Welchen Beitrag kann die Digitalisierung der Energiewende zur Einsparung von Energie und CO_2 liefern?

Dr. Werner Domschke

1 20-20-20 bis 2020

Seit dem Jahr 2004 deckt die Europäische Union mehr als die Hälfte ihres Energiebedarfes aus Importen ab. Das war einer der wesentlichen Gründe, weshalb die EU sich 2008 das Ziel gesetzt hatte, bis zum Jahr 2020 mindestens 20% weniger CO_2 auszustoßen, 20% erneuerbare Energien einzusetzen und den Energieverbrauch um 20% zu reduzieren [1] (Abbildung 33). Deutschland importierte 2014 ca. 61% der erforderlichen Primärenergieträger.

Abbildung 33: 20-20-20 bis 2020

Die Realisierung dieser Vorhaben bedeutet zum einen, dass mehr Energie mit erneuerbaren Energien (z.B. Wind und Sonne) erzeugt werden muss. Zum anderen müssen Möglichkeiten zur Reduzierung des Energieverbrauchs und des CO_2-Ausstoßes gefunden werden. Zum letzteren zählen die verpflichtende Einführung eines Energiemanagements in der Industrie (DIN ISO 50001) und die Energieeinsparverordnungen insbesondere für Gebäude (EnEV). In beiden Rubriken stellt es sich heute schwierig dar, die jeweiligen 20% bis 2020 zu erreichen.

Bei regenerativen Energien ist das Ziel bereits erreicht. 2015 betrug der Anteil der erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung bereits 30% [2]. Das bringt aber auch technische Herausforderungen mit sich. Die Erzeugeranlagen für regenerative Energien sind nicht so steuerbar wie konventionelle Kohle- oder Atomkraftwerke. Das wurde in Fachkreisen z.T. sehr emotional diskutiert, denn um das Stromnetz stabil betreiben zu können, sind Informationen über die Erzeugung und

den Verbrauch erforderlich und es müssen Steuereingriffe bei Erzeugern und Verbrauchern möglich sein. Die Elektrizitätszähler müssen fernauslesbar werden.

Das wurde u.a. vor kurzem in dem Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende geregelt.

2 Das Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende

Am 23. Juni 2016 hat der Bundestag das Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende verabschiedet [3]. Ausgangspunkt war 2009 die Dritte Binnenmarktrichtlinie Strom und Gas der Europäischen Union [4]. In den fünf Jahren seit dieser Richtlinie wurde in Deutschland das Energiewirtschaftsgesetz novelliert und es wurden viele Entwürfe, Studien und Meinungsäußerungen von Verbänden, Firmen und der Presse in Vorbereitung des jetzt verabschiedeten Gesetzes veröffentlicht. Bundeswirtschaftsminister Siegmar Gabriel lobt die Reform des Strommarktes, in der das verabschiedete Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende eine wichtige Rolle spielt.

Mit dem Gesetz der Digitalisierung der Energiewende wird der Hauptforderung der Zukunft des Strommarktes entsprochen, die Informationen über den Verbrauch von elektrischer Energie mit den Erzeugern auszutauschen, um zukünftig bedarfsgerecht erzeugen und das Stromnetz stabil halten zu können.

Im Vorfeld des Gesetzes hat die Bundesregierung eine Kosten-Nutzen-Analyse (KNA) [5] beauftragt, um für die EU-Forderung, mindestens 80% aller Stromzähler bis zum Jahr 2020 fernauslesbar zu gestalten, eine kostenoptimale Variante zu finden. Die KNA und das Gesetz zur Digitalisierung betrachteten im Wesentlichen die Prozesse um den Stromverbrauch. Es entstand die Festlegung, dass alle Abnehmer mit einem Verbrauch von weniger als 6000 kWh/a nicht verpflichtet werden, ein intelligentes Messsystem einzubauen. Für diese Verbraucher ist die mögliche Einsparung von Energie geringer als die Kosten für die technischen Systeme und nach Meinung der Energieversorger sollen diese Verbraucher für die Einhaltung der Netzstabilität von untergeordneter Bedeutung sein.

Ganz unberücksichtigt blieben in der KNA und diesem Gesetz die Anstrengungen der EU, den Gesamtenergieverbrauch zu reduzieren. So wird in der RICHTLINIE 2006/32/EG über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen [6] gefordert, dass „alle Endkunden in den Bereichen Strom, Erdgas, Fernheizung und/oder -kühlung und Warmbrauchwasser individuelle Zähler [...] erhalten, die den tatsächlichen Energieverbrauch des Endkunden und die tatsächliche Nutzungszeit widerspiegeln.“ Diese letzte Forderung, dass die Letztverbraucher Zähler erhalten, die den tatsächlichen Energieverbrauch und die tatsächliche Nutzungszeit widerspiegeln sollen, findet man u.a. auch im EnWG von 2011 und in der KNA

wieder. Der Hintergrund für diese Forderung ist die kontinuierliche Information der Letztverbraucher über ihren Energiekonsum. Nur so werden Einsparpotenziale durch den bewussten Umgang mit der Energie gehoben.

In den Gesetzen und in der KNA wird leider kein Weg beschrieben, wie die berechneten Einsparungen realisiert werden können. Im Gegenteil: Das in der ersten Fassung der KNA enthaltene Wohnungsdisplay zur kontinuierlichen Anzeige des Energieverbrauchs ist in der Endfassung nicht mehr enthalten – gestrichen wegen des zu geringen Nutzens.

Hier stellt sich die Frage, wie können die in der KNA und auch im Gesetz zur Digitalisierung genannten Einsparpotenziale realisiert werden, wenn der Letztverbraucher nicht zeitnah über seine Verbrauchsdaten informiert wird? Eine jährliche Energieabrechnung oder der Einbau von intelligenten Zählern oder Messsystemen erzeugt keine Energieeinsparung.

Andererseits haben die Diskussionen unterschiedlicher Verbände mit dem BMWi über das Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende einen Weg zu sog. Bündelangeboten geöffnet. Somit können die intelligenten Messsysteme neben Strom auch für Gas, Fernwärme und Heizwärme sowie Wasser eingesetzt werden [3]. Mit der Reduzierung der Kosten durch Bündelung des Messstellenbetriebs und Mehrfachnutzung der Systemtechnik im Haus sowie der Möglichkeit einer größeren Einsparung z.B. im Bereich Wärmeenergie ergeben sich Möglichkeiten für neue Geschäftsmodelle. Voraussetzung ist dabei eine standardisierte Kommunikationsinfrastruktur, sodass alle Zähler für alle Medien von allen Herstellern in einem System zusammengefasst werden können.

„Nebenbei“ tragen diese Energieeinsparungen zur Reduzierung des CO_2-Ausstoßes bei, ohne dass dafür ein Euro mehr zu zahlen ist. Das wurde in dem Kurzgutachten „Beitrag intelligenter Messsysteme für Strom, Gas und Wärme zur CO_2-Minderung“ des ITG Dresden berechnet [8].

3 Das Schutzprofil für die Kommunikationseinheit eines intelligenten Messsystems für Stoff- und Energiemengen

In Vorbereitung der Novellierung des Energiewirtschaftsgesetzes hat das Bundeswirtschaftsministerium (BMWi) im Jahr 2011 das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) beauftragt, die Kommunikation zwischen den Verbrauchsmessgeräten und den Energieleitstellen gegen böswillige Datenveränderungen und gegen unerlaubten Zugriff von außen (Hackerangriffe) sicher zu gestalten. Das Ergebnis ist das Schutzprofil für die Kommunikationseinheit eines intelligenten Messsystems für Stoff- und Energiemengen (SMGW-PP) [9].

Wie man am Titel erkennt, geht es in diesem Schutzprofil nicht nur um Strom. In Abbildung 34 ist das Smart Meter Gateway (SMGW) in seiner Umgebung des Weitverkehrsnetzwerkes (WAN), dem Hausnetzwerk (HAN) und dem Messgerätenetzwerk (LMN) dargestellt.

