Rahmenbedingungen diese quantitativen Ergebnisse zustande kamen.

Die **qualitative** Literaturrecherche beschäftigt sich mit ebendiesen Rahmenbedingungen, d.h. den Konditionen, die gegeben sein müssen, damit die Einsparungen bzw. Verschiebungen technisch und marktwirtschaftlich realisiert werden können.

Wie im Anhang dieser Studie ersichtlich wurden alle analysierten Projekte und Studien mit Nummern versehen, mit Hilfe derer sie aus dem folgenden Text identifiziert werden können.

Alle im Anhang angeführten Studien wurden analysiert. Jedoch wird ein Teil der betrachteten Studien in der Auswertung im Rahmen dieser Arbeit nicht wiedergegeben, da sie keine konkreten Ergebnisse zu Einsparungen oder Wegen der Kundenmotivation und Kundenakzeptanz umfassen, z.B. technische oder rechtliche Studien [z.B. 11, 12, 13, 14, 15, 72], Studien zum Thema Energiearmut [z.B. 15] oder Studien, die selbst Werte aus anderen Arbeiten übernommen haben [z.B. 50, 55].

2.1 Übertragbarkeit von Ergebnissen im D-A-CH-Raum

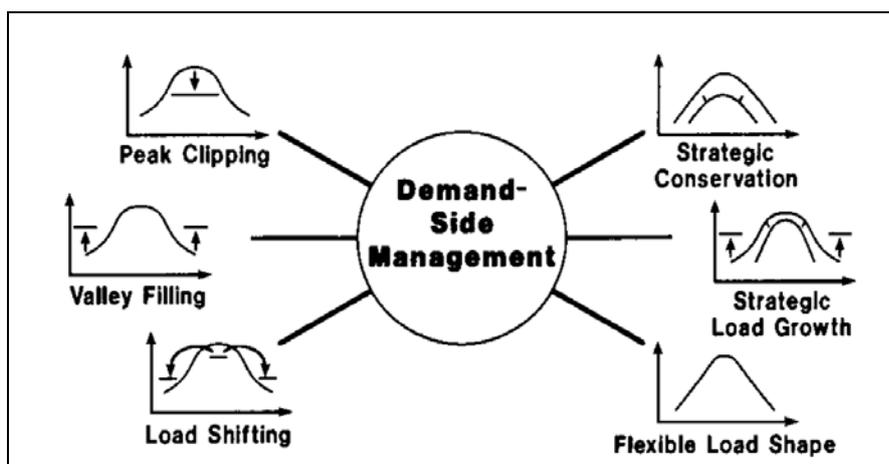
Zum Thema Übertragbarkeit einzelner Ergebnisse sind vorab folgende Aspekte festzuhalten:

- Die Heranziehung von Ergebnissen aus anderen Regionen (z.B. USA, Skandinavien), für die bereits eine größere Anzahl quantitativer Untersuchungen durchgeführt wurde, ist aufgrund anderer Energieverbrauchsstrukturen (verbrauchende Geräte, Höhe des Verbrauchs, etc.) für den D-A-CH-Raum nicht zielführend.
- Die vorhandenen qualitativen und quantitativen Aussagen zeigen, dass die **Ergebnisse im D-A-CH-Raum ähnlich sind**.
- Da sich auch viele Rahmenbedingungen ähneln (Verbrauchs- und Wirtschaftsstrukturen), kann geschlossen werden, dass **Ergebnisse übertragbar** sind.

2.2 Begrifflichkeit

„Demand Response“ umfasst in untenstehender Abbildung die vier nichtstrategischen Einflussnahmen, also die Verhaltensbeeinflussung und damit die Beeinflussung der Lastkurve durch Vermeidung von Lasten in Spitzenlast- oder Spitzenpreiszeiten (Wenigerverbrauch durch Peak Clipping), sowie die Verschiebung von Lasten weg von den Spitzen in Lasten- oder Preistäler (Lastverschiebung: Load Shifting) und generell die verstärkte Nutzung von Lasten- oder Preistälern (Mehrverbrauch durch Valley Filling). Da diese Maßnahmen aufgrund der Tarifstrukturen theoretisch an jedem Punkt der Lastkurve anwendbar wären, ermöglicht Demand Response eine Flexibilisierung der Lastkurve (Flexible Load Shape).

Abbildung 2-1: Möglichkeiten des Demand Response im Rahmen der Gesamtansätze von Demand Side Management im Bereich elektrischer Energie.¹



¹ Gellings und Smith (1989), S.916.

3 Endkundenseitige Smart Grid-Anwendungen

Der Fokus der Literaturanalyse liegt auf Projekten, die die Rolle des Endkunden im Smart Grid analysieren. Daher geht es primär um Anwendungen, die sie in einem Smart Grid realisieren, d.h. zu ihrem Vorteil nützen können (siehe Abbildung 3-1).

Bedeutung des Informationsflusses zum Kunden: Die Anwendungen im Bereich des Endkunden sind eng mit der Verfügbarkeit von Daten verbunden; dabei ist zwischen Daten, die den Endkunden übergeben werden (z.B. Tarifinformationen) und (Mess-)Daten, die vom Endkunden an andere Akteure gehen (EVU, Energiedienstleister) zu unterscheiden. Für den Endkunden lassen sich drei große Kategorien der Anwendung im Smart Grids unterscheiden: Energieverbrauchsinformationen, Demand Response und Smart Home-Anwendungen.

Abbildung 3-1: Kategorisierung von Smart-Meter-basierten Endkunden. Quelle: Abadi and Saadany (2007).²

| Demand Response | | | Verbrauchsinformation | | Smart Home |
|----------------------------------|-------------------------------|--|-----------------------|--|------------|
| Anreizprogramm klassisch | Anreizprogramm marktbasierend | Preisreize | Direkte Information | Indirekte Information | |
| Direct Control | Demand bidding | Time-of-use | In-house-Display | Exakte Abrechnung jährlich | |
| Interruptible/curtaillable loads | Emergency DR | Time-of-use (semi-) automatisiert | „Ambient“ equipment | Exakte Abrechnung monatlich | |
| | Capacity Market | Critical peak pricing | App, Smartphone | Verbrauchs- information monatlich | |
| | Ancillary service market | Critical peak pricing (semi-)automatisiert | | Verbrauchs- information Monatlich, täglich | |
| | | Extreme day price | | Verbrauchs- information, Quartal | |
| | | Extreme day price (semi-) automatisiert | | Webbasierte VI (Folgetag) | |
| | | EDP-CPP | | Webbasierte VI (Folgetag, hochauflösend) | |
| | | EDP-CPP (semi-)automatisiert | | Energieberatung | |
| | | Real time pricing | | | |
| | | Real time pricing (semi-) automatisiert | | | |

² Albadi M.H., El-Saadany E.F. (2007): Demand Response in Electricity Markets – An Overview. Conference Publication, Power Engineering Society General Meeting, 2007. IEEE. Verfügbar im Web: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4275494&tag=1 (2012-12-04).

3.1.1 Energieverbrauchsinformation

Die erste Kategorie ist die Energieverbrauchsinformation an sich, wobei hier zwischen der direkten und der indirekten Information zu unterscheiden ist.

Die direkte Information ist eine real-time-Information, dabei ist der Informationsgehalt durch Vergleichbarkeit im zeitlichen Ablauf gegeben. Beispiele sind Displays, die den aktuellen Verbrauch (d.h. die Leistung) in Watt anzeigen. Genauso sind aber auch „Ambience“-Anwendungen möglich (*Strom-Ampel, Wattson* etc.). Die direkte Information vermittelt die momentane Verbrauchsintensität und visualisiert damit den aktuellen Verbrauch (und/oder Last). Der Erfolg bzw. die Notwendigkeit von Energieeffizienzmaßnahmen (z.B. Kühlschranktausch) lassen sich in geringerem Maße nachvollziehen.

Die indirekte Verbrauchsinformation erfolgt üblicherweise nach einer Datenaufbereitung, d.h. es werden historische Daten (Verbrauch im Zeitablauf) oder Vergleichswerte angeboten. Damit lassen sich, wenn die Verbrauchsdaten auf einen Endkunden aggregiert und nicht nach Gerät aufgeschlüsselt sind, einzelne Verbraucher weniger gut erkennen. Im Gegenzug lassen sich Grundlasten (Stand-by, z.B. nachts bei einem Office-Drucker) und Energieeffizienzmaßnahmen besser identifizieren.

Zielsetzung: Da v.a. Haushaltskunden nach fixen Tarifen pro kWh (zeitunabhängig) abgerechnet werden, ist das primäre Ziel der Verbrauchsinformation, eine Einsparung zu erzielen [6]. In den Möglichkeiten des Demand Side Managements fällt dies unter „strategische Einsparung“, die unabhängig von z.B. Lastspitzen oder der aktuellen Einspeisung Erneuerbarer Energien ist.

3.1.2 Demand Response

Im Fall von Demand Response reagiert der Endkunde auf Entwicklungen in der Produktion oder in der Verteilung (Netzebene) von elektrischer Energie. Dazu angestoßen wird er vorwiegend über ökonomische Anreize. Um reagieren zu können, bedarf es eines Reizes, d.h. der Endkunde braucht eine Information, wann er weniger/mehr Energie verbrauchen soll oder wohin er den Energieverbrauch verschieben soll. Dies kann auf Basis von Erfahrungswerten (z.B. Niedrigtarif in den Nachtstunden) oder von Echtzeitdaten z.B. der Strombörse geschehen.

Der Anreiz ist fast immer ökonomisch (kann aber auch durch nichtmonetäre Nutzen wie ökologisch oder sozial konformes Verhalten entstehen), wobei der Vergleichswert (Benchmark) der über das ganze Jahr gleich hoch bleibende Tarif ist. Ob sich dieser Preisanreiz z.B. für unterbrechbare Lasten (z.B. Wärmepumpen) im Grundentgelt oder im Fall von Time-Of-Use-Tarifen im Arbeitsentgelt widerspiegelt, ist nachrangig, aber für eine Kategorisierung (siehe Abbildung 3-1) gut geeignet.

Zielsetzung: Durch die Flexibilisierung der Tarife kann die Entscheidung der Kunde beeinflusst werden, zu welchen Zeitpunkten elektrische Energie verstärkt/vermindert konsumiert wird. Ausgehend davon, dass Endkunden mit ihrem Stromkonsum ihre Bedürfnisse abdecken, impliziert die Flexibilisierung des Tarifs den Ansatz eines Lieferanten bzw. Netzbetreibers, elektrische Lasten zu verschieben. D.h. hier ist nicht der allgemeine Wenigerverbrauch von Energie das Ziel, sondern die Vermeidung von Lastspitzen, die Nutzung von Lastentälern, die Verlagerung des Verbrauchs in Zeiten billiger Stromtarife oder hoher Einspeisung Erneuerbarer Energien, kurzfristige Stabilisierung des Netzes etc. [78].

