

Energieinformationsnetze

Über das Nebeneinander von Energie- und Informationsflüssen

Wolfgang Frohberg, Ulrich Hofmann,
Dominik Engel

Im Zusammenhang mit der dezentralen Erzeugung von insbesondere erneuerbaren Energien und einem auf Energieeinsparung ausgerichteten Management von Energieverbrauchern verändert sich die Struktur des verbrauchernahen Energienetzes. Zum anderen müssen Energieflüsse kleingranularer als bisher und vor allem bidirektional zu steuern und zu managen sein. Zudem sind parallel zu den Energieflüssen Informationsflüsse notwendig, die auf geeignete Informationsnetze abgebildet werden müssen.



NET-Abonnenten steht ergänzend zum Beitrag das Literaturverzeichnis im Heftarchiv 9/11 unter www.NET-im-web.de zur Verfügung.

Prof. Dr. Wolfgang Frohberg arbeitet an der Wilhelm Büchner Hochschule – Private Fernhochschule Darmstadt, Prof. Dr. Ulrich Hofmann an der Fachhochschule Salzburg und bei Salzburg Research, Österreich, und Dr. Dominik Engel an der Fachhochschule Salzburg

Besonders im verbrauchernahen Bereich zeichnen sich die bestehenden klassischen Energienetze (*Bild 1*) durch eine unidirektionale Baumstruktur aus. Schon das Hinzufügen von Photovoltaikanlagen – der heute schon verbreiteten, aber keineswegs einzigen Form der privaten und kleinteiligen Energieerzeugung – verändert diese Struktur grundlegend: Energie fließt nicht nur vom Netz zum Verbraucher, sondern auch umgekehrt. Zu Beginn des Einsatzes solcher Energieerzeugungsanlagen erfolgte das Einspeisen der Energie

ungeregelt und lediglich an die rein elektrischen Bedingungen des Netzes (Phasenlage, Spannung, Frequenz) angepasst. Dazu reichte ein dezentrales Monitoring des Netzes aus. Die eingespeiste Energie wurde im Netz aufgenommen und beeinflusste die Steuerpläne und Regelkreise der Energieerzeugung nicht.

Die Formen der dezentralen Energieerzeugung werden jedoch vielfältiger. Der Anteil der auf diese Weise dem Netz zugeführten Energiemengen wächst über das Maß eines vom Netz unreguliert tolerierbaren Anteils hinaus, und die Einspeisung von Energie erfolgt an unterschiedlichen Stellen im Netz. Das hat eine ganze Reihe von Folgen: Da Elektroenergie nicht oder nur in geringem Umfang und derzeit auch nur großteilig und nach festem „Fahrplan“ gespeichert werden kann, muss die unregelmäßige Zufuhr von Energie gemanagt werden. Diese Aufgaben sollen sog. Smart Grids, die auf unterschiedlichen Netzebenen entste-

hen, übernehmen. Der Begriff selbst ist noch nicht abschließend definiert. In [1] ist zu lesen: „Der Begriff Smart Grid (Intelligentes Energieversorgungssystem) umfasst die Vernetzung und