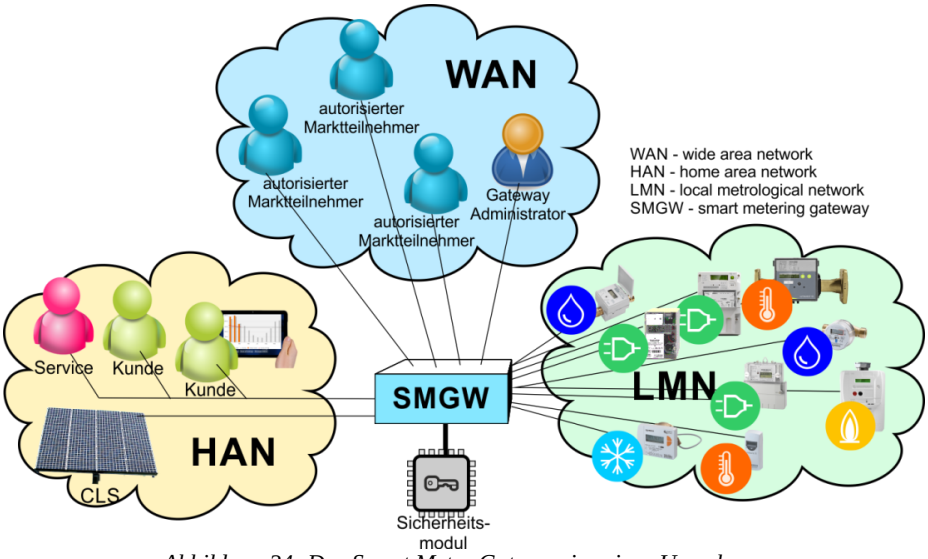

Abbildung 34: Das Smart Meter Gateway in seiner Umgebung

Das Schutzprofil wird durch die Technische Richtlinie BSI TR 03109 ergänzt, die die technische Umsetzung des Schutzprofils beschreibt [10]. Dort werden funktionale Vorgaben der Komponenten des Gesamtsystems insbesondere zur Gewährleistung der Interoperabilität und der Sicherheitsanforderungen definiert. Die Richtlinien zur Kommunikation mit den Messgeräten im LMN ist im Teil BSI TR-03109-1 „Anforderungen an die Interoperabilität der Kommunikationseinheit eines intelligenten Messsystems“ beschrieben. Die Anlage III definiert die drahtlose LMN-Schnittstelle, die der OMS-Spezifikation entspricht, und die Anlage IV die drahtgebundene Schnittstelle.

Die drahtgebundene Schnittstelle ist üblicherweise Messgeräten vorbehalten, die in der Nähe des Gateways installiert sind. Das sind meist Elektrizitätszähler – oft von einem Hersteller. Messgeräte für andere Medien (Gas, Wasser, Wärme, Kälte) sind üblicherweise im Haus verteilt und werden dann per Funk über die drahtlose Schnittstelle an das SMGW angebunden.

Nachfolgend soll die drahtlose Kommunikation das Hauptaugenmerk erhalten. Die dort angeschlossenen Geräte unterschiedlicher Hersteller sollen ihre Verbrauchsdaten nach einem einheitlichen Schema für unterschiedliche Medien bzw. Sparten in das Kommunikationssystem übertragen.

4 Bündelung aller Verbrauchsmessgeräte in einem Kommunikationssystem

In der BSI TR 03109 zum Schutzprofil SMGW-PP wird die OMS-Spezifikation [11] für die drahtlose Kommunikation festgelegt. Sie erfüllt alle Anforderungen einer solchen Anwendung: Alle Verbrauchsmessgeräte für alle Medien (Strom, Gas, Wasser, Wärme und Kälte) aller Hersteller können interoperabel in einem Kommunikationssystem zusammengefasst werden. Dabei werden die hohen Datensicherheitsforderungen erfüllt, die vom BSI für diesen Anwendungsbereich festgeschrieben werden.

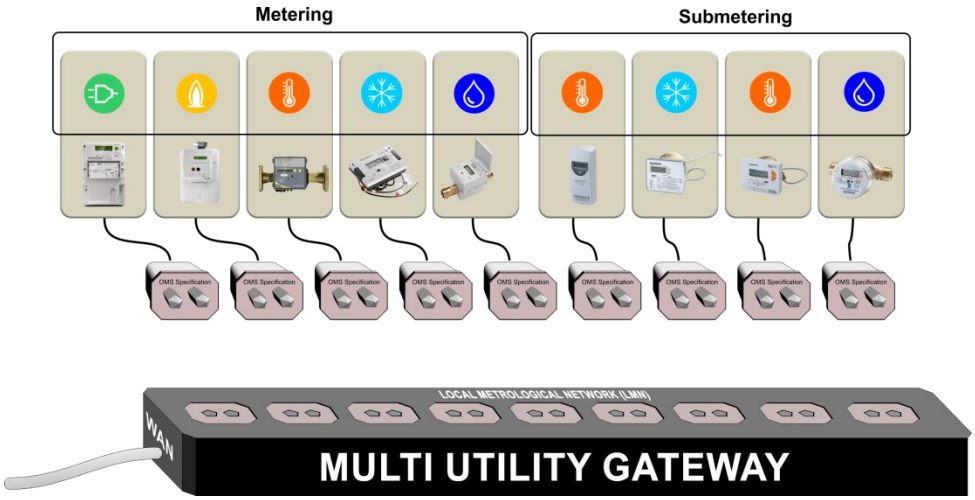

Abbildung 35: Alle Geräte sprechen die gleiche Sprache

Das von der OMS-Group e.V. entwickelte Open Metering System ist europaweit die einzige offene System- und Kommunikationsspezifikation zur messtechnischen Erfassung und Übertragung von Verbrauchsdaten mittels intelligenter Zähler, die die infrastrukturellen Versorgungssparten Strom, Gas, Wärme und Wasser in ein System integriert.

5 Die OMS-Group e.V.

Die OMS-Group e.V. ist ein international aufgestellter Fachverein, der ein interoperables, hersteller- und medienunabhängiges Kommunikationssystem entwickelt und zur europäischen Normung einbringt. Er vertritt weiterhin die Interessen der Entwickler, Hersteller, Planer und Anwender im Bereich der Messung von Energieverbrauch und Stoffströmen jeglicher Art in intelligenten Messsystemen (Smart Metering). Der OMS-Group e.V. gehören derzeit 54 Mitgliedsunternehmen aus Europa und China an [14]. In vier OMS-Arbeitsgruppen werden die Basisanforderungen an die Kommunikationseinrichtungen von Geräten definiert,

und die Harmonisierung der Standards vorangebracht. Damit werden Innovationen bei der Weiterentwicklung der OMS-Spezifikation im Sinne der Mitglieder der OMS-Group e.V. initiiert und es wird ein Beitrag zu höherer Wettbewerbsfähigkeit der OMS-Group-Mitglieder und der Anwender der OMS-Spezifikation geleistet. Die OMS-Spezifikation ist im Internet frei verfügbar und ohne Lizenzgebühren nutzbar[11].

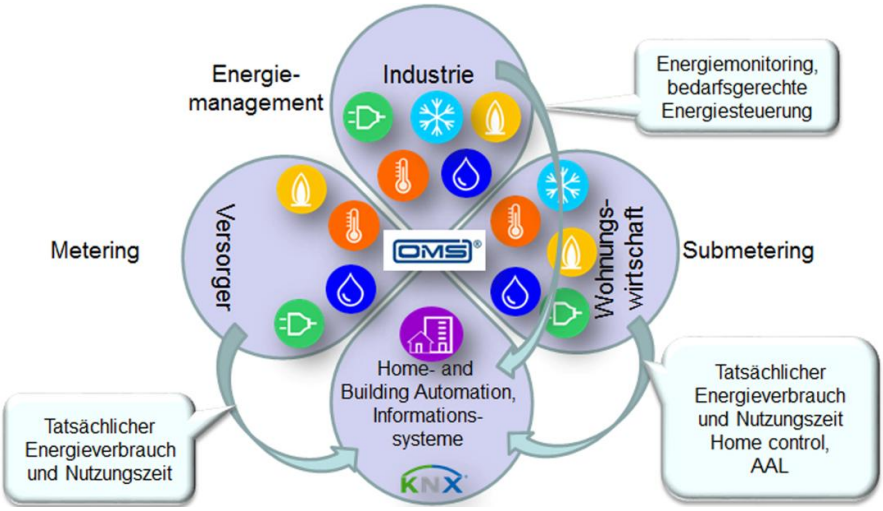

Abbildung 36: Anwendungsbereiche der OMS-Spezifikation

Mit der OMS-Spezifikation sind weiterhin die Voraussetzungen für zukünftige Dienstleistungen geschaffen worden. Intelligente OMS-Zähler (intelligent meters) bilden eine mögliche technische Basis u.a. für das Energiemanagement in der Industrie (EN 50001) und im Smart Grid, die Einbindung erneuerbarer Energien wie Windkraft oder Solarenergie in das intelligente Haus der Zukunft (Smart Home) und für die Möglichkeit der Energie- und CO_2-Einsparung.

