

CLIMATE CHANGE

34/2021

# Erkenntnisse zu Umweltwirkungen von Smart Metern

Erfahrungen aus dem Einsatz von Smart Metern in  
Europa



CLIMATE CHANGE 34/2021

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für  
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3718 41 112 0

FB000535/ZW

## **Erkenntnisse zu Umweltwirkungen von Smart Metern**

Erfahrungen aus dem Einsatz von Smart Metern in Europa

von

Swantje Gährs, Julika Weiß, Hannes Bluhm, Elisa Dunkelberg,  
Jannes Katner  
Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

## Impressum

### Herausgeber

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
[buergerservice@uba.de](mailto:buergerservice@uba.de)  
Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

[t/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

### Durchführung der Studie:

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) GmbH, gem.  
Potsdamer Str. 105  
10785 Berlin

### Abschlussdatum:

Februar 2021

### Redaktion:

Fachgebiet V I.2 Energiestrategien und -szenarien  
David Pfeiffer

Fachgebiet V 1.3 Erneuerbare Energien  
Matthias Futterlieb

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Mai 2021

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autor\*innen.

### **Kurzbeschreibung: Erkenntnisse zu Umweltwirkungen von Smart Metern**

Der europäische Smart-Meter-Rollout wird von den Mitgliedsstaaten sehr heterogen umgesetzt. Die Publikation legt dar, wo die einzelnen Mitgliedsstaaten aktuell stehen und welche Erfahrungen daraus für den Rollout in Deutschland aus ökologischer Sicht zu ziehen sind. Der Fokus liegt dabei auf dem Einbau von Smart Metern in Privathaushalten und deren Beitrag zur Umweltbelastung oder -entlastung sowie die damit verbundenen Potenziale in der Klimaschutzwirkung.

Dabei sind die Erkenntnisse, die sich aus den Mitgliedsstaaten der EU ziehen lassen durch eingeschränkte Vergleichbarkeit und fehlende wissenschaftliche Auswertungen zur ökologischen Auswertung begrenzt. Daher wurden im Rahmen der Analyse auch eigene Berechnungen zu den ökologischen Effekten von Smart Metern auf Haushaltsebene sowie auf Ebene des gesamten Smart-Meter-Rollouts in Haushalten durchgeführt.

Zentrale Aussage der Analyse ist, dass der Smart-Meter-Rollout nicht automatisch zu positiven Umwelteffekten führt. Für eine Nettoeinsparung ist insbesondere ein differenziertes und verständliches Feedback an die Nutzer\*innen zentrale Voraussetzung. Ein optimierter Ressourcen- und Energieeinsatz zum Betrieb und die Lebensdauer der Geräte sind ebenfalls notwendig, um die positiven Effekte zu heben.

### **Abstract: Experience with smart meters in Europe**

The European smart meter rollout is being implemented very heterogeneously by the member states. The publication presents the current status of the individual member states and what experiences can be drawn from this for the rollout in Germany from an ecological point of view. The focus is on the installation of smart meters in private households and their contribution to environmental pollution or relief, as well as the associated potential for climate protection.

The findings that can be drawn from the EU member states are limited by restricted comparability and a lack of scientific evaluations for ecological assessment. Therefore, within the scope of the analysis, own calculations on the ecological effects of smart meters on household level as well as on the level of the entire smart meter rollout in households were carried out.

The central statement of the analysis is that the smart meter rollout does not automatically lead to positive environmental effects. A differentiated and comprehensible feedback to the users is a central prerequisite for a net saving. An optimised use of resources and energy for operation and the lifespan of the devices are also necessary to leverage the positive effects.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	7
Tabellenverzeichnis .....	7
Abkürzungsverzeichnis.....	8
1 Einleitung.....	9
2 Stand der Implementierung von Smart Metern in den EU-Mitgliedstaaten .....	11
2.1 Kosten-Nutzen-Analyse.....	11
2.2 Quantitative Ziele und Stand des Ausbaus .....	12
2.3 Qualitative Ziele .....	14
2.4 Erfahrungsberichte zum Smart Meter Ausbau .....	15
3 Aktuell umgesetzte Anwendungen in den EU-Mitgliedstaaten .....	17
4 Erkenntnisse zu Umwelteffekten durch die Einführung von Smart Metern.....	20
4.1 Direkte Effekte des Smart Meters.....	20
4.2 Indirekte Effekte auf Ebene der Verbraucher*innen.....	21
4.3 Indirekte Effekte auf Ebene des Energiesystems.....	22
4.4 Bewertung von Umwelteffekten von Smart Metern für verschiedene Haushalte in Deutschland .....	24
4.5 Abschätzung des kumulierten Energieaufwands für den Smart Meter Rollout in Deutschland .....	28
5 Fazit für den Smart-Meter-Rollout in Deutschland.....	32
6 Quellenverzeichnis .....	34
A Anhang .....	37

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse für einen vollständigen Rollout von Smart Metern (tlw. überarbeitet 2018).....	12
Abbildung 2:	Zielzeitraum für 80 %-igen Ausbau von Smart Meter in den Jahren 2013 und 2018 .....	13
Abbildung 3:	Ausbauzahlen von Smart Metern in den EU-Mitgliedstaaten (Stand 2018) .....	14
Abbildung 4:	Verbreitung von Smart Meter Funktionen .....	18
Abbildung 5:	Direkte Effekte beim Einbau eines Smart Meters aufgeteilt nach Kategorien .....	27
Abbildung 6:	Bandbreiten der direkten Effekte beim Einbau eines Smart Meters .....	27
Abbildung 7:	Gesamteffekte für Smart Meter bei unterschiedlichen jährlichen Stromverbräuchen.....	28
Abbildung 8:	Kumulierter Energieaufwand für den Smart Meter Rollout im Base Case hochgerechnet auf das Jahr 2022 .....	30
Abbildung 9:	Jährlicher Nettoeffekt des kumulierten Energieaufwands für drei Szenarien Base Case, Best Case und Worst Case.....	31

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Funktionale Umsetzung der gesetzlichen Anforderungen bei zertifizierten Smart Metern für Letztverbraucher in Deutschland.....	19
Tabelle 2:	Angenommene Lebensdauern in Kosten-Nutzen-Analysen für Smart Meter .....	20
Tabelle 3:	Angenommene Einsparungen und Verschiebungen im Rahmen der Kosten-Nutzen-Analysen für Smart Meter .....	23
Tabelle 4:	Materialien- und Energieeinsatz eines Smart Meters und eines Ferraris Zählers ..	24
Tabelle 5:	Sensitivitäten zur Bewertung der Umweltwirkung von Smart Metern.....	26
Tabelle 6:	Kennzahlen zum Smart Meter Rollout im Rolloutszenario Plus.....	29
Tabelle 7:	Vorgeschlagene Positionen und Variablen für die Kosten-Nutzen-Analyse .....	37
Tabelle 8:	Ausbauzahlen von Smart Metern in den EU-Mitgliedstaaten (Stand 2018) .....	38
Tabelle 9:	Verbreitung von Smart Meter Funktionen .....	39
Tabelle 10:	Angaben zu Lebensdauer und Stromverbrauch in technischen Datenblättern .....	40
Tabelle 11:	Gesamteffekte für Smart Meter bei unterschiedlichen jährlichen Stromverbräuchen.....	41

## Abkürzungsverzeichnis

<b>BMWi</b>	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
<b>BSI</b>	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik
<b>CLS</b>	Controllable Local System
<b>EU</b>	Europäische Union
<b>GWh</b>	Gigawattstunde
<b>iMSys</b>	Intelligentes Messsystem
<b>kWh</b>	Kilowattstunde
<b>MessEV</b>	Mess- und Eichverordnung
<b>Mio.</b>	Millionen
<b>RLM</b>	Registrierende Lastgangmessung
<b>SMGW</b>	Smart-Meter-Gateway
<b>TWh</b>	Terrawattstunde
<b>vgl.</b>	vergleiche

## 1 Einleitung

Im Jahr 2009 hat die Europäische Union im Rahmen des EU-Binnenmarktpakets Energie (Richtlinie 2009/72/EG) den europäischen Smart Meter Rollout zum Ziel erklärt. Damit einher ging die Verpflichtung zur Durchführung einer Kosten-Nutzen-Analyse für einen vollständigen Rollout, die bis zum September 2012 durchzuführen war (vgl. 2009/72/EG, Anhang I, Nr. 2). Im März 2012 hat die EU Kommission zur Vorbereitung der Einführung von intelligenten Messsystemen Empfehlungen veröffentlicht (2012/148/EU), in denen auch das Vorgehen bei der Kosten-Nutzen-Analyse beschrieben ist. Die Richtlinie sieht zudem vor, dass bei einer positiven Kosten-Nutzen-Bewertung „mindestens 80 % der Verbraucher bis 2020 mit intelligenten Messsystemen“ (2009/72/EG, Anhang I, Nr. 2) auszustatten sind. In Nummer 55 der Begründung zur EU-Binnenmarktrichtlinie 2009/72/EG heißt es: „Die Einführung intelligenter Messsysteme sollte nach wirtschaftlichen Erwägungen erfolgen können. Führen diese Erwägungen zu dem Schluss, dass die Einführung solcher Messsysteme nur im Falle von Verbrauchern mit einem bestimmten Mindeststromverbrauch wirtschaftlich vernünftig und kostengünstig ist, sollten die Mitgliedstaaten dies bei der Einführung intelligenter Messsysteme berücksichtigen können“. Bei einer negativen Bewertung für einen vollständigen Smart Meter Rollout kann daher, wie in Deutschland durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie beschlossen, auch ein eingeschränkter Rollout stattfinden. Im Fall von Deutschland wurde die Grenze für den jährlichen Mindeststromverbrauch, ab dem eine Einführung verpflichtend ist, zunächst auf mehr als 6.000 kWh festgelegt. Das betrifft damit ca. 10 % der Haushaltskunden (vgl. Ernst&Young 2013), die nach der Zertifizierung der ersten drei Smart-Meter-Gateways im Jahr 2020 bis 2032 mit einem Smart Meter ausgerüstet werden.

Die Regelungen zum EU-weiten Rollout der Smart Meter wurden im EU-Winterpaket in der Richtlinie 2019/944 und in der Energie-Effizienz-Richtlinie 2018/2002 aufgegriffen und gefestigt. In den Artikeln 19 bis 21 sowie Anhang II werden darin die Ziele beim Smart Meter Rollout konkretisiert und Smart Meter als Neubaustandard etabliert (Artikel 19), Kundenrechte gestärkt und Funktionen festgelegt (Artikel 20) und der Anspruch eines Kunden oder einer Kundin auf ein Smart Meter gefordert (Artikel 21), unabhängig vom Rolloutplan des Mitgliedstaates. Artikel 19, Abs. 1, stellt zudem die Förderung der Energieeffizienz und die Stärkung der Endkunden in den Fokus des Smart Meter Rollouts und fordert dafür, dass „Elektrizitätsunternehmen und die anderen Marktteilnehmer den Stromverbrauch optimieren, unter anderem indem sie Energiemanagementdienstleistungen anbieten, neuartige Preismodelle entwickeln und unter Wahrung der geltenden Datenschutzvorschriften der Union intelligente Messsysteme einführen, die insbesondere mit Energiemanagementsystemen für Verbraucher und intelligenten Netzen interoperabel sind“.

Die vorliegende Analyse legt den Fokus darauf, inwieweit Smart Meter in Privathaushalten einen Beitrag zur Umweltbelastung oder -entlastung leisten und welche Potenziale in der Klimaschutzwirkung mit dem Einsatz verbunden sind. Dabei werden in die Betrachtungen nicht nur die Haushalte einbezogen, die verpflichtend für den Einbau von Smart Metern vorgesehen sind, sondern auch Haushalte mit jährlichen unter 6.000 kWh. Dafür wird insbesondere auf den Erfahrungen und Untersuchungen in den europäischen Mitgliedsstaaten aufgebaut. Daneben wurden ökologische Bewertungen für den Einbau von Smart Metern in Deutschland vorgenommen, auf Ebene von einzelnen Haushalten verschiedener Größenklassen sowie auf Ebene des geplanten Smart Meter Rollouts in Deutschland insgesamt. Dabei wurden neben den direkten Effekten durch die Technologie auch literaturbasierte Stromeinsparungen berücksichtigt. Effekte auf systemischer Ebene wie Lastmanagementmöglichkeiten wurden dabei außen vor gelassen.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Rollout von Smart Metern durchaus zu einer positiven Umweltwirkung führen kann. Allerdings nur, wenn die negativen Auswirkungen der Technik möglichst gering gehalten werden und die positiven Effekte durch die Einsparungen im Haushalt gehoben werden, insbesondere durch ein differenziertes Feedback an die Haushalte. Dafür werden basierend auf den in dieser Studie dargestellten Ergebnissen zusammenfassend folgende Handlungsempfehlungen gegeben:

- ▶ Die technische Lebensdauer der Smart Meter sollte durch die Möglichkeit von Updates und angemessene Eichfristen möglichst hoch sein.
- ▶ Die Daten des Stromverbrauchs müssen den Haushalten differenziert und aufbereitet zur Verfügung stehen, um die Einsparpotenziale zu heben. Hierfür muss es ausreichend Angebote und Geschäftsmodelle geben.
- ▶ Die Haushalte müssen über den Austausch ihres Zählers informiert werden und über den Zusatznutzen, zu dem sie hierdurch Zugang haben. Hierdurch wird zusätzlich die Akzeptanz des Rollouts erhöht.
- ▶ Da eine positive Umweltwirkung auch bei Haushalten mit geringem Stromverbrauch erreicht werden kann, sollten Maßnahmen ergriffen werden, die den Rollout auch über die bisherigen Zielgruppen heraus, fördern. Dies muss in Kombination mit entsprechend differenziertem Feedback erfolgen, um die Einsparungen sicherzustellen.

## 2 Stand der Implementierung von Smart Metern in den EU-Mitgliedstaaten

In den folgenden Kapiteln wird der Stand des Smart Meter Ausbaus in den EU-Mitgliedsstaaten anhand der durchgeführten Kosten-Nutzen-Analysen sowie qualitativer und quantitativer Ziele dargestellt. Die Verwendung des Begriffs „Smart Meter“ erfolgt dabei auf Basis der aktuellen europäischen Gesetzgebung und entspricht im deutschen ungefähr dem intelligenten Messsystem. Laut der Richtlinie 2019/944 (Artikel 2(23)) bezeichnet der Ausdruck „intelligentes Messsystem“ bzw. „smart metering system“ ein „elektronisches System,

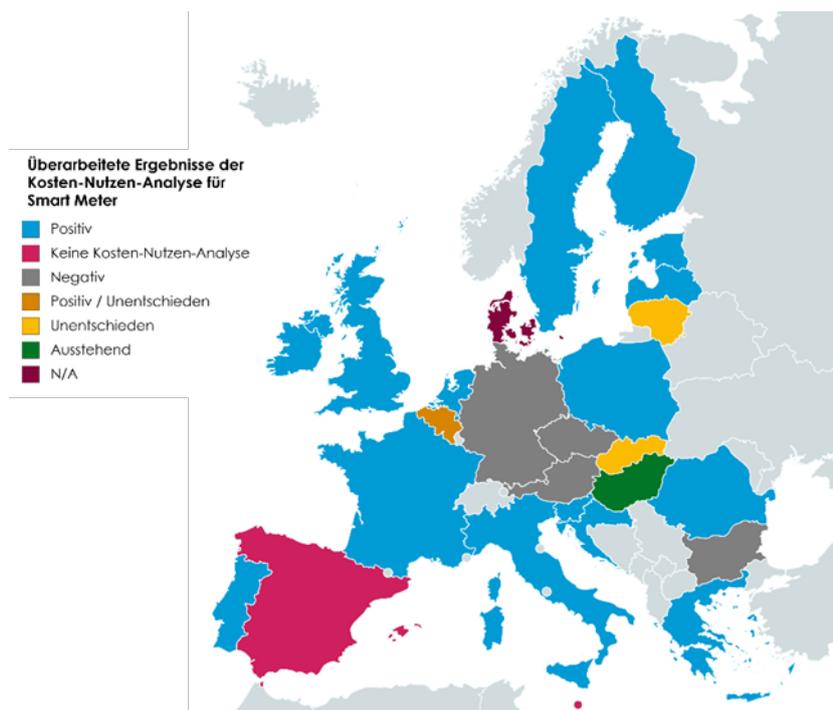
- ▶ das in der Lage ist, die in das Netz eingespeiste oder die daraus verbrauchte Elektrizität zu messen,
- ▶ das mehr Informationen als ein konventioneller Zähler liefert und
- ▶ mittels elektronischer Kommunikation Daten zu Informations-, Kontroll- und Steuerungszwecken übertragen und empfangen kann.“

Im Gegensatz dazu bezeichnet ein „konventioneller Zähler“ nach Richtlinie 2019/944 (Artikel 2(22)) „einen analogen oder elektronischen Zähler, der Daten nicht übermitteln und empfangen kann“. Eine moderne Messeinrichtung ohne Kommunikationsschnittstelle, zählt daher nach dieser Definition nicht zu den Smart Metern. Allerdings sind in der EU keine Anforderungen an die Kommunikationsschnittstelle vergleichbar mit denen des Bundesamts für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) vorausgesetzt.