3.1.3 Smart Home

Der dritte, nicht näher zu kategorisierende Teil sind Smart Home-Anwendungen. Generell ist das Ziel eine nutzenmaximierte³ Steuerung des Haushalts [45, 60]. Da das Smart Home mehr als die automatisierte, auf Tarifierreize reagierende Steuerung von Geräten umfasst (z.B. Heizanlage, Jalousien, aber z.B. auch Funktionen einer Alarmanlage), was dann als automatisierter Demand Response zu kategorisieren wäre, wird das Thema Smart Home ausgeklammert.

In diesem Sinne führt [45] Kundenwünsche auf, die mehr als 50% der Kunden als interessante Aspekte von Smart Home-Anwendungen bezeichnen: Rauchmelder, Einbruchmeldung, Gasmelder, Heizungssteuerung, schneller Internetzugang, Lichtregulierung, Bewegungsmelder, Vital-Check.

Mit Blick in die Zukunft gilt zu erwähnen, dass die Automatisierung der Haushalte bzw. auch von Unternehmen sicherlich eine Basis für die aktive Beteiligung der Endkunden im Stromnetz und Stromhandel, aber auch mehr Komfort der Endkunden mit sich bringen wird. Die Möglichkeiten, die dafür in den kommenden Jahren verfügbar werden, werden grundsätzlich andere sein und eine Smart Meter-Infrastruktur kann dafür gegebenenfalls einen Grundstein legen.

Smart Home

[17] k.A. Im Projekt „Power Saver“ wurden Einsparungen gemessen, keine Angaben zu den genauen Einsparungen und zum Signifikanzgrad (es waren 15 Haushalte am Feldtest beteiligt).

³ Unter anderem bzw. vor allem Kostenersparnis, Verbrauchsparallellität mit eigener Erzeugung (z.B. PV-Anlage), Komfort (Automatisierung), aber auch Diebstahlschutz o.Ä.

4 Anmerkungen zu den statistischen Auswertungen

4.1 Signifikanz

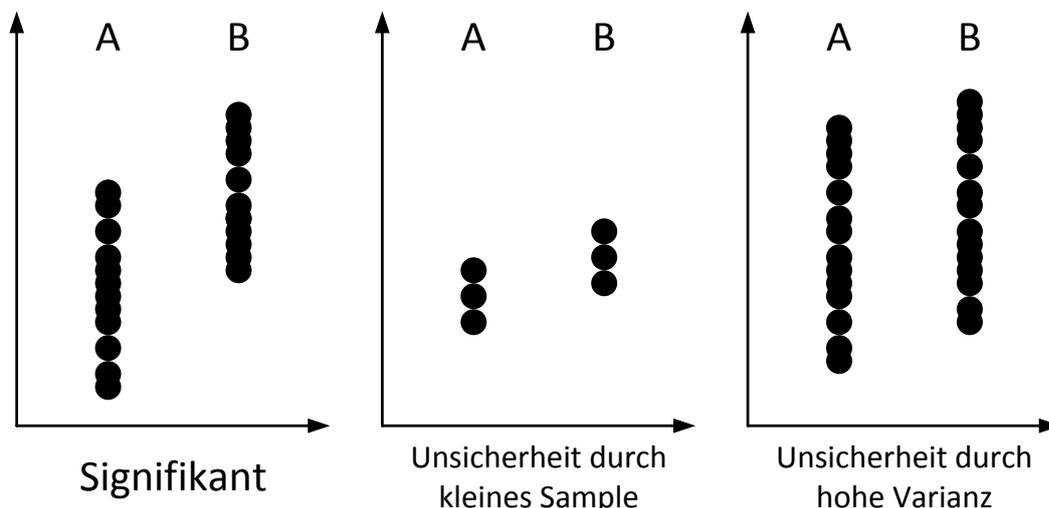
Im Bereich der Statistik bedeutet Signifikanz - anders als in der Alltagssprache - nicht „bedeutsam“, „wesentlich“, „wichtig“ oder „groß“, sondern dass ein überzufälliger Zusammenhang zwischen Variablen (hier: der Verbrauchsinformation und einer Einsparung bzw. einem Tarif und einer Lastverschiebung) anzunehmen ist. Zwar kann ein zufälliger Zusammenhang nie ganz ausgeschlossen werden, es kann aber hergeleitet werden, wie wahrscheinlich der Zufall wäre.

Vereinfacht ist festzustellen: Ist ein Zusammenhang zu 10% oder weniger zufällig, so spricht man von geringer Signifikanz. Ist ein Zusammenhang zu 5% oder weniger zufällig, so spricht man von Signifikanz. Ist ein Zusammenhang zu 1% oder weniger zufällig, so spricht man von hoher Signifikanz.

Die Signifikanz eines Zusammenhangs steigt mit der Anzahl der Beobachtungen (hier: Feldtestteilnehmer) und sinkt mit der Varianz (hier z.B. der Unterschiedlichkeit deren Stromverbräuche).

Ist ein Ergebnis nicht signifikant, kann der Unterschied des Durchschnittswerts nicht auf die andere Variable zurückgeführt werden (d.h. auch wenn eine Feldtestgruppe durchschnittlich nach z.B. einem Jahr weniger verbraucht als eine Kontrollgruppe kann daraus nicht geschlossen werden, dass der Tarif bzw. die Information dafür ursächlich ist).

Abbildung 4-1: Signifikanz des Unterschieds (z.B. Verbrauchsunterschied) zwischen 2 Gruppen A und B (z.B. Feldtest- und Kontrollgruppe)

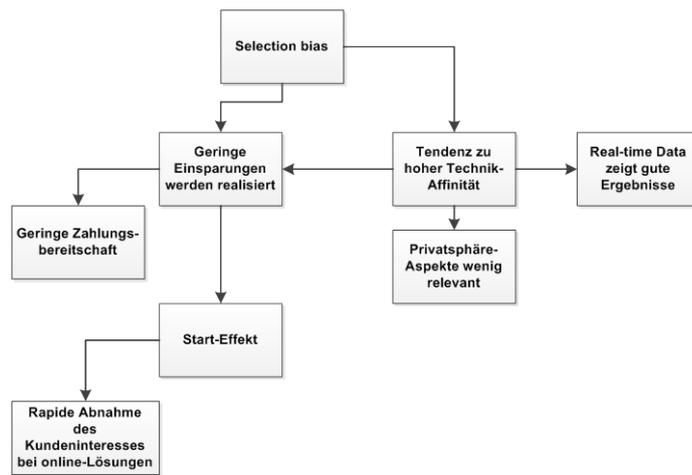


4.2 Selection Bias in Feldtest-Studien

Eine Verallgemeinerung von Ergebnissen aus Feldtests ist schwierig und nur unter Bezugnahme auf den *Selection Bias* möglich, denn bei der Rekrutierung von Freiwilligen (bspw. einer Massenbriefaussendung) ist die Frage wesentlich, welche Haushalte sich angesprochen fühlen und Bereitschaft zur Teilnahme zeigen. Beispielhaftes Zitat aus [25]:

„Die Teilnehmer im Feldtest waren überwiegend männlich und zeichneten sich durch überdurchschnittliche Bildung sowie Einkommen aus. Der Altersdurchschnitt lag bei 49 Jahren. Die Mehrheit der Teilnehmer wohnt in einem Einfamilienhaus und ist Eigentümer.“ Ergebnisse, die auf Basis einer solchen Zusammensetzung von Haushalten erzielt werden, müssen auch immer dahingehend interpretiert werden. So lässt sich möglicherweise aus den Ergebnissen in [25] eine verallgemeinerbare Aussage für Männer im mittleren Alter mit hohem Bildungs- und Einkommensniveau treffen, wohl aber nicht für eine Frau Anfang 20 mit geringem Bildungsniveau.

Abbildung 4-2: Selection bias als Problem vieler Studien



Quelle: eigene Darstellung

Maßnahmen werden von am Thema Energie Interessierten schon vor den Feldtests gesetzt (Unterschätzung der Einsparung)

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass Haushalte, die dem Thema Energieeinsparung, Energiekosten etc. Bedeutung beimessen, eher an einem Feldtest teilnehmen als solche, die an der Thematik eher uninteressiert sind. Dabei kommt hinzu, dass davon auszugehen ist, dass ebendiese bereits interessierten Haushalte, im Vorfeld des Feldtests Maßnahmen zum Energiesparen ergriffen haben. Bei ihnen ist damit eine durchschnittlich geringe Einsparung festzustellen, wodurch die gesamten realisierbaren Einsparungen bei allen Haushalten unterschätzt werden.

Daraus können einige der oben genannten Ergebnisse bzw. Eindrücke der Forscher aus den abgeschlossenen Feldtests in Österreich [6], [7], [37] zumindest teilweise erklärt werden: die geringen Einsparungen führen zu geringen Zahlungsbereitschaften und schnell nachlassendem Interesse.

Intensivere Nutzung der Information durch am Thema Energie Interessierte (Überschätzung der Einsparung)

Die Komplexität der Thematik spiegelt sich auch darin wieder, dass auch das umgekehrte Argument plausibel ist: Haushalte, die an einem Feldtest teilnehmen sind solche mit einem generellem Stromsparinteresse und einer Motivation gegen ihren hohen Verbrauch vorzugehen. Aber bislang fehlten ihnen die dazu notwendigen Informationen. Im Rahmen der Feldtests erhalten sie diese Information und setzen Maßnahmen stärker um als der

Durchschnitt dies tun würde. Das in den Feldtests ausgewiesene Ergebnis wäre größer als das allgemeine Einsparpotential.

Technikinteresse steigert die Beteiligung an Smart Metering-Feldtests (Überschätzung des Marktpotenzials)

Da insbesondere das Thema Smart Metering eines ist, in dem eine neue Technologie zum Einsatz kommt, ist es auch denkbar, dass Haushalte angesprochen werden, die weniger durch den Energieeffizienz-Gedanken motiviert werden, sondern durch die Möglichkeit, eine neue Technologie einzusetzen [19].

Eine hohe Technikaffinität könnte erklären, warum Versuche mit real-time Daten überdurchschnittlich hohe Einsparungen zeigen. Nicht technikaffine Haushalte würden das Produkt nicht wählen oder (bei Verpflichtung) eine geringere Einsparung generieren.

Datenschutz-Bedenken verringern die Beteiligung an Smart Metering-Feldtests (Überschätzung des Marktpotenzials)

Weiters ist zu bedenken, dass bei der Rekrutierung von Haushalten jene Personen, die grundsätzliche Datenschutzbedenken haben, vermutlich grundsätzlich nicht an einem Feldtest teilnehmen, was wiederum erklären könnte, worum Datenschutzaspekte in den umgesetzten Feldtests nachrangig waren.

