

# Integration und Investitionskosten von unterschiedlichen Technologien im Verteilernetz und Kundenanlagen zur Erreichung energiepolitischer Ziele

Maria AIGNER<sup>(1)</sup>, Ernst SCHMAUTZER<sup>(1)</sup>, Alfons HABER<sup>(2)</sup>, Beate FRIEDL<sup>(\*)</sup><sup>(3)</sup>,  
Markus G. BLIEM<sup>(3)</sup>, Peter STEINBACHNER<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Technische Universität Graz, Institut für Elektrische Anlagen, Inffeldgasse 18/1, 8010 Graz, +43 316 873 7567, maria.aigner@tugraz.at, www.ifea.tugraz.at

<sup>(2)</sup> Allgemein beeideter und gerichtlich zertifizierter Sachverständiger, Mösslacherstraße 31/2/62, 9220 Velden, +43 664 4145428, alfons@haber.co.at, www.haber.co.at

<sup>(3)</sup> Institut für Höhere Studien Kärnten, Alter Platz 10, 9020 Klagenfurt, +43 463 592 150 21, friedl@carinthia.ihs.ac.at, www.carinthia.ihs.ac.at

<sup>(4)</sup> Energie Klagenfurt GmbH, St. Veiterstraße 31, 9020 Klagenfurt, +43 463 521 160, Peter.Steinbachner@energieklagenfurt.at, www.energieklagenfurt.at

**Kurzfassung:** In der aktuellen Diskussion über die Zukunft der elektrischen Energieversorgung nimmt die Debatte, ob ein Ausbau der Verteilernetze oder die Entwicklung von „Smart Grids“ zu bevorzugen sind, einen breiten Raum ein. Um diese Frage zu beantworten, werden in der vorliegenden Publikation die Investitionskosten der in den drei Szenarien implementierten Technologien dargestellt. Ausgehend von energiepolitischen Rahmenbedingungen werden die drei ECONGRID-Szenarien (Current Policy, Renewable<sup>+</sup>, Flexdemand) für den Betrachtungszeitraum 2014 bis 2030 definiert. Dabei wird der Einfluss von unterschiedlichen Rahmenbedingungen der zukünftigen Entwicklung von Verteilernetzen untersucht. Dazu zählen exogen festgelegte Parameter wie zum Beispiel die Erhöhung des Anteils der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, Möglichkeiten der Lastverschiebung und Stärkung des Energiebewusstseins sowie der Zuwachs an Elektromobilen auf den klassischen erprobten Netzausbau (Leitungsverstärkung, Zubau von Ortsnetzstationen, Netzerweiterung usw.) oder auf den großflächigen Einsatz smarter Technologien inkl. IKT-Anbindung (steuerbare Endgeräte, steuerbare Stromkreise usw.). Der bisher übliche Weg des Verteilernetzausbaus der ECONGRID-Szenarien wird durch den Migrationspfad „konventionell“ beschrieben, der großflächige Einsatz von smarten Technologien wird anhand der Migrationspfade „smart“ und „smart plus“ abgebildet. Die zentrale Frage ist, welcher Migrationspfad (konventionell, smart bzw. smart plus) aus gesamtwirtschaftlicher Sicht zu bevorzugen ist.

**Keywords:** ECONGRID-Szenarien, Verteilernetze, Smart Grids, erneuerbare Energien, smarte Technologien, Investitionskosten

## 1 Einleitung

Ausgehend von einer technischen Analyse von Verteilernetzstrukturen in Österreich werden Funktionalitäten für Netze, Stromerzeuger und Kunden, die zur Erreichung der Ziele in ECONGRID-Szenarien wie z. B. verstärkter Ausbau erneuerbarer Energien, Erhöhung der Elektromobilität etc. notwendig sind, spezifiziert.

Basierend auf den erforderlichen Funktionalitäten zur Erreichung der Zielvorgaben werden in Folge die Technologien festgelegt, analysiert und die Investitionskosten dieser Technologien, unter Berücksichtigung verschiedener Ausstattungsgrade in einzelnen Migrationspfaden (konventionell, smart und smart plus) der ECONGRID-Szenarien verglichen.

Wesentlicher Unterschied zwischen den untersuchten Migrationspfaden des Verteilernetzausbaus, konventionell, smart und smart plus, ist der Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT). Der konventionelle Migrationspfad berücksichtigt dabei lediglich einen situationsbedingten, regionalen Einsatz von IKT gemäß dem Stand der Technik, d. h. zwischen den Marktteilnehmern liegt nur eine eingeschränkte Kommunikation vor. Der smarte Migrationspfad sieht einen großflächigen, überregionalen Einsatz von IKT vor, der Migrationspfad smart plus beinhaltet ebenfalls einen großflächig, überregionalen Einsatz der IKT, darüber hinaus wird die Autonomie ausgewählter Kunden angestrebt. Dadurch wird der intensivierte und verstärkte Einsatz smarterer Technologien gegenüber dem smarten Migrationspfad dargestellt. Zusätzlich kommt es durch eine angestrebte Autonomie der Kunden im Migrationspfad smart plus ggf. zu einer regionalen Entlastung der Verteilernetze. Diese Entlastung spiegelt sich in lokal verringerten Netzum- und -ausbaukosten wieder. Die voranschreitende Entwicklung und Verbesserung der technischen Komponenten sowie Preisveränderungen werden in den Analysen berücksichtigt.

## 2 Methodische Vorgangsweise

Im Projekt ECONGRID wurden drei Szenarien (Current Policy, Renewable<sup>+</sup>, Flexdemand) definiert, welche „mögliche Entwicklungen“ skizzieren und nicht als Prognosen zu interpretieren sind.