### 2.1 Kosten-Nutzen-Analyse

Der überwiegende Teil der Mitgliedstaaten hat, wie durch die EU-Richtlinie 2009/72/EG gefordert, vor dem Rollout eine Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt. In der Richtlinie 2019/944 ist zudem vorgeschrieben, dass bei einer negativen Bewertung die Kosten-Nutzen-Analyse nach spätestens vier Jahren erneut durchzuführen ist (Artikel 19(5)). Der letzte verfügbare Stand zu den Ergebnissen der Kosten-Nutzen-Analyse ist vom Juli 2018. Die Ergebnisse sind in Abbildung 1 dargestellt. Demnach ist die Kosten-Nutzen-Analyse bei den meisten Mitgliedstaaten positiv oder unentschieden ausgefallen. Eine negative Bewertung für einen vollständigen Rollout erfolgte in Deutschland, Österreich, Bulgarien und in der Tschechischen Republik.

**Abbildung 1: Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse für einen vollständigen Rollout von Smart Metern<sup>1</sup> (tlw. überarbeitet 2018)**



Quelle: Eigene Darstellung mit mapchart.net nach European Commission DG Energy (2019, S. 7)

Die Unterschiede in den Bewertungen ergeben sich durch unterschiedliche Voraussetzungen der Länder in der Infrastruktur und im Energiesystem und zum Teil durch die Berücksichtigung verschiedener Investitionskosten und Betriebskosten sowie Nutzenkategorien. Im Jahr 2012 hat die Europäische Kommission hierzu in einer Empfehlung (2012/148/EU) Inputvariablen für die Kosten-Nutzen-Analyse sowie Kostenkategorien und Nutzeneffekte vorgeschlagen, die bei der Analyse Berücksichtigung finden können (vgl. Tabelle 7 im Anhang). Die Mitgliedstaaten sind jedoch nicht an diese Methodik gebunden.

Die berücksichtigten Nutzenkategorien, die im Monitoring Bericht der Generaldirektion Energie der EU-Kommission (2019, S. 34) aufgeführt sind, zeigen, dass neben Effizienzgewinnen im reinen Netzbetrieb und der Einsparungen im Wettbewerb auch ökologische Vorteile bei den Endverbraucher\*innen in die Nutzenrechnung der Mitgliedstaaten eingegangen sind (vgl. auch Tabelle 7 im Anhang). So haben 21 der 25 Mitgliedstaaten, die eine Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt haben, auch die Reduktion der Stromrechnung durch Energieeffizienz berücksichtigt (ausgenommen Wallonien (Belgien), Bulgarien, Tschechische Republik und Estland). Zusätzlich haben 15 Staaten Kosteneinsparungen durch eine CO<sub>2</sub>-Reduktion und fünf Staaten (Kroatien, Griechenland, Ungarn, Italien und Litauen) auch die Kostenreduktion durch eine Reduzierung von Feinstaub als Nutzen in die Bewertung einbezogen.

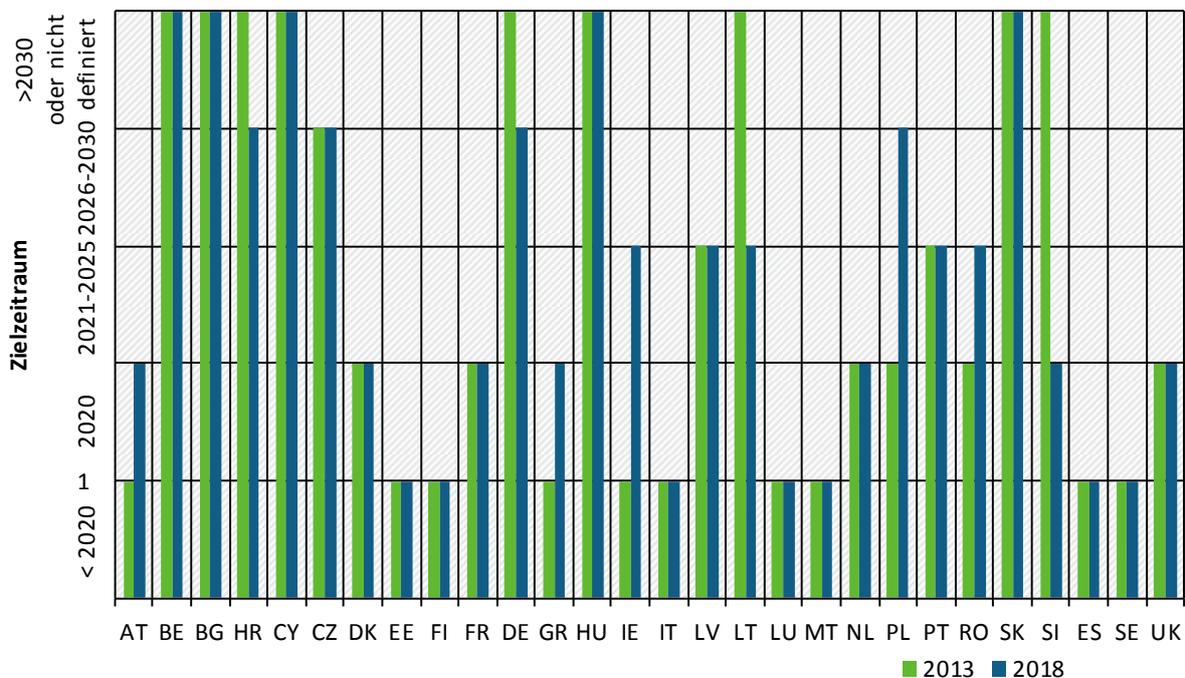
## 2.2 Quantitative Ziele und Stand des Ausbaus

Trotz der teilweise negativ ausgefallenen Analysen für einen vollständigen Rollout<sup>1</sup> plant ein Großteil der Mitgliedstaaten den von der EU Kommission vorgesehenen 80 %-igen Rollout von Smart Metern oder hat diesen schon durchgeführt. Der zeitliche Zielhorizont für den 80 %-igen

<sup>1</sup> Unter einem vollständigen Rollout wird eine Verbreitung von mind. 80% der Zählpunkte verstanden.

Rollout hat sich jedoch aufgrund der Bewertung und tlw. fehlender Rahmenbedingungen zum Teil verschoben. Abbildung 2 macht deutlich, wie sich die Planungen der einzelnen Mitgliedstaaten verändert haben und wann der 80 %-ige Rollout abgeschlossen sein soll. Einige Länder, wie z.B. Polen, Rumänien oder Irland, haben das 2013 festgesetzte Ziel nach hinten verschoben müssen, da noch keine rechtlichen Rahmenbedingungen für den Rollout existieren (vgl. European Commission DG Energy 2019, S. 49). Andere Länder wie Litauen oder Slowenien, beabsichtigen das Ausbauziel früher zu erreichen, weil die Kosten-Nutzen-Analyse ergab, dass der Rollout schnell durchgeführt werden soll. Deutschland hat hingegen erst nach der Kosten-Nutzen-Analyse einen Zeitraum definiert (vgl. European Commission DG Energy 2019, S. 49). Dabei ist anzumerken, dass in Deutschland der 80%-ige Rollout nicht ausschließlich mit intelligenten Messsystemen erfolgt, sondern 2/3 der Zählpunkte nur mit intelligenten Zähler ausgestattet werden, die mit einem Smart-Meter-Gateway aufgerüstet werden können. Dabei gilt der verpflichtende Einbau von Smart Metern zunächst auf Letztverbraucher mit einem Jahresstromverbrauch über 6.000 kWh oder Letztverbraucher, die über §14a-EnWG geregelt werden sowie Anlagen mit einer installierten Leistung über 7 kW. Alle restlichen Zählpunkte werden sukzessiv mit intelligenten Zählern ausgestattet.

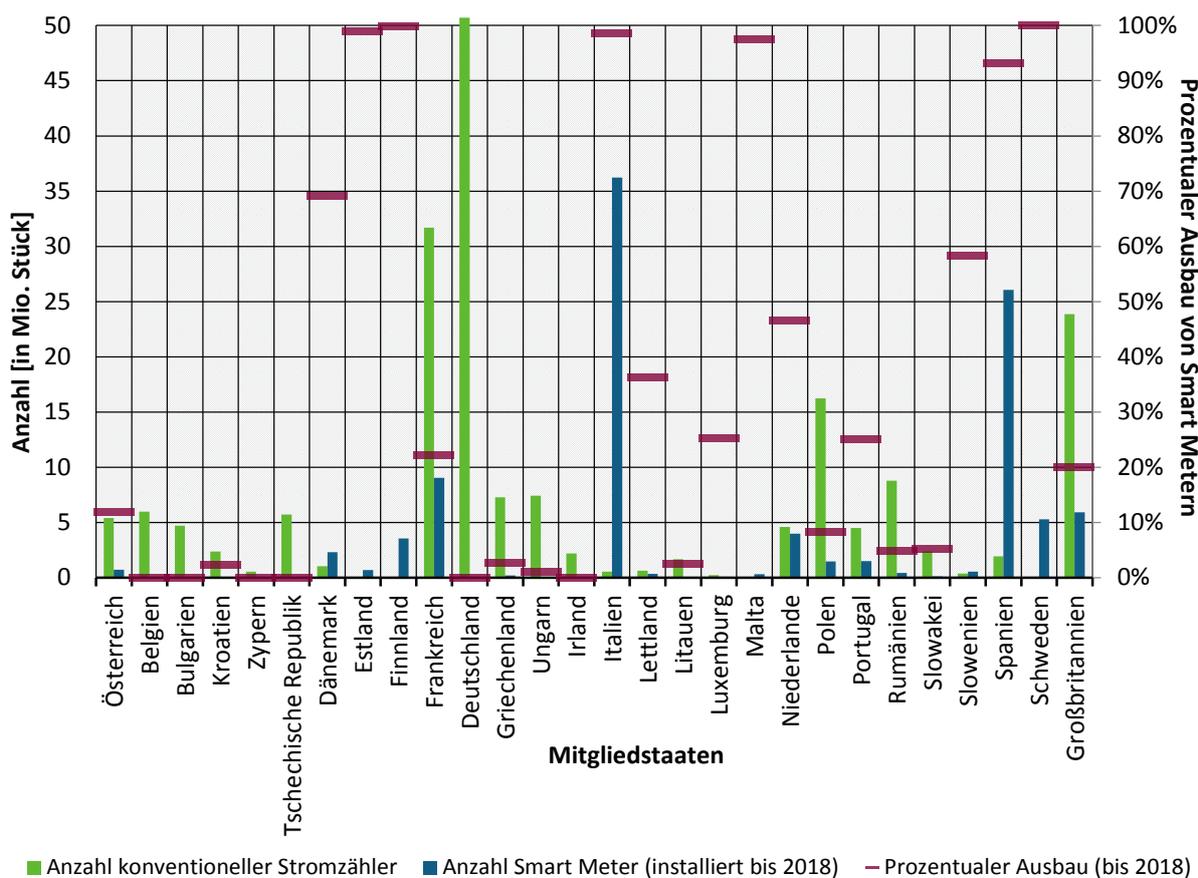
**Abbildung 2: Zielzeitraum für 80 %-igen Ausbau von Smart Meter in den Jahren 2013 und 2018**



Quelle: Eigene Darstellung nach European Commission DG Energy (2019, S. 49)

Der tatsächliche Ausbau von Smart Meter in den EU-Mitgliedstaaten ist auf einem sehr unterschiedlichen Stand. Bis zum Jahr 2018 hatten sieben Mitgliedstaaten das Ausbauziel von 80 % erreicht. Dazu zählen Finnland und Schweden, die in den Jahren 2013 bzw. 2009 den vollständigen Rollout erreicht hatten, Estland, Italien und Spanien, die über 90 % der Zählpunkte mit Smart Metern ausgestattet haben, sowie Dänemark und Malta, die über der 80 %-Marke liegen (vgl. European Commission DG Energy 2019, S. 9). Der anteilige Ausbau je EU-Mitgliedstaat ist in Abbildung 3 (und im Anhang in Tabelle 8) dargestellt.

Abbildung 3: Ausbautzahlen von Smart Metern in den EU-Mitgliedstaaten (Stand 2018)



Quelle: European Commission DG Energy (2019)

EU-weit sind bis zum Jahr 2018 ca. 34 % der knapp 300 Mio. Stromzähler zu Smart Metern umgerüstet worden. Eine hohe Anzahl von Smart Metern wurden in Italien (36 Mio.), Schweden (26 Mio.), Frankreich (9 Mio.), Großbritannien (ca. 6 Mio.) und Spanien (5 Mio.) installiert. Zwischen einer und fünf Millionen installierter Smart Meter gibt es in den Niederlanden, Finnland, Dänemark, Polen und Portugal. In Deutschland lässt sich der verzögerte Rollout vor allem mit der späten Zertifizierung der ersten drei Smart-Meter-Gateways bis Ende 2019 begründen.

### 2.3 Qualitative Ziele

Die Ausbauziele der einzelnen EU-Mitgliedsländer sind verknüpft mit Erwartungen und qualitativen Zielen an den Rollout. Er soll u.a. zu einer Verbesserung des Energiesystems auf ökonomischer, technischer und ökologischer Ebene führen.

In einer Studie von Ernst&Young im Auftrag des BMWi (2013) wurden die qualitativen Ziele für sechs Länder (Großbritannien, Irland, Italien, Niederlande, Frankreich, Schweden) ausgewertet. Bei den qualitativen **Zielen auf ökonomischer Ebene** wurde in allen sechs Ländern ein erhöhter oder vereinfachter Wettbewerb genannt. Die verbesserten und genaueren Abrechnungen sind ebenfalls eins der häufigsten Ziele (in Italien, Frankreich, Schweden und Großbritannien). In Italien, Irland, Frankreich und Großbritannien ist zudem eine stärkere Kundenorientierung oder die Einführung besserer Dienstleistungen und neuer Tarife eine Erwartung an den Smart Meter. Daneben ist in Frankreich und Großbritannien die Kosteneffizienz ein Ziel. Vereinzelt tre-

ten daneben noch weitere Ziele wie die Eliminierung administrativer Probleme bei der Abrechnung (Niederlande), ein verbesserter Datenaustausch bei Lieferantenwechsel (Schweden) oder ein verbessertes Forderungsmanagement (Italien) auf.

Auf **technischer Ebene** stehen als Erwartungen an den Smart Meter Rollout in den sechs Ländern unterschiedliche Aspekte im Fokus. In Großbritannien ist der Smart Meter als Grundlage für ein zukünftiges Smart Grid relevant. In Irland stehen drei technische Aspekte im Fokus: Die Erleichterung von Spitzenlastmanagement, die Unterstützung von erneuerbarer und dezentraler Erzeugung und die Verbesserung von Netzdienstleistungen. In Italien wurden Smart Meter als Grundlage für intelligente Netze und Versorgungssicherheit gesehen. Auch in Frankreich findet sich die Netzstabilität in den Zielen wieder. Insbesondere die Erhaltung der Netzstabilität bei vermehrter Einspeisung von erneuerbaren Energien, eine genauere Netzüberwachung und die Unterstützung von nachfrageseitigem Lastmanagement und Spitzenlastmanagement werden genannt. Keine direkte Nennung von Zielen auf technischer Ebene erfolgte in Schweden und den Niederlanden.

