



Johannes Schmiesing (Autor)

Regelbare Ortsnetztransformatoren zur Integration regenerativer Erzeugungsanlagen in ländlichen Mittelspannungsnetzen



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/7285>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

1 Einleitung und Problemstellung

Der Aufbau elektrischer Versorgungsnetze in Deutschland beginnt im damaligen Deutschen Reich 1882 mit ganz kleinen Blocknetzen in Stuttgart und Berlin [Müller 2001, S. 29f]. 1885 folgt als erstes großflächiges Netz, gespeist durch mehrere 150 PS- bzw. 110 kW-Dampfdynamos, das Netz der Städtische Elektrizitätswerke Berlin AG (BEW, nachmals BEWAG, heute Stromnetze Berlin) um den Berliner Gendarmenmarkt herum [Wilke 1906, S. 233f]. Zuerst auf innerstädtische Strukturen konzentriert, mündet die einsetzende Entwicklung netzseitig bereits mit dem Beginn des letzten Jahrhunderts im zügigen Auf- und Ausbau einer flächendeckenden und zunehmend auch ländlichen Stromversorgung eine Dezentralisierungsbewegung [Müller 2001, S. 31]. Erzeugungsseitig beginnt gleichzeitig ein fast 100-jähriger, gegenläufiger Konzentrations- oder Zentralisierungsprozess, der 1982 in der Inbetriebnahme der drei letzten deutschen Kernkraftwerke der 1.400 MW-Klasse¹ seinen Kulminationspunkt erreicht. Zu diesem Zeitpunkt schon unter zunehmender Kritik (s. z.B. [Krause 1982, S. 14ff]), findet der Zubau lastnaher Großkraftwerke mit fossilen oder radioaktiven Brennstoffen Mitte der 1980er Jahre sein Ende: Der Unglücksfall im damals noch sowjetrussischen Kernkraftwerk Tschernobyl im April 1986 befördert einen schon früher begonnenen öffentlichen Umdenkprozess, der sich zunehmend auf die Suche nach regenerativen Stromquellen stützt. Einen ersten gesetzgeberischen Ausdruck findet dieser Wandel im 1991 erlassenen Stromeinspeisegesetz; mit dem nachfolgenden Erneuerbare-Energien-Gesetz (ab 2000) wird Deutschland zum Boommarkt der regenerativen Stromerzeugung. Die erst nach dem Unglücksfall im japanischen Kernkraftwerk Fukushima im März 2011 allgemein so genannte Energiewende² – also die Fokussierung auf regenerative Quellen als zukünftiges, durchaus kleinteiliges Rückgrat der deutschen Stromerzeugung – findet von Anfang an ganz über-

¹ Dabei handelt es sich um die Kernkraftwerke Emsland, Isar 2 und Neckarwestheim 2; Quelle: www.de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Kernreaktoren_in_Deutschland; Abfrage vom 12.2.2015

² Tatsächlich entstand der Begriff bereits im Jahr 1980 durch ein Gutachten des Öko-Instituts unter dem Titel: „Energie-Wende – Wachstum und Wohlstand ohne Erdöl und Uran“ (Darstellung gem. www.agora-energiewende.de/service/glossar/energiewende/, Abfrage vom 4.2.2015, s. auch [Krause 1980]). Eine ‚Energiewende‘ wurde auf dieser Basis schon seit den 1990er Jahren diskutiert. Die regenerativen Energien gehörten bereits dabei zum diskutierten Energie-Portfolio, der in den Erlass des Stromeinspeisegesetzes mündete. Heute beschreibt der Begriff ‚Energiewende‘ eher den fundamentalen und recht abrupten Umschwung in der Energiepolitik, der insbesondere auf die Abschaltung der Atomkraftwerke fokussiert.