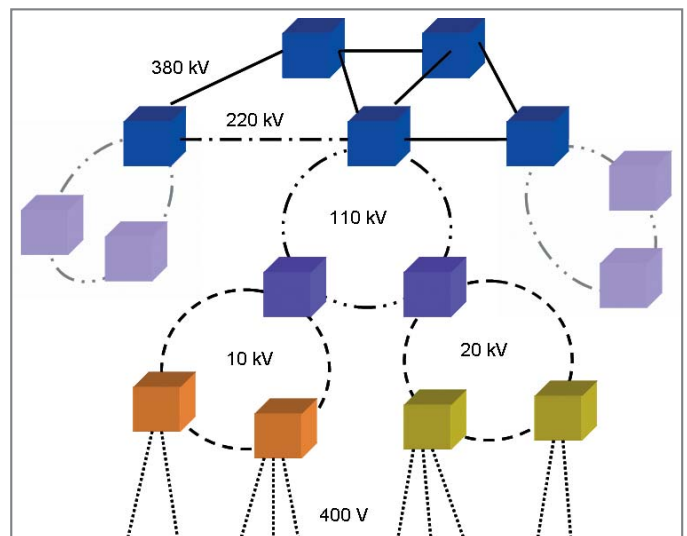


Bild 1: Klassische Energieversorgungsnetze

Steuerung von intelligenten Erzeugern, Speichern, Verbrauchern und Netzbetriebsmitteln in Energieübertragungs- und -verteilungsnetzen mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnik (IKT).“ *Bild 2* zeigt ein Smart Grid auf der Ebene einer Gemeinde. Es bezieht die ortsansässigen Energieerzeugungsformen, aber auch Energiespeicher und Verbraucher mit ein. Das Smart Grid selbst ist an das regionale Energienetz angeschlossen, in dem es wiederum ähnliche (neue) Strukturen geben kann, z.B. durch regionale Windparks.

Neben dem Steuern unetlicher, z.B. wind- und sonnenabhängiger Energiequellen ist es in einem intelligenten Stromnetz auch sinnvoll, die Verbraucher in gewissem Umfang zu steuern bzw. ihnen Entscheidungen zum effizienten Umgang mit Energie zu ermöglichen. Dies erfordert neben der Übermittlung von Informationen an den Verbraucher auch das zeitgenaue Erfassen von Verbrauchsinformatio-

nen sowie die zeitnahe Übertragung dieser Informationen an das Energienetz. Dieser Vorgang wird allgemein als Smart Metering bezeichnet und ist nicht nur für elektrische Energienetze, sondern auch für andere Energienetze oder noch allgemeiner für Versorgungsnetze (z.B. Wasser) relevant. Smart Meter bilden einen wichtigen Bestandteil der Smart Grids. Sie erlauben durch Fernablesung in kleinen Intervallen neue Funktionen im Stromnetz. Neue Geschäftsmodelle werden möglich. Verbrauch kann nach der Verfügbarkeit gesteuert, Energiefresser identifiziert werden. Doch es gibt nicht nur Vorteile für den Konsumenten. Aus den Lastprofilen, die vom Smart Meter erzeugt werden, können z.B. aufschlussreiche Profile über die Gewohnheiten der Benutzer erstellt werden. Verbraucherschützer bemühen sich daher um Mitsprache bei der Entwicklung der Technik [2].

Herausforderungen

Die Aufgaben für Energieinformationsnetze ergeben sich aus den veränderten Energieflüssen und den damit verbundenen Informationsflüssen. Energieinformationsnetze sind damit auch strukturell an die sich verändernden Energienetze gekoppelt. Für das Management intelligenter Energienetze ist eine hierarchische Informationsverarbeitung erforderlich. Diese wird allgemein als Energieinformationssystem bezeichnet. Nur so kann über hierarchische Regelkreise auf unterschiedlichen inhaltlichen Ebenen (monetäre oder technische Regelkrei-

se) und verschiedenen technischen Ebenen (Netzebenen) Intelligenz in das Energienetz eingebaut werden. An Energieinformationssysteme werden folgende Anforderungen gestellt:

- Versorgungssicherheit, Graceful Degradation im Fall des Ausfalls einzelner Teilsysteme, schnelle Wiederherstellung, Schwarzstartfähigkeit nach einem Ausfall, Robustheit und Resilienz;
- Security (Sicherheit vor Angriffen), Safety (Betriebssicherheit), Privacy (Datenschutz);
- Schutz des Netzes vor schädlicher Einspeisung und vor Überlastung von Netzabschnitten, die bisher in klassischen Netzen nicht überwacht werden;
- Marktteilnahme aller Erzeuger und Verbraucher;
- Abbildung der wachsenden Peer-to-Peer-Architektur intelligenter Energienetze;
- zunehmend dezentrale und automatisierte Netzführung der Energienetze;
- teilweise echtzeitfähige, ansonsten sehr schnelle Reaktion verteilter Regelmechanismen;
- Berücksichtigung des unterschiedlichen Zeitverhaltens verschiedener Erzeuger und Verbraucher, z.B. Anfahr- und Herunterfahrcharakteristik von Kraftwerken, Solar- und Windkraftanlagen, Speichereigenschaften von Gefrieranlagen.

Energieinformationsnetze stellen die Wege und Protokolle bereit, die Energieinformationssysteme mit ihren vielen Informationsquellen und -senken verbinden. Sie stehen damit im Über-

schneidungsbereich der Gebiete Energieversorgung, Automatisierungstechnik und natürlich Kommunikationstechnik, da sie die Kommunikation für Energieinformationssysteme organisieren sollen.