Bei den **ökologischen Zielen** lassen sich im Wesentlichen drei Ziele unterscheiden: erstens, eine Erhöhung der Energieeffizienz im Stromnetz, Erzeugung und Verbrauch (Irland, Italien und Schweden), zweitens, Energieeinsparungen in Haushalten durch zusätzliche Transparenz (Schweden, Niederlande und Großbritannien) und drittens, die darüber hinaus gehende Verringerung von CO<sub>2</sub>-Emissionen, z. B. durch die Verringerung von Leitungsverlusten oder den Ausbau von Erneuerbaren Energien ohne zusätzlichen Netzausbau durch intelligente Steuerung (Italien und Großbritannien).

## 2.4 Erfahrungsberichte zum Smart Meter Ausbau

Zum bisherigen Rollout liegen unterschiedliche Erfahrungen und Erfahrungsberichte vor. Übergreifend hat die Europäische Kommission bereits in ihren zwei Berichten zum Smart Meter Ausbau (2014; 2019) Erkenntnisse gezogen. Die Lehren aus dem ersten Bericht finden sich zum Teil auch schon in der Richtlinie 2019/944 wieder. Ein Beispiel hierfür sind Anreize für die unterschiedlichen Akteure zur Beschleunigung der Entwicklung und Einführung von Smart Metern, welche sich als Empfehlung in Artikel 19 der Richtlinie 2019/944 wiederfinden lassen. Auf Basis der gemachten Erfahrungen schlägt die Kommission unter anderem folgende nächste Schritte für die Einführung von Smart Metern vor (vgl. Europäische Kommission 2014, S. 9): Erhöhung der Verbrauchervertrauens durch Kommunikationsmaßnahmen, Förderung eines innovativen Energiedienstleistungsmarktes mit Anreizen für alle beteiligten Akteure des Energiesystems durch regulative Maßnahmen, Gewährleistung des Datenschutzes durch Prüfung und Anpassung der geltenden Vorschriften, die besondere Berücksichtigung bestimmter Akteure und Funktionen (v. a. Netzbetrieb, Endkundenwettbewerb, Synergien der Datennutzung), die Sicherstellung eines Mindestfunktionsumfangs von Smart Metern sowie die nochmalige Prüfung der langfristigen Kosten und Vorteile in der Kosten-Nutzen-Analyse.

Während sich die ersten Erkenntnisse des Berichts der Europäischen Kommission eher an übergreifende Regularien richten, konzentriert sich der zweite Bericht der Europäischen Kommission (2019) eher auf Erkenntnisse aus den bisherigen Rollouts. Als wichtiger Punkt wird die Akzeptanz der Verbraucher\*innen herausgestellt. In fast allen Mitgliedstaaten wurde Kritik an Smart Metern bzgl. der Messgenauigkeit, der elektromagnetischen Strahlung und dem Datenschutz geäußert. Der Bericht nennt als Grund hierfür, dass die Werbe- und Kommunikationsmaßnahmen sich eher auf die Vorteile von Smart Metern bezogen, anstatt auf die Bedenken der Bürger\*innen einzugehen (vgl. European Commission DG Energy 2019, S. 13). Die Europäische Kommission folgert, dass man die Verbraucher\*innen überzeugen muss, damit sie die Vorteile von Smart Metern erkennen und nutzen (vgl. European Commission DG Energy 2019, S. 12). Ein

Schlüsselfaktor für den Erfolg sei die Ermöglichung eines direkten Nutzens bei den Verbraucher\*innen (vgl. European Commission DG Energy 2019, S. 105). Diese Bedürfnisse der Verbraucher\*innen sollten zudem auch in die Kosten-Nutzen-Analyse Eingang finden und die Vorteile dokumentiert werden (vgl. European Commission DG Energy 2019, S. 13). Die passenden Angebote für die Verbraucher\*innen fehlen womöglich teilweise, weil die rechtlichen Rahmen der Mitgliedstaaten verhindern, dass Dienstleister das volle Potenzial ausschöpfen können, (vgl. European Commission DG Energy 2019, S. 13).

In Schweden haben Verbraucher\*innen die von der Regierung 2002 beschlossene Einführung von Smart Metern begrüßt, weil sie mit der jährlichen Ablesung ihres Zählerstands und der Schätzung des Strompreises auf Basis des Vorjahrespreises unzufrieden waren. Genauere Stromrechnungen, vereinfachte Prozesse beim Lieferantenwechsel und genauere Informationen zum Energieverbrauch sollen das Bewusstsein für den eigenen Stromverbrauch stärken (vgl. Ryberg 2017). Allerdings sind inaktive Verbraucher\*innen und ineffiziente Netzbetreiber eine Hürde für die optimale Ausnutzung des Smart Meter Potenzials, wie bei der Implementierung in Schweden festgestellt wurde (vgl. Huang et al. 2018, S. 6; Leysen 2018, S. 22). Als Gründe für die Inaktivität, also dem unveränderten Verbrauchsverhalten, bei den Verbraucher\*innen in Schweden sehen Huang et al. (2018) mangelndes Interesse an Stromverbrauch und Einsparpotenzialen oder ein schlechtes Preis-Leistungs-Verhältnis des Smart Meters. Zudem seien die Informationen zum Verbrauch nicht detailliert genug, um mit gezielten Verbrauchsanpassungen reagieren zu können, da die meisten Geräte in Schweden zu diesem Zeitpunkt nur eine monatliche Messung angeboten haben. Die Netzbetreiber hingegen verzeichnen einen großen Anstieg an Kosten für den Kundenservice, der zur Ineffizienz führt (vgl. Huang et al. 2018). Leysen (2018) sieht zwar durch die monatlichen Abrechnungen in Schweden ein steigendes Bewusstsein für Stromkonsum bei Haushalten, jedoch wird auch in dieser Studie bemängelt, dass das Potenzial an Einsparungen und Demand-Side-Management nicht ausgenutzt wird. Gründe werden sowohl in der zu geringen Auflösung der Daten oder in der fehlenden Möglichkeit diese einzusehen gesehen, als auch in dem grundsätzlich fehlenden Interesse der Verbraucher\*innen sich mit dem Thema zu beschäftigen.

Auch die Untersuchung von Jenkins et al. (2018) in Großbritannien sehen die Information und Einbeziehung der Verbraucher\*innen als wichtigen Punkt. Ein Smart Meter alleine sei nicht ausreichend für die Senkung des Energieverbrauchs. Es brauche weitere unterstützende Maßnahmen wie Information, Beratung und ökonomische Anreize. Die Autoren sehen jedoch auch die Gefahr der Ausgrenzung benachteiligter Verbraucher\*innen (z. B. Senioren und beeinträchtigte Menschen) durch die digitale und komplexe Technik.

### 3 Aktuell umgesetzte Anwendungen in den EU-Mitgliedstaaten

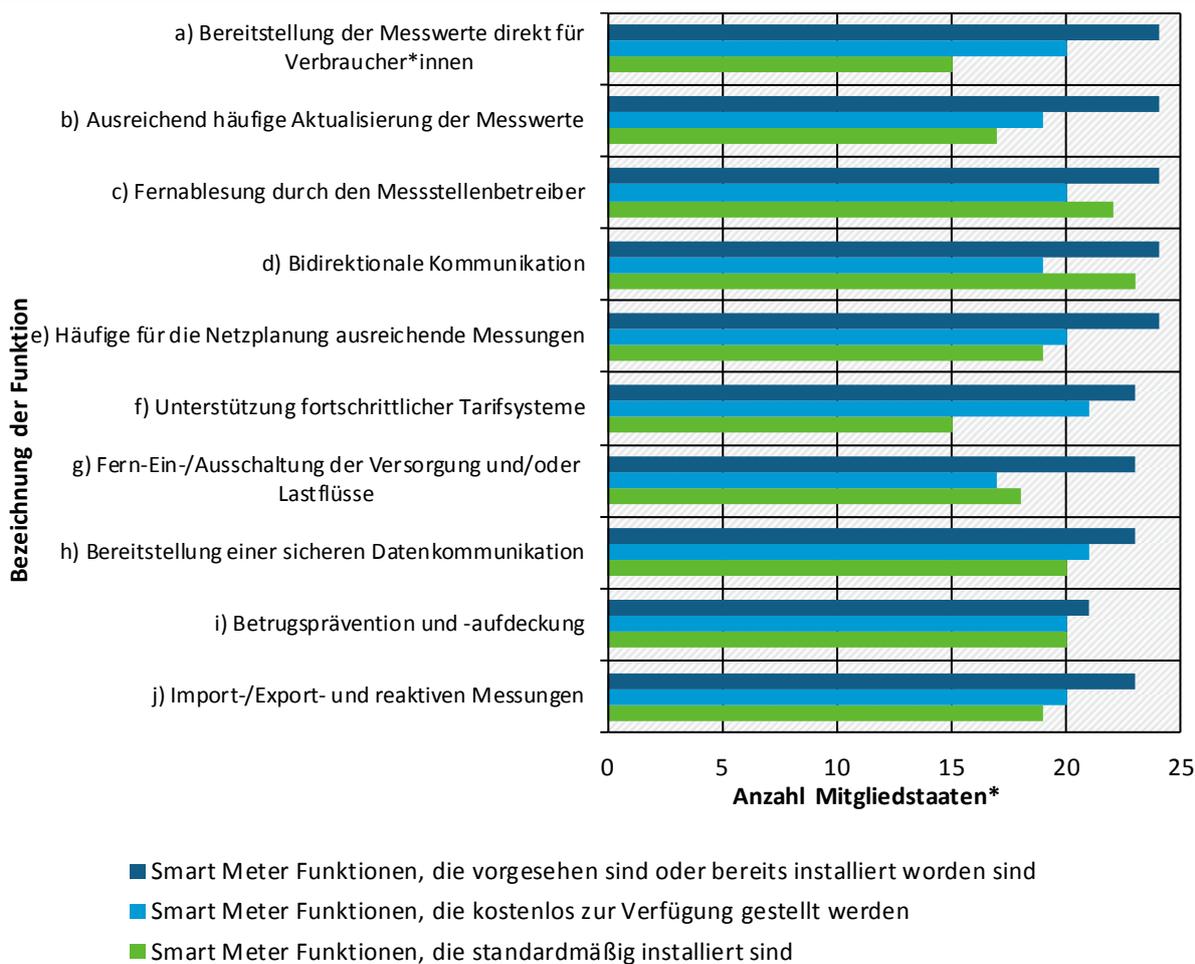
Die verbreitete Zielsetzung eines effizienten und vereinfachten Netzbetriebs spiegelt sich in den vorrangig implementierten Funktionen und Anwendungen des Smart Meters wider. Bei der Betrachtung von konkreten Anwendungen wird zwischen den technisch implementierten Funktionen im Smart Meter und den darauf aufbauenden Geschäftsmodellen bzw. Anwendungen im Energiesystem unterschieden. Für die technisch implementierten Funktionen empfiehlt die Europäische Kommission die Erfüllung von Mindestfunktionsanforderungen aus Sicht verschiedener Akteure und für den Datenschutz und die Sicherheit (Empfehlung 2012/148/EU, Abschnitt III):

- ▶ Kundinnen und Kunden: (a) direkte Bereitstellung der Messwerte, und (b) eine ausreichend häufige Aktualisierung der Messwerte um bspw. Energiesparprogramme nutzen zu können. Als ausreichend wird hier zunächst ein 15-Minuten-Wert genannt. Es wird allerdings auch darauf hingewiesen, dass in Zukunft voraussichtlich eine höhere Auflösung notwendig ist.
- ▶ Messstellenbetreiber: (c) Fernablesung der Zähler, (d) bidirektionale Kommunikation und (e) eine ausreichend häufige Ablesung für die Netzplanung.
- ▶ Anbieter von Energiedienstleistungen: (f) Unterstützung fortschrittlicher Tarifsysteme und (g) Ermöglichung der Fern-Ein-/Ausschaltung der Versorgung und/oder Lastflüsse.
- ▶ Sicherheit und Datenschutz: (h) Bereitstellung einer sicheren Datenkommunikation und (i) Verhinderung und Aufdeckung von Betrug.
- ▶ Dezentrale Erzeuger: (j) Bereitstellung von Import-/Exportmessungen und reaktiven Messungen.

Die Europäische Kommission hat in ihrem Monitoring bei den Mitgliedstaaten mit aufgenommen, welche dieser Funktionsanforderungen jeweils bei den bisher in den Mitgliedstaaten verbauten Smart Metern vorgesehen sind, welche Funktionen standardmäßig installiert sind und welche den Verbraucher\*innen kostenlos zur Verfügung gestellt werden. Ausgenommen von dem Monitoring sind alle Länder, die mit dem Ausbau von Smart Metern im Jahr 2018 noch nicht begonnen hatten. In Abbildung 4 (und im Anhang in Tabelle 9) sind die Ergebnisse der Analyse dargestellt.

Ein Großteil der empfohlenen Funktionsanforderungen ist demnach bereits vorgesehen oder installiert. Am wenigsten verbreitet ist Betrugsprävention und -aufdeckung (21 von 24 Mitgliedstaaten). Geringer ist die Anzahl der Mitgliedstaaten, in denen die Funktionen kostenlos zur Verfügung gestellt werden und standardmäßig installiert sind. Nur in 15 von 24 Ländern wird die Unterstützung erweiterter Tarifsysteme und die Weitergabe der Messwerte direkt an die Verbraucher\*innen als Standard installiert. Vor dem Hintergrund der in Kapitel 2 genannten Ergebnisse kann dies eine Hürde für den erfolgreichen Smart Meter Ausbau darstellen.

**Abbildung 4: Verbreitung von Smart Meter Funktionen**



\*Unter Einbezug von 24 Mitgliedstaaten, ausgenommen wurden Länder ohne Smart Meter: Belgien (Brüssel-Region), Zypern, Tschechische Republik, Dänemark, Deutschland und Ungarn

Quelle: Eigene Darstellung nach European Commission DG Energy (2019, S. 57-60)

Deutschland ist in Abbildung 4 nicht mit aufgeführt, da im Berichtsjahr (2018) noch keine Smart Meter zur Verfügung standen. Im Zuge der Zertifizierung hat das BSI in einer Marktanalyse jedoch auch die bei zertifizierten Smart Metern verfügbaren Funktionen veröffentlicht (BSI 2020). In Tabelle 1 sind diese Funktionen für Smart Meter bei Letztverbrauchern dargestellt, mit denen sich auch die zunächst geforderten Tarifierungsfälle<sup>2</sup> (TAF) 1,2,6 und 7 umsetzen lassen. Die vom BSI dargestellten Funktionen lassen sich zwar nicht direkt in die von der Europäischen Kommission untersuchten Funktionen übersetzen, jedoch sind alle Funktionen installiert oder im Funktionsumfang der Smart Meter vorgesehen. Das BSI stellt außerdem Einsatzbereiche in den Kategorien Smart Metering / Sub-Metering, Smart Grid, Smart Mobility, Smart Home / Smart Building und Smart Services vor (BSI 2020), aus denen sich Funktionen ergeben, die über die Mindestfunktionsanforderungen hinaus gehen. Dabei wird deutlich, dass die zertifizierten Smart Meter aktuell nur eine 15-Minuten-Intervall in der Messung vorsehen. Das entspricht zwar dem Konsens in der EU aus dem Jahr 2012, es gibt jedoch jetzt schon einige Funktionen, wie das Non-Intrusive Load Monitoring, die sich damit nicht realisieren lassen. Das hat auch das

<sup>2</sup> Für die erste Generation der Smart Meter sind nur die Tarifierungsfälle (TAF) 1 (Datensparsame Tarife), 2 (Zeitvariable Tarife), 6 (Ablösung von Messwerten im Bedarfsfall) und 7 (Zählerstandgangmessung) vorgesehen und durch das BSI geprüft. Weitere Fälle sollen in neueren Generationen oder durch Software-Updates integriert werden.

BSI erkennt und sieht hier Bedarf zur Nachbesserung der Anforderungen für die folgenden Smart Meter Generationen.

**Tabelle 1: Funktionale Umsetzung der gesetzlichen Anforderungen bei zertifizierten Smart Metern für Letztverbraucher in Deutschland**

Einsatzbereich	Funktion	bis 20.000 kWh	20.000 bis 100.000 kWh	>100.000 kWh / RLM-Messung	Steuerbare Verbraucher §14a EnWG
Smart Metering	Registrierende Lastgangmessung (RLM)	nicht erfüllt*		nicht erfüllt	nicht erfüllt*
	Eintarif-Messung	erfüllt		erfüllt*	erfüllt
	Mehrtarif-Messung	erfüllt		erfüllt*	erfüllt
	Abruf im Bedarfsfall	erfüllt			
	Zählerstandgang	erfüllt			
Smart Grid	Ist-Einspeisung	1. Software Update*			
	Steuern	CLS-Proxy-Kanal*			CLS-Proxy-Kanal
	Netzzustandsdaten	1. Software Update*	1. Software Update		
	Stammdatenübermittlung	Mittels CLS-Proxy-Kanal bei angebundenen Verbrauchseinrichtungen möglich, sofern dies von den Verbrauchseinrichtungen unterstützt wird.			