wiegend in ländlichen Räumen statt. Damit stehen die Betreiber ländlicher³ Stromnetze – die bis dato ausschließlich dem Zweck einer preisgünstigen und sicheren Stromlieferung in eher lastschwachen Versorgungsstrukturen gedient hatten – vor der Herausforderung, eine Vielzahl immer neuer Erzeugungsanlagen zu integrieren. Erzeugungsanlagen haben in ländlichen Hoch-, Mittel- und den Niederspannungsspannungsnetzen insbesondere deshalb⁴ eine stark wachsende Bedeutung, weil sich im ländlichen Raum die wesentlichen Flächenpotenziale für die regenerative Stromerzeugung befinden. Dagegen weisen ländliche Regionen eine im Vergleich zu städtischen Strukturen geringe Lastdichte auf. Teilweise liegen die spezifischen flächenbezogenen Erzeugungsleistungen in diesen Regionen bereits heute schon um ein Mehrfaches über der vergleichbaren Starklast, wodurch ländliche Netze bereits heute zunehmend an ihre Leistungsgrenzen stoßen – und dies, obwohl 2015 erst etwa ein Drittel der geplanten Energiewende vollzogen ist⁵.

Damit stellt sich zwangsläufig die Frage nach effizienten Formen ihrer Verstärkung. Diese Frage ist Gegenstand umfangreicher Untersuchungen (z.B. [BMW 2014, DENA 2012]). Basis sind konventionelle und innovative Technologien. Im Rahmen dieser Arbeit wird dazu ein neues Verfahren zur Systemintegration regenerativer Energien vorgestellt, das bisher wenig diskutiert wird: Die Steigerung der Aufnahme- und damit Leistungsfähigkeit von ländlichen Mittelspannungsnetzen durch den zielgerichteten flächigen Einsatz regelbarer Ortsnetztransformatoren.

Was ist mit Leistungsfähigkeit und Leistungsgrenzen konkret gemeint? Neue Erzeugungsanlagen in bestehende Stromnetze zu integrieren, erfordert eine für diese zusätzlichen Anlagen ausreichende Netzleistungsfähigkeit. Unter dem Begriff einer ausreichenden Netzleistungsfähigkeit wird hier die Fähigkeit eines Stromnetzes verstanden, jede von allen angeschlossenen Netzkunden realistisch zu erwartende Netzaufgabe zum Transport elektrischer Energie mit der gebotenen Zuverlässigkeit vollständig zu erfüllen⁶. Die Netzleistungsfähigkeit wird je nach Betriebsmittel und Netzebene wesentlich durch die Stromtragfähigkeit und / oder durch die Spannungshaltung begrenzt.

³ Dies ungleich stärker, als die auf eine hohe Lastdichte ausgerichteten städtische Netzstrukturen [BMW 2014]

⁴ Eine nähere Begründung erfolgt im Abschnitt 3.3.2

⁵ Im Jahr 2014 wurden 27,3 % des Bruttostromverbrauchs regenerativ erzeugt. Für 2050 ist eine Quote von 80 % gesetzgeberisch festgeschrieben [EEG 2014, § 1]

⁶ Auf die einzelnen Aspekte dieser Definition wird im Rahmen dieser Arbeit umfangreich eingegangen.

Da die heute vorhandenen Netzstrukturen noch überwiegend auf den Energiebezug ausgerichtet sind, ist die Netzleistungsfähigkeit also gerade dort, wo ein Großteil der regenerativen Erzeugung zugebaut wird – im ländlichen Raum –, häufig gering. Besonders ausgeprägt ist dieses Ungleichgewicht im Bereich der Hoch- und Mittelspannungs-Leitungsnetze⁷. Mittelspannungsnetze stehen im Kern der vorliegenden Untersuchung.