Mit Energieinformationssystemen entstehen Peer-to-Peer-Strukturen (Bild 3). Die Kom-

- munikationsinfrastruktur ist Mittler zwischen den Peers. Folgende Anforderungen werden an Energieinformationsnetze gestellt:
- Erreichen jedes einzelnen Verbrauchers und Energieerzeugers: dabei kann der Haushalt oder die Firma als Einheit oder jeder physische Verbraucher/Erzeuger/Speicher als ein Verbraucher gesehen werden; in letzterem Fall dehnt sich das Energieinformationsnetz über die private Netzinfrastruktur bis zu den energietechnisch relevanten Endpunkten;
 - sehr hohe Verfügbarkeit;
 - Sicherung der Integrität und der Authentizität der Informationsflüsse;
 - Sicherung der Privacy der übertragenen Informationen;
 - Kompatibilität heterogener Kommunikationslösungen im Gesamtsystem;
 - geringe Latenzzeit der Informationsübertragung, in höheren Netzebenen Echtzeitfähigkeit;
 - geringe Informationsmengen.

Sucht man nach infrage kommenden, bereits vorhandenen Informationsnetzen, so verfügen die Energieversorgungsunternehmen über eigene Informationsnetze in den höheren Netzebenen, nicht jedoch im haushaltnahen Verteilnetz. Im verbrauchernahen Bereich drängen sich vorhandene TK-Netze für eine Nutzung als Energieinformationsnetze auf, insbesondere, wenn man private Haushalte als hauptsächliche Verbraucher und zunehmend auch als kleinteilige Erzeuger der Energie sieht.

Möglichkeiten existierender TK-Netze

Betrachtet man zunächst die Forderungen nach der Erreichbarkeit der Haushalte, der hohen Verfügbarkeit und der geringen Latenzzeit von Informationsübertragungen in Energieinformationsnetzen, kommen alle klassischen TK-Zugangsnetze infrage. Berücksichtigt man weiterhin die vergleichsweise geringen Datenmengen, drängt sich das ISDN als Basisnetz für ein Energieinformationsnetz auf. Nachrichten des Energieinformationssystems könnten als Nachrichten des

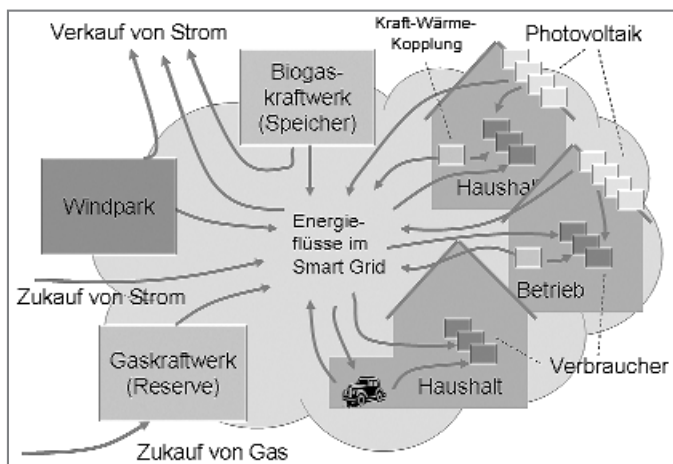


Bild 2: Smart Grid, beispielsweise einer Gemeinde

D-Kanals im bestehenden Netz transportiert werden. Ein solches Netz würde geringe Latenzzeiten garantieren und wäre durch hohe Verfügbarkeit gekennzeichnet sowie vor Angriffen auf die Authentizität und Integrität der übertragenen Informationen weitgehend sicher. Allerdings befindet sich die ISDN-Technik bereits in einem so fortgeschrittenen Stadium ihres Lebenszyklus, dass es sinnvoller ist, modernere Übermittlungsprinzipien und Protokolle zu verwenden.

Auf dem Internet aufbauende Protokolle und Dienste für ein Energieinformationsnetz können die gesamte Palette an Möglichkeiten für den Zugang zum Haushalt nutzen, die auch anderen Kommunikationsdienstleistungen zur Verfügung steht:

- Teilnehmeranschlussleitung;
- Glasfasernetze, FTTx;
- drahtlose Zugangsnetze und drahtlose Inhouse-Kommunikation;
- Mobilfunknetze, besonders UMTS.