Quelle: Eigene Darstellung nach (BSI 2020)

\* Keine Mindestanforderung für die Feststellung der technischen Möglichkeit der Einbaugruppe

Zur Verbreitung der Anwendungsfälle in den Mitgliedstaaten der EU lassen sich nur wenige Aussagen finden, so dass kein quantitativer Abgleich mit den Möglichkeiten in Deutschland erfolgen kann. In Schweden wurden jedoch durch die lange Erfahrung mit Smart Metern seit 2009 schon einige Funktionen für den zweiten Rollout festgelegt, die als wichtig erachtet werden. Beim ersten Rollout gab es kaum Vorschriften für die Netzbetreiber an die Smart Meter und so konnten bis 2014 nur ca. 20 % der installierten Smart Meter stündlich messen und 80 % monatlich. (vgl. Leysen 2018). Für den zweiten Rollout ab 2020 werden funktionelle Anforderungen vorgeschlagen, die auch den von der EU als Mindestfunktionsanforderungen formuliert sind. Zum Beispiel soll der Energieverbrauch viertelstündlich aufgenommen und auch Stromausfälle gemessen werden, damit die Verbraucher\*innen für den Ausfall kompensiert werden (vgl. Huang et al. 2018, S. 8). Zudem werden mehr Daten (Spannung, Strom, Wirk- und Blindleistung für beide Richtungen, Wirkenergie für beide Richtungen) aufgenommen, die dem Endnutzer aufbereitet werden, damit dieser zum Energiesparen und zur aktiven Partizipation motiviert wird (vgl. Huang et al. 2018, S. 8).

## 4 Erkenntnisse zu Umwelteffekten durch die Einführung von Smart Metern

Im Folgenden werden die bisherigen Erkenntnisse in Europa zu Umwelteffekten durch die Einführungen von Smart Metern dargestellt und auf den Rollout in Deutschland übertragen. Es wird dabei zwischen direkten Umwelteffekten, die durch die Produktion, Nutzung und Entsorgung des Smart Meters entstehen, und indirekten Effekten, die sich durch die Wirkung des Smart Meters bei den Verbraucher\*innen oder im System ergeben, unterschieden.

### 4.1 Direkte Effekte des Smart Meters

Die Ermittlung der direkten Effekte des Smart Meters liegt wenig im Fokus bestehender europäischer Studien. Trotzdem lassen sich Erkenntnisse aus technischen Marktdaten, den europäischen Untersuchungen der Kosten-Nutzen-Analysen und der Literatur gewinnen. Relevante Daten für die Bewertung sind insbesondere die verwendeten Materialien, die Lebensdauer, der Datentransfer und der Stromverbrauch. Insbesondere die Lebensdauer und der Stromverbrauch sind aktuell noch mit größeren Unsicherheiten behaftet. Da in der Literatur hierzu bisher nur wenige Angaben zu finden sind, wurde im Rahmen der vorliegenden Studie eine Marktrecherche anhand von öffentlich verfügbaren technischen Datenblättern zu diesen beiden Parametern durchgeführt. Die vollständigen Ergebnisse der Recherche sind im Anhang in Tabelle 10 zu finden. In den technischen Datenblättern werden in 25 von 33 Fällen (76 %) keine Angaben zur Lebensdauer gemacht. Die vorhandenen Angaben liegen in sechs Fällen von drei unterschiedlichen Herstellern bei 20 Jahren; ein Hersteller gibt für seine beiden Geräte eine Lebensdauer von 10 Jahren an. Auffindbare Werte in der wissenschaftlichen Literatur zeigen ähnliche Bandbreiten. Louis et al (2015) gehen in Finnland von einer sehr geringen Nutzungsdauer von fünf Jahren aus, allerdings in Kombination mit einem Smart Home System. Die Studien von Aleksic und Murjan (2016) und Sias (2017) haben jeweils Smart Meter in Amerika untersucht und nehmen eine Nutzungsdauer von 10 bzw. 20 Jahren an.

Zur angenommenen Lebensdauer finden sich darüber hinaus Daten in den Kosten-Nutzen-Analysen der europäischen Mitgliedstaaten. Bei den Ergebnissen (vgl. Tabelle 2) fällt auf, dass die Spannweite zur Lebensdauer 2019 deutlich größer war als bei der ersten Analyse 2014. In Deutschland wurde eine Nutzungsdauer von 13 Jahren für Smart Metern angenommen (Ernst&Young 2013).

**Tabelle 2: Angenommene Lebensdauern in Kosten-Nutzen-Analysen für Smart Meter**

Jahr der Auswertungen der Kosten-Nutzen-Analyse	Durchschnittliche erwartete Lebensdauer	Standardabweichung in der Lebensdauer	Angaben innerhalb der Standardabweichung	Gesamtbereich der angegebenen Lebensdauer
2014	15 Jahre	3 Jahre	65 %	8-25 Jahre
2019	16 Jahre	8 Jahre	71 %	8-50 Jahre

Quelle: European Commission DG Energy (2014; 2019)

Die Nutzungsdauer von Smart Metern wird nicht nur von der technischen Lebensdauer, sondern auch durch die regulatorisch erlaubte Nutzungszeit über die Eichfrist beeinflusst. Die Eichung von Stromzählern und die erlaubten Fehlertoleranzen werden durch die EU vorgeschrieben (Measuring Instruments Directive 2014/32/EU). Die Häufigkeit von Nacheichungen und deren

zulässige Anzahl legt jedoch jeder Mitgliedstaat selber fest. Im Schnitt muss eine Eichung ca. alle 10 Jahre erfolgen (vgl. ICCS-NTUA und AF Mercados EM 2015, S. 110). In Deutschland ist für Smart Meter eine Eichfrist von 8 Jahren vorgesehen (Mess- und Eichverordnung – MesseV, Anlage 7); dies ist doppelt so häufig wie beim analogen Ferraris-Zähler. Nach Ablauf der Eichfrist ist in beiden Fällen eine Verlängerung der Eichfrist auf Grund von Stichprobenverfahren (§ 35 MesseV) möglich.

Anhaltspunkte zur realen Nutzungsdauer gibt es aus Italien, wo mehr als 30 Millionen Smart Meter mit einer Nutzungsdauer von 10-15 Jahren installiert sind. Im Sommer 2017 wurde die zweite Generation vorgestellt, die in den nächsten 15 Jahren installiert wird (vgl. Ryberg 2017). In Schweden muss die erste Generation von Smart Metern, die zwischen 2003 und 2009 installiert wurden, ab 2020 ersetzt werden (vgl. Ryberg 2017), da die erste Generation den technischen Anforderungen nicht mehr gerecht wird. Ebenfalls der zweite Rollout wird in Finnland geplant (vgl. European Commission DG Energy 2019, S. 9).

Auch zum Stromverbrauch des Smart Meters im Grundbetrieb gibt es wenig Aussagen. Der Stromverbrauch der Smart Meter für den Grundbetrieb liegt nach Angaben der Hersteller zwischen 7,0-56,9 kWh im Jahr, wobei der Mittelwert der 24 Angaben bei 17,78 kWh liegt (siehe Tabelle 10 im Anhang). Untersuchungen von Smart Metern in Amerika gehen von einem Stromverbrauch zwischen 13,1 und 15,78 kWh aus und liegen damit in einer ähnlichen Größenordnung (Aleksic und Mujan 2016; Sias 2017). Nach Angaben eines Herstellers liegt die Leistung von Smart Metern bei 2-3 Watt, was einem jährlichen Verbrauch von 17-26 kWh entspricht. Der Verbrauch des Smart Meters ist zum Teil abhängig vom Anwendungsfall und den dafür notwendigen Datenmengen. In der Fachliteratur wurde für einen Smart Meter als Teil eines Smart Home Systems in Finnland ein sehr hoher Wert von 175,32 kWh im Jahr angenommen (Louis et al. 2015). Der im Vergleich recht hohe Stromverbrauch kann zum Beispiel im hohen Datentransfer der Zähler oder einer höheren Rate an gespeicherten Daten liegen. Im Vergleich zu den Verbräuchen von Smart Metern liegt der jährliche Stromverbrauch von Ferraris-Zählern im Bereich von 8,75 kWh (Sias 2017).

Da die europäischen Mitgliedsstaaten beim Datentransfer alle unterschiedliche Ansätze hinsichtlich Anzahl der Daten, Transferhäufigkeit, Speicherung und Verarbeitung haben, sind diese nur schwer aus dem europäischen Kontext zu ermitteln.

## 4.2 Indirekte Effekte auf Ebene der Verbraucher\*innen

Erkenntnisse zur Wirkung von Smart Meter lassen sich aus einer Analyse der Stromverbrauchsdaten in Schweden gewinnen. Es wurden dabei die Stromverbrauchsdaten vor und nach Einführung eines Feedbacksystems, welches den Verbraucher\*innen den genauen Verbrauch und die Kosten aufzeigt, bei drei Stromanbietern gemessen. Dazu wurden Kundendaten zum Mess- und Abrechnungssystem sowie die Häufigkeit der Anmeldungen und die Nutzung der Feedbackservices ausgewertet. In der Auswertung konnte man keinen Zusammenhang zwischen der Nutzung der Services und einem reduzierten Stromverbrauch oder effizienterem Energieverbrauch feststellen. Die Umfrageergebnisse zeigen, dass die Nutzer\*innen vor allem Kontrolle über ihren Stromverbrauch haben oder zurückerlangen wollen, insbesondere bei Nutzer\*innen mit hohem oder steigendem Stromverbrauch vor Einführung des Smart Meters. Die höheren Rechnungen bringen viele Nutzer\*innen, die sich vorher nicht sonderlich für ihren Verbrauch interessiert haben, dazu, den Service zu nutzen und eventuell etwas an ihrem Verhalten zu ändern. Diejenigen, die einen sinkenden Energiebedarf haben und den Service nutzen, haben ein größeres Bewusstsein für ihren Verbrauch und die entstehenden Kosten. Ebenso haben Nutzer\*innen, die energieeffiziente Maßnahmen zu Hause umgesetzt haben, ein größeres Interesse am Service gezeigt, um

die Entwicklung zum sinkenden Verbrauch besser beobachten zu können (vgl. Pyrko 2011, S. 1839 f.).

Zusammenfassend zieht Pyrko (2011, S. 1840) für Schweden bzgl. des Stromverbrauchs nach Einführung des Smart Meter die Schlussfolgerung, dass die Haushalte entweder einen reduzierten oder höheren Stromverbrauch gezeigt haben. Haushalte, die sowieso schon einen hohen oder steigenden Stromverbrauch hatten nutzen den Feedbackservice um eine bessere Kontrolle über ihren steigenden Energieverbrauch zu bekommen. Allerdings bestätigten die Ergebnisse nicht, dass es durch die Nutzung zu einer Senkung des Energieverbrauchs kommt. Haushalte, die im Energieverbrauchsprofil am besten abschnitten, gehören oft zu den Nutzergruppen "Senioren (65+)" und "Hausbesitzer".

In der Studie der Europäischen Kommission (2014) wurde aufgeführt, dass in den Niederlanden seit der Einführung von Smart Metern Energiekosten in Höhe von ca. 1,5 Milliarden Euro eingespart wurden und in Irland Verbraucher\*innen in ersten Pilotprojekten ihren Energiebedarf um 11 % senken konnten. Unklar ist, wie langfristig diese Effekte gehalten werden. In Finnland wurde die Einführung der Smart Meter begrüßt, da Verbraucher\*innen nach der Installation den Stromverbrauch besser kontrollieren können. Weitere ökologische Effekte wurden nicht genannt (vgl. Zhou und Brown 2017, S. 9). In einer Studie in England in Haushalten mit Smart Metern und In-Home-Displays wurde der Strom- bzw. Gasverbrauch im Schnitt um 3 % gesenkt – auch im Vergleich zu einer Kontrollgruppe und über einen Zeitraum von 2 Jahren (Raw und Ross 2011). In einer Studie in Österreich sank der Energieverbrauch in Haushalten mit Smart Meter und Verbrauchsfeedback über ein In-Home-Display und ein Webportal im Schnitt um 3,9 % - bei einer Vergleichsgruppe dagegen nur um 1,1 % (Renner et al. 2012). Im Vergleich der Ergebnisse kommt es tendenziell zu einer leichten Reduktion des Energieverbrauchs durch die Einführung eines Smart Meter Feedbacks. Dromaque und Grigoriou (2018) ebenso wie bereits Hoffmann et al. (2012) kommen basierend auf Meta-Auswertungen zu dem Ergebnis, dass durch differenziertes Verbrauchsfeedback Einsparungen – auch über einen längeren Zeitraum – erreichbar sind. Dabei ist die Höhe der Einsparung unter anderem abhängig von der Art des Feedback-Systems, der Visualisierung bzw. Datenbereitstellung sowie von demographischen Faktoren. Die erzielten prozentualen Einsparungen liegen allgemein durch Verbrauchs-Feedback in der Regel im (niedrigen) einstelligen Bereich.

Bei der Einführung eines Feedbacks auf Basis einer detaillierten Geräteerkennung, können die Einsparungen jedoch noch deutlich höher liegen. Hier liegen die Einsparungen in Deutschland nach Angaben von zwei Anbietern in Feldversuchen zwischen 8-10 %. Mit einem einfachen Feedback wurden dagegen maximale Einsparungen von 3 % beobachtet, im Mittel nur bei 1 %. Auch in Meta-Auswertungen zu Echtzeit-Feedback auf Basis von Geräteerkennung werden ähnliche Werte zwischen 7,68 % und 12 % ermittelt (vgl. Carrie Armel et al. 2013; Dromaque und Grigoriou 2018).

### **4.3 Indirekte Effekte auf Ebene des Energiesystems**

Es wurde bisher nicht analysiert, welche Effekte der Smart Meter Rollout tatsächlich für das Energiesystem hatte. Viele Funktionen sind jedoch auch bisher aufgrund des geringen Anteils an Erneuerbaren Energien in der EU noch nicht notwendig und werden erst in Zukunft an Bedeutung gewinnen. Diese zukünftigen Vorteile wurden von den Mitgliedstaaten im Rahmen der Kosten-Nutzen-Analyse abgeschätzt. Insbesondere zwei Größen sollen für die Abschätzung des systemischen Mehrwerts der Smart Meter herangezogen werden: die Einsparungen im Gesamtenergieverbrauch und der Anteil der Spitzenlastverschiebung. Beide Variablen sind bei einem Großteil der Mitgliedstaaten in die Kosten-Nutzen-Analyse eingeflossen.

In den Kosten-Nutzen-Analysen 2018 wurden Energieeinsparungen zwischen 5,42 % und 7,85 % angenommen, wobei der erste Wert ohne und der zweite mit Echtzeit-Feedback erreicht wird (European Commission DG Energy 2019, S. 8). Genauere Zahlen auf Ebene der Länder sind aus dem Jahr 2014 verfügbar und in Tabelle 3 dargestellt (vgl. European Commission 2014).