5 Ergebnisse

5.1 Verbrauchsinformation (VI)

5.1.1 Quantitative Ergebnisse

Bislang in Österreich durchgeführte Projekte, die sich mit den Effekten von Energieverbrauchsinformationen beschäftigten, zeigen Einsparpotentiale zwischen 0 - 4,5% [1, 6]. Dabei variieren die Einsparungen kaum zwischen den verschiedenen Arten der Verbrauchsinformation. Projekte im deutschen und schweizerischen Ausland erzielten teils höhere Einsparungen.

| Monatliche Abrechnung / Verbrauchsinformation | | |
|---|-----------|---|
| [1] | 0% | Keine signifikante Einsparung (geringe Sample-Größe); es ist auch keine nennenswerte Abweichung des Verbrauchsrückgangs von der Kontrollgruppe erkennbar. |
| [6] | 3,0%-4,5% | Je nach zugrundeliegenden Annahmen ergeben sich in zwei der drei Szenarien signifikante Einsparungen. Das dritte Szenario mit bewusst übertriebenen Annahmen war nicht signifikant. |
| [21] | 2-3% | Monatliche Verbrauchsinformation in Kombination mit einer Website. Keine Angaben zur Signifikanz, n=90. |
| [23] | 11% | App, Webportal und Verbrauchsinformation in Kombination. Keine Angaben zur Signifikanz und Samplegröße. |

| In-House-Display | | |
|------------------|------|---|
| [1] | 0% | Keine signifikante Einsparung (geringe Sample-Größe); der Durchschnitt des Verbrauchsrückgangs liegt bei der Feldtestgruppe bei 4,05%, bei der Kontrollgruppe bei 2,67%. |
| [7] | 2,8% | Obwohl sich Experimental- und Kontrollgruppe in den Vorjahren unterschieden (die Experimentalgruppe verzeichnete einen anderen Verbrauchsanstieg als die Kontrollgruppe) zeigt sich im Feldtestjahr, dass die Verbrauchsreduktion der Experimentalgruppe um 2,8% (3,9% versus 1,1% Reduktion) höher war. Zur Signifikanz sind keine Aussagen vorhanden. |
| [23] | 11% | App, Webportal und Verbrauchsinformation in Kombination. Keine Angaben zur Signifikanz und Samplegröße. |

In-House-Display

| | | |
|-------------|------|--|
| [24] | 2,6% | Bei MeRegio handelte es sich um den Test von dynamischen Tarifen, d.h. Ziel war eine Lastverschiebung. Wie beschrieben, gehen damit oftmals Einsparungen einher, so auch im gegebenen Fall, in dem abseits der signifikanten Lastverschiebung auch Einsparungen erzielt wurden. |
| [25] | k.A. | Ein Mehrverbrauch von 1-3 % des Haushaltsstromverbrauchs entsteht durch die im Feldtest installierten IKT-Geräte; dieser wird vielleicht durch Energieeinsparungen kompensiert. Der kurze 3-monatige Feldtest bringt keine signifikanten Ergebnisse zu Einspareffekten. |
| [34] | 3,2% | Eine Smart Meter Anzeige wurde getestet. Die Verbrauchsreduktion ist signifikant (n ~ 1.100). Interessant ist, dass es zu einer generellen Reduktion des Verbrauchs ab 6:00 Uhr kam und die Verbrauchsreduktion zu Spitzenlastzeiten mit bis zu 8% besonders hoch war. Da grundsätzlich ein HT/NT-Tarif hinterlegt war, ließen sich auch verstärkte Verschiebungen in die Nacht feststellen. |
| [67] | 3% | Der Feldversuch der EKZ (CH) erbrachte mit In-House-Display eine Einsparung von 3% gegenüber einer Kontrollgruppe. |

Ambient Equipment

| | | |
|------------|----|---|
| [1] | 0% | „Watson“: Keine signifikante Einsparung (geringe Sample-Größe); es ist auch keine nennenswerte Abweichung des Verbrauchsrückgangs von der Kontrollgruppe erkennbar. |
|------------|----|---|

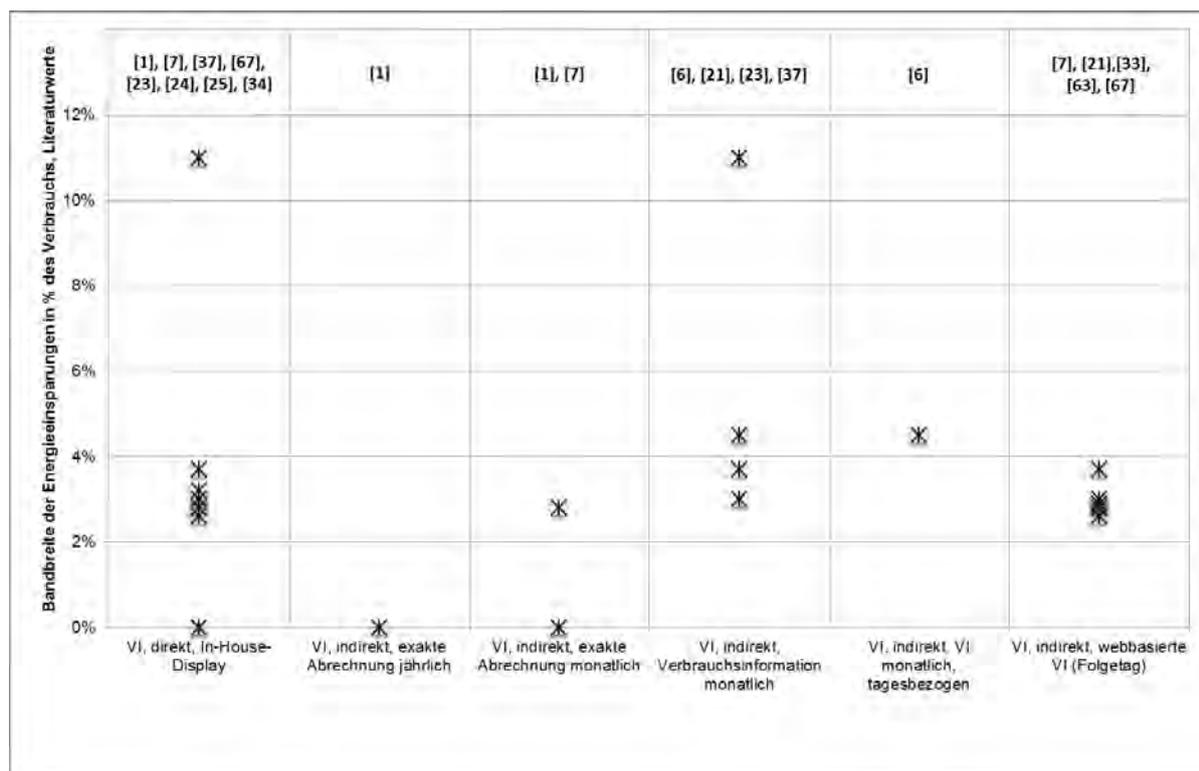
Website

| | | |
|-------------|------|---|
| [1] | 0% | Keine signifikante Einsparung (geringe Sample-Größe); der Durchschnitt des Verbrauchsrückgangs liegt bei der Feldtestgruppe bei 10,91%, bei der Kontrollgruppe bei 2,67%. |
| [21] | 2-3% | Website in Kombination mit einer monatlichen Verbrauchsinformation. Keine Angaben zur Signifikanz. |
| [23] | 11% | App, Webportal und Verbrauchsinformation in Kombination. Keine Angaben zur Signifikanz und Samplegröße. |
| [37] | 3,7% | Verbrauchsreduktion durch webbasiertes Feedback im e-Energy-Projekt Intelliekon. Der Großteil der Feldtestteilnehmer stammt aus Linz, womit dieses Ergebnis quasi als österreichisches urbanes Resultat gewertet werden kann. |

| Website | | |
|---------|------|--|
| [63] | 2,9% | Das umfassende am Kundeninteresse orientierte Webportal Velix liefert 2,9% Einsparungen. |
| [67] | 2,6% | Der Feldversuch der EKZ (CH) erbrachte mit der Visualisierung auf einem Webportal eine Einsparung von 2,6% gegenüber einer Kontrollgruppe. |

In der folgenden Abbildung werden die in der Literatur angegebenen Einspareffekte verschiedener Feldteststudien vergleichend dargestellt (jede Markierung entspricht einem Literaturwert). Grundsätzlich ist festzustellen, dass die bislang vorliegenden Ergebnisse aus dem D-A-CH-Raum ähnliche Ergebnisse erbrachten und überwiegend zwischen 2 und 4% liegen.

Abbildung 5-1: Bandbreite der erzielten Einsparungen in den untersuchten, quantitativen Studien, Nummern beziehen sich auf die Literaturangaben im Anhang



Quelle: eigene Darstellung und Recherche, *Anm.: Ergebnisse aus [1] sind vorläufige Ergebnisse.

5.1.2 Qualitative Ergebnisse

5.1.2.1 Lernphase

Erkenntnisse aus vorliegenden Projekten sind, dass Kundensegmentierung notwendig ist [39, 40, 41, 42, 61] und dass die Einfachheit der Gestaltung wesentlich ist [3], [6], [7], [37].

Hohes Interesse und Neugier ist gegeben, v.a. bei direkten Feedbackmethoden [1]. Ambiente Feedback- und Informationssysteme stoßen bei Befragten und Experten auf Zustimmung [4]. Personen mit hoher Technikaffinität nehmen wohl bevorzugt an Smart Metering-Tests teil [19].

Österreichische Studien zeigen eine überwiegend positive Reaktion der Haushalte auf vermehrte Energieverbrauchsinformationen [6], [7], [37], [63] was auch in Einklang mit internationalen Studien steht [48]. Auch stellen diese Studien übereinstimmend fest, dass Datenschutz auf Seiten der Kunden ein nachrangiges Thema war und die Feldtestteilnehmer keine Bedenken äußerten (siehe auch Kapitel 4.2).

5.1.2.2 Anpassungsphase

Das Maximum der Verhaltensänderungen wird in [1] als *Komfortgrenze* bezeichnet. Aus mikroökonomischer Sicht ist dies jene Schwelle, ab der die (Opportunitäts-)Kosten der Verhaltensänderung den Nutzengewinn übersteigen. „Eine zeitliche Differenzierung, d.h. den Strom dann zu verbrauchen, wenn es für das Gesamtsystem günstig ist, ist interessant für die Nutzer, jedoch muss dieser davon einen klar wahrnehmbaren Vorteil haben z.B. in Form einer Kosteneinsparung etwa durch zeitvariable Tarife“ [4].

Feedback sollte, wenn möglich, gerätespezifisch (einzelne Geräte) und in hoher zeitlicher Auflösung dargestellt werden. Der Fokus auf bestimmte Geräte und damit Maßnahmen (Tausch) wird damit ermöglicht [4, 6].