Die hier diskutierte Verwendung der OMS-Spezifikation für die Digitalisierung der Energiewende ist nur eine Facette des Open Metering Systems. Eine Vielzahl von Forderungen der Mitglieder der OMS-Group und Anregungen aus Marktbetrachtungen berücksichtigen Anwendungsfälle aus den Bereichen der Versorger, der Industrie, der Wohnungswirtschaft sowie der Home- und Building Automation und Informationssysteme (Abbildung 36). In erster Linie werden die Messwerte für die Verbrauchsabrechnung verwendet. In zweiter Linie können diese Werte für Regelungen und Steuerungen zur Energieoptimierung in der Industrie und in Gebäuden, zur Optimierung der Netzauslastung im Bereich der Versorger, für Informationssysteme für Leitwarten und Letztverbraucher verwendet werden.

6 Die OMS-Spezifikation

Die OMS-Spezifikation basiert auf der Normenreihe EN 13757-x. Die im Gründungsjahr der OMS-Group noch bestehenden Widersprüche in den Normen wurden mit der OMS-Spezifikation beseitigt; Erweiterungen wurden in die Normungsarbeit eingebracht und 2009 als OMS-Spezifikation Generation 1 veröffentlicht. Damit wurde die Interoperabilität hergestellt.

Diese Ideen werden in das Normungsgremium CEN/TC 294 („Communication Systems for Meters“) des European Committee for Standardization (CEN), in der auch OMS-Mitglieder mitarbeiten, in die Normungsreihe eingearbeitet.

Die OMS-Spezifikation entwickelt sich ständig weiter. Hier fließen vor allem die Bedürfnisse der Mitglieder ein, die im Wesentlichen die Anforderungen der Märkte einbringen. Inzwischen ist die vierte Generation der OMS-Spezifikation veröffentlicht.

- **Generation 1:** Definition eines kompletten Kommunikationssystems über alle Protokollschichten (Layers) für unidirektionale Zähler.

- **Generation 2:** Unterstützung für bidirektionale Geräte. Einführung eines netzbetriebenen Repeaters und Harmonisierung mit dem niederländischen Standard NTA 8130 – heute Dutch Smart Meter Requirement (DSMR).

Die Generationen 1 und 2 werden nicht mehr unterstützt.

- **Generation 3:** Erweiterungen in den Protokolldefinitionen und Einführung der synchronen Datenübertragung, um auch batteriebetriebene Repeater zu unterstützen.
  Die Generation 3 wird angewendet, wenn Anforderungen an die Datensicherheit gestellt werden, die nicht den in Deutschland vom BSI gefordert entsprechen, wie z.B. in den meisten anderen europäischen Ländern. Die Generation 3 ist eine Untermenge der Generation 4.

- **Generation 4:** Einführung von Datensicherheitsrichtlinien, die das BSI für die Fernauslesung von Zählern in Deutschland erlassen hat. Außerdem beinhaltet die vierte Generation Erweiterungen zur Erfüllung länderspezifischer Anforderungen (z.B. weitere Frequenzen wie 433 MHz).

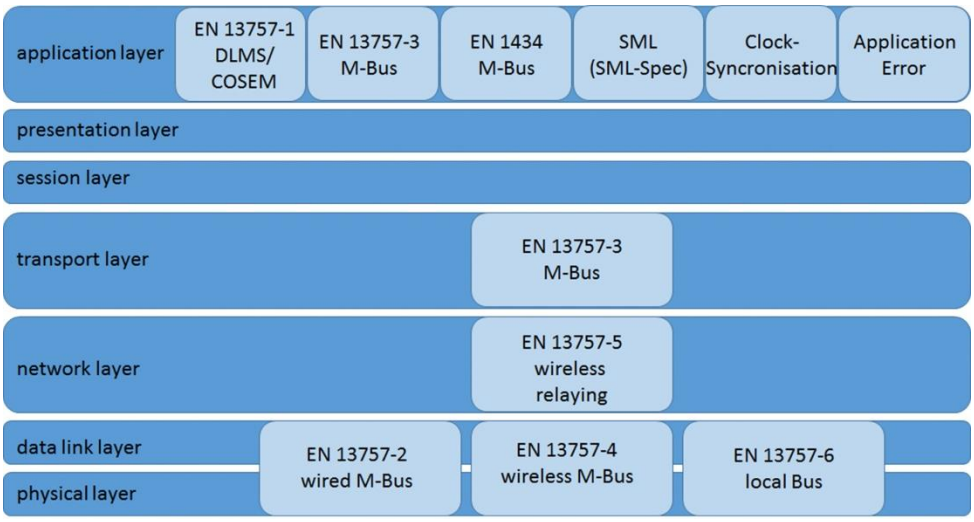

Abbildung 37: OMS-Normen und -Protokolle im OSI-Referenzmodell

Anmerkungen:

COSEM:	*Companion Specification for Energy Metering*
DLMS:	*Device Language Message Specification (auch Distribution Line Message Specification)*
EN:	*Europäische Norm*
SML:	*Smart Metering Language*

Nach der Veröffentlichung der OMS Spec Generation 4 [11] wächst das Interesse in Europa: Deutschland hat die OMS Spec für das lokale Messgerätenetzwerk verbindlich vorgeschrieben. Luxemburg wird Smart Metering für Elektrizität, Gas und Wasser nach OMS Gen 4 landesweit ausrollen. Belgien hat starkes Interesse geäußert. Anhand der speziellen Marktanforderungen in Belgien wird die OMS-Spezifikation derzeit innerhalb der Generation 4 weiterentwickelt.

7 Die Übertragungsmedien für die OMS-Kommunikation

OMS-Geräte können Informationen über eine Zweidrahtleitung oder drahtlos austauschen.

Die drahtgebundene Kommunikation ist der „gute alte“ M-Bus, wie er in der EN 13757-2 beschrieben ist. Dieser Bus hat sich wegen seiner Unkompliziertheit und Robustheit für die Zählerfernauslesung in europäischen Märkten durchgesetzt. Der M-Bus ist ein Master- Slave- System. Die Organisation der Nachrichtenübertragung ist mit geringem Overhead und sehr kleiner Rechenleistung bei den Slaves möglich.

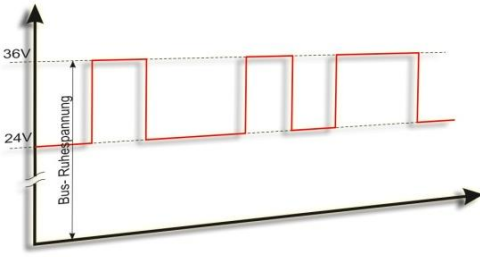

Abbildung 38: Informationscodierung vom Master zum Slave

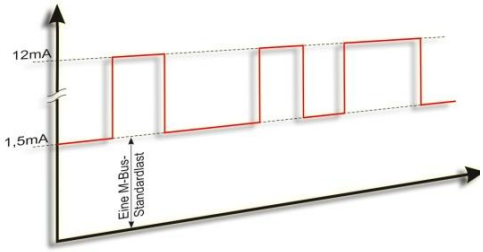

Abbildung 39: Informationscodierung vom Slave zum Master

Die Nachrichten werden vom Master zum Slave durch Veränderung der Busspannung übertragen (Abbildung 38). Der Slave „zupft“ an der Leitung (erhöht die Last und somit den Strom), um Informationen zum Master zu übertragen (Abbildung 39). Somit wird die Stromversorgung des Slaves kaum durch die Kommunikation belastet, was insbesondere für batteriebetriebene Geräte ausschlaggebend ist.

Für die drahtlose Kommunikation sind in der OMS-Spezifikation der Generation 4 fünf Frequenzbänder festgelegt worden: Phy A: 868 MHz, Phy B: 433 MHz, Phy C: 915 MHz, Phy D: 868 MHz (Auslegung für Russland), Phy E: 865 MHz. In diesen Frequenzbändern sind drei Betriebsarten definiert: S-Mode, T-Mode, C-Mode [13].