**Tabelle 3: Angenommene Einsparungen und Verschiebungen im Rahmen der Kosten-Nutzen-Analysen für Smart Meter**

Land	Energieeinsparungen [% des Gesamtenergieverbrauchs]	Spitzenlastverschiebung [% des Gesamtenergieverbrauchs]
Österreich	3,5 %	2,5 %
Belgien - Flandern	1 %*/4 %**	5,0 %
Belgien - Brüssel	1,2-4,6 %	0,47 % (des Gesamtnutzens)
Belgien - Wallonien	0,0 %	12,0 %
Tschechische Republik	0,0 %	1,2 %***
Dänemark	2,0 %	8,4 %
Finnland	1-2 %	2,0 %
Deutschland	1,2 %	1,3 %*****
Griechenland	5,0 %	5,0 %
Irland	2,9 %	9,9 %
Lettland	2-5 %	k.A.
Litauen	2,3 %	4,5 %*****
Luxemburg	3,6 %	5,0 %
Malta	5,0 %	k.A.
Niederlande	3,2 %*/6,4 %	2,8 %
Polen	1,0 %	1,0 %
Portugal	3,0 %	2,0 %
Rumänien	3,8 %	k.A.
Slowakei	1,0 %	2,0 %
Schweden	1-3 %	k.A.
Großbritannien	2,2 %	0,5-1 %
Nord Irland	3 %***	5,0 %
<b>Spannbreite (Mittelwert*)</b>	<b>1-6,4 % (2,2 %)</b>	<b>0,5-9,9 % (3,9 %)</b>

\* indirektes Feedback, \*\* direktes Feedback, \*\*\* Haushaltssektor, \*\*\*\* Haushalte- und Gewerbesektor unter 30 kW, \*\*\*\*\* Durchschnittswert 2013-2022

Quelle: European Commission DG Energy (2014), Länder ohne Angaben werden nicht aufgeführt

Die 2014 von den Mitgliedstaaten angenommenen Werte liegen im Bereich zwischen 1,0 und 3,6 %, wobei sich das Maximum bei Einbezug von direktem Feedback auf 6,4 % erhöht. Die Einschätzungen der Mitgliedstaaten sind damit bis zum Jahr 2018 deutlich gestiegen (European Commission DG Energy 2019). Die Datenbasis für diese Einschätzungen ist leider nicht bekannt.

Neben Einsparungen und Verschiebungen im Verbrauch, sind auch Einsparungen im Netzausbau ein erwarteter Mehrwert fürs Energiesystem. Das kann unter anderem durch Verschiebungen von Spitzenlasten erreicht werden, die die meisten Länder auch in ihrer Kosten-Nutzen-Analyse berücksichtigt haben. Hier lag die Bandbreite zwischen 0,5 und 9,9 % vom Gesamtenergieverbrauch. Eine konkrete Berücksichtigung der Einsparungen im Netzausbau haben allerdings nur Großbritannien und Deutschland in ihren Kosten-Nutzen-Analysen gemacht (vgl. ICCS-NTUA und AF Mercados EM 2015, S. 32-33). Demnach belaufen sich in Großbritannien die aufgeschobenen oder eingesparten Investitionen auf 4,5 €/Zählerpunkt im Verteilnetz und 25,4 €/Zählerpunkt an Stromerzeugungskapazitäten. Für das Übertragungsnetz sind in Großbritannien keine Investitionseinsparungen angegeben. Deutschland gibt in seiner Kosten-Nutzen-Analyse eingesparte Investitionen von 26,3 €/Zählerpunkt im Verteilnetz, 7,7 €/Zählerpunkt im Übertragungsnetz und 62,6 €/Zählerpunkt an Stromerzeugungskapazitäten und liegt damit deutlich über den Einschätzungen in Großbritannien.

#### 4.4 Bewertung von Umwelteffekten von Smart Metern für verschiedene Haushalte in Deutschland

Um die Umwelteffekte aus Sicht der Haushalte in Deutschland zu bewerten, wurden auf Basis der in Kapitel 4.1 und 4.2 dargestellten Datengrundlage und zusätzlicher Berechnungen eine Abschätzung zu den Effekten bei verschiedenen Einsatzmöglichkeiten von Smart Metern im Vergleich zu Ferraris Zählern vorgenommen. Um den Unsicherheiten Rechnung zu tragen, die sich bereits in den Kapiteln 4.1 bis 4.3 gezeigt haben, werden dabei jeweils Sensitivitäten dargestellt. Der Umwelteffekt für herkömmliche Stromzähler und Smart Meter (mit und ohne Smart-Meter-Gateway), der sich aus Herstellung ergibt wurde auf der Grundlage einer Studie von Sias (2017) berechnet. Tabelle 4 führt die Material- und Strombedarfe für die Herstellung eines Smart Meter und eines Ferraris Zählers auf. Nicht berücksichtigt sind aufgrund fehlender Daten Chemikalien, die unter Umständen im Herstellungsprozess zum Einsatz kommen.

**Tabelle 4: Materialien- und Energieeinsatz eines Smart Meters und eines Ferraris Zählers**

Angaben pro Stück

Material	Smart Meter	Ferraris Zähler
Kupferkabel	2,6 g	54,7 g
Leiterplatte	95,7 g	
Aluminium	0,3 g	340,8 g
Stahl	87,5 g	265,4 g
Glas	8,7 g	744,3 g
Plastik	611,5 g	245,4 g
Li-Ion Batterie	9,4 g	
Kupfer	171 g	
Anderes	3 g	

Material	Smart Meter	Ferraris Zähler
Strombedarf Herstellung	1,64 kWh	1,64 kWh
<b>Gesamtgewicht</b>	<b>989,7 g</b>	<b>1650 g</b>

Quelle: Sias (2017), ecoinvent

Der bei Sias (2017) untersuchte Smart Meter ist zudem in den Vereinigten Staaten von Amerika produziert und enthält nur eine einfache Kommunikationsverbindung in Form einer Funkeinheit. Daher wurde dieser nur mit dem intelligenten Zähler ohne Smart-Meter-Gateway gleichgesetzt. Für die spezifische Umweltwirkung von Smart-Meter-Gateways liegen jedoch aktuell keine Untersuchungen vor. Um das Smart-Meter-Gateway zumindest nicht auszublenden und möglichst realitätsnah abbilden zu können, wurde ein Ansatz zur Bewertung von generischen Elektronikteilen erstellt. Dieser Datensatz basiert auf der typischen Materialzusammensetzung von IKT-Geräten. Um eine möglichst breite Repräsentativität zu erreichen, basiert der Datensatz auf Abfallanalysen, sodass in die Datengrundlage diverse IKT-Geräte eingehen. Die Europäische Union unterscheidet in ihrer Richtlinie 2012/19/EU über Elektro- und Elektronik-Altgeräte zehn Kategorien von Geräten. Kategorie 3 umfasst IT- und Telekommunikationsgeräte zu denen beispielsweise PCs, Handys oder Server zählen. Das Smart-Meter-Gateway wird hier im Rahmen der Untersuchungen ebenfalls einsortiert. Freeguard und Claes (2009) haben in ihrer Studie eine Abfallanalyse zu getrennt gesammelten Elektroaltgeräte durchgeführt und die Ergebnisse in die von der EU aufgestellten Kategorien aufgeschlüsselt. Danach bestehen Geräte der Kategorie 3 aus den fünf Komponenten Metalle, Plastik, Leiterplatten, Kabel und Glas in unterschiedlicher prozentualer Zusammensetzung. Für die Komponenten „Metalle“ und „Plastik“ wurden eigene Prozessdatensätze auf Grundlage der Ergebnisse von Haig et al. (2012) erstellt. Diese Zusammensetzung wurde auch für die Bewertung des Smart-Meter-Gateways verwendet, wobei die Gesamtmasse anhand von Datenblättern auf 200 g festgelegt wurde. Es handelt sich hierbei um ein 2 Teilungseinheiten großes Hutschienenmodul<sup>3</sup>. Für die Lebensdauer der Geräte wird beim Ferraris-Zähler der in der Studie von Ernst&Young (2013) festgelegte Wert von 16 Jahren genutzt. Für Smart Meter und Smart-Meter-Gateway wird als Basiswert die in Kapitel 4.1 ermittelte durchschnittliche Lebensdauer von 12 Jahren angenommen. Als Sensitivitäten werden hier die Eichfrist von 8 Jahren und das in den Kosten-Nutzen-Analysen angegebene Maximum von 20 Jahren verwendet.

Die Bandbreite der Strombedarfe in der Nutzungsphase der Smart Meter ist bereits in Kapitel 4.1 aufgeführt. Für den herkömmlichen Ferraris-Zähler wird hier der Wert von Sias (2017) von 8.75 kWh/a angenommen. Für Smart-Meter-Gateway wird einheitlich angenommen, dass der Verbrauch die Hälfte des Smart Meters beträgt. Für Smart Meter und Smart-Meter-Gateway zusammen, also ein intelligentes Messsystem, wird im Mittel ein Wert von 26 kWh angesetzt, da dies dem Mittel der in der Literatur angegebenen Werte entspricht. Für die Sensitivitäten wird eine Spannbreite von 17 kWh, was einer Leistung von 2 W entspricht und dem in der Literatur angegebene Maximum von 57 kWh betrachtet.

Die bis hierhin angegebenen Werte gelten dabei für alle Smart Meter Anwendungen. Der Datentransfer und die zu erreichenden Einsparungen sind jedoch abhängig von der Nutzung des Smart Meters. Daher wird hier zwischen zwei Anwendungen unterschieden: Dem Smart Meter mit einem Standard Feedback und dem Smart Meter mit einem Echtzeit-Feedback.

Der für den Datentransfer erforderliche Stromverbrauch wird pro GB an übertragenen Daten und anschließend gespeicherten Daten anhand der in der Übertragung beteiligten Geräte (u. a.

<sup>3</sup> Jede Teilungseinheit misst 17,5 mm, die Module sind maximal 85 mm hoch. Das SMGW misst hier also 35x85mm.

Endnutzergeräte, Router und Rechenzentren) ermittelt. Dieser Bottom-up-Ansatz orientiert sich an der Vorgehensweise anderer Studien (z. B. Leuenberger und Frischknecht 2010; Costenaro und Duer 2012; Aslan et al. 2018). Insgesamt beträgt die Summe der Stromverbräuche aller beteiligten Geräte nach dieser Methode 10,7 MJ/GB. In 2030 reduziert sich dieser Wert nach der aufgeführten Literatur leicht auf 9,5 MJ/GB. Wie beim Strommix wird auch hier zwischen 2018 und 2030 interpoliert, um den Wert für 2022 annäherungsweise zu bestimmen. Der angenommene Datentransfer richtet sich nach den Anwendungsfällen für die der Smart Meter eingesetzt wird. Für das Standard-Feedback wird ein Wert von 1 GB pro Jahr angenommen, im Falle eines Echtzeit-Feedbacks erhöht sich der Wert auf 3 GB pro Jahr. Insgesamt wird angenommen, dass ein Datentransfer nur in Kombination mit einem Smart-Meter-Gateway auftritt.

Für die zu erreichenden Einsparungen beim Stromverbrauch im Haushalt wurden ebenfalls die Anwendungsfälle unterschieden und jeweils durchschnittliche Einsparungen angenommen (vgl. Kapitel 4.2). Einsparungen sind allerdings nur zu erwarten, wenn zumindest ein einfaches Feedback-System vorhanden ist. Im Durchschnitt können bei einem Standard-Feedback 1 % Einsparung erwartet werden, bei Echtzeit-Feedback liegen diese bei 8 %.

**Tabelle 5: Sensitivitäten zur Bewertung der Umweltwirkung von Smart Metern**

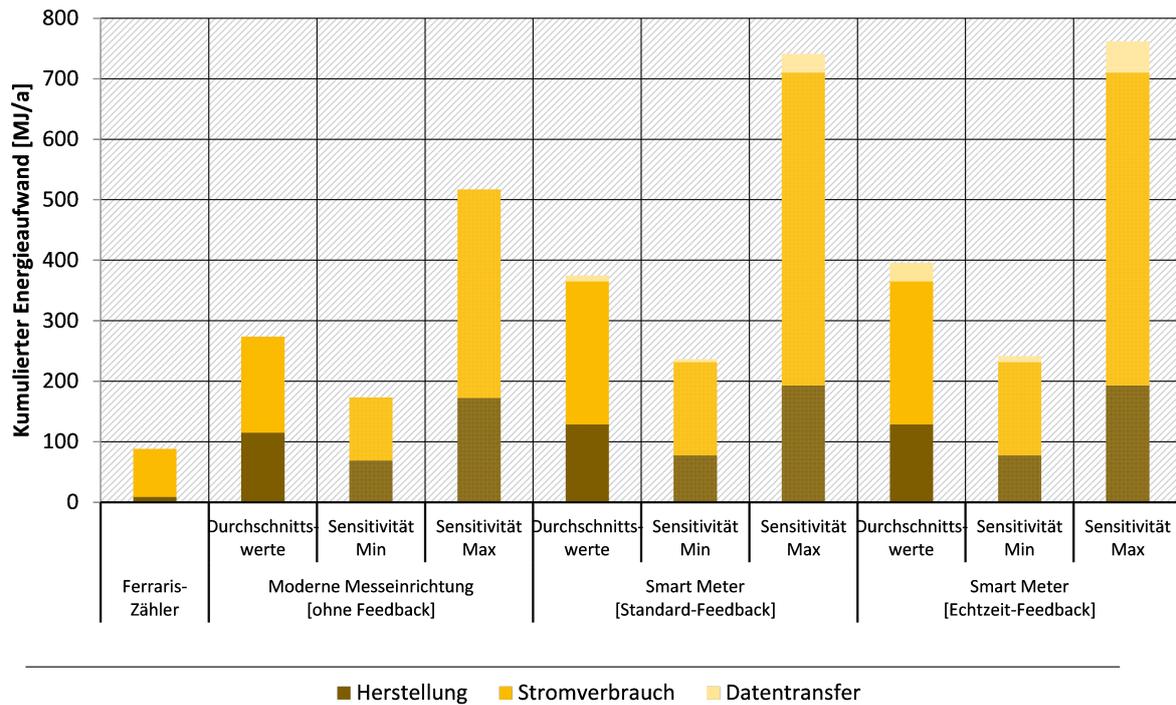
Parameter	Durchschnittswert	Bandbreite Sensitivität
Lebensdauer intelligente Zähler und Smart-Meter-Gateway	12 Jahre	8 - 20 Jahre
Stromverbrauch intelligente Zähler	17,5 kWh	11,5 - 38 kWh
Stromverbrauch Smart-Meter-Gateway	8,5 kWh	5,5 - 19 kWh
Datentransfer pro Smart-Meter-Gateway [Standard-Feedback]	1 GB	0,5 - 3 GB
Datentransfer pro Smart-Meter-Gateway [Echtzeit-Feedback]	3 GB	1 - 5 GB
Prozentuale Einsparung im Haushalt [Standard-Feedback]	1 %	0 - 3 %
Prozentuale Einsparung im Haushalt [Echtzeit-Feedback]	8 %	4 - 12 %

Zur Bewertung der Umwelteffekte wird hier auf den kumulierten Energieaufwand abgestellt. Diese Kenngröße beinhaltet alle energetischen Aufwendungen über den Lebensweg eines Produkts oder einer Dienstleistung inklusive Herstellung, Nutzung und Entsorgung. Alle Verluste, die bei der Rohstoffgewinnung und während der vorgelagerten Ketten auftreten, werden berücksichtigt<sup>4</sup>. Um den kumulierten Energieaufwand zu ermitteln, wurde eine Abschätzung für den kumulierten Energieaufwand des Strommixes im Jahr 2022 zugrunde gelegt. Das Jahr 2022 wurde hier einheitlich für die Berechnungen in Kapitel 4.4 und 4.5 gewählt, da bis zu diesem Zeitpunkt 2/3 des Smart Meter Rollouts in Deutschland erfolgt sein soll. Für die Festlegung des kumulierten Energieaufwands wurde der Strommix zunächst für das Jahr 2018, das heißt der Anteil der Erzeugungstechnologien pro Kilowattstunde Elektrizität, für die Berechnung der KEA von Fraunhofer ISE (2019) übernommen. Bezogen auf Verbräuche im Niederspannungsnetz ergibt sich auf dieser Datengrundlage ein KEA von 9,7 MJ/kWh<sub>el</sub>. Dieser Wert ist im Abgleich mit Fritsche und Greß (2018) plausibel. Daneben wurde der Wert für das Jahr 2030 auf den 80%-igen Klimapfad für Deutschland ausgelegt (Gerbert et al. 2018). Für das Jahr 2022 wurde annäherungsweise zwischen diesen literaturbasierten Werten interpoliert. Der Wert für 2022 liegt damit bei 9,1 MJ/kWh<sub>el</sub>.

<sup>4</sup> Es existieren mehrere, etwas unterschiedliche Verfahren, in dieser Analyse wird der kumulierte Energieaufwand bezogen auf den unteren Heizwert ausgewiesen.

In Abbildung 5 sind die Ergebnisse für die direkten Effekte des Smart Meters, das heißt die Herstellung, den Stromverbrauch in der Nutzungsphase und den Datentransfer dargestellt. Dabei werden drei unterschiedliche Zählerarten dargestellt. Die erste Säule zeigt die Umwelteffekte des Ferraris-Zählers, anschließend sind die Effekte einer modernen Messeinrichtung, sowie eines intelligenten Messsystems mit einem Standard- und Echtzeit-Feedback dargestellt. Dabei ist neben den Durchschnittswerten auch jeweils die Bandbreite dargestellt, die sich im Ergebnis durch die Sensitivitäten in Tabelle 5 ergeben.

