



Gutachten zur Konzeptionierung des Qualitätselements

Weiterführende Analysen

23.11.2023

Gutachten zur Konzeptionierung des Qualitätselements

23.11.2023

Autoren:

Univ.-Prof. Dr. Hendrik Vennegeerts (FGH)

Christoph Wirtz (FGH)

Dr. Henning Schuster (E-Bridge)

Alexander Schrief (E-Bridge)

Das Copyright für die veröffentlichten vom Autor selbst erstellten Objekte sowie Inhalte bleiben allein dem Autor vorbehalten.

Eine Vervielfältigung, Verwendung oder Änderung solcher Grafiken, Tondokumente, Videosequenzen und Texte in anderen elektronischen oder gedruckten Publikationen ist ohne ausdrückliche schriftliche Zustimmung des Autors nicht gestattet. Weiter gelten bei Unstimmigkeiten mit der elektronischen Version die Inhalte des Originals der E-Bridge Consulting GmbH.

E-Bridge Consulting GmbH lehnt jede Verantwortung für jeden direkten, indirekten, konsequenten bzw. zufälligen Schaden, der durch die nicht autorisierte Nutzung der Inhalte und Daten bzw. dem Unvermögen in der Nutzung der Information und Daten, die Bestandteil dieses Dokumentes sind, entstanden sind, ab. Die Inhalte dieses Dokumentes dürfen nur an Dritte in der vollständigen Form, mit dem Copyright versehen, der Untersagung von Änderungen sowie dem Disclaimer der E-Bridge Consulting GmbH weitergegeben werden.

E-Bridge Consulting GmbH, Bonn, Germany. Alle Rechte vorbehalten.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Hintergrund und Zielstellung	1
2	Grundlagen der Qualitätsregulierung und Ableitung der Fragestellungen dieses Gutachtens	2
3	Analyse von Einflussparametern auf Versorgungszuverlässigkeit und Referenzfunktion	4
3.1	Veränderungen der Datenbasis durch individuelle Einflüsse	4
3.2	Wirkung der Fernwirktechnik	8
3.3	Entwicklung der Jahreshöchstlast	14
3.4	Einordnung Referenzfunktionsparameter	16
4	Zusammenfassung	18
ANHANG		19
A.	Abbildungsverzeichnis	20
B.	Tabellenverzeichnis	21
C.	Quellen/Referenzen	22

1 Hintergrund und Zielstellung

Das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) bzw. die Anreizregulierungsverordnung (ARegV) sehen im Rahmen der Anreizregulierung die Anwendung von Qualitätselementen vor. Die Anwendung von Qualitätselementen soll der Sicherung eines langfristig angelegten, leistungsfähigen und zuverlässigen Betriebs von Energieversorgungsnetzen dienen.

Die Grundlagen zur Ausgestaltung und Umsetzung des aktuell angewandten Qualitätselements wurden bereits im Jahr 2009 durch ein Beraterkonsortium im Auftrag der Bundesnetzagentur ausgearbeitet, das Ende 2010 die finale Version des Endberichts vorgelegt hat (Consentec 2010). Auf dieser Basis startete die Qualitätsregulierung im Jahr 2012.

Im Rahmen einer Studie wurde 2019 durch ein Beratergremium (E-Bridge Consulting GmbH, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH sowie Forschungsgemeinschaft für elektrische Anlagen und Stromwirtschaft (FGH e.V.) geprüft, ob neue Erkenntnisse eine grundsätzliche Veränderung des Systems rechtfertigen. Die Ergebnisse des Gutachtens aus dem Jahr 2010 wurden mit einer aktualisierten Datenbasis und unter Verwendung weiterentwickelter wissenschaftlicher Methoden sowie der Berücksichtigung der in der Zwischenzeit gesammelten internationalen Erfahrung abgeglichen, und daraus resultierende Weiterentwicklungspotenziale der heutigen Regulierung erarbeitet. Die entwickelten Ansätze und Erkenntnisse wurden der Branche vorgestellt und Stellungnahmen berücksichtigt. Das bisher angewandte Konzept wurde bestätigt und dessen Anwendung weiter fortgesetzt.

Mit dem Beschluss BK8/23-001-A der Beschlusskammer 8 der Bundesnetzagentur zur Datenerhebung vom 08. März 2023, einer anschließenden Konsultation des Beschlusses sowie der Datenerhebung zum 03. Mai 2023 wurde die Grundlage für die vierte Regulierungsperiode (Jahre 2024 bis einschließlich 2028) und die Bestimmung des Qualitätselementes für das Kalenderjahr 2024 geschaffen. Nächster Schritt ist die Festlegung über die nähere Ausgestaltung und das Verfahren zur Bestimmung des Qualitätselementes hinsichtlich der Netzzuverlässigkeit für Elektrizitätsverteilernetze nach den §§ 19 und 20 ARegV für die vierte Regulierungsperiode (Methodikbeschluss). Die Konsultation des Entwurfs der Festlegung startete Ende September 2023 (Beschluss BK8-23-006-A der Beschlusskammer 8 der Bundesnetzagentur) und Stellungnahmen waren bis zum 03. November 2023 möglich.

