

3-5-2015

Anforderungen an Endkunden-Demand-Response-Informationssysteme

Christoph Klima

Axel Winkelmann

Follow this and additional works at: <http://aisel.aisnet.org/wi2015>

Recommended Citation

Klima, Christoph and Winkelmann, Axel, "Anforderungen an Endkunden-Demand-Response-Informationssysteme" (2015).
Wirtschaftsinformatik Proceedings 2015. 66.
<http://aisel.aisnet.org/wi2015/66>

This material is brought to you by the Wirtschaftsinformatik at AIS Electronic Library (AISeL). It has been accepted for inclusion in Wirtschaftsinformatik Proceedings 2015 by an authorized administrator of AIS Electronic Library (AISeL). For more information, please contact elibrary@aisnet.org.

Anforderungen an Endkunden-Demand-Response-Informationssysteme

Christoph Klima und Axel Winkelmann

Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Germany
{christoph.klima,axel.winkelmann}@uni-wuerzburg.de

Abstract. Demand Response-Initiativen bieten eine große Chance, einen nachhaltigen Beitrag zur Erreichung umweltrelevanter Ziele zu leisten. Die Vorteile dieser kundenseitig ansetzenden, lastverschiebenden und lastreduzierenden Maßnahmen können heute jedoch auf Grund zahlreicher Problemstellungen noch nicht internalisiert werden. Vor dem Hintergrund der steigenden Anzahl vernetzter Verbraucher in Haushalten (z.B. durch Smart Home-Technologie) bieten sich neue Möglichkeiten zur Anbindung privater Haushalte an Demand Response-Programme. Eine Integration der Energie-Nachfrager erfolgt bisher allerdings hauptsächlich bei gewerblichen Kunden. Die vorliegende Literaturanalyse untersucht daher Anforderungen an die Entwicklung eines endnutzerseitig installierbaren Informationssystems zur Integration vernetzter Verbraucher an Demand Response-Programme und analysiert dabei insbesondere die Rolle des Datenaustausches.

Keywords: Demand Response, Demand Side Management, Energy-Informationssystem-Anforderungen, Literaturanalyse

1 Demand Response als Teil des intelligenten Stromnetzes

Getrieben durch die politisch motivierte Liberalisierung der Energiemärkte, die zunehmende Verbreitung von Wind-, Wasser und Solarkraft [36] sowie die steigende gesellschaftliche Bedeutung nachhaltigen Handels, befindet sich die europäische Energiebranche derzeit in einem massiven Wandel. Daher steht auch die Informationsverarbeitung vor großen Herausforderungen [34], sodass die Forschungsaktivitäten der (Wirtschafts-)Informatik im Energieumfeld beobachtbar zunehmen [29,61]. In dem bis vor wenigen Jahren ausschließlich ingenieursgetriebenen Umfeld etabliert die WI ihre Rolle in den Bereichen intelligenter Energiesparsysteme und Smart Grids [29]. Ein Ansatz aus der Reihe dieser Forschungsbemühungen sind Lastmanagement-Initiativen (engl.: Demand Side Management). Hierunter werden sämtliche Aktivitäten verstanden, die es ermöglichen, den Energieverbrauch bei Endkunden über Preissignale in Form variabler Tarife (Dynamic Pricing) oder Einmalzahlungen (Incentives) flexibel zu steuern und zu beeinflussen [35,19]. Ein Teil dieser Management-Bestrebungen sind Demand Response-Programme (DR), die eine kurzfristige Energieeinsparung seitens der Endverbraucher verfolgen. Das US-amerikanische Depart-

ment of Energy (DoE) definiert DR als "Changes in electric usage by end-use customers from their normal consumption patterns in response to changes in the price of electricity over time, or to incentive payments designed to induce lower electricity use at times of high wholesale market prices or when system reliability is jeopardized" [23]. Entsprechend den marktwirtschaftlichen Prinzipien wird hiermit erwirkt, dass Energienutzer bei steigenden Preisen weniger Energie nachfragen, wodurch Lastspitzen durch vorübergehend hohe Energiepreise vermieden werden können [19].

Durch diese flexible Beeinflussung des Energienachfrageverhaltens wird das Ziel verfolgt, lokal und vereinzelt auftretende Lastspitzen zu Hochlastzeiten (z.B. morgens und abends) zu vermeiden, da für diese Spitzen teure und umweltverschmutzende Erzeugungskapazitäten vorgehalten werden müssen, die weltweit in Summe weniger als 100 Stunden pro Jahr genutzt werden [19]. EU-weit werden etwa fünf bis acht Prozent aller Erzeugeranlagen nur für ein Prozent der Zeit genutzt [19], was seitens der Erzeuger zu einer schlechten betriebswirtschaftlichen Investitionslage führt.

Die Vorteile von DR-Initiativen liegen daher auf der Hand, können allerdings heute gesellschaftlich noch nicht ansatzweise internalisiert werden, da noch eine Vielzahl ungelöster Problemstellungen existiert. Neben der fehlenden flächendeckenden technischen Infrastruktur (AMI) [25,19,34,53], anbieterseitigen Schwierigkeiten bei der dynamischen Preisbildung [25] und sozialen Barrieren bei der Adoption von DR [51,19], die aktuell für geringe Nutzungsgrade sorgen, liegt eines der Hauptprobleme jedoch in der Kommunikation der aktuell gültigen Preisstrukturen an den Endverbraucher. Selbstregelnde Always-On-Gateway-Systeme sind auf Smart Home-Technologie und vernetzten Verbrauchern basierende, automatische Software-Lösungen, deren Energie-Einsparpotenzial bei bis zu 43% liegt [30,19].

Die vorliegende Arbeit untersucht daher Anforderungen an die Entwicklung eines endnutzerseitig installierbaren Informationssystems zur Integration derartiger vernetzter Verbraucher an Demand Response-Programme und analysiert dabei insbesondere die Rolle des Datenaustausches. Die Forschungsfrage lautet wie folgt:

FF: Welche Anforderungen gibt es hinsichtlich der Endkunden-IS-Entwicklung für DR-Initiativen?

Zur Beantwortung dieser Frage ist die Arbeit wie folgt gegliedert. Kapitel 2 beschreibt die verwendete Methode zur Untersuchung des Themenfeldes. Das anschließende Kapitel 3 legt die Meta-Ergebnisse und die Inhalte der analysierten Arbeiten dar, bevor Kapitel 4 möglichen Anforderungen an ein endkundenseitiges IS erörtert. Kapitel 5 präsentiert ein Fazit und die Limitationen der Arbeit.