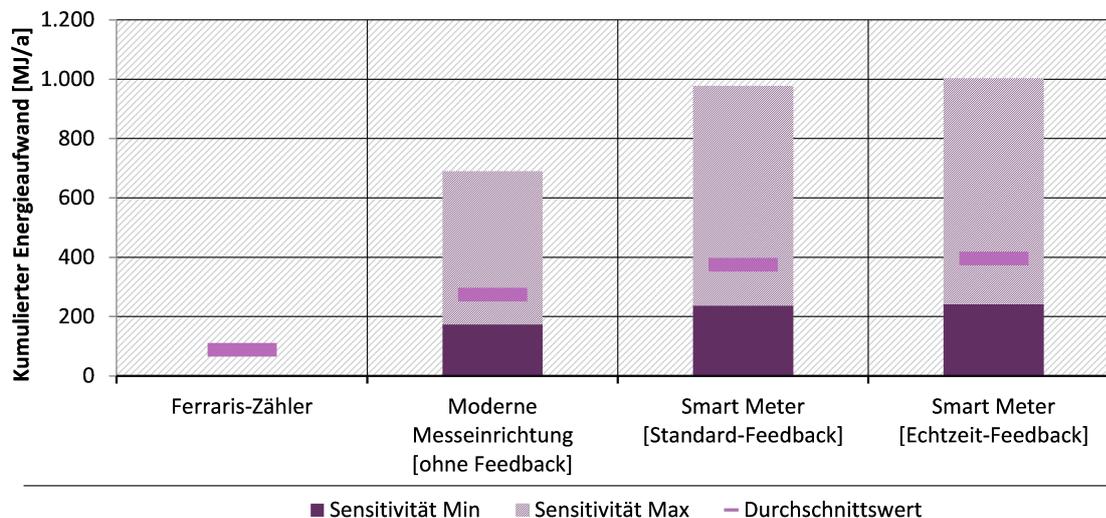
**Abbildung 5: Direkte Effekte beim Einbau eines Smart Meters aufgeteilt nach Kategorien**



Quelle: Eigene Berechnungen, basierend auf Daten von Sias (2017) sowie ausgewerteter Datenblätter (siehe Kapitel 4.1)

In Abbildung 6 sind noch einmal die Bandbreiten der Sensitivitäten nebeneinander dargestellt.

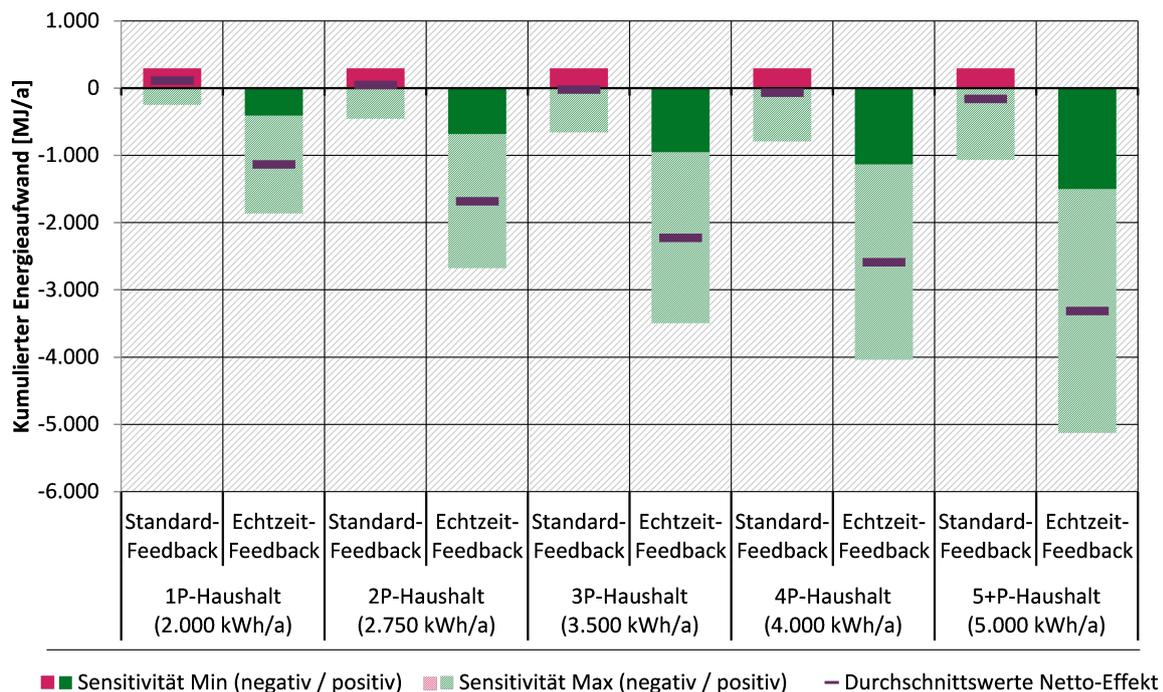
**Abbildung 6: Bandbreiten der direkten Effekte beim Einbau eines Smart Meters**



Quelle: Eigene Berechnungen

Dabei zeigt sich, dass die direkten Effekte der modernen Messeinrichtung im Durchschnitt ca. dreimal so hoch sind, wie die des Ferraris-Zählers. Im Fall eines intelligenten Messsystems sind die direkten Effekte sogar um den Faktor vier erhöht. Diese negativen Effekte ergeben sich damit zunächst durch den Einbau und die Nutzung der Technik. Dagegen stehen jedoch die positiven Effekte, die insbesondere durch Einsparungen im Stromverbrauch bei den Haushalten erreicht werden sollen. Abbildung 7 (und Tabelle 11 im Anhang) zeigt daher die Gesamteffekte, die beim Umstieg vom Ferraris-Zähler auf einen Smart Meter entstehen. Die Nettoeffekte durch den Umstieg auf ein intelligentes Messsystem wurden um die möglichen Einsparungen ergänzt. Dargestellt sind dabei verschiedene Haushaltsgrößen, denn je größer der jährliche Stromverbrauch, desto größer sind auch die potenziellen Einsparungen bei gleichbleibenden direkten Effekten. Die Tendenz ist jedoch in allen Fällen ähnlich: Mit einem einfachem Feedback-System lassen sich insgesamt geringe negative (1-2 Personen-Haushalte) bzw. geringe positive (ab 3-Personen-Haushalte) Effekte erreichen. Die Sensitivitäten zeigen aber, dass die Effekte hier durchaus mit Unsicherheiten zu sehen sind, die in allen Fällen eine insgesamt positive oder negative Wirkung zulassen. Im Fall eines Echtzeit-Feedbacks sind die zu erwartenden Wirkungen durchgängig positiv, d. h. es werden durch den Einsatz eines Echtzeit-Feedbacks Energieaufwände und damit auch Emissionen eingespart, auch in der gesamten Breite der betrachteten Sensitivitäten. Anzumerken ist, dass in keinem der Fälle die Einsparungen einberechnet werden, die sich auf Ebene des Energiesystems ergeben (vgl. Kapitel 4.3), da diese noch größeren Unsicherheiten unterliegen und außerhalb der Systemgrenze des Haushalts auftreten.

**Abbildung 7: Gesamteffekte für Smart Meter bei unterschiedlichen jährlichen Stromverbräuchen**



Quelle: Eigene Berechnungen, Stromverbrauch basierend auf dem Stromspiegel 2019 (co2online 2019)

#### 4.5 Abschätzung des kumulierten Energieaufwands für den Smart Meter Rollout in Deutschland

Sowohl die direkten als auch die indirekten Effekte des Smart Meter Rollout führen zu Umweltbe- bzw. -entlastungen im Vergleich zur Situation eines weiteren Einsatzes der herkömmlichen Stromzähler. Aus Sicht des Klimaschutzes sowie auch anderer Umweltwirkungen ist es von

Interesse zu bewerten, ob die positiven oder negativen Wirkungen überwiegen. Mit dem Ziel einer ersten Abschätzung der Nettowirkung des Smart Meter Rollouts wird an dieser Stelle die Methode des kumulierten Energieaufwands angewandt.

Die Hochrechnung der Effekte basiert auf der im Rahmen der Kosten-Nutzen-Analyse in Deutschland entstandenen Studie von Ernst&Young (2013), in der für verschiedene Szenarien Berechnungen zur Anzahl der intelligenten Messsysteme und intelligenten Zähler zu unterschiedlichen Zeitpunkten vorliegen. Ebenfalls enthält die Studie Angaben dazu, wie viele Stromzähler frühzeitig, das heißt außerhalb des Turnus, ausgetauscht werden. Die Bundesregierung hat sich basierend auf dieser Studie für die Umsetzung des dort analysierten „Rolloutszenario Plus“ entschieden. Die Untersuchungen werden daher auf dieses Szenario fokussiert, dass den Rollout von Smart Metern mit dem Rollout von intelligenten Zählern kombiniert. In der Studie findet sich auch die Angabe, dass in diesem Szenario das Stromeinsparpotenzial auf Haushaltsebene durch den Einsatz von Smart Metern und intelligenten Zählern im Mittel bei 1,2 % liegt. In der Studie ist im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse außerdem eine Minimaleinsparung von 0 % und eine Maximaleinsparung von 2,4 % angegeben. Der Stromverbrauch in Deutschland wird mit 535 TWh beziffert, auf Haushalte entfallen 137 TWh. Diese Werte werden von Ernst&Young (2013) auch für die Jahre 2022 und 2032 konstant gehalten.

**Tabelle 6: Kennzahlen zum Smart Meter Rollout im Rolloutszenario Plus**

	2022	2032
Anzahl Zähler gesamt	48,2 Mio.	50,3 Mio.
Intelligente Messsysteme	11,9 Mio.	15,8 Mio.
Intelligente Zähler	20,7 Mio.	34,5 Mio.
Summe Intelligente Messsysteme / Zähler	32,6 Mio.	50,3 Mio.
Rolloutquote insgesamt	67,6 %	100 %
Austausch von Zählern über Turnuswechsel	20,7 Mio.	35,5 Mio.
Mittleres Stromeinsparpotenzial (pro Zähler)	1,2 %	1,2 %
Absolutes Stromeinsparpotenzial (mittlerer Betrachtungsfall)	1.109 GWh	1.109 GWh

Quelle: Ernst&Young (2013) und eigene Berechnung

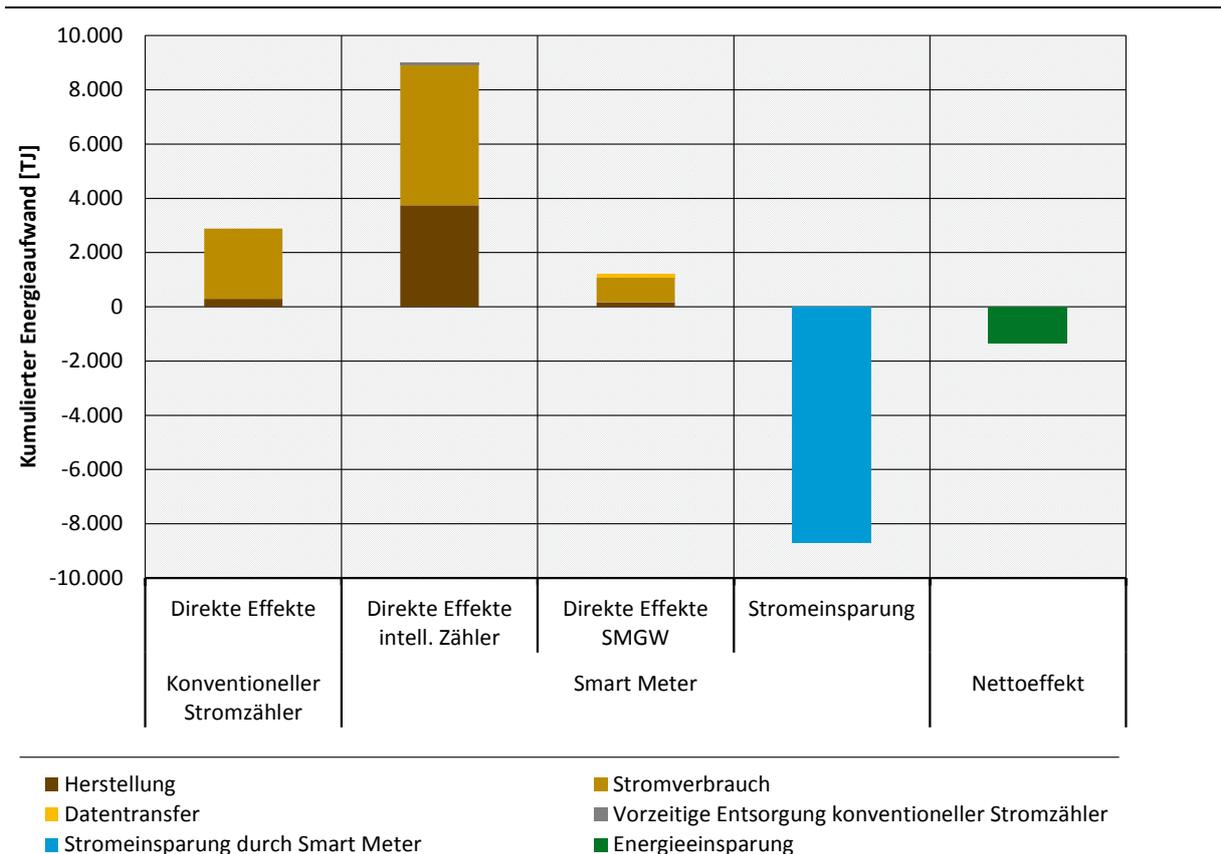
Mit diesen Angaben lässt sich ableiten, wie viele intelligente Zähler mit und ohne Smart-Meter-Gateway bis 2022 installiert werden sollen. Es ist zudem ersichtlich, wie viele konventionelle Stromzähler frühzeitig, vor Ablauf der theoretischen Lebensdauer ausgetauscht werden sollen. Für diese Stromzähler werden die sogenannten verlorenen Aufwendungen berücksichtigt. Hierfür werden die jährlichen Aufwendungen aus der Herstellung, die sich aus der theoretischen Nutzungsdauer ergeben, auf die verbleibende Nutzungsdauer hochgerechnet und anschließend mit der Lebensdauer des Smart Meter verrechnet.