Zur Erreichung der angenommen Zielsetzungen (exogen festgelegte Parameter) in den ECONGRID-Szenarien wurden zwei Betrachtungszeiträume gewählt (2014 bis 2020 sowie 2021 bis 2030). Im Zeitraum von 2014 bis 2020 wird im konventionellen Migrationspfad der klassische, erprobte Weg des Verteilernetzausbaus berücksichtigt. Für den smarten Migrationspfad wird der Weg mit smarten Komponenten entsprechend dem aktuellen Stand der Technik bzw. verfügbaren Technologien beschritten. Im Migrationspfad smart plus wird gegenüber dem smarten Migrationspfad ein höherer Ausstattungsgrad von smarten Technologien berücksichtigt.

Da eine Entwicklung und Verbesserung technischer Komponenten vorausgesetzt wird, beinhaltet der konventionelle Migrationspfad ab dem Jahr 2021 den zu erwartenden Fortschritt. Dies bedeutet, dass Komponenten, welche bereits heute, jedoch nur in einem geringen Ausmaß, verfügbar sind, z. B. Speicher (Akkumulatoren) oder Smart Home Technologien bei den Kunden, regelbare Ortsnetztransformatoren (jedoch ohne großflächige, überregionale bzw. zentrale IKT-Einbindung) sowohl in den smarten Migrationspfaden als auch im konventionellen Migrationspfad berücksichtigt werden. Die Unterscheidung zwischen den Pfaden wird über unterschiedliche Prozentsätze in der Marktdurchdringung berücksichtigt. In den konventionellen Migrationspfaden 2021 bis 2030

wird davon ausgegangen, dass bei Wohnhäusern mit einem E-Fahrzeug die Wahrscheinlichkeit hoch ist, dass hier ebenfalls eine PV-Anlage und auch ein Speicher (z. B. Akkumulator) installiert sind. Dieser Aspekt ist unabhängig davon, ob ein Smart Grid existiert oder nicht, und wird u. a. von der Preisentwicklung, von Förderungen, vom persönlichen Interesse, dem ökologischen Bewusstsein, den zusätzlichen Informationen etc. getrieben [1].

## 2.1 ECONGRID-Szenarien

Exogen festgelegte Parameter auf der Angebots- und Nachfrageseite müssen in den ECONGRID-Szenarien (Current Policy, Renewable<sup>+</sup>, Flexdemand) sowohl über den konventionellen, smarten sowie über den smart plus Migrationspfad erreicht werden.

Als exogen festgelegte Parameter auf der Angebotsseite werden Einspeisewerte in GWh verursacht durch den Ausbau erneuerbarer Energien, insbesondere Photovoltaik, berücksichtigt. Nachfrageseitig fließen die Elektromobilität, Speicher und ein damit verbundenes Demand Response in die Analysen ein [1].

Den folgenden Beschreibungen der ECONGRID-Szenarien wird an dieser Stelle vorausgeschickt, dass in allen Szenarien bis Ende 2019 Ferraris-Zähler durch Smart Meter weitgehend ersetzt werden [4]).

### **Szenario Current Policy:**

Im Current Policy Szenario werden bereits beschlossene Maßnahmen und gesetzlich verankerte Regelungen umgesetzt (z. B. Ökostromgesetz [2]). Beispielsweise sei hier die Elektromobilität als wichtiger Einflussfaktor genannt, diese wird mit 2 % der österreichischen Gesamtflotte für PKWs in den Analysen berücksichtigt.

### **Szenario Renewable<sup>+</sup>:**

Im Renewable<sup>+</sup> Szenario wird dem ambitionierten Ausbau erneuerbarer Energien ein erhöhter Vorrang eingeräumt. Daher wird die dezentrale Erzeugung aus erneuerbaren Energien im Vergleich zum Szenario Current Policy erhöht, der Prozentsatz der Elektromobilität bleibt unverändert.

### **Szenario Flexdemand:**

Im Flexdemand Szenario gewinnt die Flexibilisierung der Nachfrage (Stichwort: Demand Side Management) an Bedeutung. Neben einem hohen Lastverschiebepotenzial wird ein zum Szenario Renewable<sup>+</sup> gleichbleibender Ausbau dezentraler Erzeugung berücksichtigt. Die Erhöhung der Elektromobilität erfolgt unter Berücksichtigung der Studie vom Umweltbundesamt (2010) [3] auf ca. 4 % der österreichischen Gesamtflotte.

## 2.2 Migrationspfade

Vorgabe des Projekts ist die Zielerreichung exogen festgelegte Parameter über die Migrationspfade konventionell, smart und smart plus in den drei ECONGRID-Szenarien – siehe Abbildung 1.

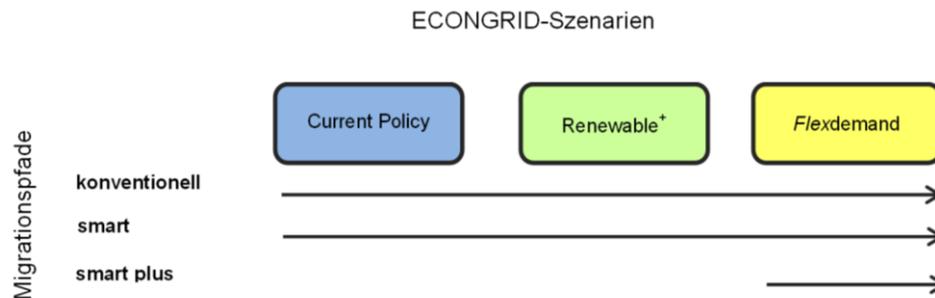


Abbildung 1: ECONGRID-Szenarien, Migrationspfade [1]

Die Einhaltung der exogen festgelegten Parameter wird entweder über den klassischen, erprobten Netzausbau (Leitungsverstärkungen, Zubau von Ortsnetzstationen etc.) im Migrationspfad konventionell oder über den Einsatz smarterer Technologien in den beiden anderen Migrationspfaden smart bzw. smart plus erreicht. Der Migrationspfad smart plus beinhaltet gegenüber dem Migrationspfad smart einen höheren Ausstattungsgrad mit smarten Technologien.