2 Angewandte Forschungsmethode

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurde eine systematische Literaturanalyse durchgeführt um unterschiedliche Faktoren als Anforderungen an die Gestaltung eines IS im Rahmen von DR zu identifizieren. Nach der Untersuchung relevanter Arbeiten zur Methodik der Literaturanalyse wurde das fünfstufige Framework von vom Brocke et al. [59] übernommen (vgl. **Abbildung 1**), um die Literaturanalyse mit der nötigen methodische Strenge durchzuführen, welche im wissenschaftlichen Kontext häufig als

fehlend bemängelt wird. Dabei bezieht sich derartige Kritik insbesondere auf eine unzureichende Dokumentation des Literaturauswahlprozesses, wodurch die Nachvollziehbarkeit der durchgeführten Arbeiten nicht gewährleistet werden kann. Um auf wissenschaftlichen Erkenntnissen anderer Forscher aufbauen zu können, muss der Prozess des Erkenntnisgewinns offengelegt werden, was bei einer Vielzahl aktueller Veröffentlichungen nicht der Fall ist [59]. Die konkrete Ausführung der einzelnen Schritte wird nachfolgend in den Abschnitten 'Vorbereitung und Literaturauswahl' (Schritte 1-3) und 'Analyse- und Klassifizierungsprozess' (Schritte 4 und 5) erläutert.

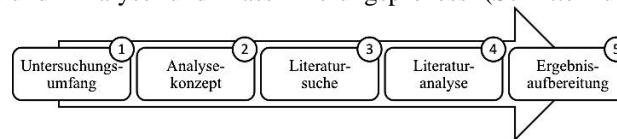


Abbildung 1: Vorgehensmodell der Literaturrecherche in Anlehnung an vom Brocke et al. [59]

2.1 Vorbereitung und Literaturauswahl

Im ersten Schritt einer Literaturrecherche sollte festgelegt werden, welche Kriterien die vorzunehmende Analyse erfüllen soll. Cooper [8] beschreibt zu diesem Zweck sechs elementare Merkmale und Ausprägungen zur Charakterisierung einer Literaturrecherche, von denen die in Tabelle 1 markierten Zellen für das weitere Vorgehen der vorliegenden Arbeit im Vorfeld festgelegt wurden.

Tabelle 1: Systematische Einordnung von Literaturrecherchen in Anlehnung an Cooper [8]

Charakteristika	Kategorien			
	Forschungsergebnisse	Forschungsmethoden	Theorien	Anwendungen
1) Fokus	Integration		Kritik	Zentrale Fragen
2) Ziel	Historisch		Konzeptionell	Methodologisch
3) Organisation	Neutrale Betrachtung		Stellungnahme	
4) Blickwinkel	Wissenschaft (Fachspezifisch)	Wissenschaft (Generell)	Praktiker/Politiker	Generelles Publikum
5) Zielgruppe	Vollständig	Vollständig und selektierend	Repräsentativ	Zentriert
6) Abdeckung				

Die vorliegende Literaturanalyse sucht nach Anforderungen für IS im Rahmen von DR und untersucht daher die Forschungsergebnisse relevanter Veröffentlichungen und integriert dabei unterschiedliche Aspekte. Zusätzlich wird allerdings auch eine kritische Auseinandersetzung der bisherigen Arbeiten im Hinblick auf gewisse Einzelaspekte der Kommunikation und des Datenaustausches durchgeführt. Dabei sind die Ergebnisse derart aufbereitet, dass sie sowohl für ein wissenschaftliches als auch für ein praxisnahes Publikum Verwendung finden. Die Abdeckung kann auf Grund des Such- und Filtervorgehens als repräsentativ angesehen werden.

Der zweite Schritt des Vorgehensmodells definiert die Ausarbeitung eines Analysekonzeptes. Hierbei muss einerseits die Forschungsfrage in Teilaspekte untergliedert und andererseits ein Rahmen zur Dokumentation, Analyse und Aufbereitung der im nächsten Schritt identifizierten Literatur geschaffen werden. Hierzu schlagen Webster und Watson [63] die Erstellung einer Konzeptmatrix vor, in der sowohl die identifizierten Artikel als auch die relevanten Aspekte, die innerhalb der einzelnen Publikationen behandelt werden, übersichtlich erfasst werden können (vgl. Tabelle 3 & 4).

In der dritten Phase wird die relevante Literaturbasis zusammengestellt. Dieser Abschnitt umfasst sowohl die Auswahl geeigneter Datenbanken und Suchbegriffe als auch die Durchführung der Suchläufe und Identifikation geeigneter Quellen auf Basis

diverser Analyseschritte. Das Vorgehen und die Anzahl an identifizierten Beiträgen nach den jeweiligen Auswahl- und Selektionsstufen ist Abbildung 2 zu entnehmen.

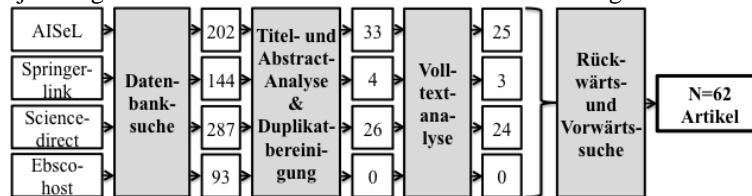


Abbildung 2: Vorgehen zur Identifikation relevanter Beiträge

Zu Beginn der Suche wurden zunächst namentlich die Datenbanken AISeL (AIS Electronic Library), SpringerLink sowie EBSCOhost (Business Source Premier) genutzt. Hierdurch konnte sichergestellt werden, dass sowohl alle namenhaften IS- und WI-Konferenzen (z.B. ICIS, ECIS, WI, AMCIS, etc.) als auch ein Großteil der nach VHB-Jourqual 'A' und 'B' bewerteten Journals (inklusive BWL) in den Suchvorgang eingebunden sind (vgl. Tabelle 2: Fokus der jeweiligen Datenbanken). Da der Themenkomplex 'Demand Response' eher ein junges Gebiet der WI- und IS-Forschung ist, aber bereits seit geraumer Zeit im Energy-Bereich Beachtung findet, wurden zusätzlich zu den IS- und WI-Outlets die beiden Journals 'Energy' und 'Energy Policy' durch Nutzung der Datenbank ScienceDirect in die Suche inkludiert. Eine zeitliche Einschränkung wurde dabei nicht vorgenommen. Wie Tabelle 2 zu entnehmen ist, umfassen die Suchbegriffe neben dem Hauptbegriff 'Demand Response' ebenfalls die Schlagworte 'Smart Meter*' (als technische Grundlage von DR), 'Demand Side Management' (als Überbegriff und häufig verwendetes Synonym für DR) sowie 'Dynamic Pricing' (als marktwirtschaftliche Grundlage von DR), 'Advanced Metering Infrastructure' sowie 'Direct Load Control' (als Verfahren im DR), welche mit OR-Verknüpfungen zusammengesetzt wurden. Neben den verwendeten Suchbegriffen zeigt Tabelle 2 auch den mit jeder Datenbank verfolgten Fokus der Suche sowie die eingesetzten Filter, um den jeweiligen Fokus umzusetzen, im Detail (z.B. Filter auf die o.g. Energy-Outlets in der Datenbank ScienceDirect).