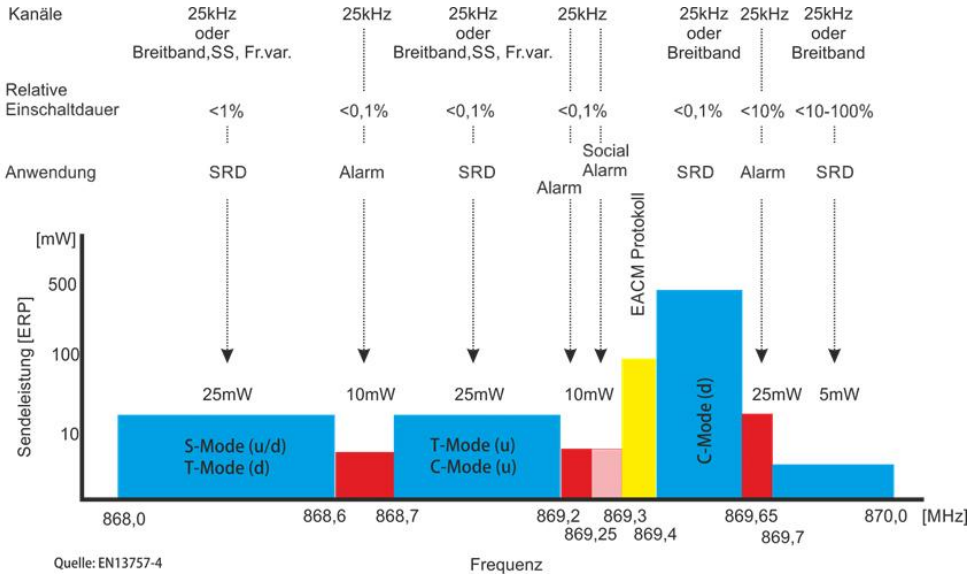

Abbildung 40: Frequenzdefinition im 868 MHz Band (nach EN13757-4)

In Abbildung 40 ist das 868 MHz Frequenzband (nach der für Europa gültigen Norm EN 13757-4) mit den Frequenzen für die drei Betriebsarten dargestellt. Diese Modi unterscheiden sich neben den Frequenzen auch bezüglich Datenübertragungsrate, Telegrammlänge und maximal zulässiger Sendeleistungen. Zur funktechnischen Übertragung sieht die Norm die sog. Frequenzumtastung, engl. Frequency Shift Keying (FSK), eine digitale Variante der Frequenzmodulation, vor. Hier werden die Datenbits durch sog. Chips codiert. Zwei Chips sind erforderlich, um ein Bit zu modulieren.

Der S-Mode im Uplink (u) und Downlink (d) sowie der T-Mode im Downlink übertragen mit einer Chiprate von 32,768 kcps[38] bei einer maximalen Sendeleistung von 25 mW. Der T-Mode und der C-Mode im Uplink übertragen mit 100 kcps bei max. 25 mW, der C-Mode im Downlink mit 50 kcps bei max. 500 mW.

Zu beachten ist die in den festgelegten Frequenzbändern unterschiedliche relative Einschaltdauer (Duty Cycle). Diese garantiert, dass möglichst viele Geräte auf geringem Raum störungsarm kommunizieren können.

In Tabelle 3 sind die Kennwerte der einzelnen Modi angegeben. Dabei wurde u.a. der Energieinhalt der Chips berechnet. Er ist neben anderen Parametern direkt proportional zur Funkreichweite. Bei höherer Chiprate sind die Telegramme kürzer. Da hierbei die erforderliche elektrische Leistung für ein Telegramm geringer ist, können bei gleicher Batterieladung öfter Telegramme übertragen werden als bei geringerer Chiprate. Bei der Auswahl des Modus ist somit ein Kompromiss zwischen Sendehäufigkeit, Funkreichweite und Batteriekapazität zu finden.

Parameter	Betriebsart		
	S-Mode-u/d, T-Mode-d	T-Mode-u, C-Mode-u	C-Mode-d
Funkfrequenz	868,3 MHz	868,95 MHz	869,525 MHz
relative max. Einschaltdauer	1 %	0,1 %	0,1 %
Chiprate	32,768 kcps	100 kcps	50 kcps
Chipdauer	30,52 µs	10 µs	20 µs
max. Sendeleistung	25 mW	25 mW	500 mW
Energie je Chip	0,763 µWs	0,250 µWs	10,000 µWs

Tabelle 3: Kennwerte der drei Modi und Energieinhalt der Chips

Anmerkung: u – uplink, d – downlink / kcps – kilo chips per second

[38] kilo chips per second

8 Datensicherheit und Datenschutz

Die Aspekte Datensicherheit (Data Security) und Datenschutz (Data Privacy) spielen bei der Zählerfernauslesung eine herausragende Rolle: Die zu übertragenden Daten müssen vor Verlust, Manipulation und fremder Kenntnisnahme wirksam geschützt werden. Da diese Daten zudem Schlüsse auf persönliche oder sachliche Verhältnisse einer bestimmten natürlichen Person gestatten, handelt es sich um personenbezogene Daten, auf die die einschlägigen Rechtsnormen des Datenschutzes anzuwenden sind. Bereits in der Generation 1 der OMS-Spezifikation ist ein Sicherheitssystem enthalten (Security Profile A). Mit der Technischen Richtlinie des BSI (BSI TR 03109) wurden die Profile B und C in der Generation 4 aufgenommen.

Bei der drahtlosen Kommunikation (wireless M-Bus) ist die Verschlüsselung (Encryption) der Daten in der OMS-Spezifikation vorgeschrieben. Die Kommunikation über den wired M-Bus kann dagegen unverschlüsselt erfolgen (Abbildung 41). In dieser Abbildung ist ebenfalls die Weiterentwicklung von der Generation 3 zur Generation 4 dargestellt.

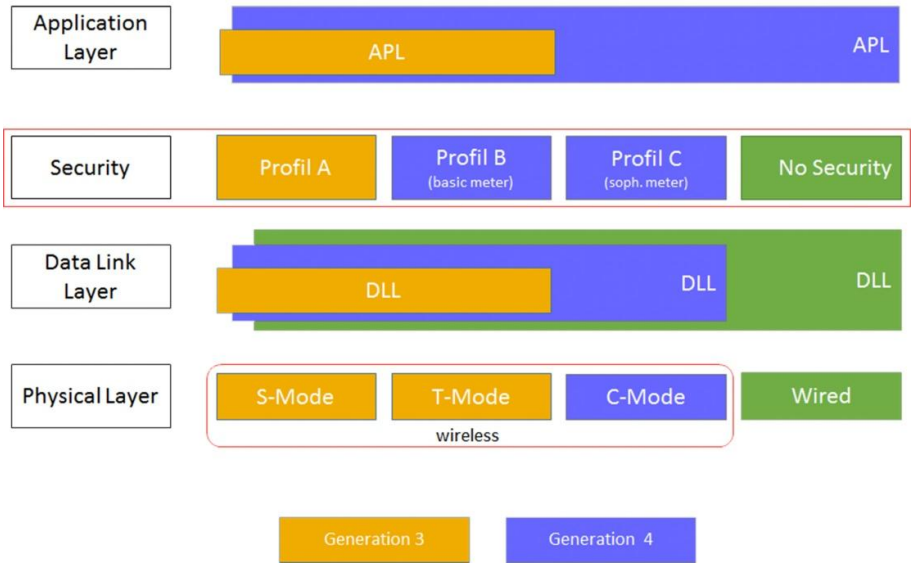

Abbildung 41: Security Profiles in der OMS-Spezifikation

Im Profil A werden die Daten lediglich verschlüsselt. In den Profilen B und C müssen sie auch noch authentifiziert werden. Der Datenerzeuger muss sozusagen die Informationen „unterschreiben“. Damit stellt man sicher, dass die Daten auf dem Übertragungsweg nicht manipuliert werden können.

In den Profilen A und B können die Schlüssel im Zähler z.B. während des Produktionsprozesses oder bei der Installation hinterlegt werden. Das geht bei unidirektionalen Geräten auch nicht anders. Im Profil C wird das im Internet übliche Sicherheitsverfahren TLS verwendet. Hier wird der Schlüssel während der Kommunikation ausgehandelt und von Zeit zu Zeit auch ausgetauscht.

In Deutschland sind das Security Profile B für unidirektionale und das Security Profile C für bidirektionale Geräte in der BSI TR 03109 vorgeschrieben. Dabei ist zu beachten, dass im regulierten Bereich (Strom und Gas) die BSI TR 03109 zwingend anzuwenden ist. Für den unregulierten Bereich (Wasser, Wärme und Kälte und weitere Energie- und Stoffströme, wie z.B. Druckluft) sind diese Profile nicht vorgeschrieben, sollten aber ebenfalls angewendet werden. So kann man den Anwendern die Interoperabilität, Hersteller-, Medien- bzw. Spartenunabhängigkeit bieten und dem Letztverbraucher den höchsten Datenschutz garantieren.