Die Unterscheidungsmerkmale zwischen dem konventionellen und den smarten Migrationspfaden werden durch folgende Charakteristika beschrieben:

- Migrationspfad: konventionell - Entwicklung wie gehabt, situationsbedingter, regionaler Einsatz von Informationstechnologien (eingeschränkte Kommunikation zwischen den Marktteilnehmern)
- Migrationspfad: smart - verstärkter Einsatz smarterer Technologien, großflächiger, überregionaler Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien (ausgebaute Kommunikation)
- Migrationspfad: smart plus - großflächiger, überregionaler Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien, im Vergleich zum smarten Migrationspfad wird hier zusätzlich eine erhöhte Autonomie der Kunden angestrebt. Damit kommt es im Vergleich zum smarten Migrationspfad zu einer stärkeren lokalen Entlastung der Verteilernetze, der Netz-Umbau bzw. die Netz-Erweiterung kann ggf. zeitlich verzögert werden.

## 3 Erhebung der Technologien

In Tabelle 1 sind die untersuchten Technologien im konventionellen sowie in den smarten Migrationspfaden für den Betrachtungszeitraum 2014 bis 2020 sowie für 2021 bis 2030 dargestellt. Die Technologien werden speziellen Kategorien (Verteilernetz, E-Mobilität, Dezentrale Erzeugungsanlagen (DEA), Speicher, Smarte Technologien) gemäß Tabelle 1 zugeteilt. Die Investitionskosten der definierten Kategorien liefern die Grundlage für die

Kosten-Nutzen-Analyse [8]. Die mit 1) gekennzeichneten Technologien weisen darauf hin, dass die in den Szenarien festgelegten Zielwerte unabhängig von den Migrationspfaden erreicht werden müssen, d. h. der Einsatz dieser Technologien unterscheidet sich in den Migrationspfaden nicht voneinander. In den mit 2) gekennzeichneten Technologien wird die Unterscheidung zwischen dem konventionellen und den smarten Migrationspfaden über unterschiedliche Prozentsätze der Marktdurchdringung dieser Technologien vorgenommen. Diese Unterscheidung anhand der Marktdurchdringung der Technologien ist nur für den Betrachtungszeitraum 2021 bis 2030 von Relevanz, da von einem Fortschritt in der Entwicklung der Technologien ausgegangen wird und ausgewählte smarte Technologien der Jahre 2014 – 2020 in den Jahren 2021 – 2030 auch im konventionellen Ausbau zu finden sind.

Tabelle 1: Unterschiede der Technologien in den Migrationspfaden

Kategorie	Technologie	2014 - 2020			2021 -2030		
		Migrationspfad			Migrationspfad		
		konventionell	smart	smart plus	konventionell	smart	smart plus
Verteilernetz	Umspannwerke (Hochspannung/Mittelspannung)	x	x	x	x	x	x
	Schaltanlagen (im Mittelspannungsnetz)	x	x	x	x	x	x
	Mittelspannung: Leitungsverstärkung & -ausbau	x	x	x	x	x	x
	Niederspannung: Leitungsverstärkung & -ausbau	x	x	x	x	x	x
	Netzschutz (Mittel- und Niederspannung)	x	x	x	x	x	x
	Leittechnik für das Verteilernetz	x	x	x	x	x	x
	Ortsnetzstationsausbau & Transformatorverstärkung	x	x	x	x	x	x
	Regelbare Ortsnetztransformatoren	–	x	x	x <sup>2)</sup>	x	x
	<b>Transformatorstationen für die Elektromobilität <sup>1)</sup></b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
E-Mobilität	<b>Schnellladestationen im Niederspannungsnetz für die Elektromobilität <sup>1)</sup></b>	x	x	x	x	x	x
DEA	<b>Dezentrale Erzeugungslagen <sup>1)</sup></b>	x	x	x	x	x	x
Speicher	Speicher inkl. Laderegler, dezentral	–	x	x	x <sup>2)</sup>	x	x
Smarte Technologien	<b>Smart Meter <sup>1)</sup></b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
	Laststeuerung beim Kunden durch den Netzbetreiber (Ersatz Rundsteuerung)	x	x	x	x	x	x
	Last-, Demand Side- und Einspeisemangement beim Kunden	–	x	x	x <sup>2)</sup>	x	x
	Smart Home Technologien	–	x	x	x <sup>2)</sup>	x	x

## 4 Kostenanalyse

### 4.1 Investitionskosten 2014-2030

Die Investitionskosten der Kategorien Erweiterung des Verteilernetzes, E-Mobilität, Dezentrale Erzeugungsanlagen, Speicher und Smarte Technologien wurden unter Berücksichtigung der zu erwartenden Preisentwicklung der Komponenten im Betrachtungszeitraum 2014 bis 2030 angegeben – siehe Abbildung 2 bis Abbildung 4.

Die Investitionskosten der Technologien werden in einem Investitionsbereich („von-bis“) angeführt und berücksichtigen somit handelsübliche Preise.

Hinsichtlich der Zählpunktsentwicklung 2014 bis 2030 wurde der Austausch von Ferraris Zählern auf Smart Meter und der damit erwartete Rückbau von Zählpunkten berücksichtigt. Ab dem Zeitpunkt der gesetzlich vorgeschriebenen Einführung (2019) wurden die Zählpunkte unter Berücksichtigung der Entwicklung des Gebäudebestandes in Österreich bis zum Jahr 2030 hochgerechnet.

In den untersuchten Szenarien wurde, in Abhängigkeit des jeweiligen Betrachtungszeitraums von einer hohen Durchdringung von dezentralen Speichern im Niederspannungsnetz ausgegangen. Den Investitionskosten für die Speicher liegt die Annahme zugrunde, dass ein großflächiger Einsatz von dezentralen Speichern nur dann erfolgt, wenn die Rentabilität der Speicher gegeben ist (d. h. die Anschaffungskosten der Speicher und Laderegler können im Laufe der Einsatzdauer über verminderte Strombezugskosten amortisiert werden). Die angenommenen Investitionskosten für Speicher und Laderegler liegen damit noch deutlich unter den aktuellen Anschaffungskosten [1].