Abbildung 8 zeigt die Ergebnisse der Berechnung des kumulierten Energieaufwands im Base Case für ein Jahr. Die ökologische Bewertung der einzelnen Komponenten, des Stromverbrauchs und des Datentransfers erfolgt wie in Kapitel 4.4 dargestellt. Mit den Angaben aus Tabelle 6 lässt sich außerdem die über alle Haushalte hinweg potenziell erzielbare Stromeinsparung als einen Teil der indirekten Effekte errechnen. In 2022 beispielsweise beträgt die potenzielle Stromeinsparung 1.109 GWh. Der Base Case bezieht sich auf die bis hierhin beschriebene Datengrund-

lage. Es handelt sich um Werte im Mittelfeld der Literatur bzw. technischen Datenblätter. Würden in 2022 weiterhin herkömmliche Stromzähler eingesetzt werden, so entstünde jährlich ein kumulierter Energieaufwand, wie er in der linken, gelben Säule ersichtlich ist. Im Fall des Smart Meter Rollout entstünde stattdessen jährlich der kumulierte Energieaufwand der Smart Meter zzgl. der verlorenen Aufwendungen durch einen vorzeitigen Austausch. Hinzu kommen noch die Aufwendungen aus den Smart-Meter-Gateways (dritte Säule). Allerdings ist auch von einer Stromeinsparung auf Haushaltsebene auszugehen, deren kumulierter Energieaufwand durch die blaue Säule angezeigt wird. Der jährliche Nettoeffekt ergibt sich schließlich aus der Summe der Smart Meter Effekte abzüglich des Wertes der konventionellen Zähler, die ersetzt werden. Das Ergebnis zeigt einen negativen kumulierten Energieaufwand als Nettoeffekt, das heißt durch den Smart Meter Rollout kann ein ökologischer Nutzen für die Kenngröße des kumulierten Energieaufwands erzielt werden. Zusammengefasst ergibt sich damit folgende Formel für den Nettoeffekt, die in Abbildung 8 nachzuvollziehen ist:

$$\begin{aligned} \text{Nettoeffekt (blaue Säule)} = & \text{ Direkte Effekte intelligenter Zähler (zweite Säule)} \\ & + \text{ Direkte Effekte der Smart-Meter-Gateways (dritte Säule)} \\ & - \text{ Direkte Effekte konventioneller Zähler (erste Säule)} \\ & + \text{ Stromeinsparung (blaue Säule)} \end{aligned}$$

**Abbildung 8: Kumulierter Energieaufwand für den Smart Meter Rollout im Base Case hochgerechnet auf das Jahr 2022**



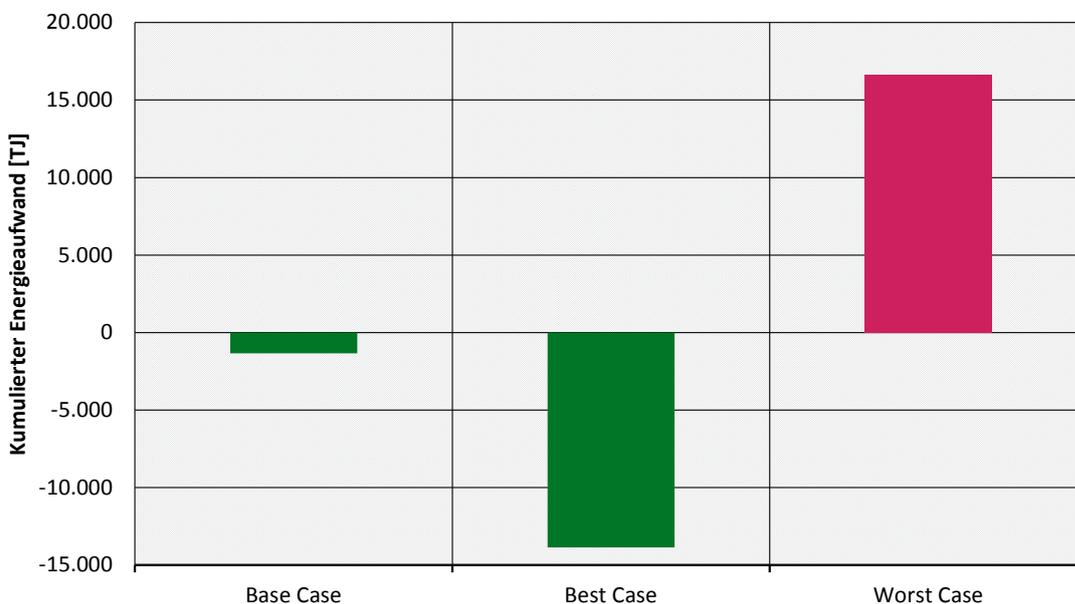
Quelle: Eigene Darstellung, basierend auf Daten von Ernst&Young (2013) im Rolloutszenario Plus, Sias (2017) sowie ausgewerteter Datenblätter (siehe Kapitel 4.1)

Allerdings zeigen die Inputdaten zum Strombedarf der der herkömmlichen Stromzähler, der Smart Meter sowie auch die potenzielle Stromeinsparung durch den Einsatz von Smart Meter nach Ernst&Young (2013) eine hohe Bandbreite an Werten auf. An dieser Stelle werden daher

im Sinne einer Sensitivitätsanalyse in zwei weiteren Szenarien der minimale und maximale Nutzen des Smart Meter Rollout aufgezeigt (Best Case und Worst Case). Die Parameter, die variiert werden, sind analog zum Fall der Haushalte gewählt (vgl. Tabelle 5). Das Stromeinsparpotenzial auf Haushaltsebene wurde jedoch durch die Annahmen von Ernst& Young (2013) abgeschätzt (Base: 1,2 %, Worst: 0 %, Best: 2,4 %).

Die in Abbildung 9 dargestellten Ergebnisse zeigen deutlich, wie sehr der Nutzen bzw. auch der Schaden des Smart Meter Rollouts davon abhängt, wie groß der Strombedarf der Geräte in der Nutzungsphase ist und welche Stromeinsparung auf Haushaltsebene tatsächlich erzielt wird. Es ist daher bei der Herstellung der Geräte auf eine hohe Effizienz zu achten. Vor allem jedoch ist es wichtig, bei der Einführung der Smart Meter darauf zu achten, dass die Nutzer\*innen die Vorteile eines Smart Meters ausschöpfen können. Nicht berücksichtigt wurden in dieser Untersuchung zudem weitere Umwelteffekte, die durch den Einsatz von Smart Metern auftreten können. Dazu zählen z. B. Rebound-Effekte oder positive Effekte im Stromnetz.

**Abbildung 9: Jährlicher Nettoeffekt des kumulierten Energieaufwands für drei Szenarien Base Case, Best Case und Worst Case**



Quelle: Eigene Darstellung, basierend auf Daten von Ernst&Young (2013), Sias (2017) sowie ausgewerteter Datenblätter

## 5 Fazit für den Smart-Meter-Rollout in Deutschland

Der EU-weite Smart Meter Rollout ist zwar das Ziel der Europäischen Kommission, aber die Richtlinien lassen den Mitgliedstaaten durch die Abwägung von Kosten und Nutzen und der nationalen Entscheidung über Funktionalitäten viele Freiheiten in der Ausgestaltung. Daher sind die Ziele beim Ausbau, der Stand des Ausbaus und die Erkenntnisse in den Ländern nicht gleich und auch nicht immer vergleichbar. Darüber hinaus ist der Einbau von Smart Metern mit Ausnahme von wenigen Ländern wie Schweden oder Italien noch eine recht neue Entwicklung mit wenig Erfahrungswerten. Nach einer ausführlichen Kosten-Nutzen-Analyse hat sich auch Deutschland für ein Rollout Szenario entschieden, dass zunächst den technischen Rollout festlegt und mit der Zertifizierung von drei Smart-Meter-Gateways im Jahr 2020 auch gestartet ist.

Um die ökologischen Potenziale zu heben, die der Smart Meter Rollout in Deutschland bringen kann, können sowohl aus den Erfahrungen der europäischen Mitgliedsstaaten als auch ersten ökologischen Berechnungen Hinweise ermittelt werden. Eine wichtige Erkenntnis aus allen Untersuchungen ist, dass der Rollout nicht automatisch zu positiven Umwelteffekten führt und hier Handlungsbedarf insbesondere bei der Einbindung der Haushalte besteht.

Der Fokus lag in Deutschland bisher auf der technischen Funktion der Smart Meter, der Zertifizierung und der sicheren Kommunikationsschnittstelle. Die technische Langlebigkeit ist aus ökologischer Sicht erstrebenswert, um zu vermeiden, dass Smart Meter frühzeitig ausgetauscht werden müssen, weil der Funktionsumfang nicht mehr den Anforderungen entspricht, wie es in Italien und Schweden passiert ist. Ein Grund dafür könnte die Messgenauigkeit bzw. Auflösung sein. Aktuell werden in Deutschland, wie von der EU empfohlen, 15-Minuten-Werte übertragen. Für eine Reaktion in Echtzeit oder genauere Auswertungen zum Stromverbrauch ist jedoch schon absehbar, dass diese Auflösung nicht ausreichend ist. Bisher lässt sich dies bei den zertifizierten Geräten jedoch durch ein Update der Software lösen. Insgesamt gibt es durch die bisherigen frühzeitigen Wechsel keine empirischen Daten wie die Nutzungsdauer von Smart Metern einzuschätzen ist. Neben den Anforderungen für die Anwendung ist auch die Eichung der Zähler ein entscheidender Faktor für die Nutzungsdauer, der von jedem Land selber festgelegt wird. Ziel sollte sein, den Geräte austausch möglichst selten vorzunehmen und eine maximale Lebensdauer zu erreichen – unter Berücksichtigung von Eichfrist, Kompatibilität mit neuen Funktionen und technischer Lebensdauer.

Neben der technischen Lebensdauer sind vor allem die Einsparpotenziale zu heben, um eine positive Umweltwirkung von Smart Metern zu erreichen. Die Erfahrungen in Europa, insbesondere in Schweden und Österreich, ebenso wie in Feldversuchen in Deutschland zeigen, dass hohe Einsparungen immer dann zu erwarten sind, wenn ein differenziertes Feedback mit einer komfortablen Anwendung für die Haushalte verfügbar ist. Aktuell ist in Deutschland zwar vorgesehen, dass die Verbraucher\*innen, wie von der EU vorgeschlagen, einen direkten Zugriff auf ihre Daten haben. Allerdings wurden keine Anforderungen für die Visualisierung oder Auswertung formuliert. §21 Abs. 2 MsbG sieht lediglich vor, dass intelligente Messsysteme „eine Visualisierung des Verbrauchsverhaltens des Letztverbrauchers ermöglichen“. Und auch die Regelungen in §40 Abs. 3 EnWG verpflichten nur zu einer „monatlichen Verbrauchsinformation, die auch die Kosten widerspiegelt“. Daher stehen diese Angebote für Messstellen- und Netzbetreiber aktuell auch nicht im Fokus und werden vorrangig durch Energiedienstleister angeboten. Es sollte jedoch mindestens sichergestellt sein, dass solche Angebote und Geschäftsmodelle für Haushalte zur Verfügung stehen und sie über den Austausch ihres Zählers und die damit verbundenen Möglichkeiten und den Zusatznutzen informiert sind.

Die hier durchgeführten Berechnungen zeigen zudem, dass eine positive Wirkung von Smart Metern nicht nur bei den Haushalten mit hohem Stromverbrauch erreicht werden kann, sondern

sich bei entsprechenden Feedback-Systemen und zugehörigen Geschäftsmodellen schon bei kleinen Haushalten der Einbau eines Smart Meters ökologisch lohnt. Aktuell ist dies mit einer hohen Eigeninitiative der Haushalte verbunden. Um die Verbreitung zu fördern und den Rollout weiter anzureizen, sollten für Haushalte entsprechende Angebote und Förderungen aufgelegt werden, die eine Verbreitung zertifizierter Smart Meter unterstützen und die die Verbraucher\*innen für das Thema sensibilisieren und Akzeptanz schaffen.

## 6 Quellenverzeichnis

Aleksic, Slavisa und Vedad Mujan (2016): Exergy-based Life Cycle Assessment of Smart Meters. Veranstaltung: 11th International Conference ELEKTRO2016, Mai, Strebske Pleso.

Aslan, Joshua, Kieren Mayers, Jonathan G. Koomey und Chris France (2018): Electricity Intensity of Internet Data Transmission: Untangling the Estimates: Electricity Intensity of Data Transmission. *Journal of Industrial Ecology* 22, Nr. 4 (August): 785–798.

BSI (2020): Marktanalyse zur Feststellung der technischen Möglichkeit zum Einbau intelligenter Messsysteme nach § 30 MsbG. Bonn: Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik.

[https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/SmartMeter/Marktanalysen/Marktanalyse\\_nach\\_Para\\_30\\_MsbG\\_v1\\_1\\_1.pdf;jsessionid=2B612A2A2855926AA54659611ABAD206.1\\_cid369?\\_blob=publicationFile&v=11](https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/SmartMeter/Marktanalysen/Marktanalyse_nach_Para_30_MsbG_v1_1_1.pdf;jsessionid=2B612A2A2855926AA54659611ABAD206.1_cid369?_blob=publicationFile&v=11) (Zugriff: 23. Februar 2020).

Carrie Armel, K., Abhay Gupta, Gireesh Shrimali und Adrian Albert (2013): Is disaggregation the holy grail of energy efficiency? The case of electricity. *Energy Policy* 52: 213–234.

co2online (2019): Stromspiegel für Deutschland 2019. Februar. <https://www.stromspiegel.de/fileadmin/ssi/stromspiegel/Broschuere/Stromspiegel-2019-web.pdf>.

Costenaro, D. und D. Duer (2012): The megawatts behind your megabytes: Going from data-centre to desktop. In: *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, S. S. 65-76. Veranstaltung: 17th biennial ACEEE conference, Pacific Grove, CA, USA.

Dromaue, Christophe und Rafaila Grigoriou (2018): The Role of Data for Consumer Centric Energy Markets and Solutions. [https://esmig.eu/sites/default/files/report\\_-\\_the\\_role\\_of\\_data\\_for\\_consumer\\_centric\\_energy\\_markets\\_and\\_solutions\\_2019.pdf](https://esmig.eu/sites/default/files/report_-_the_role_of_data_for_consumer_centric_energy_markets_and_solutions_2019.pdf).

Ernst&Young (2013): Kosten-Nutzen-Analyse für einen flächendeckenden Einsatz intelligenter Zähler. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/kosten-nutzen-analyse-fuer-flaechendeckenden-einsatz-intelligenterzaehler.html> (Zugriff: 8. Mai 2019).

Europäische Kommission (2014): Die Einführung intelligenter Verbrauchsmesssysteme in der EU-27 mit Schwerpunkt Strom im Vergleich. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014DC0356&from=EN> (Zugriff: 1. November 2019).

European Commission (2014): Country fiches for electricity smart metering. Brussels. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014SC0188&from=EN> (Zugriff: 1. November 2019).

European Commission DG Energy (2019): Smart Metering Benchmark Revised Final Report. Brussels. <https://www.vert.lt/SiteAssets/teises-aktai/EU28%20Smart%20Metering%20Benchmark%20Revised%20Final%20Report.pdf> (Zugriff: 7. November 2019).

Fraunhofer ISE [Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme] (2019): Nettostromerzeugung in Deutschland im Jahr 2018. [https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/news/2019/Stromerzeugung\\_2018\\_3.pdf](https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/news/2019/Stromerzeugung_2018_3.pdf) (Zugriff: 10. Januar 2019).

Freegard, Keith und Michael Claes (2009): Compositional Analysis of Kerbside Collected Small WEEE. WRAP und Axion Recycling Ltd. [http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Axion\\_WEEE\\_Composition\\_Report\\_-\\_FINAL\\_260209.3ff6dd40.6642.pdf](http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Axion_WEEE_Composition_Report_-_FINAL_260209.3ff6dd40.6642.pdf).

Fritsche, Uwe. R. und Hans-Werner Greß (2018): Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2017 sowie Ausblicke auf 2020 bis 2050.

Gerbert, Philipp, Patrick Herhold, Jens Burchardt, Stefan Schönberger, Florian Rechenmacher, Almut Kirchner, Andreas Kemmler und Marco Wunsch (2018): Klimapfade für Deutschland. Studie im Auftrag des Bundesverbandes der Deutschen Industrie (BDI). The Boston Consulting Group (BCG), Prognos.

Haig, Sam, Liz Morrish, Roger Morton und Simon Wilkinson (2012): Electrical product material composition. WRAP und Axion Consulting. <http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Electrical%20product%20material%20composition%20overview.pdf>.

Hoffmann, Patrick, Günther Frey, Malte Friedrich, Stefan Kerber-Clasen, Jörg Marschall und Manfred Geiger (2012): Praxistest „Moderne Energiesparsysteme im Haushalt“. Forschungsbericht. Saarbrücken: IZES gGmbH im Auftrag von co2online.

Huang, Yalin, Elin Grahn, Carl Johan Wallnerström und Lena Jaakonantti (2018): Smart meters in Sweden – lessons learned and new regulations (Dezember): 12.

ICCS-NTUA und AF Mercados EM [Institute of Communication & Computer Systems of the National Technical University of Athens] (2015): Study on cost benefit analysis of Smart Metering Systems in EU Member States. Final Report. Athen, Madrid: European Commission. <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/AF%20Mercados%20NTUA%20CBA%20Final%20Report%20June%202015.pdf> (Zugriff: 19. Februar 2020).

Jenkins, Kirsten, Benjamin Sovacool und Paula Kivimaa (2018): The smart meter rollout: Social questions and challenges. Policy Briefing 08. Centre on Innovation and Energy Demand (CIED). [http://www.cied.ac.uk/wordpress/wp-content/uploads/2018/01/4049\\_policy\\_briefing\\_08\\_web.pdf](http://www.cied.ac.uk/wordpress/wp-content/uploads/2018/01/4049_policy_briefing_08_web.pdf) (Zugriff: 19. November 2019).

Leuenberger, Marianne und Rolf Frischknecht (2010): Life Cycle Assessment of Virtual Mobility. Uster: ESU-services Ltd.

Leysen, Raphael (2018): An analysis of smart meter deployment in Sweden with applicability to the case of India. <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1232060/FULLTEXT01.pdf> (Zugriff: 11. Dezember 2019).