Die Netzleistungsfähigkeit kann konventionell durch Netzverstärkungen erhöht werden; im Mittelspannungs-Leitungsnetz also direkt durch Querschnittserhöhungen oder höhere Vermaschungsgrade im Leitungsnetz selbst oder indirekt durch eine Erhöhung der Umspannwerksdichte. Alle Verfahren wirken sowohl tragfähigkeitserhöhend als auch spannungsstabilisierend⁸. Sie sind aber vergleichsweise aufwändig, weil sie umfangreiche Investitionen in zusätzliche oder leistungsstärkere Betriebsmittel erfordern. Üblicherweise werden sie als ‚konventioneller Netzausbau‘ bezeichnet (s. wiederum die oben zitierten Studien) und gelten als Benchmark für neue Technologien. Konventionelle Netzverstärkungen sind immer dann zwingend erforderlich, wenn die Netzleistungsfähigkeit auf Grund von nicht behebbaren Tragfähigkeitsproblemen nicht ausreicht⁹. In ländlichen Mittelspannungsnetzen limitiert aber ganz überwiegend die Spannungshaltung die Netzleistungsfähigkeit (s. nachfolgende Abbildung 7 in Abschnitt 2.3.1). In diesem Fall kann es effizienter sein, Verfahren einzusetzen, die ausschließlich auf die Spannungshaltung zielen und die vorhandene Netzstruktur nicht verändern.

Eine alleinige Verbesserung der Spannungshaltung im Mittelspannungsnetz kann entweder durch eine bessere Ausnutzung der bestehenden, aber die normativen Grenzen nicht ausschöpfenden Spannungsgrenzwerte der Mittelspannung (z.B. durch richtungsabhängige Spannungssollwertregelung im Umspannwerk, Weitbereichsregelung, MS-Längsregler [Dropalla 2013]) oder durch eine Ausweitung dieser Grenzwerte bis an die normativen Grenzen erreicht werden. Letzteres setzt aber eine zumindest partielle Entkopplung von Mittel- und Niederspannung voraus. Die vorliegende Arbeit verfolgt diesen neuartigen Ansatz (er fehlt z.B. in [BMW 2014], [DENA 2012] und [Dropalla 2013]) durch

⁷ Innerhalb besiedelter Flächen – also im Bereich der Niederspannungsnetze – ist dieser Effekt geringer ausgeprägt, aber natürlich auch vorhanden.

⁸ Dies erfolgt allgemein durch die Erhöhung der Kurzschlussleistung am Netzverknüpfungspunkt.

⁹ Zu beachten ist, dass die Netzleistungsfähigkeit in der hier angewandten Definition keine Beeinflussung der Netzaufgabe (z.B. durch DSM, Spitzenkappung etc.) betrachtet, wie andere Arbeiten sie zugrunde legen [Stötzer 2012, S. 15ff]. Nur in diesem Sinne gilt der Zwang, Netzverstärkungen durchzuführen.

einen abgewandelten Einsatz der neu entwickelten, unter Last ihre Unterspannung selbstregelnden¹⁰ Ortsnetztransformatoren. Sie wurden ursprünglich für die Integration hoher PV-Leitungen in ländliche Niederspannungsnetze entwickelt (s. [Willim 2011] u.a.). Da sie aber Mittel- und Niederspannung entkoppeln, können sie bei geeigneter Regelfähigkeit und flächigem Einsatz zusätzlich auch genutzt werden, um in bestimmten Netzteilen eine größere Schwankungsbreite der Mittelspannung bis an die normativen Grenzen zuzulassen. Dieses Verfahren kann die Netzleistungsfähigkeit deutlich erhöhen, wenn sie bisher durch die Spannungshaltung und nicht durch die Tragfähigkeit des vorhandenen Leitungsnetzes begrenzt war. Die Arbeit will damit einen neuen Weg zu einer technisch deutlich vereinfachten, funktional robusten, nachhaltigen und flexiblen Integration von zusätzlichen Erzeugungsanlagen aufzeigen.

Anschließend an juristische und technische Grundlagen (Kapitel 2) wird im Zuge dieser Arbeit zunächst ein geeigneter regelbarer Ortsnetztransformator parametrisiert, das notwendige Vorgehen technisch modelliert und das Potenzial für einen mittelspannungsgetriebenen Einsatz regelbarer Ortsnetztransformatoren abgeschätzt (Kapitel 3). Anschließend wird anhand realer Netzstrukturen überprüft, ob die erwarteten Ergebnisse eintreten (Kapitel 4), bevor allgemeine Ableitungen aus den Ergebnissen getroffen werden (Kapitel 5).