Der größte Kostentreiber in allen Szenarien ist durch Dezentrale Erzeugungsanlagen gegeben, diese Anschaffungskosten werden in den Analysen von den Kunden investiert.

#### Investitionskosten Szenario Current Policy [1]

Abbildung 2 zeigt die Investitionskosten des Szenarios Current Policy pro Zählpunkt der Kategorien Erweiterung des Verteilernetzes, Smarte Technologien, Dezentrale Erzeugungsanlagen, Speicher und Elektromobilität.

Ein Kostentreiber im Bereich des Verteilernetzes ist die Verstärkung und der Ausbau der Niederspannungsnetze, gefolgt von der Verstärkung und dem Ausbau der Mittelspannungsnetze. Durch den Einsatz smarterer Technologien und die dadurch anzunehmende verbesserte Information über Erzeugung und Verbrauch sowie der besseren Planbarkeit des Netzbetriebs kann die Netzverstärkung- und der -ausbau im *smarten* gegenüber dem *konventionellen Migrationspfad* reduziert oder zeitlich verschoben werden. Ein weiterer Kostentreiber und mitverantwortlich für die höheren Investitionskosten des *konventionellen Migrationspfads* gegenüber dem *smarten Migrationspfad* in der Kategorie Verteilernetz, ist der verstärkte Zu- und Ausbau von Ortsnetzstationen und Transformatoren (in klassischer Technologie) sowie eine höhere Anzahl von Schaltanlagen im Mittelspannungsnetz gegenüber dem *smarten Migrationspfad*. Da angenommen wird, dass im Betrachtungszeitraum 2014 bis 2020 keine oder nur vernachlässigbar wenige regelbare

Ortsnetztransformatoren zum Einsatz kommen und im Betrachtungszeitraum 2021 bis 2030 im *konventionellen* gegenüber dem *smarten Migrationspfad* nur eine geringe Anzahl von regelbaren Ortsnetztransformatoren eingesetzt wird, ist es notwendig, unter Berücksichtigung des Lastflusses und der Spannungsgrenzwerte mehr Transformatoren klassischer Bauart zuzubauen. Damit ergeben sich höhere Investitionskosten im *konventionellen Migrationspfad* gegenüber den *smarten Migrationspfaden*, da die Anforderungen an das Niederspannungsnetz durch die verstärkte dezentrale Erzeugung aus erneuerbaren Energien gedeckt werden müssen. Im Gegensatz dazu sind, aufgrund der großflächigen Einbindung der Ortsnetzstationen in die Leittechnik, die Investitionskosten für den *smarten Migrationspfad* in dieser Kategorie höher. Die angenommenen identen Einspeisemengen aus erneuerbaren Energien und eine gleichbleibende zu erwartende Stromverbrauchssteigerung erfordern einen einheitlichen Zubau von Umspannwerken und die Adaptierung des Netzschutzes in beiden Migrationspfaden.

In der Kategorie der Smarten Technologien ergeben sich im *smarten Migrationspfad* höhere Investitionskosten gegenüber dem *konventionellen Migrationspfad*. Dies ist darin zu begründen, dass im Betrachtungszeitraum 2014 – 2020 noch keine Smart Home Technologien zum Einsatz kommen und diese erst im Betrachtungszeitraum 2021 – 2030 in einer geringeren Ausprägung im *konventionellen* gegenüber dem *smarten Migrationspfad* eingesetzt werden. Größter Kostentreiber in der Kategorie der smarten Technologien ist die gesetzlich vorgeschriebene Installation von Smart Metern, dieser Kostenpunkt ist in beiden Migrationspfaden jedoch ident. Neben der vorgeschriebenen Installation von Smart Metern in 95 % aller Zählpunkte im Betrachtungszeitraum 2014 – 2020 wird auch der weitere Zählpunktzuwachs im Betrachtungszeitraum 2021 - 2030 berücksichtigt.

In der Kategorie Dezentrale Erzeugungsanlagen werden neben dezentralen Photovoltaik-Anlagen auch dezentrale KWK-Anlagen (auf Gebäudeebene) betrachtet. Aufgrund der identen Einspeisemengen durch Photovoltaik kommt es zwischen dem *konventionellen* und dem *smarten Migrationspfad* des Current Policy Szenarios zu keiner Differenz in den Investitionskosten. Der *konventionelle* und *smarte* Migrationspfad unterscheidet sich im Szenario Current Policy geringfügig durch den Einsatz von gasbetriebenen KWK-Anlagen. Daher ergeben sich im *konventionellen Migrationspfad* geringfügig niedrigere Investitionskosten als im *smarten Migrationspfad*.

Ein weiterer wichtiger Kostenbestandteil sind dezentral angeordnete Speicher inklusive Laderegler. Die Speicherkosten sind jedoch in erster Linie für den *smarten Migrationspfad* und den Betrachtungszeitraum 2021 bis 2030 relevant. Die Integration dezentraler Speicher in den *konventionellen Migrationspfad* ist auf einen geringen Prozentsatz beschränkt und hat daher im *konventionellen Migrationspfad* keinen maßgebenden Einfluss auf die Investitionskosten.

Die festgelegten Ausbauziele und die Annahmen der Stückzahl an E-Mobilen in Österreich erfordern in beiden Migrationspfaden gleich viele Transformatoren für Schnellladestationen im Niederspannungsnetz im öffentlichen Bereich – daher ergibt sich kein Unterschied in den Investitionskosten in den beiden Migrationspfaden.