5.1.2.3 Persistenz der Einsparung

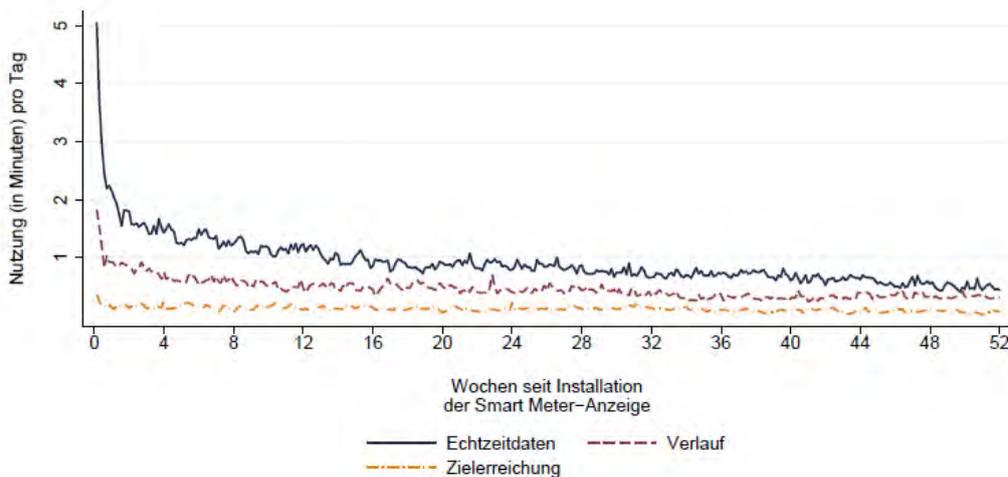
Nach einem Jahr kann die Nutzung des Feedbacks als Routine beschrieben werden; eine Nutzung erfolgt aus Kontrollzwecken [1]. Schweizer/Vorarlberger Studien zeigen positive, nachhaltige Effekte wenn Anreize zum Wiederkommen gegeben werden (z.B. Bonuspunkte, die man sammeln kann) bzw. wenn per SMS erinnert wird [35]. Erweiterungen / Zusatzfunktionalitäten sind dem Kunden zum Halten des Interesses anzubieten (Smart Home, Sicherheit) [4].

Für Großbritannien (Vergleichbarkeit eingeschränkt) zeigt das *Energy Demand Research Project*⁴ (2011, Studie für OFGEM/DECC), dass auch im zweiten Jahr sowohl bei direktem als auch bei indirektem Feedback statistisch signifikante Einsparungen bestehen bleiben.

In [34] wird berichtet, dass eine im Rahmen eines Feldtests bei rund 1.100 Haushalten installierte Smart Meter Anzeige in den ersten vier Feldtestwochen von 70% der Haushalte zumindest einmal pro Woche genutzt wurde. Nach einem Jahr lag die Nutzung bei 30%. Die im Feldtest von [34] zur Verfügung stehenden Geräte erlaubten auch eine Auswertung hinsichtlich der Anzahl der Aufrufe der Anzeige-Funktionen sowie der Verweildauer je Funktion. Die folgende Abbildung stellt diese Erkenntnisse dar. Nach 52 Wochen belief sich die Nutzung der drei Funktionen „Echtzeitdaten“, „Verlauf [des Verbrauchs, Anm. d. A.]“ und Zielerreichung [Verbrauchsziele konnten eingestellt werden, Anm. d. A.]“ auf unter 1 Minute pro Tag. Interessant ist, dass die Echtzeitanzeige über den gesamten Feldtestverlauf am häufigsten genutzt wurde.

⁴ AECOM, Building Engineering, OFGEM (2011) Energy Demand Research Project: Final Analysis.

Abbildung 5-2: Smart Meter-Anzeige: Durchschnittliche Nutzungszeit (in Minuten) pro Tag und Funktion im Zeitverlauf, Quelle: [34] Seite 60.



5.1.2.4 Zahlungsbereitschaft

Die Studien zeigen übereinstimmend, dass die Zahlungsbereitschaft für eine Verbrauchsinformation gering ist. Hintergrund der geringen Zahlungsbereitschaft könnte sein, dass der Nutzen des Produkts (Einschätzung des Sparpotenzials) nicht bekannt ist [6, 7]. Als exemplarisch für die geringe bzw. fehlende Zahlungsbereitschaft der Kunden kann folgendes Statement angesehen werden: „*Interessant ist, dass trotz selbstberichteter Einsparungen von im Schnitt über 5€ pro Monat die Zahlungsbereitschaft der Teilnehmer zurückhaltend ist. Ungefähr ein Sechstel der Teilnehmer könnte sich vorstellen, einen monatlichen Betrag für die Bereitstellung zusätzlicher Stromverbrauchsinformationen zu zahlen. Etwa ein Drittel der Teilnehmer ist bereit, einen Betrag für das Energiemanagementsystem zu zahlen. Keiner der Teilnehmer würde das System einsetzen, wenn es mehr als 4€ pro Monat kosten würde.*“ [25]⁵

⁵ http://www.modellstadt-mannheim.de/moma/web/media/pdf/Kurzergebnisse_Praxistest_2.pdf (2012-11-30)

5.1.3 Smart Meter als Voraussetzung für die Verbrauchsinformation

Nicht alle Anwendungen im Bereich Verbrauchsinformation verlangen nach dem Einsatz von Smart Metern; so können beispielsweise kundenfreundliche Jahresrechnungen oder Webportale mit intensiver Kundeneinbindung ohne Smart Meter abgehandelt werden. Im Bereich der Verbrauchsinformation ist dennoch festzustellen, dass für eine echte Verbesserung des Status Quo ein Smart Meter benötigt wird.

Tabelle 5-1: Bedarf eines Smart Meter zur Verfügungsstellung von Information

| Verbrauchsinformation (VI) | Smart Metering-Bedarf | Begründung |
|--|-----------------------|---|
| In-House-Display | ja | Zur Digitalisierung ist der Smart Meter technisch sinnvoll |
| "Ambiente" Equipment | ja | |
| App / Smartphone | ja | |
| exakte Abrechnung jährlich | nein | Status Quo |
| exakte Abrechnung monatlich | ja | Der Smart Meter ist aufgrund der Ablesefrequenz wirtschaftlich sinnvoll. |
| VI monatlich | ja | |
| VI quartalsmäßig | eher ja | |
| VI monatlich, tagesbezogen | ja | |
| webbasierte VI (Folgetag) manuell | nein | Status Quo ⁶ |
| webbasierte VI (Folgetag) | ja | Aufgrund der Digitalisierung und Ablesefrequenz technisch und wirtschaftlich sinnvoll |
| webbasierte VI (Folgetag, hochauflösend) | ja | |
| Energieberatung | eher nein | Geringe Aussagekraft der Verbrauchswerte ohne Kenntnis der zum jeweiligen Zeitpunkt eingeschalteten Geräte (Erkenntnis TU Graz, IFEA) |

Der wirtschaftliche Bedarf ergibt sich aus einer Überschlagsrechnung bzgl. der Kosten, die eine entsprechende Ableser-Intensität ohne Smart Metering verursachen würde. Mögliche Gesetzesänderungen (kundenseitige Ableserpflicht) oder durchschnittliche Verhaltensänderungen (Kunden stellen oftmals jährlich Daten bereit) wurden ausgeschlossen.

Quelle: eigene Recherche und Darstellung

⁶ Z.b. bot die Salzburg AG ein Webportal an, bei dem kundenseitige Verbrauchseingaben möglich waren, die zu einer Information aufbereitet wurden (Vergleichswerte). Nichtsdestotrotz erscheint der Smart Meter aufgrund der Ablesefrequenz wirtschaftlich sinnvoll.

5.1.4 Verbrauchsinformation: Zusammenfassung

Auf Basis der Literaturrecherche zeigen sich realisierbare Einspareffekte im Haushaltsbereich, die zwischen etwa 2 - 4% liegen. Literaturwerte von bis zu 20%, die vor allem aus dem angelsächsischen Raum stammen,⁷ sind schwer nachvollziehbar. Die Gründe für die vergleichsweise geringen Einsparungen sind nur qualitativ erfassbar: ein Aspekt kann der *Selection Bias* sein (siehe Kapitel 4.2), ein anderer die unterschiedlichen Verbrauchsstrukturen in den europäischen Ländern und darauf aufbauend die unterschiedliche Höhe der realisierbaren Einsparungen (z.B. Stromeinsatz für Heizzwecke in Skandinavien).

Ob und wie die Anwendung mehrerer Medien zur Endkundenkommunikation die erzielte Einsparung steigert, kann nicht abgeleitet werden. Jedenfalls wurden beim höchsten erzielten Ergebnis (11%) eine App, ein Webportal und eine postalische monatliche Verbrauchsinformation in Kombination angeboten [23]. Der Grund könnte hier nicht nur in der Vielzahl der Medien, sondern auch ihrer unterschiedlichen Art liegen: Die App ist eine sehr direkte Feedbackmöglichkeit, die Verbrauchsinformation eine stark indirekte, die Website liegt hinsichtlich dieser Einteilung zwischen den beiden. Auch könnte ein Grund in der Persistenz der verwendeten Medien liegen: App und Webportal sind vollkommen freiwillig nutzbar und eventuell mit abnehmenden Interesse verbunden, während die postalische Verbrauchsinformation sowohl einen stetigen Reminder als auch eine Kontrolle darstellt (dies deckt sich mit den Erfahrungen mit der Erinnerungs-SMS in [35]).

Aus den gesichteten qualitativen Studien wird deutlich, dass Haushalte grundsätzlich positiv auf vermehrte Informationen über ihren Energieverbrauch reagieren und die Motivation besteht, sich mit diesen Informationen zu beschäftigen. Hinsichtlich der Persistenz des Interesses sind jedoch nur wenige Studien, teils aus anderen Teilen Europas, verfügbar.

Grundsätzlich ist auch anzumerken, dass die gesichteten quantitativen Studien qualitativ sehr unterschiedlich sind; dies betrifft einerseits das methodische Vorgehen und andererseits die Transparenz der Methoden- und Ergebnispräsentation.

⁷ Darby, S. (2006) The Effectiveness of Feedback on Energy Consumption. <http://www.eci.ox.ac.uk/research/energy/downloads/smart-metering-report.pdf>.

5.2 Demand Response (DR)

In einer Vielzahl von Studien wird ex-ante davon ausgegangen, dass technische Lastverschiebungspotenziale vorhanden sind [43, 44]. Dies trifft auch für den Haushaltsbereich zu, wo v.a. die Großverbraucher wie Wärmepumpen und E-Boiler, aber auch Waschmaschinen, Geschirrspüler und ähnliche als für Lastverschiebung verfügbar, angegeben werden.

5.2.1 Quantitative Ergebnisse

Das Lastverschiebepotenzial ist komplex darzustellen, da es stark von Rahmenbedingungen abhängig ist, dazu gehören insbesondere:

- Jahreszeit
- Wochentag
- Uhrzeit
- Ursprüngliche Last (kein Potenzial wenn keine Last zur bestimmten Zeit)
- Dauer der Verschiebung

| Demand Response / Lastverschiebung | | |
|------------------------------------|------|--|
| [4] | k.A. | Zwar wurde für beide Komponenten Netz (Hochlastvermeidung) als auch Energie (Ökostromeinspeisung) getestet, durch das geringe Sample (n = 24) ergeben sich aber keine belastbaren Werte. |
| [9] | k.A. | 0,21% - 3,08% Kostenersparnis, aber: modelliert – kein Feldtest! |
| [11] | 100% | Verschiebung der Last einer Elektrodirektheizung: werktags, 2x täglich, Dauer 30 Minuten, 2,5-3,7 kW. |
| [21] | 1-2% | „Über das ganze Jahr ist eine Lastverschiebung von 1 - 2 % in den günstigen Zeitraum erkennbar.“ Achtung: keine Aussagen zur Signifikanz. |
| [22] | 3% | „Kunden nutzen Möglichkeiten der Lastverlagerung mit 3% (Preiseinsparung) nur wenig, aber sie reagieren“. Achtung: keine Aussagen zur Signifikanz, n=90. |
| [23] | 12% | Kommunikation: App, Webportal und monatliche Verbrauchsinformation. 12% wurden in der Hochtarifphase (8:00-20:00) eingespart (Peak Clipping). Es wird nicht angegeben, ob der Verbrauch nachgeholt wurde. Jedoch wird erwähnt, dass es in der Niedertarif-Phase zu keinen signifikanten Änderungen kam. |
| [23] | 20% | 20% wurden in Höchstarif-Eventphasen eingespart. Kommunikation: App, Webportal und monatliche Verbrauchsinformation. |

Demand Response / Lastverschiebung

[23] -30% 30% wurden in Niedrigtarif-Eventphasen **mehr verbraucht**.
Kommunikation: App, Webportal und monatliche Verbrauchsinformation.