Tabelle 2: Fokus, Suchbegriffe und Filter in einzelnen Datenbanken

	AISeL	SpringerLink	ScienceDirect	Ebscohost
Fokus	<i>WI-Journals & -Konferenzen</i>	<i>WI/IS-Journals</i>	<i>Energy-Journals</i>	<i>BWL-Journals</i>
Suchbegriff	("demand side management" OR "smart meter*" OR "demand response" OR "dynamic pricing" OR "advanced metering infrastructure" OR "direct load control")	"smart meter*" OR "demand side management" OR "demand response" OR "dynamic pricing" OR "direct load control" OR "advanced metering infrastructure"	TITLE-ABSTR-KEY("demand side management" OR "demand response" OR "dynamic pricing" OR "smart meter*" OR "direct load control" OR "advanced metering infrastructure")	AB ("demand side management" OR "smart meter*" OR "demand response" OR "dynamic pricing" OR "advanced metering infrastructure" OR "direct load control")
Filter	/	within Business & Management Business Information Systems Article	AND LIMIT-TO(cids, "271097,271090","Energy Policy,Energy")	Journal:international journal of production economics, production & operations management, european journal of operational research, management science, operations research

Schließlich wurden nach mehreren Such- und Analysephasen insgesamt n=62 Veröffentlichungen als relevante Beiträge identifiziert. Abbildung 2 zeigt detailliert, wie viele Veröffentlichungen auf welcher Stufe der Selektion herausgefallen sind. Dabei wurden nach der initialen Datenbanksuche erste Einschränkungen auf Basis der Titel

und Abstracts vorgenommen, welche nach Untersuchung der Volltexte und anschließender Rückwärts- und Vorwärtssuche schließlich zur finalen Analysebasis führten.

Nicht als Bestandteil der Literaturbasis mit aufgenommen wurden Veröffentlichungen mit den folgenden Inhalten, die keinen Beitrag zur Erörterung relevanter Anforderungen an die Gestaltung von IS im Rahmen von DR liefern konnten:

- DSM-Algorithmen zur Optimierung von Kosten und Erträgen (Anbieter- und Nachfragerseite) und zur Bestätigung der Funktion von DR/DSM
- Themenfremde Publikationen (z.B. Pricing-Strategien aus dem E-Business durch den Suchbegriff 'Dynamic Pricing')
- Volkswirtschaftlich motivierte Veröffentlichungen
- Unspezifische Themenschwerpunkte aus benachbarten Forschungsbereichen (z.B. Internet of Things)

2.2 Analyse- und Klassifizierungsprozess

Die darauffolgende Analyse und Aufbereitung der ausgewählten Literatur basiert auf wiederholter Durchführung, da einerseits die relevanten Teilaspekte bei der ersten Sichtung der Quellen identifiziert und andererseits im späteren Verlauf neu identifizierte und zu untersuchende Bereiche auch in den bereits evaluierten Publikationen überprüft werden müssen. Um die heterogenen Formulierungen in eine einheitliche Ausdrucksweise zu überführen, wurde das Modell des iterativen Forschungsprozesses nach Flick [26] angewandt. Dieses Modell bietet den Vorteil, dass neue Erkenntnisse im Verlauf der Konsolidierung leicht zur Dokumentation hinzugefügt und Teilaspekte Schritt für Schritt ohne Vernachlässigung des Ziels einer einheitlichen Darstellung gesammelt werden können. Basierend auf diesem Vorgehen konnte die Menge der in den Konzeptmatrizen (vgl. Tabellen 3 und 4) festgehaltenen Dimensionen auf die nachfolgend beschriebenen Kernaspekte reduziert werden, die im weiteren Verlauf im Rahmen der Inhaltsanalyse detailliert betrachtet wurden.

2.3 Kernaspekte der Literaturanalyse

Die Untersuchung der relevanten Literatur zur Beurteilung von Anforderungen an die Entwicklung eines DR-Informationssystems auf Basis vernetzter Verbraucher untergliedert sich in verschiedene Kernaspekte.

Begrifflichkeit: Demand Response

Im Rahmen der durchgeführten Literaturanalyse wurden neben den im Fokus stehenden Anforderungen zunächst Aspekte zur Verdeutlichung des Begriffs identifiziert.

Demand-Response-Potenziale: Neben dem Hauptziel, der variablen Lastverschiebung durch Beeinflussung des Kundenverhaltens, birgt DR weitere Potenziale für Versorger, Anwender und Gesellschaft in sich.

Demand-Response-Herausforderungen: Die identifizierte Literatur liefert ferner Informationen zu den aktuellen Herausforderungen von DR-Programmen, die ebenfalls analysiert wurden, um DR exakter zu veranschaulichen.

Nutzungsperspektive

Die Nutzungsperspektive spielt bei der Gestaltung von IS-Lösungen eine bedeutsame Rolle. Ein weiterer Abschnitt der Literaturanalyse untersucht deshalb aktuelle Barrieren und Adoptionskriterien für DR-Lösungen und der verwendeten Technologien.

Barrieren: DR-Maßnahmen haben weltweit unterschiedliche Verbreitungsgrade. Während einige Länder bereits hohe Nutzungsraten aufweisen, beschränkt sich die Anwendung in anderen Staaten auf Pilotprojekte. Ein wichtiger Bestandteil der Literaturanalyse ist deshalb die Untersuchung bestehender Anwendungsbarrieren.

Adoptionskriterien: Schließlich werden durch die Analyse der Adoptionskriterien die Ergebnisse diverser Veröffentlichungen bezüglich der Technologieakzeptanz von DR- bzw. Smart Meter-Technologie extrahiert und integriert.

DR-Kommunikation

Kommunikation und Datenaustausch im Rahmen von DR-Maßnahmen sind der zentrale Schlüssel zur Festlegung des Wirkungsumfangs derartiger Programme. Die bidirektionale Kommunikation von Verbrauchs- und Preisdaten kann auf unterschiedlichen Impact-Leveln erfolgen. Aktuelle Forschungsergebnisse konkreter Kommunikationsmöglichkeiten werden deshalb in diesem Literature Review ebenfalls analysiert.

3 Analyse der relevanten Literatur

3.1 Meta-Analyse der Veröffentlichungen

Zunächst erfolgt eine Analyse der Arbeiten bezüglich des Veröffentlichungsdatums sowie der Qualität der Publikationen, entsprechend des nach VHB-Jourqual 2.1 vergebenen Rankings. Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse in der Übersicht.

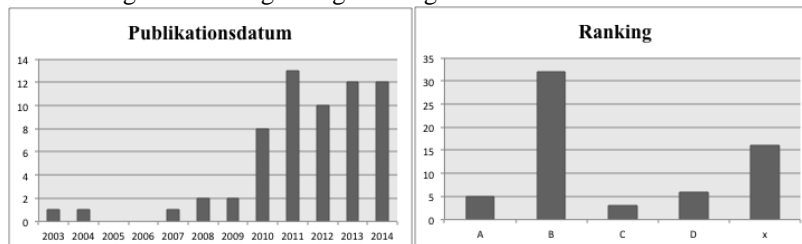


Abbildung 3: Veröffentlichungen nach Publikationsdatum und Ranking

Aus der Analyse der Literatur nach Publikationsdatum wird ersichtlich, dass (vor allem) die (WI-)Forschung zu DR ein sehr junges Gebiet darstellt. Die Mehrzahl an Veröffentlichungen stammt aus den vergangenen vier bis fünf Jahren. Die Publikationen für 2014 sind dabei lediglich bis inklusive Juli erfasst. Entsprechend dem Ranking nach VHB-Jourqual 2.1 wird ersichtlich, dass die in dieser Literaturanalyse als relevant identifizierten Beiträge eine hohe Qualität aufweisen, wodurch die Repräsentativität der ausgewählten Literatur untermauert wird.