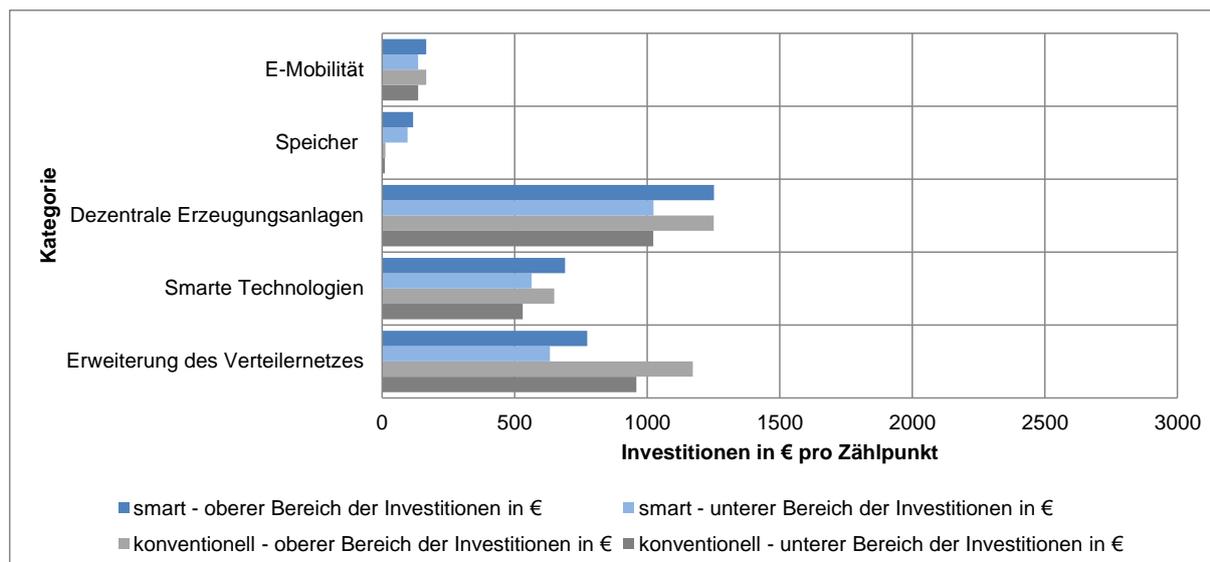


Abbildung 2: Szenario Current Policy - Investitionen in € pro Zählpunkt, Migrationspfade konventionell und smart, 2014 - 2030

### Investitionskosten Szenario Renewable<sup>+</sup> [1]

Abbildung 3 zeigt die Investitionskosten pro Zählpunkt des Szenarios Renewable<sup>+</sup> der Kategorien Erweiterung des Verteilernetzes, Smarte Technologien, Dezentrale Erzeugungsanlagen, Speicher und Elektromobilität.

Ein Kostentreiber im Bereich des Verteilernetzes ist die Verstärkung und der Ausbau der Niederspannungsnetze, gefolgt von der Verstärkung und dem Ausbau der Mittelspannungsnetze. Durch den Einsatz smarterer Technologien und die dadurch anzunehmende verbesserte Information über Erzeugung und Verbrauch sowie der besseren Planbarkeit des Netzbetriebs, kann die Netzverstärkung und der -ausbau im *smarten Migrationspfad* gegenüber dem *konventionellen Migrationspfad* reduziert oder zeitlich verschoben werden. Ein weiterer Kostentreiber und mitverantwortlich für die höheren Investitionskosten des *konventionellen Migrationspfads* gegenüber dem *smarten Migrationspfad* in der Kategorie Verteilernetze, ist der verstärkte Zu- und Ausbau von Ortsnetzstationen und Transformatoren (in klassischer Technologie) sowie eine höhere Anzahl von Schaltanlagen im Mittelspannungsnetz. Da angenommen wird, dass im Betrachtungszeitraum 2014 bis 2020 keine oder nur vernachlässigbar wenige regelbare Ortsnetztransformatoren zum Einsatz kommen und im Betrachtungszeitraum 2021 bis 2030 im *konventionellen* gegenüber dem *smarten Migrationspfad* nur eine geringe Anzahl von regelbaren Ortsnetztransformatoren eingesetzt wird, ist es notwendig, unter Berücksichtigung des Lastflusses und der Spannungsgrenzwerte mehr Transformatoren klassischer Bauart zuzubauen. Damit ergeben sich höhere Investitionskosten im *konventionellen Migrationspfad* gegenüber dem *smarten Migrationspfad*, da die Anforderungen an das Niederspannungsnetz durch die verstärkte dezentrale Erzeugung aus erneuerbaren Energien gedeckt werden müssen. Im Gegensatz dazu sind, aufgrund der großflächigen Einbindung der Ortsnetzstationen in die Leittechnik, die Investitionskosten für

den *smarten Migrationspfad* in dieser Kategorie höher. Die angenommenen identen Einspeisemengen aus erneuerbaren Energien und eine gleichbleibende zu erwartende Stromverbrauchssteigerung erfordern einen einheitlichen Zubau von Umspannwerken und die Adaptierung des Netzschutzes in beiden Migrationspfaden.

In der Kategorie der Smarten Technologien ergeben sich im *smarten Migrationspfad* höhere Investitionskosten gegenüber dem *konventionellen Migrationspfad*. Dies ist darin zu begründen, dass im Betrachtungszeitraum 2014 – 2020 noch keine Smart Home Technologien zum Einsatz kommen und diese erst im Betrachtungszeitraum 2021 – 2030 in einer geringeren Ausprägung im *konventionellen* gegenüber dem *smarten Migrationspfad* eingesetzt werden. Größter Kostentreiber in der Kategorie Smarte Technologien ist die gesetzlich vorgeschriebene Installation von Smart Metern, dieser Kostenpunkt ist in beiden Migrationspfaden jedoch ident. Neben der vorgeschriebenen Installation von Smart Metern in 95 % aller Zählpunkte im Betrachtungszeitraum 2014 – 2020 wird auch der weitere Zählpunktzuwachs im Betrachtungszeitraum 2021 - 2030 berücksichtigt.