[24] bis zu 35% Am In-House-Display wurde eine Preisampel (grün – gelb – rot) gezeigt. Die Einsparungen waren wie folgt (Abb. übernommen aus [24]):

| Prozentuale Lastreduzierung bei Wechsel der Preisstufe | | |
|--|-----------------------------------|-----------------------|
| Verglichene Preisstufen | Kunden in den ersten drei Monaten | Kunden nach 3 Monaten |
| Grün gegen rot | 25-35% | 7-12% |
| Grün gegen gelb | 10-22% | 4-7% |
| Gelb gegen rot | 3-15% | 2-4% |

[24] 7,4% Hillemacher et al. (2013) beschreiben, dass im Feldtest 3 Tarifstufen (HT, NT, Super-NT) angewandt wurden. In Höchsttarifzeiten werden 2,3% eingespart und zusätzlich 5,1% aus den Höchsttarifzeiten wegverschoben werden. → Peak Clipping 7,4% [24]

[24] -6,1% Hillemacher et al. (2013) beschreiben, dass in Super-Niedertarif-Zeiten 3% mehr verbraucht werden und zusätzlich 3,1% in die Super-Niedertarif-Zeiten hinein verschoben werden. → Valley Filling 6,1% [24]

[25] 6-8% Klassischer HT/NT-Tarif, wobei 6-8% die Verschiebung aus dem HT-Tarif angibt und etwa 2% Einsparung umfasst.

[27] k.A. Für das Projekt liegen aktuell noch keine Ergebnisse vor. Im Rahmen eines Feldtests (n=250 Haushalte) wird das Lastverschiebepotential, dass durch dynamische Strompreise erzielt werden kann, getestet. Im Projekt haben Haushalte die Möglichkeit, an intelligente Steckdosen angeschlossene Geräte nur dann einzuschalten, wenn der Preis unter einer vordefinierten Grenze liegt.

[57] 5-6% Schon in den 1990er-Jahren wurden in Deutschland flexible Tarife getestet. Der Eckernförder Echtzeittarif erreichte Einsparungen zu Spitzenlastzeiten von 5% und zu Hochlastzeiten von 5-6%. Zur Signifikanz ist nichts bekannt, die Teilnehmerzahl ist unbekannt, aber höher als 100. Die Auswahl der Teilnehmer erfolgte zufällig. Zu erwähnen sind ein dominanter Zugang der damals monopolistischen EVU und eine Absicherung der Endkunden durch Bestabrechnung (d.h. bei Gewinn Abrechnung nach neuem Tarif, bei Verlusten Abrechnung nach altem Tarif).

| Demand Response / Lastverschiebung | | |
|------------------------------------|-------|--|
| [57] | 13,4% | Schon in den 1990er-Jahren wurden in Deutschland flexible Tarife getestet. Der Tarif der Stadtwerke Rheine brachte Einsparungen von 13,4% zu Spitzenlastzeiten. Zur Signifikanz ist nichts bekannt, die Teilnehmerzahl ist n=100. Die Teilnehmer wurden nach Lastverlagerungspotenzial und Verbrauchsgewohnheiten ausgewählt, um ein möglichst hohes Potenzial zu schaffen. Zu erwähnen sind ein dominanter Zugang der damals monopolistischen EVU und eine Absicherung der Endkunden durch Bestabrechnung. |
| [57] | 10% | Schon in den 1990er-Jahren wurden in Deutschland flexible Tarife getestet. Der Tarif im Saarland brachte 10% Einsparung in Hochlastzeiten. Zur Signifikanz ist nichts bekannt, die Teilnehmerzahl ist mit n=1.500 hoch. Zu erwähnen sind ein dominanter Zugang der damals monopolistischen EVU und eine Absicherung der Endkunden durch Bestabrechnung. |
| [57] | 12% | Schon in den 1990er-Jahren wurden in Deutschland flexible Tarife getestet. Der Tarif in Freiburg brachte 12% Einsparung in Hochlastzeiten. Zur Signifikanz ist nichts bekannt, die Teilnehmerzahl ist unbekannt, aber höher als 100. Die Teilnehmer wurden nach Lastverlagerungspotenzial und Verbrauchsgewohnheiten ausgewählt, um ein möglichst hohes Potenzial zu erschaffen. Zu erwähnen sind ein dominanter Zugang der damals monopolistischen EVU und eine Absicherung der Endkunden durch Bestabrechnung. |
| [60] | k.A. | In einem Feldtest mit der Uni Bonn wurden die Verschiebungen von Waschmaschinen, Wäschetrocknern und Geschirrspülern getestet. Das Sample beträgt nur n=41. |

5.2.2 Qualitative Ergebnisse

5.2.2.1 Lernphase

Ein qualitatives Ergebnis ist, dass Kunden statische variable Tarife („time of use“) bevorzugen, und zwar im Vergleich zu dynamischen variablen Tarifen („real time pricing“) [21]. Es ist anzunehmen, dass der nur einmalige Lernbedarf ursächlich ist (und die Möglichkeit der Gewöhnung an bestimmte Tageszeiten in der Anpassungsphase) [24]. Auch [22] unterstreicht für eventuelle Geschäftsmodelle: „Vertriebsprodukte für Privatkunden mit maximal 5 Tarifen / Tag sind ausreichend, sonst zu hohe Komplexität beim Kunden.“

5.2.2.2 Anpassungsphase

Bei dynamischen oder Event-Tarifen ergibt sich die Notwendigkeit, dass der Endkunde über die aktuelle bzw. kommende Tarifhöhe informiert sein muss, d.h. es ergibt sich der Bedarf des kundenseitigen Informationsempfangs. Dafür sind andere Mediatoren als Smart Meter

wahrscheinlich besser geeignet, als besonders zukunftsfähig sind Smart Phone- und Tablet-Apps zu betrachten (Hinweis: heute sind diese aufgrund der Verbreitung mutmaßlich nur in jüngeren und technikaffineren Gesellschaftsbereichen ein für die Allgemeinheit beschränkt nutzbares Tool).

Eine Visualisierung des aktuellen Verbrauchs und der aktuellen Preise ist besonders bei dynamischen Tarifen wichtig [21].

5.2.2.3 Persistenz der Einsparung

Aus einem e-Energy-Projekt wird eine Persistenz bis zum Ende des Feldtests gemeldet: „Der Effekt der Energieeinsparung hat sich im gesamten Testzeitraum verfestigt. Auch die Einspar- und Lastverschiebungspotenziale beim Event-Tarif sind nahezu konstant geblieben“ [23]. Dem widersprechend wurden in [24] starke Verringerungen bei der Teilnahme schon nach 3 Monaten festgestellt.

Prof. Stamminger sagt in einem Expertenworkshop [68] zum deutschen Projekt Smart-A [60], dass das Interesse auch im zweiten Jahr erhalten blieb.

5.2.2.4 Zahlungsbereitschaft

Zu Demand Response anregende, nicht-verpflichtende flexible Tarife stellen dann Geschäftsmodelle dar, wenn sie eine Win-Win-Situation für EVU und Endkunde bieten. Interesse von Haushaltsendkunden an Demand Response wird ab 65-120 Euro/Jahr Barwert-Einsparungen (= 5,5-10 € pro Monat) attestiert [24].⁸ In [25] wird von einer Zahlungsbereitschaft für eine „funktionierende automatische Steuerung und Stromvisualisierung“ von 1 bis 2 € pro Monat berichtet. Interessant ist, dass trotz selbstberichteter Einsparungen von im Schnitt über 5 € pro Monat kein Teilnehmer bereit ist, mehr als 4 € pro Monat zu bezahlen.

Für das tatsächliche Marktpotential von Demand Response gibt es in Österreich im Haushaltssektor noch keine veröffentlichten Studien, zwei Studien [68, 74] zu diesem Thema werden aktuell ausgearbeitet. Die Ergebnisse von [68] und [74] werden allerdings erst 2014 vorliegen. Für den Haushaltsbereich gibt es somit aktuell keine Ergebnisse, weder aus Feldtests noch Potentialerhebungen.

5.2.3 Smart Meter als Voraussetzung für Demand Response

Nicht alle Anwendungen im Bereich Demand Response verlangen nach dem Einsatz von Smart Metern; so können beispielsweise einfache zeitvariable Tarife (HT/NT) über Zwei-, in einigen Fällen über Mehrtarifzähler abgehandelt werden. Der Bedarf von Smart Metering-Daten für Tarifvarianten ist daher diversifiziert zu betrachten.

„Anreizprogramme“ laut Abbildung 3-1: bei klassischen Anreizprogrammen (schaltbar) ist die Fernsteuerbarkeit der Smart Meter bzw. deren Fähigkeit zur genauen Verbrauchsdatenerfassung nicht zwingend erforderlich (aber eventuell zur Entwicklung des

⁸ Alexandra-Gwyn Paetz, Elisabeth Dütschke. Dynamische Stromtarife – nur gesetzliche Pflicht oder Kundenwunsch? SIV.NEWS 1/2011, Web: http://www.meregio.de/pdf/SIV_News_01-2011.pdf (2012-11-30).

Geschäftsmodells wirtschaftlich von Vorteil). Marktbasierte Anwendungen, d.h. die Teilnahme an Märkten, sind wohl mittelfristig insbesondere für Kleinkunden uninteressant.

„Preisprogramme“ laut Abbildung 3-1: In den einfachsten Varianten (TOU mit 2 Tarifzonen) ist die Datenerfassung über Smart Meter kein entscheidender Fortschritt. Kompliziertere Varianten lassen sich mit Smart Meter in fast allen Fällen wirtschaftlicher, in manchen (komplexeren) Fällen aber aus fundamental-technischer Hinsicht überhaupt erst realisieren.