3.2 Inhaltsanalyse der relevanten Veröffentlichungen

Nach der Metaanalyse der relevanten Veröffentlichungen folgt nun die Aufbereitung der Ergebnisse entsprechend den in Abschnitt 2.3 genannten Kernaspekten.

Tabelle 3 beginnt mit der im iterativen Vorgehen nach Flick [26] entwickelte Konzeptmatrix zu den Potenzialen und Herausforderungen von DR zur Begriffsklärung.

Tabelle 3: Konzeptmatrix: Demand-Response-Potenziale und -Herausforderungen

	Demand-Response-Potenziale					Demand-Response-Herausforderungen			
	Umwelt-schutz	Kosten-senkung	Grid-Stabilität	Prozessver-besserung	Zusatz-services	IKT-Infrastruktur	Daten-austausch	Dynamische Tarife	Zusatz-Hardware
Bodenbenner und Feuerriegel (2014)						x	x		
Dupont et al. (2014)		x							
Feuerriegel und Neumann (2014)			x					x	
Flath (2014)								x	
Gils (2014)						x			
Goebel et al. (2014)	x								
Hong et al. (2014)						x			x
Bradley et al. (2013)		x							
Watson et al. (2013)	x	x						x	
Gerpott und Paukert (2013)						x			
Wunderlich et al. (2013)					x				
Dütschke und Paetz (2013)						x		x	x
Feuerriegel et al. (2013)		x		x		x	x		
Torriti (2012)								x	
Kranz und Picot (2012)		x			x	x			
Flath et al. (2012)		x	x		x				
Feuerriegel et al. (2012)						x			
Wunderlich et al. (2012a)						x			
Strueker und Dinther (2012)						x			
Strueker und Kerschbaum (2012)						x			
Appelrath et al. (2012)								x	
Wunderlich et al. (2012b)					x	x			
McKenna et al. (2012)						x			
Jagstaidt et al. (2011)						x			
Erssa (2011)		x	x						
Gottwalt et al. (2011)	x				x			x	x
Corbett (2011)	x	x		x		x			
Olmos et al. (2011)	x	x			x				
Kranz und Picot (2011)	x			x	x				
Zaballos et al. (2011)						x			x
Faruqi et al. (2010)		x	x		x			x	x
Kranz et al. (2010)					x	x			
Brennan (2010)						x			
Newsham und Boker (2010)			x	x		x		x	x
Torriti et al. (2010)						x			
Aichele et al. (2009)						x			
Ericson (2009)								x	
Srbac (2008)	x	x	x						
Brandt (2007)									x

Als Ergebnis der Suche nach **Potenzialen** von DR-Maßnahmen, konnten verschiedene Bereiche identifiziert werden.

Umweltschutz konnte häufig als essentielles Kernziel von DR-Aktivitäten in der relevanten Literatur gefunden werden. Auszugsweise sprechen Goebel et al. [29] von signifikanten Energieeinsparungen, Watson et al. [62] nennen erzielbare CO₂-Reduktionen und Olmos et al. [48] erkennen die Möglichkeit, den persönlichen Carbon-Footprint zu reduzieren.

Kostensenkungspotenzial besteht sowohl seitens Anbietern als auch Nachfragern. Zahlreiche Publikationen befassen sich auch mit diesem Potenzial. Beispielhaft seien Bradley et al. [4] und Feuerriegel et al. [21] genannt, die durch DR-Aktivitäten massive Kostenreduktionen im Bereich Anlageninvestment und Prozesskosten sehen.

Die verbesserte *Grid-Stabilität* kann als weiterer Nebeneffekt von DR angesehen werden. Eine schnelle Erkennung von Stromausfällen oder reduzierte Stromverteilungsverluste zählen hier zu den stabilisierenden Faktoren (z.B. [20, 47]).

Prozessverbesserungen treffen hauptsächlich auf Anbieter zu und kennzeichnen sich z.B. durch einen effizienter gestalteten Abrechnungsprozess oder ablauforganisatorische Vorteile in benachbarten Bereichen wie Gas und Wasser (z.B. [21,47]).

Zusatzservices bieten ein weiteres, großes Potenzial der DR-Technologie. Hier können beispielhaft die Bereitstellung von Home Energy Managementservices an private Endkunden [64], Remote-Dienstleistungen [19] oder eine bessere und exaktere Rechnungsstellung [30] genannt werden.

Um den Begriff Demand Response weiter zu veranschaulichen, wurden ferner **Herausforderungen** zur Realisierung genannter Potenziale identifiziert.

Eine flächendeckende *IKT-Infrastruktur* wird dabei am häufigsten als Grundvoraussetzung genannt. Ganz allgemein formuliert kann darunter eine Infrastruktur verstanden werden, welche die Übertragung und die Reaktion auf Preis- und Kontrollsignale ermöglicht [28]. Konkret geht es dabei um Smart Meter im Rahmen einer Advanced Metering Infrastructure (AMI) (z.B. [39,45,65,66]).

Um diese Infrastruktur sinnvoll zu nutzen, ist es essentiell, einen organisierten *Datenaustausch* durchzuführen. Während Bodenbrenner und Feuerriegel [8] beispielsweise von einem Real Time-Datenaustausch sprechen, nennen Feuerriegel et al. [21] auch die Verwendung von standardisierten Kommunikationsprotokollen.

Des Weiteren sind *dynamische Tarife* ein wichtiger Bestandteil, ohne deren Existenz DR-Aktivitäten nicht durchgeführt werden können. So ist es nachvollziehbar, dass eine Vielzahl an Autoren, eben diese als nötige Anforderung bzw. Voraussetzung für DR oder DSM betrachten (z.B. [24,32,14]).

Schließlich findet sich in einigen Veröffentlichungen die Forderung nach gewisser *Zusatzhardware* bei privaten Endkunden. Dabei ist häufig die Rede von adaptiven Verbrauchern (z.B. [5]), automated controls [7] oder von Always-On Gateway-Systemen [19], die einen last- und tarifabhängigen Eingriff in den Haushalt erlauben. Diese Veröffentlichungen sind dem Ziel der vorliegenden Literaturanalyse am nächsten, da sie technologiegestützt auf der Endkundenseite ansetzen.

Die wissenschaftliche Literatur zeigt also, dass der Themenkomplex Demand Response von großen gesellschaftlich relevanten Potenzialen umgeben, aber ebenfalls durch zahlreiche Herausforderungen gekennzeichnet ist.