Profile	Encryption	Authentication	Schlüssel (Key)
No Security Profile	no Encryption (ENC-Mode 0)	no MAC (MAC-Mode AT=00b; ATO=00b)	no Key
Security Profile A	AES-128 CBC (ENC-Mode 5)	no MAC (MAC-Mode AT=00b; ATO=00b)	128 Bit Static Symmetric Key
Security Profile B	AES-128 CBC (ENC-Mode 7)	CMAC (8 Byte trunc.) (MAC-Mode AT=01b; ATO=01b)	128 Bit Dynamic Symmetric Key (derived by KDF)
Security Profile C	TLS 1.2 (ENC-Mode 13)	HMAC (TLS 1.2) and additional CMAC (8 Byte trunc.) (MAC-Mode AT=01b; ATO=01b) for Communication Establishment	256 Bit Elliptic Curve Key (384 Bit optional) for TLS and 128 Bit Dynamic Symmetric Key (derived by KDF) for CMAC

Tabelle 4: Verschlüsselungs- und Authentifizierungsverfahren in der OMS-Spezifikation [12]

Anmerkungen:

AES: Advanced Encryption Standard, symmetrisches Verschlüsselungsverfahren
AT: Authentication Type
ATO: Authentication Type Option
CBC: Cipher Block Chaining, Betriebsart der symmetrischen Verschlüsselung
CMAC: Cipher-based Message Authentication Code
ENC: Encryption
HMAC: Hash-based Message Authentication Code
KDF: Key Derivation Function
MAC: Message Authentication Code, Code zur Authentifizierung einer Nachricht („Unterschrift" des Erzeugers der Nachricht)
TLS: Transport Layer Security, von der Internet Engineering Task Force (IETF) spezifiziertes Sicherheitsprotokoll

Kommunikationsart	OMS-Meter/-Actuator	OMS-Gateway	Smart Meter Gateway
wireless, unidirectional M-Bus	Security Profiles A oder B	Security Profiles A und B	Security Profile B
wireless, bidirectional M-Bus	Security Profiles A, B oder C	Security Profiles A und B und optional C	Security Profile C
wired M-Bus	kein Security Profile oder Security Profiles A, B oder C	kein Security Profile oder Security Profiles A und B und optional C	Als Zusatzoption möglich, dann Security Profile C

Tabelle 5:Verwendbare Security Profiles für die unterschiedlichen Kommunikationsarten

9 Zertifizierung

Das Ziel der OMS-Group e.V., ein interoperables und zugleich hersteller- und spartenunabhängiges Kommunikationssystem zu spezifizieren und auch erfolgreich durchzusetzen, hat für den Anwender nur dann einen Wert, wenn alle Hersteller die Spezifikation auch vollumfänglich umsetzen. Um das Vertrauen in das System zu rechtfertigen, bietet die OMS-Group e.V. eine Zertifizierung an.

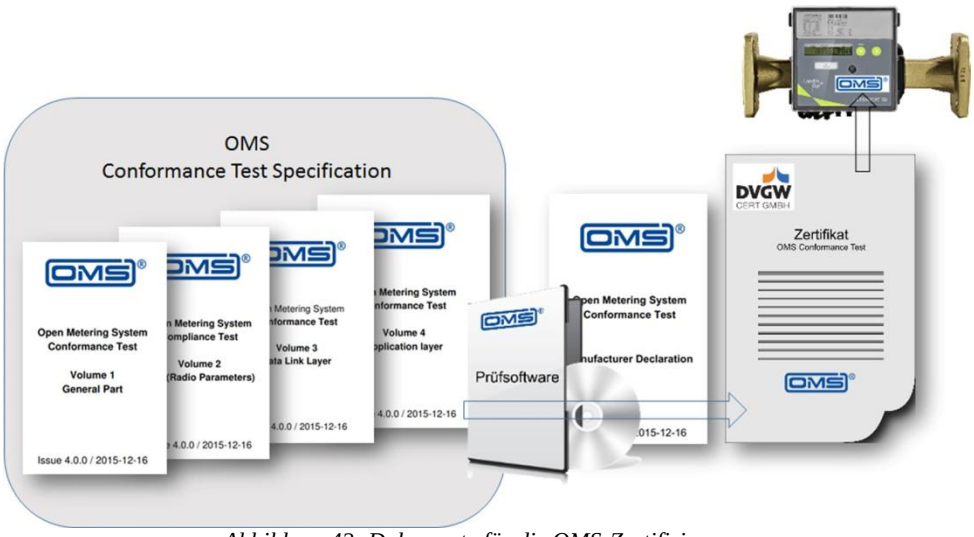

Abbildung 42: Dokumente für die OMS-Zertifizierung

Jeder Hersteller kann seine Geräte anhand der definierten OMS-Conformance-Tests überprüfen. Als Hilfsmittel steht ein Conformance-Test-Tool zur Verfügung [15].

Abbildung 43: Das OMS-Zeichen

Mit den Prüfprotokollen und der Herstellererklärung (Manufacturer Declaration) kann der Hersteller sein Produkt bei einer zugelassenen Zertifizierungsstelle einreichen (z.B. DVGW Cert GmbH). Nach bestandener Prüfung und Zertifizierung darf auf dem Gerät das OMS-Zeichen (Abbildung 43) angebracht werden. Das garantiert dem Anwender die Einhaltung der OMS-Spezifikation. Das Gerät kann ohne weitere Prüfung in ein Gesamtsystem eingebunden werden [16].

10 Das Mandat M/441 der Europäischen Kommission

Mit dem Mandat M/441 Smart Metering hat die Europäische Kommission die europäischen Standardsetzer

- CEN – European Committee for Standardization,
- CENELEC – European Committee for Electrotechnical Standardization
- ETSI – European Telecommunications Standards Institute

im Jahr 2009 beauftragt, ein interoperables Kommunikationssystem für Smart Metering in Europa zu normen [17]. Vom CEN wurde die EN 13757 eingebracht. Die ausführende Smart Metering Co-Ordination Group (SMCG) hat unter den beteiligten Technischen Komitees von CEN und CENELEC eine gegenseitige Anerkennung entsprechender Normen bewirkt. Das heißt, Elektrizitätszähler mit einer Kommunikation nach EN 13757 gelten als normkonform nach CENELEC.

Damit ist die Normenreihe EN 13757, in die die OMS-Spezifikation eingeflossen ist, die einzige Kommunikationsnorm für Zähler und verwandte Geräte, die Anwender in die Lage versetzt, Zähler aller Medien wirtschaftlich mit einem Kommunikationssystem zu erfassen.

11 Gewerke-übergreifende Systeme

Insbesondere beim industriellen Einsatz von OMS-Technik zur Realisierung eines Energiemanagements nach der Europäischen Norm EN 50001 geht es nicht nur um das Messen des Verbrauchs an Energie- und Stoffströmen wie elektrischer Energie, Gas, Wasser, Wärme, Kälte und Druckluft, sondern auch um die damit verbundenen Steuerungs- und Regelungsprozesse, wie dies u.a. in dem White Paper der KNX Association dargestellt ist [18].

Die KNX Association ist Gründungsmitglied der OMS-Group. Ein Umstand, der dazu beitrug, die Zusammenarbeit zwischen den beiden Feldbussystemen (M-Bus/OMS und KNX) relativ einfach voranzutreiben. So stimmt der Physical Layer des wireless M-Bus im 868MHz Band (S-Mode) und des KNX RF überein.

Auf der Protokollebene ist die Kooperation beider Systeme über die Norm EN 50491-11 geregelt [19].

Diese Brücke ist weiterhin für die Information der Letztverbraucher über ihren Energiekonsum von Interesse, wenn Home- oder Gebäudeautomationssysteme Displays in den Wohnungen haben, die den aktuellen Zustand der Heizungs-, Lüftungs- oder Kühlsysteme darstellen und mit denen Einstellungen vorgenommen werden können.