Tabelle 5-2: Bedarf von Smart-Metering-Daten zur wirtschaftlichen Realisierung von Tarifprodukten.

| Tarifanwendung | Smart Metering-Bedarf | Begründung |
|-------------------------------|-----------------------|--|
| Time of Use (ToU) | nein (bis 2 Zeiten) | Status Quo: 2-Tarif-Zähler ⁹ |
| ToU - (semi)automatisiert | nein (bis 2 Zeiten) | Status Quo: 2-Tarif-Zähler, Automatisierung über Zeitschalter |
| Critical peak price (CPP) | eher ja | Mehrtarifzähler möglich, aber erscheint für Ausnahmefälle zu kompliziert |
| CPP - (semi)automatisiert | ja | Automatisierung über Zähler |
| Extreme Day Price (EDP) | eher ja | Mehrtarifzähler möglich, aber erscheint für Ausnahmefälle zu kompliziert |
| EDP - (semi)automatisiert | ja | Automatisierung über Zähler |
| EDP-CPP | eher ja | Mehrtarifzähler möglich, aber erscheint für Ausnahmefälle zu kompliziert |
| EDP-CPP - (semi)automatisiert | ja | Automatisierung über Zähler |
| Real Time Pricing (RTP) | ja | Digitale Information, Ablesefrequenz |
| RTP - (semi)automatisiert | ja | Digitale Information, Ablesefrequenz |

Quelle: Eigene Darstellung

5.2.4 Demand Response: Zusammenfassung

Generell wird in den Studien zur Lastverschiebung ein hohes Potenzial festgestellt. Insbesondere für das sogenannte Peak Clipping besteht ein hohes Potenzial, wobei ein Teil des Wenigerverbrauchs insbesondere bei Haushalten nicht nachgeholt wird, d.h. eine Einsparung darstellt. Dies könnte auf eine bisher geringe Konzentration auf die elektrische Warmwasserbereitung hindeuten, die unter den interessanten Großverbrauchern als einzige Maßnahme thermische Verluste verursachen würde.

Die Studien stimmen darin überein, dass das Einsparpotenzial umso höher ist, je höher der Preisanreiz ist, d.h. je höher z.B. der Unterschied zwischen HT- und NT-Tarif ist oder wie

⁹ Es gibt elektromechanische Energiezähler mit zwei und mehr Zählwerken, um zeitbezogen unterschiedliche Tarife abrechnen zu können. Zwischen diesen Zählwerken wird beispielsweise durch eingebaute oder externe Rundsteuerempfänger (die durch zentrale Rundsteueranlagen im Energieversorgungsunternehmen gesteuert werden) umgeschaltet. [Wikipedia: <http://de.wikipedia.org/wiki/Stromz%C3%A4hler#Tarifumschaltung> (2012-11-23)]

hoch die Mehrkosten bei Eventtarifen sind [60]. Es zeigt sich auch, dass Haushalte in Billigtarifzeiten Mehrverbräuche aufweisen, d.h. die Tarifzeit nutzen. Auch zeigt sich, dass die Mehrverbräuche prozentuell über den Einsparmöglichkeiten liegen, also eine Steigerung offensichtlich leichter fällt als eine Reduktion.

Wichtig ist der Hinweis, dass es sich bei den Haushalten, die Einsparungen oder Verschiebungen erzielten, um Feldtesthaushalte handelt. Die Methoden der Rekrutierung sind nicht immer zufällig, und selbst wenn kommt es zur sogenannten Self-Selection, also einer Freiwilligkeit besonders Interessierter und damit eventuell zu Verzerrungen des Ergebnisses (siehe Kapitel 4.2).

6 Exkurs: Motivation der Öffentlichkeit

Interessant sind im Zusammenhang mit dieser Studie auch Projekte, die sich mit Möglichkeiten zur Kommunikation mit der Öffentlichkeit (bzw. zur Bildung von Bewusstsein in dieser) im öffentlichen Raum beschäftigen. Im Rahmen des Projekts Smart City Linz, in dem das Energieinstitut u.a. mit dem Ars Electronica Center Futurelab kooperierte, wurden Möglichkeiten des öffentlichen Feedbacks durchgegangen. Zu diesen gehörten unter anderem sprechende Parkbänke oder die beleuchtete Abluft eines städtischen Kraftwerks (siehe Abbildung unten). Als eher klassisch lassen sich öffentliche Anzeigen (LED-Leinwände) ansehen.

Grundsätzlich ist zu attestieren, dass mit diesen öffentlichen Feedbacks eine Bewusstseinsbildung und in Folge eine Einsparung erreicht werden kann. Die Langfristigkeit dieser Einsparung ist wie bei allen direkten Feedbacks nicht garantiert. Da sich der Stromverbrauch des Einzelnen nicht auf den Zustand des Gesamtsystems (Produktion, Netzstabilität, oÄ) auswirkt, lässt sich die Verhaltensänderung auf die soziale Erwünschtheit und die Konformität der Konsumenten mit den ableitbaren Erwartungen zurückführen. Messungen des Einspareffekts sind nicht bekannt (selbst bei Verfügbarkeit von Ergebnissen wäre ein Kontrollgruppenproblem anzumerken).

Bei der Umsetzung von Projekten in Richtung des öffentlichen Feedbacks spielen neben dem notwendigen Monitoring (qualitative/quantitative Begleitung) v.a. die Wirkweise (Psychologie) und die Verbreitung (Marketing) eine essenzielle Rolle.

Bezüglich des vorliegenden Papiers ist festzustellen, dass das Energieinstitut an der JKU Linz die verschiedenen Arten der Darstellung und die Möglichkeiten der Kundenerreichung erörtert, allerdings eingeschränkt auf den persönlichen bzw. auf den vom Smart Meter gemessenen Stromverbrauch.

Abbildung 6-1: Öffentliches Feedback durch Beleuchtung der Abluftwolke eines Kraftwerks.
Quelle: <http://www.creativedataproyects.com/2011/01/nuage-vert-hehe/> (2012-11-23).



7 Forschungsfragen im Bereich Verbrauchsinformation

Als noch offene Forschungsfragen sind aus Sicht der Autoren folgende Themen von Interesse:

7.1 Interesse / Motivation des Endkunden

Ähnlich wie im Fall von Demand Response stellt sich die Frage, wie sich die Reaktion von Endkunden (speziell Haushalten) auf verschiedene Arten der Verbrauchsinformation unterscheidet. Verbrauchsinformationen wurden vorrangig [z.B. 6] nur mit kWh-Angaben getestet. Die Kosten einer (zusätzlich/marginal) verbrauchten kWh als ökonomischer Entscheidungsparameter wurden damit ausgeblendet. Es ist unklar, ob die Darstellung „tatsächlich gezahlten Geldes“ eine Erhöhung der Motivation mit sich brächte oder ob der eventuell als vernachlässigbar eingestufte Preis einer einzelnen kWh die Verhaltensänderungen nicht sogar reduzieren würde.

7.2 Soziale Normen

Schon in der Energiedienstleistungsrichtlinie 2006/32/EG (Artikel 13) wurde nach der Normierung des Energieverbrauchs verlangt, d.h. eine Vergleichbarkeit gefordert, die nicht nur auf eigenen historischen Daten basiert. Die Darstellung sozialer Normen kann z.B. in Form eines Benchmarks geschehen („ein Haushalt gleicher Ausstattung verbraucht im Vergleich so und so viel Energie“).

Hier ergibt sich eine Forschungsfrage, denn noch ist unklar, wie sich Haushalte verhalten, wenn sie gering/weit über/unter dem Benchmark liegen. Hier ist auf quantitative Daten zurückzugreifen, denn qualitative Analysen liefern widersprüchliche Ergebnisse (z.B. sind für die gleiche Position bspw. weit unterhalb des Benchmarks folgende Positionen möglich: „Ich kann in meinem sozialen Umfeld eine Spitzenposition ausweisen und werde mich bemühen, diese zu halten.“ versus „Ich werde in meinem sozialen Umfeld noch immer gelobt werden, wenn ich mich etwas weniger energiesparend verhalte.“)

7.3 Maßnahmenlebensdauer

Es stellt sich die Frage, wie und ob die Motivation der Endkunden, insbesondere die der Haushalte über einen längerfristigen Zeitraum (mehr als zwei Jahre) aufrechterhalten werden kann oder ob sich geändertes Verhalten wieder zurückentwickelt (z.B. aus Komfortgründen, mangelnde Ersparnis).

7.4 Kausaler Hergang der endkundenseitigen Einsparung

Feldtests stellen bisher Informationen darüber bereit, wie viel Energie Endkunden mit Verbrauchsinformationen (gleiches gilt auch für Demand Response) im Vergleich zu jenen ohne diese Information einsparen. Die Feldtests stellen allerdings keine Information bereit, wie sich eine Einsparung entwickelt: es ist anzunehmen, dass eine Information erst vom Endkunden verarbeitet werden muss und es in Folge nach und nach zu Maßnahmen durch den Endkunden kommt. Während Einsparungen durch Effizienzmaßnahmen bestehen bleiben und bei Bedarf auch in weiterer Folge Effizienzmaßnahmen gesetzt werden können, ist hypothetisch ein Rückgang der Verhaltensänderungen zu erwarten. Des Weiteren ist zu erwarten, dass sich dieser Zeitablauf nach Art der Information unterscheidet (hypothetisch ist für direkte Informationen wie z.B. von In-House-Displays eine kurzfristigere Reaktion zu

erwarten als von langfristig zugesandten postalischen Verbrauchsinformationen). Wie beschrieben sind diese Annahmen hypothetisch und bedürften einer Überprüfung.

7.5 Effizienzanalyse

Unterschiedliche Formen der Verbrauchsinformation verursachen unterschiedlich hohe fixe und variable Kosten und lösen in unterschiedlichen Zielgruppen unterschiedlich hohe Einsparungen aus. Es bleibt die Forschungsfrage, welche die volkswirtschaftlich effizienteste Art der Verbrauchsinformation bzw. bei Beachtung unterschiedlicher Endkunden-Gruppen [vgl. als Basis 39, 40] die effizienteste Kombination der verfügbaren Arten ist.

7.6 Akzeptanz

Die Begriffe Smart Grid und Smart Metering sind in der Bevölkerung nicht ausreichend bekannt. Kommt der Bürger mit diesen Begriffen dennoch in Berührung, sind diese im medialen Umfeld oft negativ behaftet. Gerade die Einführung von Smart Metern wird häufig im Zusammenhang mit Industrieinteressen dargestellt und der Nutzen für den Endkunden ist für viele nicht erkennbar. Der Begriff des Smart Grids wird dabei oft nicht differenziert zum Begriff des Smart Meters wahrgenommen, dementsprechend gering ist die Zustimmung relevanter Bevölkerungsanteile zu dieser Infrastrukturvision.

Die Weiterentwicklung der Elektrizitätsnetze von einem statischen Transportsystem zu einem dynamischen Trägersystem für unterschiedlichste Dienstleistungen im Bereich der Energieversorgung ist eine der großen technologischen Herausforderungen der nächsten Jahrzehnte. Eine solche Herausforderung kann ohne die Zustimmung und Unterstützung des Bürgers als zentralem Stakeholder in diesem neuen System nicht stattfinden. Eine der großen Herausforderungen für eine erfolgreiche Umsetzung der Smart Grid Vision ist es deshalb nicht nur, dass der Bürger diese neue Infrastruktur akzeptiert, vielmehr muss es gelingen die Bevölkerung für diese Vision zu begeistern. Es ist deshalb dringend notwendig, dass innovative Forschung die Interessen des Bürgers zu einem zentralen Thema der Smart Grid Implementierung macht, um die Akzeptanz der Bevölkerung zu dieser Transformation des Elektrizitätsnetzes zu erreichen.