3.2.1 Barrieren und Adoptionskriterien

Um Anforderungen an ein DR-Informationssystem im Sinne der Softwareentwicklung zu identifizieren, müssen aktuelle Adoptionsbarrieren und -kriterien, die eine geringe Verbreitung lastverschiebender Programme verursachen, analysiert werden. Tabelle 4 zeigt die iterativ entwickelte Konzeptmatrix dieses Kernaspektes.

Aktuell existierende **Barrieren** sind dabei in unterschiedlichen Bereichen zu finden.

Technologische Aspekte sind aktuell dahingehend als Barriere zu identifizieren, als dass die Verbreitung der Technologie sowie das Wissen der Endkunden darüber zu gering ausfallen [40,19,53].

Häufig konnten in der identifizierten Literatur außerdem *monetäre Faktoren* als Barrieren für eine rasche Diffusion identifiziert werden. Diese gelten sowohl für die Anbieter- als auch die Nachfrageseite. So sind kundenseitig beispielsweise Technologieadoptions- oder Wechselkosten zu befürchten [51,40] sowie anbieterseitig hohe Investitionssummen für Implementierung, Kommunikation und Betrieb einer DR- bzw. DSM-Lösung zu erbringen (z.B. [21]).

Im Bereich *sozialer Faktoren* gehören eine fehlende intrinsische Motivation [9], fehlende Incentivierung [53] sowie eine Reaktionsermüdung von Endkunden bzgl. der immer wiederkehrenden Reaktionspflicht auf neue Preissignale [40] zu den ausschlaggebenden Aspekten.

Einige Autoren erkennen eine weitere Diffusionsbarriere in der *Tarifgestaltung* seitens der Energieanbieter. Faruqui et al. [19] stellen z.B. fest, dass ein Großteil der Energieanbieter trotz einer bestehenden AMI keine dynamischen Tarife anbietet.

Neben den allgemeinen Barrieren existiert eine Vielzahl unterschiedlicher **Technologieadoptionskriterien** für DR, DSM bzw. Smart Metering.

Als erste Kategorie dieser Endanwender-Kriterien sind *Umweltbedenken* zu nennen. Der Ansporn, das eigene Verbrauchsverhalten zu ändern, sowie eine umwelt-schonende Einstellung sind positive Faktoren, die eine Adoption derartiger Technologien verstärken (z.B. [9,27]).

Produktbezogene Faktoren, wie Nützlichkeit, wirken ebenfalls adoptionsunterstützend (z.B. [36,38,65,66]).

Ein häufig genannter und unterschiedlich erfasster Aspekt bei der Adoption von Smart Meter- bzw. DR-Technologie ist der *Datenschutz*. Hierzu konnte eine Vielzahl an Veröffentlichungen ausgemacht werden. Obwohl einige Autoren eine starke und andere eine schwache Wirkung der Datenschutzbedenken auf die Nutzungsintention der Technologie nachweisen (z.B. [45,65]), zeigt sich, dass mit steigenden Datenschutz-Bedenken die Intention, DR-Technologie zu nutzen, abnimmt.

Eine Vielzahl an Technologieakzeptanzstudien im Umfeld von DR zeigt ferner den Einfluss von *Kontrolle* auf die Nutzungsabsicht eines Individuums. So ist die wahrgenommene Kontrolle über Eingriffsmöglichkeiten, verbunden mit DR und Smart Metering, positiv mit der Nutzungsabsicht verbunden (z.B. [36,38]).

Schließlich sind auch *soziale Aspekte* ein bedeutsamer Faktor bei der Adoption von DR-Technologie. Dazu zählen beispielsweise externer Druck, etwa durch öffentliche Medien [9] oder das Autonomieempfinden bei der Benutzung der Technologie [64].

Tabelle 4: Konzeptmatrix: Barrieren und Adoptionskriterien von DR-Initiativen.

	Barrieren				Adoptionskriterien				
	Technologische Aspekte	Monetäre Aspekte	Soziale Aspekte	Tarifgestaltung	Umweltbedenken	Produktbezogene Faktoren	Datenschutz	Kontrolle	Soziale Aspekte
Goebel et al. (2014)	x	x	x						
Schwister und Fiedler (2014)		x	x						
Bradley et al. (2013)				x					
Loock et al. (2013)			x						
Corbett (2013)			x						
Kim und Sheerbakovab (2011)	x	x	x						
Faruqi et al. (2010)	x			x					
Dudley et al. (2008)		x							
Strbac (2008)	x		x	x					
Dulleck und Kaufmann (2004)		x							
Didden und D'haeseleer (2003)		x							
Corbett (2013)					x				x
Gerpott und Paukert (2013)					x	x	x		
Wunderlich et al. (2012a)						x	x	x	
Wunderlich et al. (2012b)					x	x	x	x	x
Strüker und Kerschbaum (2012)							x		x
Appelrath et al. (2012)						x	x		
Kranz und Picot (2012)					x	x			
McKenma et al. (2012)							x		
Kranz et al (2010a)						x		x	
Kranz et al (2010b)						x		x	
Wunderlich et al. (2013)									x
Kranz und Picot (2011)					x			x	

Diese Bandbreite an Barrieren und Adoptionskriterien sind wichtige Bausteine für die Ableitung von Anforderungen zur Entwicklung einer DR-unterstützenden IS-Lösung.

3.2.1 Kommunikationsansätze

Die Zielstellung des vorliegenden Literature Reviews liegt in der Identifikation von Anforderungen bzgl. der IS-Entwicklung einer DR-Lösung zur Integration von Endkunden basierend auf steuerbaren Verbrauchern, wie z.B. Smart Home-Hardware. Es ist daher von größter Bedeutung, neben Barrieren und Adoptionskriterien derartiger

Technologien aktuell verfügbare Kommunikationsmöglichkeiten für Nutzungs- und Preisdaten zwischen Versorger und Endkunden zu analysieren.

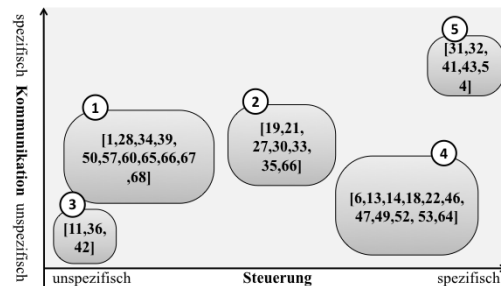


Abbildung 4: Klassifizierung verschiedener Kommunikationsansätze im Rahmen von DR.

Abbildung 4 klassifiziert die identifizierten Inhalte zur Kommunikation im Rahmen von DR in einem zweidimensionalen Koordinatensystem anhand der Spezifität bzgl. Kommunikation und Steuerung. Die Nutzung einer Konzeptmatrix hätte zu einer reichlich hohen Anzahl an Konzepten mit wenigen Inhalten geführt. Nach der Einordnung relevanter Quellen konnten dabei fünf Cluster identifiziert werden.

Cluster (1) stellt eine große Anzahl an Publikationen dar, welche explizit auf die Kommunikation eingehen, und beispielsweise Power Line Communication oder den Datenaustausch über GSM als Kommunikationsweg nennen, ohne dabei auf Steuerungsmöglichkeiten zur Lastverschiebung einzugehen.