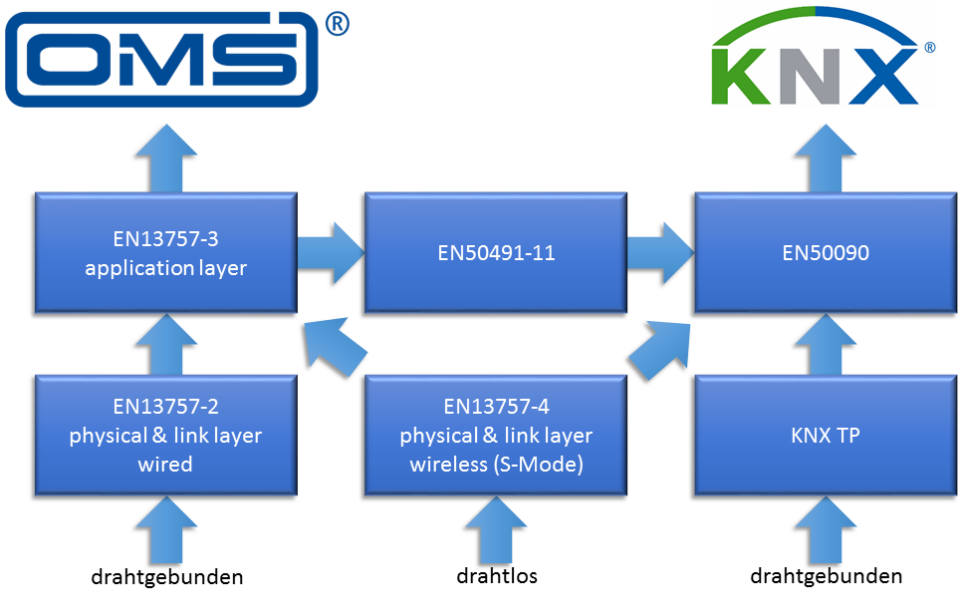

Abbildung 44: Informationstransfer nach EN50491-11 zwischen OMS und KNX

12 Die Kosten-Nutzen-Analyse für Wärme und Strom

Oben wurde bereits diskutiert, dass in der KNA und im Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende Einsparpotenziale berechnet wurden. Auf deren Basis sind dann die Kostenobergrenzen für die Messsysteme festgelegt worden. Bisher gibt es allerdings keinen Lösungsansatz, diesen berechneten Nutzen wirklich erreichen zu können. Ein intelligentes Messsystem, das dazu verwendet wird, jährlich einmal eine Verbrauchsabrechnung zu erstellen, hat die gleiche Wirkung wie der gute alte schwarze Ferraris-Elektrozähler. Der Letztverbraucher hat keinen Nutzen.

Im statistischen Jahrbuch erfährt man, dass in Deutschland ein Vierpersonenhaushalt im Durchschnitt mehr als 70% der Energiekosten für Wärme und Warm-

wasser ausgibt. Daraus folgt der logische Schluss, dass alle Energiearten in die KNA einbezogen werden sollten, denn dann rechnet sich der „Energie Smiley“ wieder – und ganz nebenbei leistet jeder Haushalt seinen Beitrag zur CO_2-Einsparung. Hier kommen wieder die Bündelangebote des Gesetzes zur Digitalisierung der Energiewende ins Gespräch.

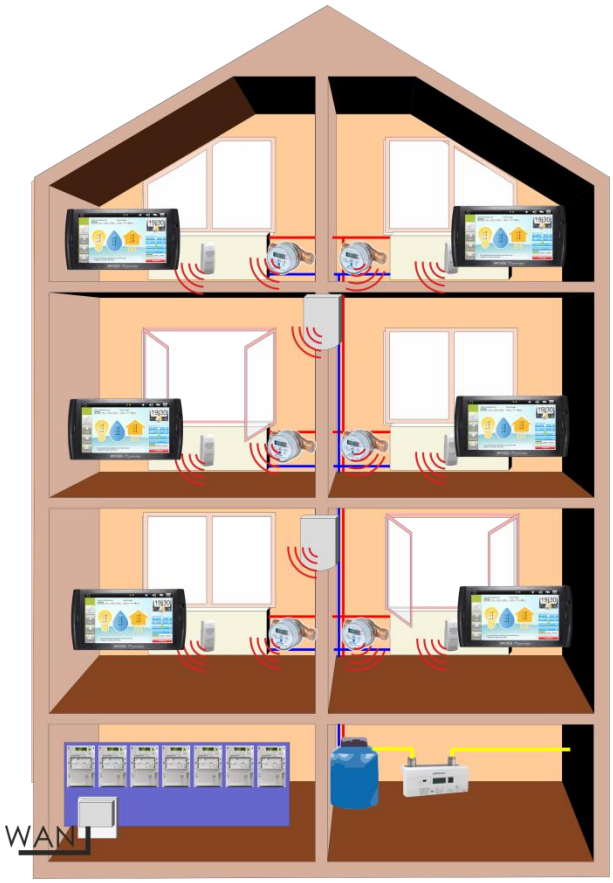

Abbildung 45: Systemtechnik im Wohnhaus

Was gehört zu einem solchen Kommunikations- und Informationssystem? (s.a. Abbildung 45)

- Messgeräte für die Erfassung aller Verbrauchsdaten für das Haus und alle Wohnungen (Strom, Kalt- und Warmwasser, Heizung und ggf. Gas).

- Ein Kommunikationsstandard, sodass die Verbrauchsdaten aller Messgeräte in einem System erfasst werden können: die OMS-Spezifikation.

- Ein Kommunikationssystem mit Repeatern, welches die Übertragung der Daten aller Messgeräte im Haus auch über größere Entfernungen zu dem zentralen Sammelpunkt, dem Gateway, ermöglicht. Diese Repeater sind in der OMS-Spezifikation beschrieben.

- Ein Multi Utlity Gateway (Abbildung 35), das der Technischen Richtlinie BSI TR 03109 entspricht und mindestens 120 Verbrauchsmessgeräte verarbeiten kann.

- Informationseinheiten für jede Wohnung, auf denen die aktuellen Verbrauchswerte und entsprechende Auswertungen und Vergleiche in ansprechender Weise präsentiert werden. Das können Displays sein, die z.B. vom Hauseigentümer oder Hausverwalter bereitgestellt werden. Das können auch persönliche Smartphones oder Tabletts bzw. Computer sein, für die entsprechende Apps verfügbar sind. In der hier durchgeführten Kostenberechnung wurde die teuerste Variante verwendet: ein Wohnungs-Display, wie es in der KNA vorgesehen war.

- Ein weiterer Kommunikationskanal im Haus, über den die Informationen zu den Informationseinheiten in die Wohnungen übertragen werden. Das kann ein hauseigenes WLAN sein oder ein öffentliches Netz wie z.B. DSL, GSM oder LTE.

- Eine Informationsverarbeitungseinheit, die alle Verbrauchswerte empfängt und die persönlichen Webseiten für die einzelnen Haushalte aufbereitet und bereitstellt. Das kann ein kleiner Server im Haus sein, der die Daten aus dem Gateway über die HAN-Schnittstelle empfängt, oder ein zentraler Server für die gesamte Wohnungsgesellschaft.

In der Tabelle 6 sind die Kosten pro WE für die Komplettausstattung von Einfamilienhäusern (EFH), Zweifamilienhäusern (ZFH) und unterschiedlich großen Mehrfamilienhäusern (MFH) berechnet. Die einzelnen Kosten wurden der KNA [5] sowie dem Kurzgutachten des ITG Dresden [8] entnommen. Bei den Messgeräten sind in dieser Aufstellung nur die Mehrkosten durch die Kommunikationssysteme enthalten, denn es wird davon ausgegangen, dass die Messgeräte vorhanden sind und alle Verbräuche gemessen werden.

Berechnung der Kosten für intelligentes Kommunikations- und Informationssystem

Quellen: Ernst &Young : Kosten-Nutzen-Analyse

ITG Dresden: Kurzgutachten Beitrag intelligenter Messsysteme für Strom, Gas und Wärme zur CO2-Minderung