In der Kategorie Dezentrale Erzeugungsanlagen werden neben dezentralen Photovoltaik-Anlagen auch dezentrale KWK-Anlagen (auf Gebäudeebene) betrachtet. Aufgrund der identen Einspeisemengen durch Photovoltaik kommt es zwischen dem *konventionellen* und dem *smarten Migrationspfad* des Renewable<sup>+</sup> Szenarios zu keiner Differenz in den Investitionskosten. Der *konventionelle* und *smarte* Migrationspfad unterscheidet sich im Szenario Renewable<sup>+</sup> geringfügig durch den Einsatz von gasbetriebenen KWK-Anlagen. Daher ergeben sich im *konventionellen Migrationspfad* geringfügig niedrigere Investitionskosten als im *smarten Migrationspfad*.

Ein weiterer wichtiger Kostenbestandteil sind dezentral angeordnete Speicher inklusive Laderegler. Die Speicherkosten sind jedoch in erster Linie für den *smarten Migrationspfad* und den Betrachtungszeitraum 2021 bis 2030 relevant. Die Integration dezentraler Speicher im *konventionellen Migrationspfad* ist auf einen geringen Prozentsatz beschränkt und hat daher im *konventionellen Migrationspfad* keinen maßgebenden Einfluss auf die Investitionskosten.

Die festgelegten Ausbauziele und die Annahmen der Stückzahl an E-Mobilen in Österreich erfordern in beiden Migrationspfaden gleich viele Transformatoren für Schnellladestationen im Niederspannungsnetz im öffentlichen Bereich – daher ergibt sich kein Unterschied in den Investitionskosten in den beiden Migrationspfaden.

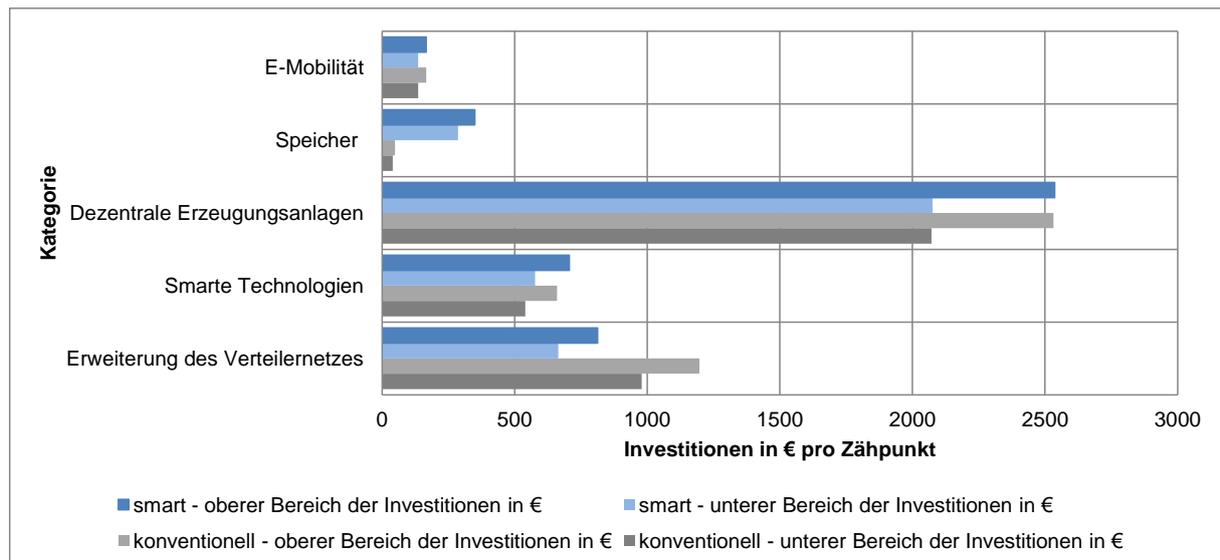


Abbildung 3: Szenario Renewable<sup>+</sup> - Investitionen in € pro Zählpunkt, Migrationspfade konventionell und smart, 2014 - 2030

### Investitionskosten Szenario Flexdemand [1]

Abbildung 4 zeigt die Investitionskosten pro Zählpunkt des Szenarios Flexdemand der Kategorien Erweiterung des Verteilernetzes, Smarte Technologien, Dezentrale Erzeugungsanlagen, Speicher und Elektromobilität.

Ein Kostentreiber im Bereich des Verteilernetzes ist die Verstärkung und der Ausbau der Niederspannungsnetze, gefolgt von der Verstärkung und dem Ausbau der Mittelspannungsnetze. Durch den Einsatz smarterer Technologien und die dadurch anzunehmende verbesserte Information über Erzeugung und Verbrauch sowie der besseren Planbarkeit des Netzbetriebs, kann die Netzverstärkung und der -ausbau in den *smarten Migrationspfaden* gegenüber dem *konventionellen Migrationspfad* reduziert oder zeitlich verschoben werden.

Die Investitionskosten der Kategorie Erweiterung des Verteilernetzes des *smart plus Migrationspfads* verringern sich gegenüber dem *smarten Migrationspfad*. Begründet ist dies durch ein erhöhtes Lastverschiebepotential, durch größere Speicher und den verstärkten Einsatz von smarten Technologien. Dadurch kann der Leitungsausbau sowohl in der Niederspannung wie auch in der Mittelspannung geringfügig gegenüber dem *smarten Migrationspfad* vermindert werden.

Wie bereits in den beiden anderen Szenarien beschrieben ist der verstärkte Zu- und Ausbau von Ortsnetzstationen und Transformatoren (in klassischer Technologie) sowie eine höhere Anzahl von Schaltanlagen im Mittelspannungsnetz (gegenüber dem *smarten* bzw. *smart plus Migrationspfad*) ein wesentlicher Investitionsblock im *konventionellen Migrationspfad*.