Zudem kann die Kommunikation medienbruchfrei bis zum energieerzeugenden oder -verbrauchenden Endgerät im Haushalt über ein lokales Netz im Haus fortgeführt werden. Allerdings gibt es beim Smart Metering – der am weitesten entwickelten Komponente von Energieinformationssystemen [3] – derzeit eine ganze Vielfalt von proprietären Lösungen sowohl für die Inhouse-Vernetzung als auch für den Zugang zum Energieinformationsnetz. Diese unterschiedlichen Netzlösungen werden von einer ebenso großen Vielfalt von Protokollen begleitet – ein Ansatzpunkt für eine technisch sinnvolle Standardisierung.

Nutzung des Internet

Für Fernwirkssysteme wurden in der Vergangenheit eigene Standards (IEC 60870, 61850, USA DNP 3.0 sowie firmenspezifische) entwickelt, die eine sichere Kommunikationstechnik wie ISDN-Standleitungen voraussetzen. Zwei Triebkräfte führen aber zu einem Paradigmenwechsel von der exklusiven Leitung hin zur Internettechnik:

- Aus Kostengründen können nicht mehrere Netztechniken betrieben und administriert werden, die Konvergenz zu „All-IP“ ist unaufhaltbar.

- Dezentrales Energiemanagement erfordert eine dichte Kommunikationsinfrastruktur, die mit dem Internet bereits gegeben ist und sich weiterentwickelt (Internet der Dinge).

Voraussetzung für den Einsatz der Internettechnik ist aber, dass auch die

bislang mit dedizierten Steuerverbindungen erreichte Zuverlässigkeit und Sicherheit gewährleistet wird, um z.B. die Umstellung der zentralen Nachspeicheransteuerung auf eine dezentrale Ansteuerung mit einem Webinterface zum Ortsnetz zu realisieren.

Folgende zwei Entwicklungen unterstützen diese Ziele:

- Zuverlässigkeit, d.h. Sicherung der Übertragungsqualitätsparameter der IP-Übertragung: Seitens der Netzbetreiber wird das bewährte Netzmanagementsystem TMN (Telecommunications Management Network) auf das Internet mit MPLS-TP (Multi-Protocol Label Switching – Traffic Profile, RFC 3985) angewandt. Damit sollen dem Nutzer über das Internet die gleichen Übertragungsqualitäten wie über eine direkte Leitung angeboten werden. Für die Steuerung von Energienetzen über das Internet sind von den acht möglichen QoS-Klassen (RFC 5976) die Klassen 0 und 1 von Interesse, die für hoch interaktive Echtzeitanwendungen vorgesehen und empfindlich gegenüber Schwankungen der Übertragungszeit sind. In diesen Klassen sind die mittlere Übertragungsverzögerung < 100 ms bzw. < 400 ms, der Jitter < 50 ms und die Verlustrate geringer als 10^{-3} .

- Sicherheit gegen Angriffe durch Gewährleistung hoher Implementierungsstandards: Hier kommt einer systematischen Risikobewertung hohe Bedeutung zu. Ein Ansatz dafür ist die Zuordnung der Risiken der Kommunikationsinfrastruktur zu den Konsequenzen in der dezentralen

Energieversorgung mit FMEA (Failure Mode and Effects Analysis). *Bild 4* zeigt die Kaskadierung der Risikoabbildung. Ausgehend vom Bedrohungspotenzial links wird zunächst über die Verletzlichkeit, d.h. das Risiko für die Netzkomponenten (z.B.