Louis, Jean-Nicolas, Antonio Calo, Kauko Leiviskä und Eva Pongrácz (2015): Environmental Impacts and Benefits of Smart Home Automation: Life Cycle Assessment of Home Energy Management System. In: *IFAC-Paper-sOnLine*, Vol. 48: S. S. 880-885. Issue 1. Veranstaltung: 8th Vienna International Conference on Mathematical Modelling: MATHMOD 2015.

Pyrko, Jurek (2011): “Am I as smart as my smart meter is?” – Swedish experience of statistics feedback to households. In: *Energy efficiency first: The foundation of a low-carbon society*, S. 1837–1841. Veranstaltung: eceee 2011 Summer Study, Belambra Presqu’île de Giens, Frankreich. [http://www.ees.energy.lth.se/fileadmin/ees/Publikationer/8-041\\_Pyrko.pdf](http://www.ees.energy.lth.se/fileadmin/ees/Publikationer/8-041_Pyrko.pdf).

Raw, Gary und David Ross (2011): Energy Demand Research Project: Final Analysis. AECOM. <https://www.ofgem.gov.uk/publications-and-updates/energy-demand-research-project-final-analysis> (Zugriff: 13. Februar 2020).

Renner, Stephan, Andrea Jamek, Martin Baumann und Maximilian Urban (2012): Smart Metering. Die Auswirkungen von Feedback auf das Energieverbrauchsverhalten. Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency.

Ryberg, Tobias (2017): The second wave of smart meter rollouts begin in Italy and Sweden. *Smart Energy International*. 22. Oktober. Website: <https://www.smart-energy.com/regional-news/europe-uk/second-wave-smart-meter-rollouts-begins-italy-sweden/> (Zugriff: 1. November 2019).

Sias, Glenn Gregory (2017): Characterization of the Life Cycle Environmental Impacts and Benefits of Smart Electric Meters and Consequences of their Deployment in California. Los Angeles: University of California. <https://escholarship.org/uc/item/3h2772v0>.

Zhou, Shan und Marilyn A. Brown (2017): Smart meter deployment in Europe: A comparative case study on the impacts of national policy schemes. *Journal of Cleaner Production* 144 (Februar): 22–32. <https://linking-hub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652616320868> (Zugriff: 1. November 2019).

## A Anhang

**Tabelle 7: Vorgeschlagene Positionen und Variablen für die Kosten-Nutzen-Analyse**

Inputvariablen	Kostenkategorien	Nutzeneffekte
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ prognostizierte Schwankung des Energieverbrauchs</li> <li>▶ prognostizierte Schwankung der Energiepreise</li> <li>▶ Verlagerung der Spitzenlast</li> <li>▶ Stromverluste auf der Übertragungs- und Verteilungsebene</li> <li>▶ geschätzte nicht gelieferte Minuten</li> <li>▶ Wert der Zahlungsbereitschaft für die Beibehaltung der Stromversorgung</li> <li>▶ Diskontierungssatz</li> <li>▶ Materialkosten (z.B. intelligenter Zähler, GPRS-/PLC-Modem usw.)</li> <li>▶ Anzahl der zu installierenden intelligenten Messsysteme</li> <li>▶ Kosten für die Installation der intelligenten Messsysteme</li> <li>▶ voraussichtliche Lebensdauer der intelligenten Messsysteme</li> <li>▶ Zählerablesekosten</li> <li>▶ erfolgreiche Datenübertragung</li> <li>▶ Inflationsrate</li> <li>▶ Kostensenkung entsprechend dem Reifegrad der Technologie</li> <li>▶ Umsetzungszeitplan</li> <li>▶ Prozentsatz der in ländlichen Gebieten installierten Zähler gegenüber den in städtischen Gebieten installierten Zählern</li> <li>▶ CO<sub>2</sub>-Kosten</li> </ul>	<p><b>CAPEX (Investitionsausgaben)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Investitionen in intelligente Messsysteme</li> <li>▶ Investitionen in die Informationstechnologie</li> <li>▶ Investitionen in die Kommunikationstechnologie</li> <li>▶ Investitionen in haushaltsinterne Anzeigen (sofern vorhanden)</li> <li>▶ Erzeugung</li> <li>▶ Übertragung</li> <li>▶ Verteilung</li> <li>▶ vermiedene Investitionen in konventionelle Zähler (negative Kosten; sind der Liste der Nutzeffekte hinzuzufügen)</li> </ul> <p><b>OPEX (Betriebsausgaben)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ IT-Wartungskosten</li> <li>▶ Kosten für das Netzmanagement und Anfangskosten</li> <li>▶ Kommunikations-/Datenübertragungskosten (inkl. GPRS, Funkübertragung usw.)</li> <li>▶ Kosten für das Management von Szenarios</li> <li>▶ Ersatz/Ausfall intelligenter Messsysteme (nach und nach)</li> <li>▶ Rückgang der Erlöse (z. B. durch effizienteren Verbrauch)</li> <li>▶ Erzeugung</li> <li>▶ Verteilung</li> <li>▶ Übertragung</li> <li>▶ Ablesung der Zähler</li> <li>▶ Call-Center/Kundenbetreuung</li> <li>▶ Schulungskosten (z. B. Kundenbetreuer und Installateure)</li> </ul> <p><b>Zuverlässigkeit</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Kosten für die Wiederherstellung der Stromversorgung</li> </ul>	<p><b>Verringerung der Zählerablese- und -betriebskosten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ geringere Zählerbetriebskosten</li> <li>▶ geringere Zählerablesekosten</li> <li>▶ geringere Abrechnungskosten</li> <li>▶ geringere Call-Center/ Kundenbetreuungskosten</li> </ul> <p><b>Verringerung der Betriebs- und Instandhaltungskosten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ geringere Kosten für die Instandhaltung der Anlagen</li> <li>▶ geringere Kosten für defekte Ausrüstungen</li> </ul> <p><b>Zurückgestellte/vermiedene Investitionen in die Verteilungs- oder Übertragungskapazität</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ wegen der mit den Anlagen erzielten Rendite zurückgestellte Investitionen</li> <li>▶ wegen der Amortisierung der Anlagen zurückgestellte Investitionen</li> </ul> <p><b>Zurückgestellte/ vermiedene Investitionen in die Erzeugungskapazität</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Spitzenlast-Kraftwerke</li> <li>▶ rotierende Reserven</li> </ul> <p><b>Verringerung technischer Stromverluste</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ geringere technische Stromverluste</li> </ul> <p><b>Stromkosteneinsparungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Verringerung des Verbrauchs</li> <li>▶ Verlagerung der Spitzenlast</li> </ul> <p><b>Verringerung der kommerziellen Verluste</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ geringerer Stromdiebstahl</li> <li>▶ Erlöse, die durch die Beitreibung von Geldern für nicht bezahlten kontrahierten Strom erzielt werden</li> <li>▶ Erlöse, die durch zusätzlich kontrahierten Strom erzielt werden</li> </ul> <p><b>Verringerung der Zeiten der Nichtverfügbarkeit</b></p>

Inputvariablen	Kostenkategorien	Nutzeneffekte
	<p><b>Umwelt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Emissionskosten (CO<sub>2</sub>-Begrenzungsausrüstung, Betriebs- und Emissionsgenehmigungen)</li> </ul> <p><b>Energieversorgungssicherheit</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Kosten der für die Stromerzeugung verbrauchten fossilen Brennstoffe</li> <li>▶ Kosten der für Transport und Betrieb verbrauchten fossilen Brennstoffe</li> </ul> <p><b>Sonstige</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Kosten der Programme zur Einbeziehung der Kunden</li> <li>▶ verlorene Aufwendungen für zuvor installierte (herkömmliche) Zähler</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Wert der Zahlungsbereitschaft für die Beibehaltung der Stromversorgung</li> <li>▶ geringere Ausgaben für die Kundenentschädigung</li> </ul> <p><b>Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ ...aufgrund geringerer Leitungsverluste</li> <li>▶ ...aufgrund einer größeren Verbreitung der CO<sub>2</sub>-armen Erzeugungsquellen</li> <li>▶ ...aufgrund von Instandsetzungseinsätzen</li> </ul> <p><b>Verringerung der Luftverschmutzung (Partikel, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ ...aufgrund geringerer Leitungsverluste</li> <li>▶ ...aufgrund einer größeren Verbreitung der CO<sub>2</sub>-armen Erzeugungsquellen</li> <li>▶ ...aufgrund von Instandsetzungseinsätzen</li> </ul>

Quelle: Eigene Darstellung der Empfehlung der Europäischen Kommission zu Vorbereitungen für die Einführung intelligenter Messsysteme (2012/148/EU)

**Tabelle 8: Ausbauraten von Smart Metern in den EU-Mitgliedstaaten (Stand 2018)**

	Anzahl konventioneller Stromzähler [in Mio. Stück]	Anzahl Smart Meter (installiert bis 2018) [in Mio. Stück]	Anzahl der vorhandenen Stromzähler [in Mio. Stück]	Prozentualer Ausbau (bis 2018)
Österreich	5,4	0,7	6,1	12 %
Belgien	6,0	0,0	6,0	0 %
Bulgarien	4,7	0,0	4,7	0 %
Kroatien	2,4	0,1	2,4	2 %
Zypern	0,5	0,0	0,5	0 %
Tschechische Republik	5,7	0,0	5,7	0 %
Dänemark	1,0	2,3	3,4	69 %
Estland	0,0	0,7	0,7	99 %
Finnland	0,0	3,6	3,6	100 %
Frankreich	31,7	9,0	40,7	22 %
Deutschland	50,7	0,0	50,7	0 %
Griechenland	7,3	0,2	7,5	3 %

	Anzahl konventioneller Stromzähler [in Mio. Stück]	Anzahl Smart Meter (installiert bis 2018) [in Mio. Stück]	Anzahl der vorhandenen Stromzähler [in Mio. Stück]	Prozentualer Ausbau (bis 2018)
Ungarn	7,4	0,1	7,5	1 %
Irland	2,2	0,0	2,2	0 %
Italien	0,6	36,2	36,8	99 %
Lettland	0,6	0,4	1,0	36 %
Litauen	1,7	0,0	1,7	2 %
Luxemburg	0,2	0,1	0,3	25 %
Malta	0,0	0,3	0,3	97 %
Niederlande	4,6	4,0	8,6	47 %
Polen	16,2	1,5	17,7	8 %
Portugal	4,5	1,5	6,0	25 %
Rumänien	8,8	0,4	9,2	5 %
Slowakei	2,4	0,1	2,5	5 %
Slowenien	0,4	0,5	0,9	58 %
Spanien	1,9	26,1	28,0	93 %
Schweden	0,0	5,3	5,3	100 %
Großbritannien	23,9	5,9	29,8	20 %

Quelle: European Commission DG Energy (2019)

**Tabelle 9: Verbreitung von Smart Meter Funktionen**

Anzahl Mitgliedstaaten\*

	Smart Meter Funktionen, die standardmäßig installiert sind	Smart Meter Funktionen, die vorgesehen sind oder bereits installiert worden sind	Smart Meter Funktionen, die kostenlos zur Verfügung gestellt werden
a) Bereitstellung der Messwerte direkt für Verbraucher*innen	15	24	20
b) Ausreichend häufige Aktualisierung der Messwerte	17	24	19
c) Fernablesung durch den Messstellenbetreiber	22	24	20
d) Bidirektionale Kommunikation	23	24	19
e) Häufige für die Netzplanung ausreichende Messungen	19	24	20

	Smart Meter Funktionen, die standardmäßig installiert sind	Smart Meter Funktionen, die vorgesehen sind oder bereits installiert worden sind	Smart Meter Funktionen, die kostenlos zur Verfügung gestellt werden
f) Unterstützung fortschrittlicher Tarifsysteme	15	23	21
g) Fern-Ein-/Ausschaltung der Versorgung und/oder Lastflüsse	18	23	17
h) Bereitstellung einer sicheren Datenkommunikation	20	23	21
i) Betrugsprävention und -aufdeckung	20	21	20
j) Import-/Export- und reaktiven Messungen	19	23	20

\*Unter Einbezug von 24 Mitgliedstaaten, ausgenommen wurden Länder ohne Smart Meter: Belgien (Brüssel-Region), Zypern, Tschechische Republik, Dänemark, Deutschland und Ungarn

Quelle: Eigene Darstellung nach European Commission DG Energy (2019, S. 57-60)

**Tabelle 10: Angaben zu Lebensdauer und Stromverbrauch in technischen Datenblättern**

Modell	Firma	Lebensdauer	Eigenverbrauch [in kWh/Jahr]
OMNIPOWER einphasig	Kamstrup	k.A.	1,8-5,3 kWh
SiconiaTM SMARTY IQ-LAN	Sagemcom	k.A.	24,5-56,9 kWh
S560	Landis + Gyr	20 Jahre	21,9-35,0 kWh
ST100	Meter &Control	k.A.	17,5 kWh
Sx40y single phase	Meter &Control	k.A.	k.A.
Sx401 G3-PLC single phase	Meter &Control	k.A.	k.A.
5CTM Single Phase	ZIV	k.A.	17,5 kWh
5CTD Three Phase	ZIV	k.A.	17,5 kWh
5CTB Three Phase	ZIV	k.A.	17,5 kWh
5CTA Single Phase	ZIV	k.A.	k.A.
5CTD Multifunctional 3 phase	ZIV	k.A.	17,5 kWh
MTR 3500	Networked Energy Services	20 Jahre	17,5 kWh
MTR 5000	Networked Energy Services	20 Jahre	17,5 kWh
Generation 4 MTR 3000	Networked Energy Services	20 Jahre	17,5 kWh
Generation 4 MTR 3000, IEC P2P Meters	Networked Energy Services	20 Jahre	14,0 kWh
OTUS, smartESOX	Aparator	k.A.	k.A.

Modell	Firma	Lebensdauer	Eigenverbrauch [in kWh/Jahr]
ITZ generation N	EMH metering	k.A.	7,0 kWh
ED300S	EMH metering	k.A.	10,5 kWh
ED300L	EMH metering	k.A.	10,5 kWh
ED100L	EMH metering	k.A.	10,5 kWh
SGM1400C	Aclara	k.A.	k.A.
IEC Smart Energy Meter	Aclara	k.A.	16,6-18,4 kWh
SGM1300	Aclara	k.A.	k.A.
ACE Sparklet	itron	k.A.	8,8-17,5 kWh
Stratus IQ	Sensus	20 Jahre	10,5 kWh
AS220	Honeywell	10 Jahre	6,1 kWh
AS3000	Honeywell	10 Jahre	6,1 kWh
Meteroit 4.0	Discovery	k.A.	k.A.
CASA 1.0	EMH Metering	k.A.	k.A.
Smart Grid Hub SGHv3	EFR GmbH	k.A.	13,1 kWh
devolo SMGWplus	devolo	k.A.	k.A.
Conexa 3.0	theben	k.A.	26,3 kWh
Conexa 2.0	theben	k.A.	26,3 kWh

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis öffentlich verfügbarer technischer Datenblätter

**Tabelle 11: Gesamteffekte für Smart Meter bei unterschiedlichen jährlichen Stromverbräuchen**

	Anzahl Personen und Jahresverbrauch	Durchschnittswert Nettoeffekt [in MJ/a]	Sensitivität [in MJ/a]
<b>Standard-Feedback</b>	1-Personen-Haushalt (2.000 kWh/a)	113	295 bis -250
	2-Personen-Haushalt (2.750 kWh/a)	45	295 bis -454
	3-Personen-Haushalt (3.500 kWh/a)	-23	295 bis -658
	4-Personen-Haushalt (4.000 kWh/a)	-68	295 bis -794
	5+ -Personen-Haushalt (5.000 kWh/a)	-159	295 bis -1.066
<b>Echtzeit-Feedback</b>	1-Personen-Haushalt (2.000 kWh/a)	-1.136	-410 bis -1.862
	2-Personen-Haushalt (2.750 kWh/a)	-1.681	-683 bis -2.679
	3-Personen-Haushalt (3.500 kWh/a)	-2.225	-955 bis -3.496
	4-Personen-Haushalt (4.000 kWh/a)	-2.588	-1.136 bis -4.040
	5+ -Personen-Haushalt (5.000 kWh/a)	-3.314	-1.499 bis -5.129

Quelle: Eigene Berechnung, Stromverbrauch basierend auf dem Stromspiegel 2019 (co2online 2019)