Das zweite Cluster (2) beinhaltet vereinzelte Veröffentlichungen, die darauf eingehen, dass im Rahmen von DR eine bidirektionale Kommunikation stattfindet, bei der beispielsweise Smart Appliances, also Gebäude mit steuerbaren Verbrauchern, auf Preissignale reagieren, wodurch die Veröffentlichungen dieses Clusters mittelmäßig spezifische Anforderungen an die Steuerung der Verbrauchslasten aufweisen.

Die wenigen Veröffentlichungen aus Cluster (3) nennen Feedback-Lösungen zum Energieverbrauch wie Displays als Kommunikationsmöglichkeit, was weder die Kommunikationsart noch die Steuerungsmöglichkeiten näher spezifiziert.

Cluster (4) fasst Veröffentlichungen aus dem Umfeld von Direct Load Control-Maßnahmen zusammen. Darunter sind Verträge zwischen Versorger und Endkunde zu verstehen, die es dem Versorger erlauben, unter gewissen Bedingungen Geräte wie Klimaanlage oder Kühlschrank des Endkunden vorübergehend auszuschalten. Diese Maßnahmen weisen ein hohes Maß an Spezifikation bzgl. der Steuerung auf, sind im Hinblick auf die Kommunikation aber eher als unspezifisch zu kategorisieren.

Im letzten Cluster (5) sind spezielle Veröffentlichungen zu finden, welche der Definition an ein IS im Rahmen von DR, basierend auf steuerbaren Verbrauchern, der vorliegenden Literaturanalyse weitestgehend entsprechen. Es handelt sich um spezifische Protokolle die ein laststeuerndes Eingreifen in Haushalte mit vernetzten Technologien ermöglichen. Im Detail handelt es sich um das BACnet-EnOcean Smart Grid Gateway, das Smart Energy Profile (SEP) in Verbindung mit einer vernetzten Verbraucher-Steuereinheit (ZigBee) und um ein Gateway-System (HACS4EM). Die geringe Anzahl an Artikeln in diesem Cluster und die Tatsache, dass lediglich zwei

davon aus dem WI-Umfeld stammen, zeigt, dass hier weiterer Bedarf besteht, Informationssystem-Lösungen mit den Methoden der Wirtschaftsinformatik zu entwickeln.

4 Abgeleitete Anforderungen an ein DR-IS-Fachkonzept

Die Analyse der relevanten Literatur hat gezeigt, dass Architekturen wie SEP zur Kommunikation zwischen Endanwender und Energieanbieter existieren, auf Basis derer eine Endkunden-DR-Lösung implementiert werden kann. Schließlich gilt es, vor allem aktuelle Nutzungsbarrieren und Technologieadoptionkriterien bei der Entwicklung einer IS-Lösung für Endkunden-DR zu berücksichtigen. Tabelle 5 formuliert argumentativ-deduktiv hergeleitete Fachkonzept-Anforderungen auf Basis der in der Literatur identifizierten und durch ein IS abdeckbaren Kriterien (Forschungsfrage 1).

Tabelle 5: Fachkonzept-Anforderungen zur Vermeidung von Diffusions-Barrieren.

		Ausprägung	Fachkonzept-Anforderung
Barrieren	Monetäre Aspekte	Adoptionskosten	Endkunden-DR muss auf Low End Hardware lauffähig sein
		Wechselkosten	Endkunden-DR muss durch Schnittstellen kompatibel mit bestehender Technologie sein
	Soziale Aspekte	Fehlende Motivation	Endkunden-DR muss Nutzer durch Feedback zu verhaltensändernden Maßnahmen motivieren
		Reaktionsermüdung auf Preissignale	Endkunden-DR muss adaptive Geräte in Abhängigkeit gültiger Preise vollautomatisch steuern
Adoptionkriterien	Umweltbedenken	Persönliche Verbrauchsoptimierung	Endkunden-DR muss Nutzer durch Feedback über Ausmaß des Umweltimpacts durch DR informieren
		Reduktion Carbon Footprint	
	Produktbez. Faktoren	Nützlichkeit	Endkunden-DR muss einfach und intuitiv bedienbar sein
	Datenschutz	Datenschutzbedenken	Endkunden-DR muss sichere Datenübertragung, Datenzugriffs-, Datenspeicher- und Datenverwaltungskonzepte nutzen
	Kontrolle	Eingriffsmöglichkeiten	Endkunden-DR muss konfigurierbar sein
	Soziale Aspekte	Externer Druck	Endkunden-DR muss durch Feedback extern getriggerte Anreizsituationen erzeugen
		Autonomieempfinden	Endkunden-DR muss individuelle Zielsetzung ermöglichen

Um den Effekt monetärer Aspekte seitens der Verbraucher zu minimieren, muss Endkunden-DR systemseitig so realisiert werden, dass einerseits geringe Adoptionskosten durch eine Lauffähigkeit auf kostengünstiger Hardware entstehen. Andererseits sind Wechselkosten dadurch zu minimieren, dass Schnittstellen zu gängigen Automatisierungstechnologien bestehen (z.B. KNX-Protokoll o.ä.), falls eine bestehende Infrastruktur anwenderseitig vorhanden ist. Die Überwindung der Barriere fehlender Motivation erfordert eine Feedbackkomponente zur Erzielung verhaltensändernder Maßnahmen. Zahlreicher Publikationen empfehlen hier soziopsychologische Elemente wie Social Competition, Social Normative Feedback oder Goal Setting [z.B. 42]. Ferner kann eine Reaktionsermüdung der Endanwender, immer wieder auf neu übermittelte Preissignale zu reagieren, nur durch die Übernahme der Gerätesteuerung durch das DR-System verhindert werden. ZigBee-basierte Lösungen wie SEP sind hier vielversprechend [31]. Die generelle Bereitstellung von Feedback-Mechanismen unterstützt, Umweltbedenken zu minimieren und über das Ausmaß des umweltbewussten Verhaltens im Rahmen von DR zu informieren [42]. Der wahrgenommene Wert einer DR-Lösung muss durch Nützlichkeit und intuitiv bedienbare Umsetzung auf ein hohes Maß gebracht werden. Datenschutzbedenken muss mit Hilfe von Datenübertragungs-, Datenzugriffs-, Datenspeicher- und Datenverwaltungskonzepten entgegnet werden. Hierzu gibt es bereits erste Ansätze mit den Bestandteilen Data Minimization, Anonymization, Subsidiarity, Encryption und speziell geregelten Zugriffen bei der Speicherung (z.B. [55]). Die Regeln eines DR-

Systems müssen ferner durch den Endkunden steuer- und konfigurierbar sein, um ein hohes Maß an gefühlter Kontrolle zu realisieren. Ferner muss die bereits für andere Kriterien vorteilhafte Feedback-Komponente dafür sorgen, ein gewisses Maß an adoptionssteigerndem externen Druck, beispielsweise ausgelöst durch Social-Comparison-Maßnahmen, umzusetzen. Schließlich muss das Autonomieempfinden bei der Nutzung einer DR-Lösung durch Zielsetzungsmaßnahmen, die Breite und Tiefe des Anwendungsausmaßes bedingen, auf ein hohes Niveau gebracht werden. Goal Setting eignet sich hier beispielsweise als sozio-psychologisches Element [42].