				EFH	ZFH	MFH klein	MFH mittel	MFH groß
			Anzahl WE	1	2	6	12	40
			Zähler pro WE	2	3	8	8	8
			Anzahl Router pro Haus	0	0	1	2	6
			Anzahl Gate-way pro Haus	1	1	1	1	3
	Kosten	Abschrei-bungs-dauer	Kosten p.a.					
Smart Meter Gateway (mit Sicherheitsmodul und Kommunikationsmodul ohne Messeinrichtung)	95,00 €	13	7,31 €	7,31 €	3,65 €	1,22 €	0,61 €	0,55 €
Mehrkosten Anbindung intelligenter Gaszähler oder Wärmemengenzähler	20,00 €		20,00 €	20,00 €	10,00 €	3,33 €	1,67 €	0,50 €
Anbindung Submetering	60,00 €	13	4,62 €	- €	2,31 €	0,77 €	0,38 €	0,12 €
Router/Repeater im Haus	70,00 €	13	5,38 €	- €	- €	0,90 €	0,90 €	0,81 €
Einbaukosten Zähler 30 - 100 EUR	50,00 €	13	3,85 €	3,85 €	3,85 €	3,85 €	3,85 €	3,85 €
Einbaukosten Gateway+ (in einer Anfahrt): Stromzähler herausgerechnet	25,00 €	13	1,92 €	1,92 €	0,96 €	0,32 €	0,16 €	0,14 €
Gerätekosten Inhouse Display	40,00 €	13	3,08 €	3,08 €	3,08 €	3,08 €	3,08 €	3,08 €
Einbaukosten Inhouse Display 15 - 25 EUR	20,00 €	13	1,54 €	1,54 €	1,54 €	1,54 €	1,54 €	1,54 €
Variable IT-Wartungs- und Betriebskosten in Abhängigkeit der installierten Zähl	0,5 Euro p.a. und Zähler		0,50 €	1,00 €	1,50 €	4,00 €	4,00 €	4,00 €
Übertragungskosten GPRS/LTE	25,00 €		25,00 €	25,00 €	12,50 €	4,17 €	2,08 €	1,88 €
Preis pro Ablesung	0,05 €	365 Mal	18,25 €	18,25 €	9,13 €	3,04 €	1,52 €	0,46 €
Instandhaltungskosten für intelligente E-Zähler	1 EUR/Zähler		1,00 €	1,00 €	1,00 €	1,00 €	1,00 €	1,00 €
Instandhaltungskosten für SMGW	1 EUR/Gateway		1,00 €	1,00 €	0,50 €	0,17 €	0,08 €	0,08 €
Instandhaltungskosten für Kommunikationsmodule	1 EUR/Modul		1,00 €	1,00 €	0,50 €	0,17 €	0,08 €	0,08 €
Kosten für unterjährige Verbrauchsanalyse			14,28 €	14,28 €	14,28 €	14,28 €	14,28 €	14,28 €
Mehrkosten Miete HKV-E und WW-Zähler mit Fernablesung				- €	6,00 €	5,20 €	5,50 €	5,90 €
			Summe	99,22 €	70,79 €	47,02 €	40,73 €	38,24 €
Summe jährliche Kosten ohne Zähler und Messstellenbetrieb	pro WE		gerundet	99,30 €	70,80 €	47,10 €	40,80 €	38,30 €

Tabelle 6: Kostenberechnung der Systemtechnik bezogen auf je eine Wohnung[39]

Mit der Verteilung der Kosten für den Messstellenbetrieb und der Mehrfachnutzung der Technik durch alle Verbrauchsmessungen ergeben sich drastische Reduzierungen der Kosten pro Wohnung in Mehrfamilienhäusern.

MFH 12 WE		EnEV 2009	EnEV2002	WSchVo95	WSchVO78
Kosten					
Wärme + WW	€/a	442,00 €	552,00 €	662,00 €	911,00 €
Haushaltsstrom	€/a	783,00 €	783,00 €	783,00 €	783,00 €
KommSystem	€/a	40,80 €	40,80 €	40,80 €	40,80 €
Gesamtkosten	€/a	1.265,80 €	1.375,80 €	1.485,80 €	1.734,80 €
erforderliche Einsparung zur Kompensation der Kosten des KommSystems bezogen auf die Gesamtkosten					
Haushaltstrom unter 3000kWh/a	10,00 €	1,28%	1,28%	1,28%	1,28%
Wärme + WW	30,80 €	6,97%	5,58%	4,65%	3,38%

Tabelle 7: Erforderliche Einsparungen für den Ausgleich der Kosten für die Kommunikations- und Informationstechnik in einem MFH mit 12 WE

Für ein mittleres Mehrfamilienhaus mit 12 Wohnungen wurden nachfolgend beispielhaft die Einsparungen errechnet, die für die Kompensation der Kosten für das Kommunikations- und Informationssystem erforderlich sind (Tabelle 7). Aus dem Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende kann man entnehmen, dass bei einem Jahresstromverbrauch von 2000 bis 3000 kWh ein Stromkosteneinsparpotenzial von 10€ errechnet wurde. Um die Kosten für das Kommunikations- und Informationssystem in Höhe von 40,80€ auszugleichen, müssen also abzüglich der 10€ für den Strom noch 30,80€ durch einen geringeren Verbrauch von Wärme und Warmwasser eingespart werden. Das ist bei einem Haus nach EnEV2009 ca. 7%, nach WSchVO78 ca. 3,4% der Energiekosten (Tabelle 7).

Mit der gleichen Systematik kann man Abschätzungen zu dem Kosten-Nutzen-Verhältnis des gesamten Wohnungsbestands Deutschlands durchführen. Mit den Verbrauchsdaten der Wohnungen (Wärme, Warmwasser und Strom) aus der ITG Studie [8] ergeben sich die in Abbildung 46 angegebenen Werte. Dort sieht man, dass bei einer durchschnittlichen Einsparung von 5% im Bereich der Wärme der Nutzen eines beschriebenen Kommunikations- und Informationssystems die Kosten übersteigt.

[39] Die verwendete Kosten- und Preisbasis wurde der KNA von 2013 entnommen [5]. Dort wurden aus der breiten Spanne der aus unterschiedlichen Quellen stammenden Preise gemittelt und auf erwartete Kosten bei einem Roll Out hochgerechnet.

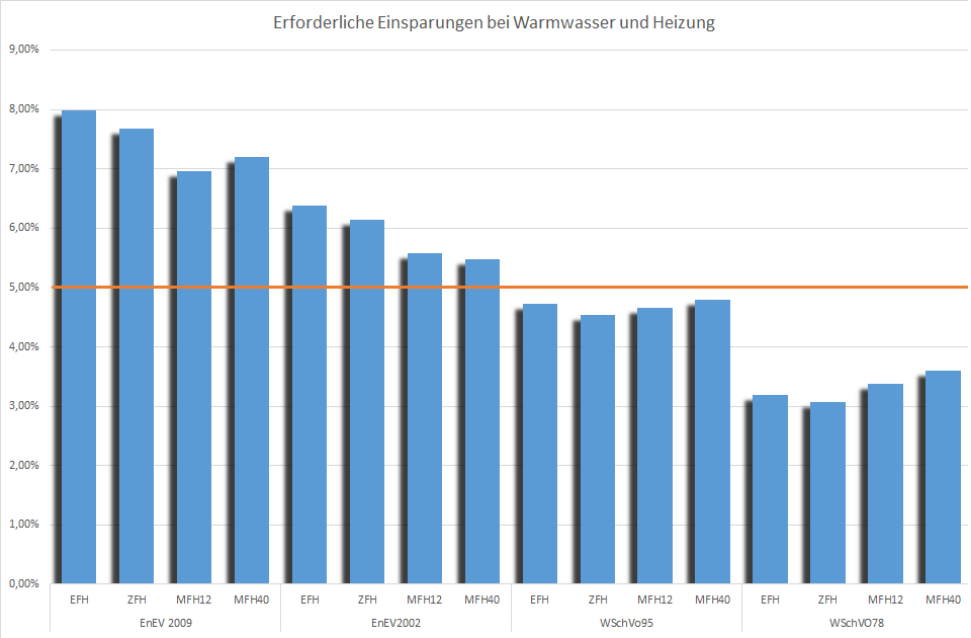

Abbildung 46: Erforderliche Einsparungen bei Warmwasser und Heizung, um die Kosten des Kommunikations- und Informationssystems auszugleichen (berechnet für Erdgas-Kunden)

13 Das Bewusstsein einschalten

Abbildung 47: Smiley im Straßenverkehr

Manch einer hat beim Autofahren schon auf die Bremse getreten, wenn ihn ein grimmiger Smiley angesehen hat (Abbildung 47). Verkehrspsychologen behaupten, das wirkt.

Warum sollte man nicht auch von einem lächelnden Energie Smiley in der Wohnung begrüßt werden, wenn man sparsam mit seiner Energie umgegangen ist? Im ersten Entwurf der KNA war das vorgesehen, wurde aber in der Variantenrechnung gestrichen, weil es unter den Vorgaben nicht bezahlbar ist. Die Vorgaben lauteten: Nur Strom.

Im vorherigen Abschnitt wurde gezeigt, dass der Nutzen eines entsprechenden Systems durchaus die Kosten übersteigen kann, wenn nicht nur der Strom betrachtet wird.

Eine Reihe von Untersuchungen haben erstaunliche Ergebnisse gezeigt, wenn Bewohner häufig informiert werden und bewusst mit Energie umgehen.

Mehrere EU-Projekte untersuchten den Einfluss von Informationssystemen auf das Verbrauchsverhalten. So zeigte das eSESH Projekt, bei dem in Europa 3.722 Wohnungen ausgerüstet und bewertet wurden, eine Einsparung von durchschnittlich 5,9% bei Strom, 7,4% bei Warmwasser, 5,9% bei Kaltwasser. Die Einsparungen bei der Heizung waren geografisch bedingt sehr unterschiedlich und lagen zwischen 14% und 32% [20].