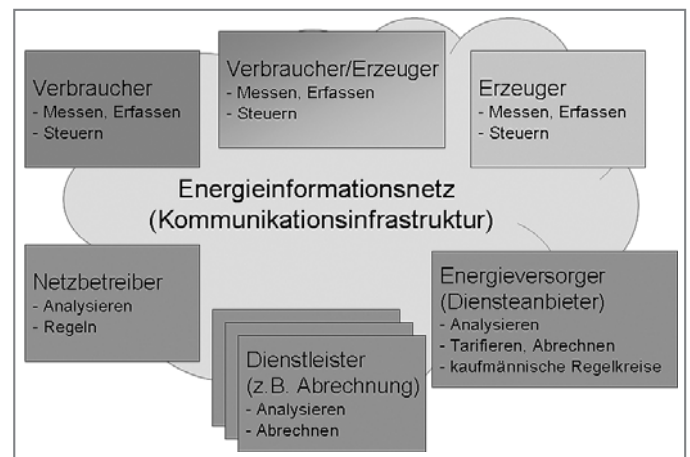


Bild 3: Instanzen, die auf das Energieinformationsnetz zugreifen

Firewall, Garantien für Bandbreiten usw.) ermittelt. Erst mit Beachtung des Fortpflanzungseffektes in die Steuerung der Energieversorgung werden die Konsequenzen in der Anwendung „Energieversorgung“ sichtbar. Nun kann wieder nach links die Synthese durchgeführt werden, z.B. der Einsatz von Entwicklerressourcen optimiert und Netzredundanzen eingeplant werden.

In [4] werden sichere Methoden zur Übertragung von Smart-Meter-Daten gefordert. Ein Lauscher soll dabei keine Möglichkeit haben, die vom Smart Meter zum Netzbetreiber übertragenen Daten abzuhearn. Auch eine Manipulation von Daten auf dem Übertragungsweg (Man-in-the-Middle-Attacke) darf nicht möglich sein. Neben der Sicherheit von Smart-Meter-Daten gilt es die Privatsphäre zu schützen. Im Unterschied zur allgemeinen Sicherung der Kommunikationswege wird hierbei auch hinterfragt, wem welche Daten zur Erfüllung einer bestimmten Funktion zur Verfügung gestellt werden. Ist z.B. für die Umsetzung neuer, adaptiver Energieangebote ein Lastprofil mit einer Auflösung von 30 s notwendig oder ist eine Granularität von 15 min ausreichend?

Die Intervalle der Smart-Meter-Ablesungen (im Push-Verfahren) stehen in vielen Ländern Europas noch nicht fest. Wahrscheinlich ist aber eine Auflösung zwischen 30 s und 15 min. Auf den ersten Blick erscheinen Lastprofile unbedenklich: Waren Ablesungen in herkömmlichen Netzen im Intervall

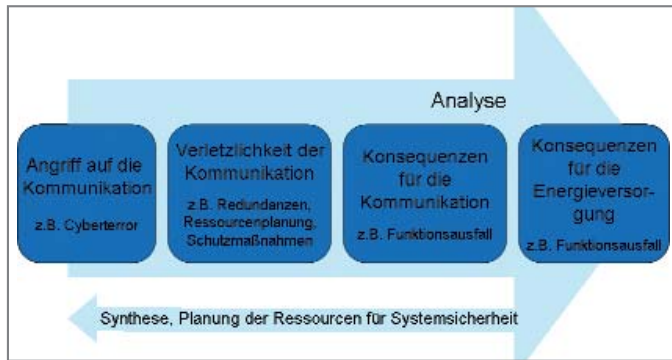


Bild 4 : Risikobewertungen und Systemverbesserungen mit FMEA

von einem Jahr üblich, so wird nun eben öfter abgelesen.

Tatsächlich existieren unter dem Sammelbegriff NILM (Non-Intrusive Load Monitoring) [5] eine Reihe von Methoden, die es erlauben, detaillierte Informationen aus einem Lastprofil zu extrahieren, wie z.B.:

- Schlaf- und Wachrhythmus;
- Anzahl der Bewohner;
- Typen der benutzten Elektrogeräte;
- Nutzungsdauer der Geräte.

In einem an den Universitäten Cornell und Berkeley durchgeführten Forschungsprojekt identifizieren Lisovich und Wicker [6] Parteien, die vom Missbrauch der Lastprofil Daten profitieren könnten, z.B. für gezielte Werbemaßnahmen, die Überwachung des Aufenthaltsortes von Arbeitnehmern sowie die Nutzung der Daten im Rahmen einer Rasterfahndung. Außerdem könnten die Daten für kriminelle Zwecke missbraucht werden: Werden hochfrequente Daten beim Aggregator kompromittiert, lässt sich aus ihnen problemlos ablesen, in welchem Haushalt wer wann nach Hause kommt bzw. ob die Mitglieder eines Haushalts z.B. momentan im Urlaub sind.