Dabei sind weder konkrete betriebspraktische Aspekte noch ein technisch-wirtschaftlicher Vergleich verschiedener konkurrierender Ausbaurverfahren Gegenstand der vorliegenden Arbeit, auch wenn vereinzelte Hinweise dazu immer dort vorgenommen werden, wo es aus Sicht des Gesamtzusammenhanges notwendig ist. Genaueres kann in nachfolgenden Untersuchungen auf Basis der hier vorgelegten Ergebnisse geschehen.

Das untersuchte Vorgehen lässt keine Auswirkungen auf die Netzzuverlässigkeit vermuten, weil der Aufbau des Leitungsnetzes unverändert bleibt und zudem die gem. EEG erzeugte Energie nur im ungestörten Betrieb aufgenommen werden muss. Zuverlässigkeitsfragen müssen deshalb im Rahmen dieser Arbeit nicht vertieft betrachtet werden.

¹⁰ Im Weiteren werden sie mit dem inzwischen üblichen Sprachgebrauch als regelbare Ortsnetztransformatoren bezeichnet.



Stets gedanklich mitgeführt und im Ausblick am Schluss der Arbeit aufgezeigt wird, dass das beschriebene Verfahren auch für eine verbrauchsseitige Ausweitung der Netzaufgabe durch neue Technologien – z.B. für Elektroautos, Klimaanlage und Wärmepumpen – eingesetzt werden könnte.

2 Abgrenzung, Rechtliche Vorgaben und Konzeptentwicklung

In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, wie die Integrationsfähigkeit ländlicher Mittelspannungsnetze durch eine Ausweitung der Spannungsgrenzwerte des Mittelspannungsnetzes bis an die normativen Grenzen gesteigert werden kann. Dazu werden im Mittelspannungs-Leitungsnetz regelbare Ortsnetztransformatoren eingesetzt. Dieser Weg versteht sich als ein innovativer netzplanerischer Beitrag zum gesetzgeberischen Auftrag durch das Erneuerbare Energien-Gesetz (EEG) zum möglichst kostengünstigen und ortsnahen Anschluss von Erzeugungsanlagen [EEG 2014, § 8(1)], der selbstverständlich allen relevanten technischen Regeln genügen muss.

Schon diese kurze Einführung zeigt, dass vier Aspekte zu Beginn grundlegend betrachtet werden müssen: Erstens ist eine Konkretisierung des Untersuchungsraumes erforderlich (Unterkapitel 2.1). Zweitens muss der relevante Rechtsrahmen inklusive technischem Regelwerk dargestellt werden (Unterkapitel 2.2). Danach folgen die relevanten Grundlagen netzplanerischen Handelns (Unterkapitel 2.3) und anschließend die wesentlich eingesetzten Betriebsmittel (Unterkapitel 2.4). Dabei handelt es sich einerseits um das bestehende Leitungsnetz und andererseits – als neue Technologie – um selbsttätig unter Last ihre Unterspannung regelnde, also vereinfacht regelbare Ortsnetztransformatoren. Am Schluss dieses Kapitels wird auf dieser Basis das konzeptionelle Vorgehen präzisiert (Unterkapitel 2.5).