Da angenommen wird, dass im Betrachtungszeitraum 2014 bis 2020 keine oder nur vernachlässigbar wenige regelbare Ortsnetztransformatoren zum Einsatz kommen und im Betrachtungszeitraum 2021 bis 2030 im *konventionellen* gegenüber den *smarten Migrationspfaden* nur eine geringe Anzahl von regelbaren Ortsnetztransformatoren eingesetzt wird, ist es notwendig, unter Berücksichtigung des Lastflusses und der

Spannungsgrenzwerte mehr Transformatoren klassischer Bauart zuzubauen. Damit ergeben sich höhere Investitionskosten im *konventionellen Migrationspfad* gegenüber den *smarten Migrationspfaden (smart, smart plus)*, da die Anforderungen an das Niederspannungsnetz durch die verstärkte dezentrale Erzeugung aus erneuerbaren Energien gedeckt werden müssen. Im Gegensatz dazu sind, aufgrund der großflächigen Einbindung der Ortsnetzstationen in die Leittechnik, die Investitionskosten für die *smarten Migrationspfade (smart, smart plus)* in dieser Kategorie höher. Die angenommenen identen Einspeisemengen aus erneuerbaren Energien und eine gleichbleibende zu erwartende Stromverbrauchssteigerung erfordern einen einheitlichen Zubau von Umspannwerken und die Adaptierung des Netzschutzes in beiden Migrationspfaden.

In der Kategorie der Smarten Technologien ergeben sich höhere Investitionskosten gegenüber dem *konventionellen Migrationspfad*. Die höheren Investitionskosten gegenüber dem *konventionellen Migrationspfad* ergeben sich dadurch, dass im Betrachtungszeitraum 2014 – 2020 keine Smart Home Technologien zum Einsatz kommen und diese erst im Betrachtungszeitraum 2021 – 2030 in einer geringeren Ausprägung im *konventionellen* gegenüber dem *smarten Migrationspfad* eingesetzt werden. Die höheren Investitionskosten des *smart plus Migrationspfads* gegenüber dem *smarten Migrationspfad* ergeben sich durch die im *Migrationspfad smart plus* angenommenen Zielsetzungen. Größter Kostentreiber in der Kategorie Smarte Technologie ist die gesetzlich vorgeschriebene Installation von Smart Metern, dieser Kostenpunkt ist in allen Migrationspfaden jedoch ident. Neben der vorgeschriebenen Installation von Smart Metern (95 % aller Zählpunkte im Betrachtungszeitraum 2014 – 2020) wird auch der weitere Zählpunktzuwachs im Betrachtungszeitraum 2021 - 2030 berücksichtigt.

Bei den Dezentralen Erzeugungsanlagen kommt es aufgrund der identen Einspeisemengen durch Photovoltaik zwischen dem *konventionellen* und den *smarten Migrationspfaden (smart und smart plus)* des Flexdemand Szenarios zu keiner Differenz bei den Investitionskosten. Der *konventionelle* und die *smarten* Migrationspfade unterscheiden sich im Szenario Flexdemand geringfügig durch den Einsatz von gasbetriebenen KWK-Anlagen. Daher ergeben sich im *konventionellen Migrationspfad* geringere Investitionskosten als im *smarten Migrationspfad*. Die erhöhten Investitionskosten des *smart plus Migrationspfads* gegenüber dem *smarten Migrationspfad* werden durch eine verstärkte Einbindung von KWK-Anlagen auf Haushaltsebene hervorgerufen

Die Integration dezentraler Speicher im *konventionellen Migrationspfad* ist auf einen geringen Prozentsatz beschränkt und hat daher dort keinen maßgebenden Einfluss auf die Investitionskosten. Durch die wesentlich stärkere Durchdringung mit Speichern steigen die Investitionskosten im Migrationspfad smart plus beträchtlich an. Die höheren Speicherkosten ergeben sich durch größere Vorort installierte Speicher, um den angestrebten Eigenversorgungsgrad der Kunden zu bewerkstelligen.

Die festgelegten Ausbauziele und die Annahmen der Stückzahl an E-Mobilen in Österreich erfordern in den *Migrationspfaden konventionell, smart und smart plus* gleich viele Transformatoren für Schnellladestationen im Niederspannungsnetz im öffentlichen Bereich – daher ergibt sich kein Unterschied in den Investitionskosten in den Migrationspfaden.

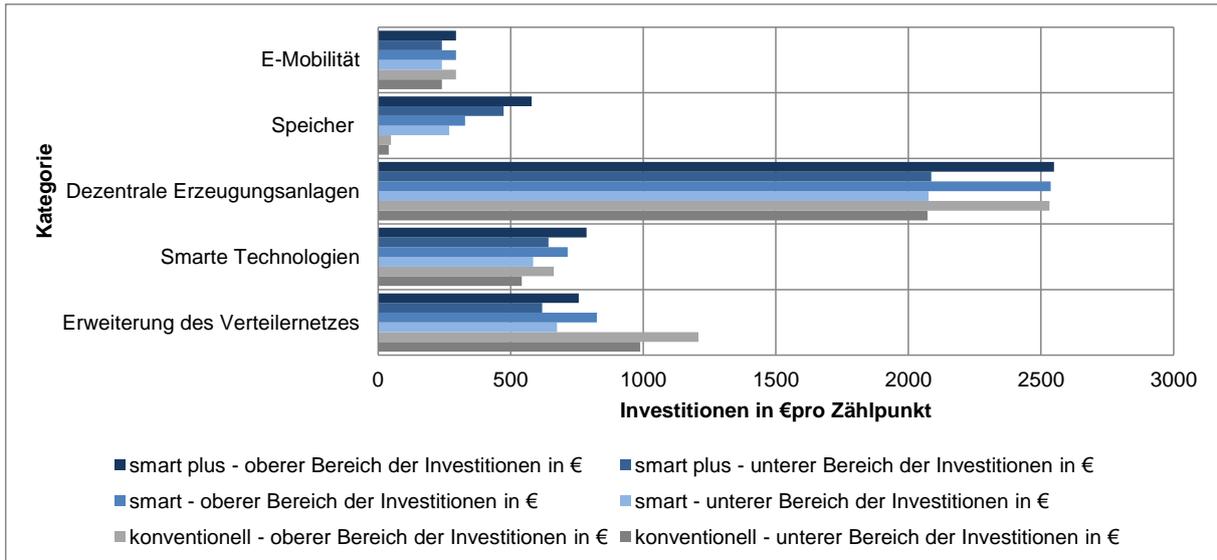


Abbildung 4: Szenario Flexdemand - Investitionen in € pro Zählpunkt, Migrationspfade konventionell, smart und smart plus, 2014 - 2030

## 5 Zusammenfassung

Die Integration erneuerbarer Energien erfordert neben der Anpassung bestehender Netze auch situationsbedingte, lokale Erneuerungen und Erweiterungen einerseits im Verteilernetz und andererseits im Bereich von Kundenanlagen.