5 Fazit, Limitationen und Ausblick

Demand Response-Programmen bergen große Potenziale in sich. Die durchgeführte Literaturanalyse identifizierte Adoptionskriterien und Barrieren endkundenseitig ansetzender DR-Initiativen und leitete darauf basierend argumentativ-deduktiv Anforderungen an die Entwicklung eines Endkunden-DR-Systems ab. In einem nächsten Schritt gilt es, die identifizierten Anforderungen in einer prototypischen Implementierung zu realisieren und in realem Nutzungsumfeld anzuwenden und zu evaluieren.

Für die vorliegende Arbeit liegen die Limitationen hauptsächlich in einer lediglich repräsentativ ausgelegten Literaturbasis. Ferner beruht die Ableitung der Anforderungen auf einem argumentativ-deduktiven Vorgehen.

References

1. Aichele, C., Dalkmann, U., Margardt, P., Uhlin, J.: Business Process Framework And IT Architecture For Smart Meter Reading. In: Wirtschaftsinformatik Proceedings, Paper 145 (2009)
2. Appelrath, H.J., Terzidis, O., Weinhardt, C.: Internet of Energy - ICT as a Key Technology for the Energy System of the Future. Business & Information Systems Engineering 4 (1), 1-2 (2012)
3. Bodenbrenner, P., Feuerriegel, S.: Costs of Integrating demand response systems in electricity markets. In: Twenty Second European Conference on Information Systems, pp. 1–12, Tel Aviv (2014)
4. Bradley, P., Leach, M., Torriti, J.: A review of the costs and benefits of demand response for electricity in the UK. Energy Policy 52, 312-327 (2013)
5. Brandt, P.: IT in der Energiewirtschaft. Wirtschaftsinformatik 49(5), 380-385 (2007)
6. Brenig, C., Reichert, S., Strueker, J.: Inter-Organizational Demand Response Applications: How to Address Moral Hazard in Smart Grids. In: Americas Conference on Information Systems (AMCIS), pp. 1-8, Chicago (2013)
7. Brennan, T.J.: Optimal energy efficiency policies and regulatory demand-side management tests: How well do they match? Energy Policy 38(8), 3874-3885 (2010)
8. Cooper, H.M.: Organizing knowledge syntheses: A taxonomy of literature reviews. Knowledge in Society 1, 104-126 (1988)
9. Corbett, J.: Using information systems to improve energy efficiency: Do smart meters make a difference?. Information Systems Frontiers 15 (5), 747-760 (2013)
10. Corbett, J.: Demand Management in the Smart Grid: An Information Processing Perspective. In: Americas Conference on Information Systems (AMCIS), Paper 110 (2011)

11. Dalén, A., Krämer, J., Weinhardt, C.: Determining The Optimal Level Of Information Granularity For Efficient Energy Consumption Decisions: Experimental Evidence. In: 21st European Conference on Information Systems (ECIS), pp.1-7, Utrecht (2013)
12. Didden, M.H., D'haeseleer, W.D.: Demand Side Management in a competitive European market: Who should be responsible for its implementation? *Energy Policy* 31(3), 1307-1314 (2003)
13. Dudley, J.H., Piette, M.A.: Solutions for summer electric power shortages: Demand response and its applications in air conditioning and refrigerating systems. *Refrigeration, Air Conditioning, & Electric Power Machinery* 29, 1-4 (2008)
14. Dütschke, E., Paetz, A-G.: Dynamic electricity pricing - Which programs do consumers prefer? *Energy Policy* 59, 226-234 (2013)
15. Dulleck, U., Kaufmann, S.: Do customer information programs reduce household electricity demand? - the Irish program. *Energy Policy* 32(8), 1025-1032 (2004)
16. Dupont, B., Olmos, L., Belmans, R., De Jonghe, L.: Demand response with locational dynamic pricing to support the integration of renewables. *Energy Policy* 67, 344-354 (2014)
17. Eissa, M.: Demand side management program evaluation based on industrial and commercial field data. *Energy Policy* 39 (10), 5961-5969 (2011)
18. Ericson, T.: Direct load control of residential water heaters. *Energy Policy* 37(9), 3502-3512 (2009)
19. Faruqui, A., Harris, D., Hledik, R.: Unlocking the €53 billion savings from smart meters in the EU: How increasing the adoption of dynamic tariffs could make or break the EU's smart grid investment. *Energy Policy* 38(10), 6222-6231 (2010)
20. Feuerriegel, S., Neumann, D.: Measuring the financial impact of demand response for electricity retailers. *Energy Policy* 65, 359-368 (2014)
21. Feuerriegel, S., Bodenbrenner, P., Neumann, D.: Is More Information Better Than Less? Understanding The Impact Of Demand Response Mechanisms In Energy Markets. In: 21st European Conference on Information Systems (ECIS), pp. 1-11, Utrecht (2013)
22. Feuerriegel, S., Strüker, J., Neumann, D.: Reducing Price Uncertainty through Demand Side Management. In: International Conference on Information Systems (ICIS) (2012)
23. FERC: Assessment of Demand Response & Advanced Metering. Staff Report (2013)
24. Flath, C.M.: Evaluation Time-Of-Use Design Options. In: Twenty Second European Conference on Information Systems, pp. 1-9, Tel Aviv (2014)
25. Flath, C., Nicolay, D., Conte, T., et al.: Cluster Analysis of Smart Metering Data - An Implementation in Practice *Business & Information Systems Engineering* 4(1), 31-39 (2012)
26. Flick, U (1995): *Qualitative Forschung: Theorie, Methoden, Anwendung in Psychologie und Sozialwissenschaften*. Rowohlt, Reinbek.
27. Gerpott, T.J., Paukert, M. Determinants of willingness to pay for smart meters: An empirical analysis of household customers in Germany. *Energy Policy* 61, 483-495 (2013)
28. Gils, C.G.: Assessment of the theoretical demand response potential in Europe. *Energy* 67, 1-18 (2014)
29. Goebel, C., Jacobsen, H., et al.: Energy Informatics - Current and Future Research Directions. *Business & Information Systems Engineering* 1, 25-31 (2014)
30. Gottwalt, S., Ketter, W., Block, C., Collins, J., Weinhardt, C.: Demand side management- A simulation of household behavior under variable prices. *Energy Policy* 39(12), 8163-8174 (2011)
31. Han, D.M., Lim, J.H.: Smart home energy management system using IEEE 802.15.4 and zigbee. *IEEE Transactions of Consumer Electronics* 56(3), 1403-1410 (2010)
32. Hong, S.H., Kim, S.H., Kim, L. H. et al.: Experimental evaluation of BZ-GW (BACnet-ZigBee smart grid gateway) for demand response in buildings. *Energy* 65, 62-70 (2014)