Bei dem Projekt SHOWE-IT, das mit dem eSESH vergleichbar ist, wurden im Süden von Stockholm beispielsweise knapp 34% Heizenergie eingespart (Abbildung 48) [21].

showe-it http://showe-it.eu/

Results - Sweden

- Group scale

	Sweden (group scale)			
	Cold water	Electricity	Heat	Hot water
Simple comparison	7,1%	5,6%	23,6%	-8,4%
Linear regression	17,9% +/- 27,4	11,2% +/- 16,9	33,9% +/- 10,7	0,9% +/- 23,3
Kriging	18,7% +/-3,7	10,9% +/- 14,0	33,7% +/- 7,6	4,8% +/-4,3

Abbildung 48: SHOWE-IT Ergebnis Schweden

In dem Management Summary zum Modellvorhaben „Bewusst heizen, Kosten sparen“ der dena heißt es: „Informierte Mieter (Teilnehmer und Wirkungstester) benötigen im Durchschnitt 16 % weniger Energie als uninformierte Mieter (Kontrollgruppe). Die realisierten Einsparungen sind dabei in den meisten Mieterhaushalten nachhaltig.“ [22]

Das sind drei Beispiele, die Mut zur Umsetzung eines Bündelangebotes machen.

Nebenbei: Der Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) hat errechnet, dass die Absenkung der Raumtemperatur um 1 Grad Celsius eine Reduzierung der Heizkosten von 6% ergibt [23].

14 CO_2-Einsparung kostenlos

In ausführlichen Berechnungen der ITG Studie [8] wird nachgewiesen, dass durch den bewussten Umgang mit Energie in Wohnungen unter der Voraussetzung, dass der Nutzen die Kosten übersteigt, Energie im Bereich der Elektrizität und der Wärme eingespart werden kann. Damit verbunden ist gleichzeitig die Reduzierung des CO_2-Ausstoßes in Wohngebäuden.

Unter der Annahme, in den Haushalten könnten 1,8% elektrische Energie und 5% Wärmeenergie (Heizung und Warmwasser) eingespart werden, so ergeben sich nach der ITG Studie die Werte in Tabelle 8.

	Alle Haushalte in allen Gebäudearten	Haushalte in Mehr-familienhäusern	Haushalte in allen Gebäudearten ausgenommen Häuser nach EnEV 2002 und EnEV2009
Einsparung Wärme und Warmwasser	25.600 GWh/a	14.800 GWh/a	24.800 GWh/a
Einsparung Haus-haltsstrom	1.300 GWh/a	800 GWh/a	1.300 GWh/a
Einsparung CO_2-Emission	6,6 Mio. t/a	3,8 Mio. t/a	6,4 Mio. t/a

Tabelle 8: Einsparpotenzial für Strom und Wärme und der damit verbundenen CO_2-Einsparung

Gleichzeitig werden in der Studie CO_2-Vermeidungskosten berechnet, um diese Einsparungen in anderen Bereichen der Volkswirtschaft erreichen zu können. Diese Kosten würden hier nicht benötigt und könnten z.B. in Form von Fördermaßnahmen ausgegeben werden, um Bündelangebote mit dem Hintergrund der CO_2-Einsparung zu initiieren.

15 Erreichen wir 20-20-20 bis 2020?

Da nach derzeitigen Kenntnissen die Ziele bei der Energieeinsparung und bei der Reduzierung des CO_2-Ausstoßes bis zum Jahr 2020 in Deutschland nicht erreicht werden, gibt es mehrere Initiativen der Bundesregierung. Das Bundeswirtschaftsministerium hat die „Energiewende im Gebäudebereich“ verkündet und sein Augenmerk bei der Energieeffizienz in Gebäuden inzwischen „hinter die Wände“ verlegt (Abbildung 49) [24].

Die im Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende möglichen Bündelangebote stellen eine gute Möglichkeit dar, diesen Zielen wieder ein Stück näher zu kommen.

Abbildung 49: Energiewende im Gebäudebereich – eine Initiative des BMWi

Die Kosten-Nutzen-Analyse von Ernst & Young berechnete die kostengünstigste Version für den Einsatz von intelligenten Messsystemen. Da man sich nur auf den Strombereich beschränkt hat, wurde im Wohnbereich ein großer Teil der Haushalte ausgeschlossen. Deren Energieeinsparpotenziale können mit diesem eingeschränkten Ansatz nicht gehoben werden.

Werden intelligente Zähler für alle Sparten im Haus und in den Wohnungen mithilfe des interoperablen herstellerunabhängigen OMS-Kommunikationssystems zu einem Bündel zusammengeschnürt, so könnten diese im Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende genannten Bündelangebote dazu beitragen, in Deutschland die CO_2-Emission um bis zu 6,4 Mio. t pro Jahr zu reduzieren, 24.800 GWh Wärmeenergie und 1.300 GWh Haushaltsstrom pro Jahr zu sparen.

Literaturverzeichnis

[1] „20-20-20 bis 2020“: EP debattiert Klimaschutzpaket Pressedienst der EU 20080122IPR19355

[2] Erneuerbare Energien auf einen Blick

http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Erneuerbare-Energien/erneuerbare-energien-auf-einen-blick.html
[3] Gesetzentwurf der Bundesregierung Entwurf eines Gesetzes zur Digitalisierung der Energiewende, Drucksache 18/7555 vom 17.2.2016
[4] Dritte Binnenmarktrichtlinie Strom und Gas der Europäischen Union (Richtlinie 2009/72/EG)
[5] Kosten-Nutzen-Analyse für einen flächendeckenden Einsatz intelligenter Zähler im Auftrag des BMWi vom Juli 2013, Ernst & Young
[6] RICHTLINIE 2006/32/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 5. April 2006 über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen und zur Aufhebung der Richtlinie 93/76/ EWG des Rates
[7] Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz - EnWG) vom 24.11.2011
[8] Kurzgutachten Beitrag intelligenter Messsysteme für Strom, Gas und Wärme zur CO_2-Minderung, ITG Dresden 2015
[9] Schutzprofil für die Kommunikationseinheit eines intelligenten Messsystems für Stoff- und Energiemengen (SMGW-PP) BSI 2014 https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/DigitaleGesellschaft/SmartMeter/SmartMeterGateway /Schutzprofil_Gateway/schutzprofil_smartmetergateway_node.html
[10] BSI TR-03109 Technische Vorgaben für intelligente Messsysteme und deren sicherer Betrieb https://www.bsi.bund.de/DE/Publikationen/TechnischeRichtlinien/tr03109/index_htm.html
[11] Open Metering System Specification http://oms-group.org/download4all/
[12] OMS-Spec Volume 2: Primary Communication Issue 4.0.2
[13] OMS Specification Vol. 2 Primary Communication 4.0.2, Anhang O: Alternative Physical Layers for OMS
[14] http://oms-group.org/mitglieder/
[15] http://oms-group.org/fileadmin/pdf/AG3/2015/OMS%20CT%20V3%20RELEASE/Order_Form_OMS_Conformance_Test_Tool_digital.pdf
[16] Nutzungsregeln für das OMS-Zeichen, http://oms-group.org/fileadmin/pdf/Vereinszeichensatzung_09_2015_09_13.pdf
[17] M/441-Normungsauftrag an CEN, CENELEC und ETSI auf dem Gebiet der Messgeräte mit dem Ziel der Entwicklung einer offenen Architektur für Verbrauchszähler unter Einbeziehung von Interoperabilität ermöglichenden Kommunikationsprotokollen, Brüssel, den 12. März 2009
[18] White Paper: Realisierung von steuerbaren lokalen Systemen basierend auf EN 50090, KNX Association, November 2013
[19] Allgemeine Anforderungen an die Elektrische Systemtechnik für Heim und Gebäude (ESHG) und an Systeme der Gebäudeautomation (GA) - Teil 11: Smart Metering - Applikationsbeschreibung - Einfache externe Verbrauchsanzeige

[20] Saving Energy in Social Housing with ICT, EU Project eSESH, http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/i_n_e/esesh_D7.2.pdf
[21] HOW TO USE THE SHOWE-IT RESULTS IN YOUR ORGANIZATION http://showe-it.eu
[22] Modellvorhaben Bewusst heizen, Kosten sparen; Deutsche Energie Agentur GmbH, Oktober 2015
[23] Durch Senken der Raumtemperatur Heizkosten einsparen http://www.derwesten.de/wohnen/durch-senken-der-raumtemperatur-heizkosten-einsparen-id8438411.html
[24] Energiewende im Gebäudebereich http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/gebaeudeeffizienz.html