2.1 Räumliche Abgrenzung

Wird im Rahmen dieser Arbeit von ländlichen Mittelspannungsnetzen gesprochen, so ist zunächst einmal zu präzisieren, was unter diesem umgangssprachlichen Begriff zu verstehen ist. Der Begriff lehnt sich, so wie er in dieser Arbeit gebraucht wird, eng an die aktuelle Definition des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumordnung (BBSR) an, die in der folgenden Abbildung 1 und der nachfolgenden Tabelle 1 dargestellt ist:

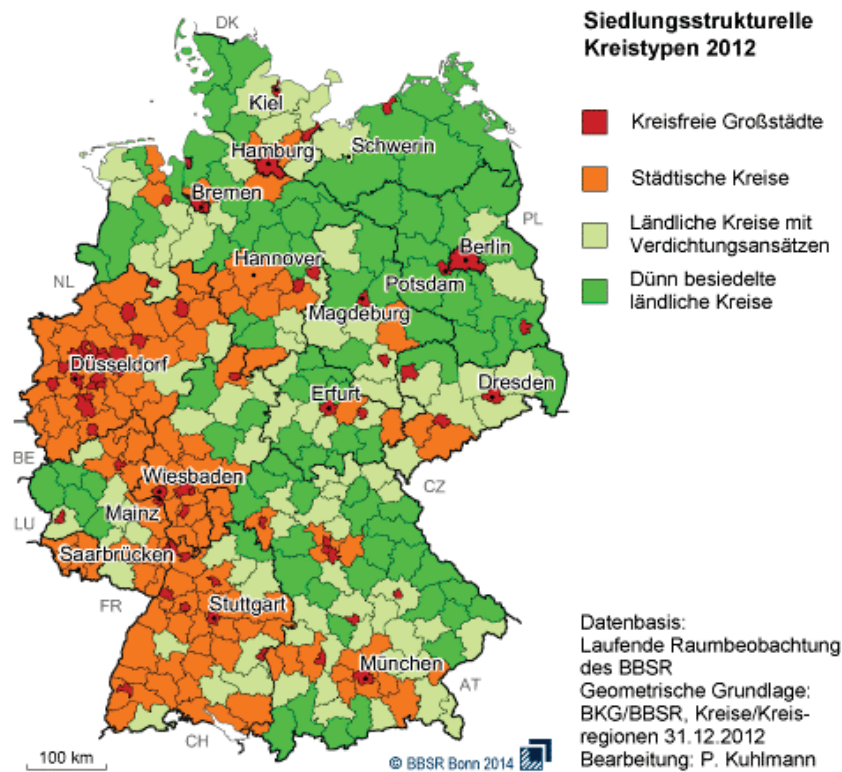


Abbildung 1: Siedlungsstrukturelle Kreistypen nach aktueller Definition des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung¹¹

Das Bundesinstitut unterscheidet dabei Farben folgende vier Kreistypen¹²:

Siedlungsstrukturelle Kreistypen	Beschreibung
Kreisfreie Großstädte (dunkelrot)	Kreisfreie Städte mit mind. 100.000 Einwohnern
Städtische Kreise (hellrot)	Kreise mit einem Bevölkerungsanteil in Groß- und Mittelstädten von mind. 50% und einer Einwohnerdichte von mind. 150 E./km ² ; sowie Kreise mit einer Einwohnerdichte ohne Groß- und Mittelstädte von mind. 150 E./km ²
Ländliche Kreise mit Verdichtungsansätzen (hellgrün)	Kreise mit einem Bevölkerungsanteil in Groß- und Mittelstädten von mind. 50%, aber einer Einwohnerdichte unter 150 E./km ² , sowie Kreise mit einem Bevölkerungsanteil in Groß- und Mittelstädten unter 50% mit einer Einwohnerdichte ohne Groß- und Mittelstädte von mind. 100 E./km ²
Ländliche Kreise (dunkelgrün)	Kreise mit einem Bevölkerungsanteil in Groß- und Mittelstädten unter 50% und Einwohnerdichte ohne Groß- und Mittelstädte unter 100 E./km ²

Tabelle 1: Merkmale verschiedener Kreistypen in der Definition des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumordnung

¹¹ Quelle: http://www.bbsr.bund.de/cln_032/nn_1067638/BBSR/DE/Raumbbeobachtung/Raumabgrenzungen/Kreistypen4/kreistypen.html; Abfrage vom 25.5.2015