8 Forschungsfragen im Bereich Demand Response

Demand Response beschäftigt sich mit der Verschiebung elektrischer Lasten. Die dahinterliegende Zielsetzung ist dabei für die Ausgestaltung (Relevanz für das Netz- oder die Energiekomponente) und das Potenzial maßgeblich.

8.1 Variable Energie- und Netztarife

Zielsetzungen sind Verschiebungen von Lasten, und zwar je nach verfügbarer Netzkapazität und Produktionskapazität bzw. aktueller Einspeisung aus erneuerbaren Energiequellen. Je nach Art der Zielsetzung müssen dem Endkunden Preisanreize über die Netz- bzw. Energiekomponente des Strompreises angeboten werden. In einer Vielzahl von Studien wird davon ausgegangen, dass ein technisches Potenzial zur Lastverschiebung vorhanden ist. Der Endkunde reagiert mittels manueller, semiautomatischer oder vollautomatischer Reaktion¹⁰ auf diese Preisanreize. Die Anwendung von (z.B. stündlichen) Echtzeitpreisen ist durch vollintegrierte Smart Meter möglich.

Das tatsächliche Potenzial von Demand Response ist abhängig von der Akzeptanz der neuen Tarifprodukte durch die Endkunden und der durch die Tarife tatsächlich induzierten Verhaltensänderungen.

Forschungsfragen:

- 1) Die Echtzeit-Angebotskurve für einen Energielieferanten ist relativ klar abzuleiten (Arbeitspreis als Echtzeit-Einkaufspreis plus Mark-Up oder Grundgebühr). Dagegen ist die Angebotskurve eines monopolistischen Netzbetreibers, der eigentlich keine variablen Kosten aufweist, weniger klar. Grundsätzlich gilt es daher zu kontrollieren, ob sich Variationen des Real-Time-Pricing (Time-of-Use-Pricing, Critical Peak Pricing, Extreme Day Pricing, etc.) besser eignen.
- 2) Zu klären ist, welche Lastverschiebung durch die geänderten Tarife induziert wird, welches Kosten-Nutzen-Verhältnis (Höhe des Benefits vs. Aufwand des Endkunden) vonnöten ist und wie sich die Lastverschiebung gestaltet.¹¹
- 3) Besonderes Interesse gilt der Fragestellung, wie die Netz- und Energiepreiskomponente zusammenwirken. Es ist vorstellbar, dass bei geringer Einspeisung erneuerbarer Energien trotz freier Netzkapazitäten ein Versorgungsengpass besteht, oder das bei starker Einspeisung erneuerbarer Energien und folglich bei einem geringen Energiepreis eine gefährliche Netzauslastung besteht. Die an die Endkunden weitergegeben Preissignale wären

¹⁰ Manuelle Reaktion auf die variablen Tarife, die dem Kunden z.B. durch ein In-House-Display angezeigt werden; halbautomatische Reaktion, z.B. durch den preisgesteuerten Start oder die Unterbrechung von Haushaltsgeräten wie Trockner, Geschirrspüler und Waschmaschinen; vollautomatische (ferngesteuerte) Reaktion, z.B. von Wärmepumpen, Warmwasserboilern oder Heizungspumpen ohne manuelles Zutun des Endkunden.

¹¹ Es ist anzunehmen, dass Endkunden nicht die gesamte nichtkonsumierte Energie verschieben. Illustrativ kann das Beispiel herangezogen werden, dass wenn an einem Tag aufgrund eines Hochpreises keine Wäsche gewaschen wird, diese am nächsten Tag mitgewaschen wird und damit ein Waschgang entfällt. Andererseits müssten auch Verbrauchssteigerungen vonnöten sein, wenn thermische Speicher zur Lastverschiebung herangezogen werden (Expertenworkshop in [68])

gegenläufig. Es stellt sich also die Frage, wie ein optimales Ergebnis erzielt werden kann.

Die Wirkungsweisen und Auswirkungen von flexiblen Tarifen wird in laufenden Projekten [68, 74] unter Leitung des Energieinstituts analysiert.

8.2 Interesse / Motivation des Endkunden

Der Endkunde muss aus seinem geänderten Verbrauchsverhalten Benefits, üblicherweise monetärer Natur, ableiten können, um auf Tarifierreize zu reagieren. Es gilt zu klären, wie hoch diese Benefits sein müssen, um den Endkunden zur Verhaltensänderung zu motivieren. Dabei ist der Endkunde differenziert zu betrachten (der „Durchschnittskunde“ ist aufgrund der Heterogenität nicht anzuwenden).

Im Rahmen der Forschung zur Verbrauchsinformation zeigt sich, dass die Schnittstelle zwischen Information (bei Demand Response: aktueller Tarif) und Endkunde essenziell für die Motivation bzw. Verhaltensänderung ist. D.h. die Aufbereitung der Tarifinformation spielt eine wichtige Rolle. Zusätzlich legen Studienergebnisse auch nahe, dass eine nichtmonetäre Zustandsdarstellung (z.B. eine „Ampel“ anstatt monetären Werten) eine höhere Motivation hervorrufen könnte (in [1] waren die Ergebnisse generell insignifikant). Hier sind Lehren zur Kundenakzeptanz von Verbrauchsinformations-Varianten möglicherweise anwendbar, jedoch fehlen konkrete Feldtests.

9 Übersicht der analysierten Projekte

| Nr. | Langtitel / Projekt | Autoren |
|------|---|--|
| [1] | Smart Grids Modellregion Salzburg - Consumer to Grid | Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation; Center for Usability Research & Engineering (CURE); Technische Universität Wien (TU Wien) – Institut für Computertechnik (ICT); Austrian Institut of Technology (AIT); Salzburg Wohnbau GmbH |
| [2] | Smart-Efficiency - CO2-Reduktion auf Basis automatisierter Effizienz- und Energieanalyse für Haushalte mit Hilfe von Smart Metern | Technische Universität Graz (TU Graz) - Institut für elektrische Anlagen |
| [3] | Schlüsselfaktoren für einen effektiven und akzeptablen Einsatz von Smart Meters | Interdisziplinäres Forschungszentrum für Technik, Arbeit und Kultur (IFZ), Österreichische Akademie der Wissenschaften (ÖAW), Institut für Technikfolgenabschätzung (ITA), e-commerce monitoring GmbH |
| [4] | Persuasive End-User Energy Management | Center for Usability Research & Engineering (CURE); Universität Salzburg - Advanced Studies and Research in Information and Communication Technologies & Society (ICT&S Center); Salzburg AG |
| [5] | Smart Response - Demand Response for Austrian Smart Grids | Technische Universität Wien (TU Wien)- Institut für Computertechnik (ICT) |
| [6] | Energieabrechnungs-Optimierung zur Endverbraucher motivation | Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz (JKU); Forschungsgruppe Energie- und Kommunikationstechnologien EnCT GmbH |
| [7] | Entwicklung Pilot Smart Metering Privatkunden & Gewerbe und monatliche Abrechnung | Energie Versorgung Niederösterreich (EVN); Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency (AEA) |
| [8] | Entwicklung eines zentralen Visualisierungsgeräts für den Energie- und Ressourcenverbrauch in Haushalten | Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT), "die umweltberatung" Österreich, Verein für Konsumenteninformation (VKI), Gemeinnützige Industrie Wohnungs AG (GIWOG) |
| [9] | Inwieweit vermögen Smart Grids die wirtschaftliche Entwicklung ländlicher Regionen zu stärken? | Pöyry Energy GmbH; Österreichisches Institut für Raumplanung (ÖIR) |
| [10] | Smart Grids Modellregion Salzburg – Building to Grid | Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation; Austrian Institut of Technology (AIT); Salzburg Wohnbau, Technische Universität Wien (TU Wien), Siemens AG |
| [11] | Integral Resource Optimization Network Study & Concept | Technische Universität Wien (TU Wien) -Institut für Computertechnik |
| [12] | Smart Metering and the protection of privacy of consumers | Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency (AEA), e-commerce monitoring GmbH |
| [13] | Smart Metering und Datenschutz in Österreich | Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz (JKU) |
| [14] | Systementwicklung Automatisches Metering und Informations-System (AMIS) im Netz der Energie AG | Energie AG Oberösterreich Data GmbH |
| [15] | Energiearmut verringern durch Energieeffizienz und erneuerbare Energien | e7 Energie Markt Analyse GmbH |
| [16] | Individuelle Motivation zum klimaschonenden Umgang mit Energie im Verkehr und im Haushalt | Universität für Bodenkultur - Institut für Verkehrswesen (BOKU-IVe); Socialdata Institut für Verkehrs- und Infrastrukturforschung GmbH |
| [17] | Aktivitätsbasiertes Implizites Energiemanagement | Johannes Kepler Universität Linz (JKU Linz) - Institut für Pervasive Computing ; Energie AG Oberösterreich |

| | | |
|------|---|---|
| [18] | Energie- und CO2 Reduktion durch verändertes Konsum- und Nutzerverhalten im Bereich Waschen, Spülen und Trocknen | Wirtschaftsuniversität Wien (WU Wien) - Institut für Technologie und nachhaltiges Produktmanagement; Fernwärme Wien |
| [19] | CO2 Management Begleitforschung: Anreizmechanismen, Nutzerverhalten und Technologiebewertung | Universität Graz - Wegener Zentrum für Klima und Globalen Wandel; Joanneum Research, Institut für Energieforschung; Interuniversitäres Forschungszentrum für Technik, Arbeit und Kultur (IFZ); Österreichische Akademie der Wissenschaften, Institut für Technikfolgenabschätzung; Grazer Energieagentur |
| [20] | Soziotechnische Zukunftsbilder und Transformationspfade für das österreichische Energiesystem | Interdisziplinäres Forschungszentrum für Technik, Arbeit und Kultur (IFZ); Austrian Research Centres - Abteilung Systemforschung; Institut für Technikfolgenabschätzung (ITA) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW) |
| [21] | Virtual Power System Allgäu | Allgäu Netz GmbH; Allgäuer Überlandwerk GmbH |
| [22] | Entwicklung und Demonstration dezentral vernetzter Energiesysteme hin zum E-Energy Marktplatz der Zukunft | RWE Deutschland AG; Siemens AG; Miele & Cie. KG; ProSyst; Stadtwerke Krefeld-Gruppe; Universitäten Bochum, Duisburg/Essen, Dortmund; Fachhochschule Dortmund |
| [23] | Intelligenz für Energie, Märkte und Netze, Smart Energy Region Cuxhaven | EWE AG; Business Technology Consulting AG (BTC); energy & meteo systems GmbH; Fraunhofer-Verbund Energie; OFFIS - Institut für Informatik; Öko-Institut e.V. |
| [24] | Aufbruch zu Minimum Emission Regions, Karlsruhe/Stuttgart | Energie Baden-Württemberg AG (EnBW AG); ABB AG; IBM Deutschland GmbH; Karlsruher Institut für Technologie (KIT); SAP AG; Systemplan GmbH |
| [25] | Modellstadt Mannheim – das Energiesystem wird intelligent | MVV Energie AG; Stadtwerke Dresden GmbH (DREWAG); IBM Deutschland GmbH; Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (IFEU); Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES); Institut für ZukunftsEnergieSysteme (IZES); Papendorf Software Engineering GmbH; Power PLUS Communications AG; Universität Duisburg-Essen |
| [26] | Regenerative Modellregion Harz, Landkreis Harz | Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES); CUBE Engineering GmbH; E.ON Avacon ; Mitnetz Strom; Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF); Halberstadtwerke GmbH ; HSN Magdeburg GmbH ; in.power GmbH; Krebs und Aulich GmbH ; Landkreis Harz ; Regenerativ-Kraftwerke-Harz- Windpark Druiberg GmbH u.Co KG ; Siemens AG ; Stadtwerke Blankenburg GmbH ; Stadtwerke Quedlinburg GmbH; Stadtwerke Wernigerode GmbH ; Universität Kassel ; Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg; 50Hertz Transmission GmbH |
| [27] | Mit dem Internet der Energie und der „intelligenten Kilowattstunde“ zu mehr Effizienz und Verbrauchernutzen, Smart Energy Region Aachen | Utilicount GmbH & Co. KG; Forschungsinstitut für Rationalisierung e.V. (FIR); PSI Energy Markets GmbH; Soptim AG; Kellendonk Elektronik GmbH; STAWAG, Stadtwerke Aachen AG |
| [28] | Smart Grids Modellregion Salzburg – Häuser als interaktive Teilnehmer im Smart Grid - Planung und Bau | Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation; Siemens AG Österreich; Salzburg Wohnbau GmbH; |
| [29] | Smart Grids Modellregion Salzburg – Smart Heat Networks | Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation; Austrian Institut of Technology (AIT); |
| [30] | Regelungskonzepte für einen aktiven Betrieb von Niederspannungsnetzen mit einem hohen Anteil an dezentralen Energieerzeugern-Konzept | Austrian Institut of Technology (AIT); Klima- und Energiefonds; Siemens AG Österreich, Fronius International GmbH; Energie AG Oberösterreich Netz GmbH; Salzburg Netz GmbH; Linz Strom Netz GmbH; Technischen Universität Wien (TU Wien) - Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, Institut für Computertechnik; BEWAG Netz GmbH |