Die vorliegende Arbeit stellt die Investitionskosten für die Integration erneuerbarer Energien in das Verteilernetz, Elektromobilität etc. bei Verfolgung eines konventionellen sowie zweier smarter Migrationspfade dar. Der konventionelle Migrationspfad bildet den klassischen Netzausbau (klassische Transformatoren, Zubau von Leitungen ...) ab. In den smarten Migrationspfaden wird der Netzausbau über smarte Technologien (regelbare Ortsnetzstationen und smarte Technologien, ...) realisiert.

Als maßgebender Kostentreiber in den konventionellen Migrationspfaden kann die Verstärkung des Verteilernetzes angegeben werden. Gerade der in dieser Kategorie enthaltene Leitungsaus- und -zubau ist maßgebender Faktor und Verursacher des Unterschieds in den Investitionskosten zwischen konventionellen und smarten Ausbaustrategien. Die Investitionskosten können im Vergleich dazu in den smarten Migrationspfaden durch das "smarte" IKT- dominierte Zusammenwirken von Erzeugung und Verbrauchern unter Berücksichtigung von Speichern verzögert bzw. ggf. lokal verringert werden. Die Investitionskosten der Speicher unterliegen jedoch der Annahme, dass Rentabilität der Speicher gegeben ist (d. h. die Anschaffungskosten der Speicher und Laderegler können im Laufe der Einsatzdauer über verminderte Strombezugskosten amortisiert werden).

Als weiterer Kostentreiber ist die Einführung der Smart Meter zu nennen. Da jedoch in allen Szenarien davon ausgegangen wird, dass elektronische Zähler bis 2019 eingebaut werden (müssen) treten die Kosten der Smart Meter Einführung in allen Szenarien gleich auf, somit tritt dieser Kostentreiber bei den Aggregationen der Kosten nicht direkt in Erscheinung.

Investitionen werden durch den Zubau von Erzeugungsanlagen, den Verbrauch und den allgemeinen Ersatz- und Instandhaltungsbedarf erforderlich. Ob und wieweit diese Technologien in der Praxis eingesetzt werden, hängt von betrieblichen Strategien der Verteilernetzbetreiber sowie den Entscheidungen der Kunden ab, da der betriebswirtschaftliche Erfolg mit einem hohen Investitionsrisiko behaftet ist.

Die ermittelten Investitionskosten der Migrationspfade für die ECONGRID-Szenarien liefern die Ausgangsbasis für detaillierte ökonomische Untersuchungen insbesondere für die in [8] beschriebenen volks- bzw. gesamtwirtschaftlichen Analysen.

## Literatur

Sofern Verweise in der gegenständlichen Veröffentlichung nicht direkt referenziert sind, sind die angeführten Quellen als weiterführende Literatur zu verstehen.

- [1] Bliem M., Friedl B., Aigner M., Schmutzer E., Haber A., Bitzan G. (2013): ECONGRID. Smart Grids und volkswirtschaftliche Effekte: Gesamtwirtschaftliche Bewertung von Smart Grids Lösungen. Projektbericht im Rahmen der 4. Ausschreibung des Programms „Neue Energien 2020“ des Klima- und Energiefonds.
- [2] Ökostromgesetz 2012 – ÖSG 2012: 75. Bundesgesetz über die Förderung der Elektrizitätserzeugung aus erneuerbaren Energieträgern (Ökostromgesetz 2012 – ÖSG 2012), (NR: GP XXIV RV 1223 AB 1302 S. 113. BR: 8521 AB 8532 S. 799.) [CELEX-Nr.: 32006L0032, 32009L0028, 32009L0072], Ausgegeben am 29. Juli 2011.
- [3] Umweltbundesamt (2010): Elektromobilität in Österreich Szenario 2020 und 2050. Wien.
- [4] Intelligente Messgeräte-Einführungsverordnung – IME-VO (2012): 138. Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft, Familie und Jugend, mit der die Einführung intelligenter Messgeräte festgelegt wird (Intelligente Messgeräte-Einführungsverordnung – IME-VO). Ausgegeben am 24. April 2012, idF BGBl. II Nr. 138/2012.
- [5] Aigner M., Schmutzer E., Haber A., Bitzan G. (2013): Smart Grids – Funktionalität, Nutzen und Kosten smarterer Technologien in Österreich. 8. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien. Wien.
- [6] EPRI, Electric Power Research Institute, Methodological Approach for Estimating the Benefits and Costs of Smart Grid Demonstration Projects, 1020342, Final Report, January 2010.
- [7] European Commission, Institute for Energy and Transport, JRC Reference Reports, Guidelines for conducting a cost-benefit analysis of Smart Grid project, 2012.
- [8] Friedl, B., Bliem, M.G.; Aigner, M.; Haber, A., Schmutzer, E. (2014): Gesamtwirtschaftliche Bewertung von Smart-Grids-Lösungen anhand einer Kosten-Nutzen-Analyse, 13. Symposium Energieinnovation an der TU Graz. Graz.



Dieses Projekt wurde aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „NEUE ENERGIEN 2020“ durchgeführt.