¹² Quelle: www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumbbeobachtung/Raumabgrenzungen/Kreistypen4/kreistypen.html?nn=443270; Abfrage vom 12.2.2015

Selbstverständlich richten sich Mittelspannungsnetze nicht nach Kreisgrenzen – schon deshalb nicht, weil Deutschlands Landkreise ohne kreisfreie Großstädte mit im Mittel¹³ 1.030 km² deutlich größer als ländliche Umspannwerksbereiche sind. Insofern können ländliche Kreise durchaus vereinzelt städtische Netzstrukturen enthalten, während umgekehrt auch in städtischen Kreisen nach obiger Kreisdefinition ländliche Netzstrukturen anzutreffen sind. Im Sinne dieser Arbeit liegen ländliche Netze deshalb in den ländlichen Kreisen mit und ohne Verdichtungsansätzen gem. obiger Definition und in denjenigen Teilen städtischer Kreise, die überwiegend eine Bevölkerungsdichte von weniger als 150 Einw. / km² aufweisen.

2.2 Relevante rechtliche Fragestellungen

Unter den relevanten rechtlichen Grundlagen werden im Rahmen dieser Untersuchung die themenrelevanten Gesetze sowie technische Normen und einschlägigen Regelwerke verstanden, wobei letztere den Status anerkannter Regeln der Technik haben. Dabei handelt es sich in jeweils aktuell gültigen Fassung und in absteigender Reihenfolge ihres Regelungsumfangs

- das grundlegende ‚Gesetz für die Elektrizitäts- und Gasversorgung‘ (Energiewirtschaftsgesetz, kurz EnWG [EnWG 2005]),
- das ‚Gesetz über den Vorrang Erneuerbarer Energien‘ (Erneuerbare-Energien-Gesetz, kurz EEG in seiner aktuell gültigen Fassung [EEG 2014]),
- die die Merkmale der Spannung in öffentlichen Netzen regelnde Norm DIN EN 50160, die BDEW-Richtlinie ‚Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz‘ [BDEW 2010] (in Überarbeitung durch VDE-FNN) und
- die VDE-Anwendungsregel ‚Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz‘ [VDE-AR 4105].

Von diesen rechtlichen Grundlagen werden hier nur diejenigen Teile betrachtet, die für das vorgeschlagene Konzept Relevanz haben.

¹³ A.a.O., ohne kreisfreie Großstädte gibt es in Deutschland derzeit 335 Kreise auf 345.002 km²

2.2.1 Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (EnWG)

Das ‚Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung‘ (Energiewirtschaftsgesetz, kurz EnWG) wurde zuletzt am 7. Juli 2005¹⁴ neu gefasst. Die Neufassung trat am 13. Juli 2005 in Kraft; danach wurde es immer wieder in Einzelteilen geändert. Das hier als EnWG [EnWG 2005] abgekürzte Energiewirtschaftsgesetz bildet die allgemeine rechtliche Grundlage der deutschen Energieversorgung. Es dient u.a. der Umsetzung der Elektrizitätsbinnenmarktrichtlinie der EU vom 26. Juni 2003. Das derzeit gültige EnWG beschreibt im §1 zunächst das multikriterielle Spannungsfeld der Energieversorgung:

„Zweck des Gesetzes ist eine möglichst sichere, preisgünstige, verbraucherfreundliche, effiziente und umweltverträgliche leitungsgebundene Versorgung der Allgemeinheit mit Elektrizität und Gas, die zunehmend auf erneuerbaren Energien beruht“

[EnWG 2005, §1(1)].