Smart Metering im Kontext von Smart Grids

| | | |
|------|--|--|
| [31] | Aktiver Betrieb von elektrischen Verteilnetzen mit hohem Anteil dezentraler Stromerzeugung – Validierung von Spannungsregelungskonzepten | Austrian Institut of Technology (AIT); Klima- und Energiefonds, Vorarlberger Kraftwerke Netz AG; Salzburg Netz GmbH; Energie AG Oberösterreich Netz GmbH; Technischen Universität Wien (TU Wien) - Institut für elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, Energy Economics Group; Siemens AG Österreich |
| [32] | Verteilte Einspeisung in Niederspannungsnetze | AEW Energie AGBKW FMB Energie AG; Industrielle Werke Basel (IWB); Bundesamt für Energie (BFE); Centralschweizerische Kraftwerke AG (CKW); Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ); Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (EWZ); Romande Energie SA (RE); Gruppe Regionalwerke; Energie Wasser Bern (EWB); Wasserwerke Zug AG (WWZ); Stadtwerk Winterthur; Dachverband Schweizer Verteilnetzbetreiber; Groupe E AG |
| [33] | Swiss2Grid | University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland (SUPSI) - ISAAC Institut; Berner Fachhochschule; Protoscar SA; Bacher Energie |
| [34] | ewz Smart Metering | EWZ, Zürich; Bundesamt für Energie; Universität Lausanne; Universität Zürich |
| [35] | aWattgarde | Bits-to-Energy Lab, Zürich |
| [36] | Smart Metering für die Schweiz – Potenziale, Erfolgsfaktoren und Massnahmen für die Steigerung der Energieeffizienz | econcept AG; Forschungsgruppe Energie- und Kommunikationstechnologien EnCT GmbH |
| [37] | Nachhaltiger Energiekonsum von Haushalten durch intelligente Zähler-, Kommunikations- und Tarifsysteme | Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE); Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI); Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) |
| [38] | Nachhaltiger Energieverbrauch und Lebensstile in armen und armutsgefährdeten Haushalten | Österreichisches Institut für Nachhaltige Entwicklung (ÖIN); Institut für Soziologie und empirische Sozialforschung and der Wirtschaftsuniversität Wien (WU Wien); Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH |
| [39] | Determinanten für den Energieverbrauch in österreichischen Haushalten | Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency (AEA); KERP Research Elektronik & Umwelt GmbH; Technischen Universität Wien (TU Wien) - Institut für elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, Energy Economics Group |
| [40] | Klimagerechtes Leben der Zukunft – Energy Styles als Ansatzpunkt für effiziente Policy Interventions | Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency (AEA); Herry Consult GmbH; Research & Data Competence OG |
| [41] | Evaluierung von Aktivitäten zur Bewusstseinsbildung für Energiespar- und Umweltschutzmaßnahmen in der offenen Jugendarbeit | ÖKOBÜRO – Koordinationsstelle österreichischer Umweltorganisationen |
| [42] | Energieverbrauchsstile. Datenbank zum Energieverbrauch österreichischer Haushalte: Erstellung und empirische Überprüfung | Sustainable Europe Research Institute (SERI) |
| [43] | Gemeinde Großschönau als virtueller Energiespeicher | Sonnenplatz Großschönau GmbH; Austrian Institute of Technology (AIT); Technische Universität Wien (TU Wien) - Institut für Computertechnik (ICT) |
| [45] | SmarterWohnen®NRW | Hattinger Wohnungsgenossenschaft (HWG eG); das Fraunhofer-Institut für Mikro-elektrische Schaltungen und Systeme (IMS); Fraunhofer-Institut für Software und Systemtechnik (ISST) Fraunhofer-Institut IMS und ISST |

Smart Metering im Kontext von Smart Grids

| | | |
|------|---|--|
| [44] | Verbraucher als virtuelles Kraftwerk: Potentiale für Demand Side Management in Österreich im Hinblick auf die Integration von Windenergie | Technischen Universität Wien (TU Wien) - Institut für elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, Energy Economics Group |
| [46] | Integrierte Energiedienstleistungen | EEC Energy and Environmental Consulting GmbH |
| [47] | Konzeption innovativer Geschäftsmodelle zur aktiven Netzintegration dezentraler Verbraucher- und Erzeugeranlagen | Technischen Universität Wien (TU Wien) - Institut für elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, Energy Economics Group; Arsenal Research Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal GmbH; Oekostrom Produktions GmbH; Energieagentur Obersteiermark |
| [48] | The potential of smart meter enabled programs to increase energy and systems efficiency: a mass pilot comparison | VaasaETT, Global Energy Think Tank |
| [50] | Studie zur Analyse der Kosten-Nutzen einer österreichweiten Einführung von Smart Metering | PricewaterhouseCoopers (PwC) |
| [51] | Vernetzte Nachbarschaft im Cohnschen Viertel | Hennigsdorfer Wohnungs-Baugesellschaft mbH (HWB); Fraunhofer-Institut für Software- und Systemtechnik (ISST); Techem Energy Services; Tele Columbus |
| [52] | Pilotprojekt Smart Grid - Cisco und Yello Strom | Yello Strom, Cisco Deutschland |
| [53] | RWE Mülheim zählt | RWE Rhein-Ruhr |
| [54] | Smart Distribution 2020 - Virtuelle Kraftwerke in Verteilungsnetzen: Technische, regulatorische und kommerzielle Rahmenbedingungen | Energietechnischen Gesellschaft im VDE (ETG) |
| [55] | Analyse der Kosten – Nutzen einer österreichweiten Smart Meter Einführung | Capgemini Consulting Österreich AG |
| [56] | Integriert geplante hocheffiziente Energie- und Gesellschaftssysteme für nachhaltige Lebensformen der Zukunft | Universität Innsbruck - Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften, Institut für Infrastruktur, Institut für Städtebau und Raumplanung, Institut für Soziologie; Zukunftszentrum Tirol; Amt der Tiroler Landesregierung |
| [57] | Einführung von lastvariablen und zeitvariablen Tarifen | EnCT; Sozietät Becker, Büttner, Held (BBH); ECOFYS |
| [58] | Grundlagenstudie intelligentes E-Monitoring | Gemeinnützige Salzburger Wohnbaugesellschaft m.b.H. (GSWB) |
| [59] | eMeter: Stromverbrauchsfeedback auf Basis eines Pervasive Energy Monitoring Systems | Bits-to-Energy Lab, Zürich |
| [60] | Smart Domestic Appliances in Sustainable Energy Systems | Öko-Institut Freiburg; Universität Bonn - Institut für Landtechnik; Enervision GmbH; Imperial College London - Department of Electrical and Electronic Engineering; COGEN Europe; ENBW Energie Baden-Württemberg; Miele & Cie.KG ; University of Manchester |
| [61] | Smart Metering: Der Weg zu kundenorientierten Energieeffizienz-Dienstleistungen | Bits-to-Energy Lab, Zürich; Universität St.Gallen; Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH Zürich) |
| [62] | MEGA - Mehr Energieeffizienz durch gezielte Anwenderinformationen | Hochschule Luzern - iHomeLab |
| [63] | VELIX | Bits-to-Energy Lab, Zürich |
| [64] | Folgeabschätzung einer Einführung von Smart Metering im Zusammenhang mit Smart Grids | Bits-to-Energy Lab, Zürich; Ecoplan AG; Weisskopf Partner GmbH; ENCO AG |
| [65] | iSMART - Erfahrungen und Projekte der BKW in der Schweiz | BKW FMB Energie AG (BKW) |

Smart Metering im Kontext von Smart Grids

| | | |
|------|--|---|
| [66] | Kundenpräferenzen für Smart Metering in der Schweiz: Ergebnisse einer explorativen Studie | Universität St. Gallen |
| [67] | EKZ Pilotprojekt | Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) |
| [68] | Lastverschiebung in Haushalt, Industrie, Gewerbe und kommunaler Infrastruktur - Potenzialanalyse für Smart Grids | Energieinstitut an der JKU Linz, e7, TU Graz, Sonnenplatz Großschönau, FH Joanneum, 4ward Energy |
| [69] | Lastverschiebung in Industrie und Gewerbe - Chancen und Potentiale in zukünftigen Smart Grids | Allplan, New Energy Capital Invest |
| [70] | Smarte Robuste Regenerativ Gespeiste Blackout-feste Netzabschnitte | Technische Universität Wien, Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe, Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz, Energie AG Oberösterreich Netz GmbH, Vorarlberger Energienetze GmbH |
| [71] | Elaborated Assessment of Competing Smart Grid Solutions | Energieinstitut an der JKU Linz, e7 Energie Markt Analyse GmbH, Technische Universität Wien/ Institut für elektrische Anlagen, Linz Strom Netz GmbH |
| [72] | Smart Grids - Rechtliche Aspekte von Intelligenten Stromnetzen in Österreich | Energieinstitut an der JKU Linz |
| [73] | Smart Meter Pilotprojekt SM500 | Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH, Vorarlberger Kraftwerke AG |
| [74] | Entgelte und Bepreisung zur Steuerung von Lastflüssen im Stromnetz | Energieinstitut an der JKU Linz, TU Graz |