33. Huq, M.Z., Islam, S.: Home Area Network technology assessment for demand response in smart grid environment. In: 20th Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC), pp. 1-6, Christchurch (2010)
34. Jagstaidt, U., Kossahl, J., Kolbe, L.: Smart Metering Information Management. *Business & Information Systems Engineering* 5, 323-326 (2011)
35. Köpp, C., Mettenheim, H.-J. von, Breitner, M.H.: Load Management in Power Grids - Towards a Decision Support System for Portfolio Operators. *Business & Information Systems Engineering* 5(1), 35-44 (2013)
36. Kranz, J., Gallenkamp, J.V., Picot, A.: Exploring the Role of Control - Smart Meter Acceptance of Residential Consumers. In: Americas Conference on Information Systems (AMCIS), pp. 1-9, Lima (2010a)
37. Kranz, J., Picot, A.: Why are consumers going green? The role of environmental concerns in private Green-IS adoption. In: European Conference on Information Systems, Paper 104 (2011)
38. Kranz, J., Gallenkamp, J.V., Picot, A.: Power Control to the People? Private Consumers' Acceptance of Smart Meters. In: European Conference on Information Systems (2010b)
39. Kranz, J., Picot, A.: Is It Money Or The Environment? An Empirical Analysis of Factors Influencing Consumers' Intention to Adopt the Smart Metering Technology. In: Americas Conference on Information Systems (AMCIS), Paper 3, Seattle (2012)
40. Kim, J., Shcherbakova, A.: Common failures of demand response. *Energy Policy* 36(2), 873-880 (2011)
41. Li, Y., Hong, S.H.: BACnet-EnOcean Smart Grid Gateway and its application to demand response in buildings. *Energy* 87, 183-191 (2014)
42. Loock, C.-M., Staake, T., Thiesse, F.: Motivating Energy-Efficient Behavior with Green IS: An Investigation of Goal Setting and the Role of Defaults. *MIS Quarterly* 52(4), 1313-1332 (2013)
43. Mahmood, A., Khan, I., Razzaq, S.: Home Appliances Coordination Scheme for Energy Management (HACS4EM) Using Wireless Sensor Networks in Smart Grids. *Procedia Computer Science* 32, 469-476 (2014)
44. McHenry, M.P.: Technical and governance considerations for advanced metering infrastructure/smart meters: Technology, security, uncertainty, costs, benefits, and risks. *Energy Policy* 59, 834-842 (2013)
45. McKenna, E., Richardson, I., Thomson, M.: Smart meter data: Balancing consumer privacy concerns with legitimate applications. *Energy Policy* 41, 807-814 (2012)
46. Newsham, G.R., Birt, B.J., Rowlands, I.H.: A comparison of four methods to evaluate the effect of a utility residential air-conditioner load control program on peak electricity use. *Energy Policy* 39(10), 6376-6389 (2011)
47. Newsham, G.R., Bowker, B.G.: The effect of utility time-varying pricing and load control strategies on residential summer peak electricity use: A review. *Energy Policy* 38(7), 3289-3296 (2010)
48. Olmos, L., Ruester, S., Liang, S.J., Glachant, J.M.: Energy efficiency actions related to the rollout of smart meters for small consumers, application to the Austrian system. *Energy* 36(7), 4396-4409 (2011)
49. Palensky, P., Dietrich, D.: Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads. *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 7(3), 381-388 (2011)
50. Papagiannis, G., Dagoumas, A., Lettas, N., Dokopoulos, P.: Economic and environmental impacts from the implementation of an intelligent demand side management system at the European level. *Energy Policy* 36(1), 163-180 (2008)

51. Schwister, F., Fiedler, M.: What are the main barriers to smart energy information systems diffusion? *Elektronik Markets*, 1-15 (2014)
52. Siano, P.: Demand response and smart grids – A survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 30, 461-478 (2014)
53. Strbac, G.: Demand side management: Benefits and challenges. *Energy Policy* 36(12), 4419-4426 (2008)
54. Strüker, J., Dinther, C.: Demand Response in Smart Grids: Research Opportunities for the IS Discipline. In: *Americas Conference on Information Systems (AMCIS)*, Paper 7, Seattle (2012)
55. Strüker, J., Kerschbaum, F.: From a Barrier to a Bridge: Data-Privacy in Deregulated Smart Grids. In: *33th International Conference on Information Systems (ICIS)*, pp.1-15 (2012)
56. Strüker, J., Weppner, H., Bieser, G.: Intermediaries for the Internet of Energy - Exchanging Smart Meter Data as Business Model. In: *European Conference on Information Systems (ECIS)*, pp.1-13 (2011)
57. Torriti, J.: Price-based demand side management: Assessing the impacts of time-of-use tariffs on residential electricity demand and peak shifting in Northern Italy. *Energy* 44 (1), 576-583 (2012)
58. Torriti, J., Hassan, M.G., Leach, M.: Demand response experience in Europe: Policies, programmes and implementation. *Energy* 35(4),1575-1583 (2010)
59. Vom Brocke, J, Simons, A, Niehaves, B, et al.: Reconstructing the Giant: On the Importance of Rigour in Documenting the Literature Search Process. In: *Proceedings of the 17. European Conference On Information Systems (ECIS)*, Verona (2009)
60. Wang, W., Xu, Y., Khanna, M.: A survey on the communication architectures in smart grid. *Computer Networks* 55(15), 3604-3629 (2011)
61. Watson, R.T., Boudreau, M-C., Adela, J.C.: Information Systems and Environmentally Sustainable Development: Energy Informatics and New Directions for the IS Community. *MIS Quarterly* 34(1), 23-38 (2010)
62. Watson, R.T., Boudreau, M-C., Lawrence, T.M., Johnson, K.: Design Of A Demand Response System: Economics And Information Systems Alignment. In: *21st European Conference on Information Systems*, pp. 1–11, Utrecht (2013)
63. Webster, J., Watson, R.T.: Analyzing the Past to Prepare For the Future: Writing a Literature Review. *MIS Quarterly* 26(2), 13-23 (2002)
64. Wunderlich, P.J., Kranz, J.J., Veit, D.J.: Beyond carrot-and-stick: How values and endogenous motivations affect residential Green IS adoption. In: *International Conference on Information Systems (ICIS)*, pp.1-19, Milan (2013)
65. Wunderlich, P., Veit, D., Sarker, S.: Adoption of Information Systems in the Electricity Sector: The Issue of Smart Metering. In: *Americas Conference on Information Systems (AMCIS)*, Paper 16, Seattle (2012a)
66. Wunderlich, P., Veit, D., Sarker, S.: Examination of the Determinants of Smart Meter Adoption: An User Perspective. In: *International Conference on Information Systems (ICIS)*, pp. 1-17 (2012b)
67. Yigit, M., Fadel, E., Gungor, V.C., Rangoussi, Tuna, G., M.: Power line communication technologies for smart grid applications: A review of advances and challenges. *Computer Networks* 70, 366-383 (2014)
68. Zaballos, A., Vallejo, A., Selga, J.M.: Heterogeneous communication architecture for the smart grid. *IEEE Network* 25(5), 30-37 (2011)