Dieser grundlegende Satz beschreibt eine klassische Mehrgrößentheorie. Mathematisch betrachtet führen Mehrgrößentheorien jedoch nur dann zu einer Lösung, wenn zwischen den Optimierungskriterien eine rechnerische Wertigkeit festgelegt wird. Andernfalls kann nicht allgemeingültig gesagt werden, dass eine bestimmte Lösung optimal ist oder worin überhaupt eine optimale Lösung besteht. Stattdessen können nur relative Wertungen vorgenommen werden, und dieses Vorgehen ist mehrdeutig, sobald eine Lösung einer anderen in einzelnen Kriterien über- und in anderen unterlegen ist. Sie wäre der anderen nämlich nur dann eindeutig überlegen, wenn sie in mindestens einem einzelnen Optimierungskriterium besser und in allen anderen zumindest gleichwertig zur Vergleichslösung ist. Genau diese Überlegung wird für das hier vorgestellte Verfahren Bedeutung haben, wie noch zu zeigen sein wird.

Viele, insbesondere kostenseitige Untersuchungen zum Zubau von EEG-Stromerzeugungsanlagen referenzieren auf ein (häufig teures) Basisszenario ‚konventioneller Netzausbau‘ [BMWi 2014][DEWI 2012][Dropalla 2013], wenn sie nachweisen wollen, dass eine bestimmte Technologie besser – und das meint hier: kostengünstiger – als

¹⁴ Zuletzt geändert am 21.7.2014

dieses Ursprungsszenario ist. Eine solche quantitative Bewertung ist aber selbst nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Es soll vielmehr beschrieben werden, wie das vorgeschlagene Verfahren konkret auszugestalten ist und welche Auswirkungen auf die Netzleistungsfähigkeit entstehen.

Umgekehrt macht es aber auch keinen Sinn, eine Technologie zu entwickeln, die gegenüber der bisherigen Vorgehensweise keine Vorteile bringt. Deshalb wird im Folgenden zunächst eine kurze qualitative Bewertung des in der Einleitung bereits grob skizzierten Verfahrens – also der Ausschöpfung zusätzlicher Spannungsbandanteile in der Mittelspannung durch flächige Entkopplung von Mittel- und Niederspannung über regelbare Ortsnetztransformatoren – in Bezug auf die Optimierungskriterien des EnWG und den konventionellen Netzausbau angeführt:

- Die – technisch – sichere Versorgung der Kunden wird durch das vorgestellte Verfahren nicht beeinträchtigt, da das Konzept alle gültigen Normen zur Stromversorgung einhält und den Netzaufbau und damit die Netzzuverlässigkeit nicht verändert. Dies beides geschieht, obwohl die Netzinfrastruktur technisch deutlich höher ausgelastet werden kann.
- Die preisgünstige Versorgung basiert auf Kostenvorteilen einer Technologie. Zum Nachweis dieser Eigenschaft wären hinreichend gesicherte Marktpreise für regelbare Ortsnetztransformatoren notwendig, die heute noch nicht existieren¹⁵. Da sie aber heute nicht vorliegen, kann hier nur die Forderung erhoben werden, dass bei gleicher Leistung das vorgeschlagene Verfahren deutlich preisgünstiger als der konventionelle Netzausbau sein muss, um erfolgreich zu sein. Diese Fragestellung wird im abschließenden Kapitel 5 wieder aufgegriffen.
- Bezieht man in den Aspekt der Verbraucherfreundlichkeit die Erzeugerseite mit ein – was bei einer zunehmenden Anzahl von sog. ‚Prosumern‘¹⁶ nicht ungeRechtfertigt erscheint –, so ist der Einsatz von regelbaren Ortsnetztransformatoren auf Netzbetreiberseite schneller, flexibler und für neue Erzeuger ggf. kosten-

¹⁵ Problemverschärfend kommen die Schwierigkeiten einer adäquaten Preisbildung in einem Quasi-Monopolmarkt hinzu, da es auf der Reglerseite bisher nur eine einzige weitgehend überzeugende technische Lösung gibt. Mehr dazu s. Abschnitt 2.3.2

¹⁶ ‚Prosumer‘ ist ein inzwischen gebräuchliches Kunstwort für Netzkunden, die elektrische Energie sowohl erzeugen (engl. to produce) als auch verbrauchen (engl. to consume).