Es gilt zu beurteilen, welche Daten zu welchem Zweck zur Verfügung stehen müssen. Bei fixem Tarif benötigt der Energieerzeuger für die monatliche Rechnungslegung nicht mehr als

den kumulierten monatlichen Verbrauch. Will der Endkunde aber flexible Stromtarife nutzen, ist eine feinere Auflösung nötig. Sollen NILM-Methoden genutzt werden, um Geräte zu identifizieren, die den größten Verbrauch verursachen, sind Lastprofile über einen großen Zeitraum in feiner Auflösung vonnöten.

Um im Smart Grid die Privatsphäre zu schützen, sind Methoden unabdingbar, die dem Endkonsumenten erlauben zu bestimmen, wer auf die Lastprofile in welcher Granularität zugreifen darf. Erste Vorschläge dazu finden sich bereits in der Literatur, wie z.B. der Einsatz homomorpher Verschlüsselungsmethoden, bei denen spezielle Abbildungen algebraischer Strukturen auf andere algebraische Strukturen genutzt werden [7].

Aktivitäten

Derzeit ist zu beobachten, dass die Entwicklung von Energieinformationsnetzen maßgeblich von der TK-Industrie vorangetrieben wird. Zusätzlich ist jedoch ein systematischer Top-Down-Ansatz unbedingt erforderlich, der die Verbesserung der Energieinformationssysteme zum Ziel hat.

Diesen Ansatz verfolgt z.B. die Fokusgruppe Energieinformationssysteme des VDE, der sowohl Energie- als auch Kommunikationstechniker angehören. Sie wendet sich ausgehend von den beschriebenen Anforderungen an das Energienetz der Zukunft den erforderlichen Kenngrößen und Mengengerüsten zu (z.B. dem Lastmanagement, den Energiespeichern oder Auslegungsdaten, Messwerten und Schutzparametern), um die Erfordernisse für die Informationsverarbeitung und für die Energieinformationsnetze zu bestimmen.

Dabei wird von Geschäftsmodellen, Anwendungsszenarien, Rollenmodellen und Prozessbeschreibungen (zunächst stromwirtschaftlicher und nicht-

technischer Prozesse) ausgegangen. Ein anderes Vorgehen birgt die Gefahr, dass von kurzfristig plausiblen und modisch klingenden Anforderungen ausgehend Systeme konzipiert werden, die sich später in ihrer Funktionalität als limitiert und damit untauglich herausstellen. So wäre es später vielleicht einmal möglich, dass Kunden eine „Energie-Flatrate“ wählen können, vergleichbar mit der Entwicklung der TK-Tarife von tageszeitabhängigen Kosten mit dem Ziel einer ausgeglichenen Netzbelastung über Volumentarife zu den nun weit verbreiteten Flatrates. Dieser Gedanke ist zwar einseitig von einer Netzsicht geprägt und berücksichtigt nicht die ökonomischen Aspekte der transportierten Energie selbst. Wir stehen jedoch erst ganz am Anfang der Entwicklung, die noch so manche ungeahnte Wendung nehmen kann.

Weitere Impulse kommen aus der Energieautomatisierungstechnik, insbesondere der Prozesskommunikation (IEC 61850, OPCUA, CIM), die auf europäischer Ebene in einer Joint Working Group von einer Vielzahl von Organisationen unter Führung von CEN (www.cen.eu), Cenelec (www.cenelec.eu) und ETSI (www.etsi.org) aufgegriffen und diskutiert werden. Insbesondere dem „Zusammenwachsen“ der Prozesskommunikation mit der Telekommunikation kommt dabei eine besondere Bedeutung zu.

Neben den bereits erwähnten Gremien sind auf internationaler Ebene das ISO und das IEC sowie aus deutscher Sicht neben der Informationstechnischen Gesellschaft (ITG) mit der erwähnten Fokusgruppe die Energie-technische Gesellschaft des VDE (ETG) und die Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (DKE) aktiv.

Aus Sicht der Verbraucher müssen alle technischen Aktivitäten von einem angemessenen Datenschutz hinsichtlich der Datenverwendung und -speicherung, der Mitsprache der Eigentümer der betroffenen Haushalte sowie der Sicherheit des Datentransports erfüllt sein, sonst wird die Technik – trotz möglicher finanzieller Vorteile für die Verbraucher – keine Akzeptanz finden. (bk)