Der vorliegende Bericht adressiert sowohl Punkte, die in der Verarbeitung der erhobenen Daten aufgekommen sind, als auch Stellungnahmen aus der Konsultation des Methodikbeschlusses. Ziel ist es insbesondere, die Weiterverwendung des bisherigen Konzeptes zur Qualitätsregulierung im Kontext der aktuell vorliegenden Daten zu bewerten.

2 Grundlagen der Qualitätsregulierung und Ableitung der Fragestellungen dieses Gutachtens

Das Qualitätselement eines Stromverteilnetzbetreibers bezeichnet den Zu- oder Abschlag auf seine Erlösobergrenze aufgrund der Abweichung seiner Netzzuverlässigkeit von durch die Bundesnetzagentur nach § 19 Abs. 1 ARegV festgelegten Qualitätsvorgaben. Die Qualitätsvorgabe, die nach §20 Abs. 2 ARegV in Form gewichteter Durchschnittswerte zu ermitteln ist, erfolgt seit 2012 für die Mittelspannungsebene (MS-Ebene) in Form einer Referenzfunktion, die einen hyperbolischen Funktionszusammenhang zwischen der Lastdichte (x) und der Nichtverfügbarkeit ASIDI darstellt. Die Lastdichte ist definiert als Verhältnis aus geografischer Fläche und korrigierter zeitgleicher Jahreshöchstlast über alle Entnahmen eines Netzbetreibers aus der MS-Ebene sowie der HS-/MS-Umspannebene (im Folgenden als Jahreshöchstlast, kurz JHL bezeichnet)¹.

$$ASIDI_{Ref}(x) = f(x) = a + \frac{b}{x^c}$$

Formel 1: Zusammenhang Referenzwert und Lastdichte

Für die Niederspannungsebene (NS-Ebene) wird der Referenzwert anhand eines gewichteten Mittelwertes der Nichtverfügbarkeit SAIDI gebildet, da bisher für kein exogenes gebietsstrukturelles Merkmal ein statistisch signifikanter Zusammenhang zum SAIDI belegt werden konnte. Dieses Gutachten beschränkt sich auftragsgemäß auf Analysen für das MS-Netz.

Die Ermittlung der Formel für die MS-Ebene erfolgt mittels Regressionsanalyse auf Basis der durch die Bundesnetzagentur von den Netzbetreibern erhobenen Daten. Es resultieren die in Formel 1 enthaltenen Koeffizienten **a**, **b** und **c** sowie eine Aussage hinsichtlich der statistischen Güte der Regressionsanalyse. Diese wird vor allem in Form des sogenannten Bestimmtheitsmaßes R^2 ausgedrückt, das zur Berücksichtigung der bei der Ermittlung der Regressionsfunktion gewählten Gewichtung der Datenpunkte der VNB mit ihrer über dem MS-Netz versorgten Letztverbraucheranzahl als adjustiertes Bestimmtheitsmaß ermittelt wird. Zudem wird zusätzlich die statistische Signifikanz des Erklärungsgehalts der Einzelvariablen beachtet.

Außerdem wird in den zur Ausgestaltung der Qualitätsregulierung erstellten Gutachten eine Kongruenz zwischen ingenieurtechnischen Überlegungen zum möglichen Verlauf der Referenzfunktion und dem empirischen Ergebnis als Entscheidungskriterium für die Auswahl gebietsstruktureller Merkmale herangezogen. In dem als Grundlage der bisherigen Qualitätsregulierung dienenden Gutachten (Consentec 2010) werden daher auf Basis analytischer Betrachtungen Angaben zu einem plausiblen Wertebereich des Funktionskoeffizienten c von **[0,5;1]** gemacht. In (E-Bridge 2020) werden auch kleine Werte – d. h. Exponent **c < 0,5** als plausibel belegt. Diese können sich u. a. ergeben, wenn Netze unter unterschiedlichen Planungsvorgaben und Ausstattungen mit Fernwirktechnik (zur Definition s. Abschnitt 3.2) entwickelt werden. Insbesondere die mögliche Reduktion der Unterbrechungsdauern durch Fernwirktechnik kann zu „flacheren“ Funktionsverläufen und damit kleineren Beträgen für den Exponenten führen.

Gemäß dem Entwurf der Festlegung des Verfahrens zur Bestimmung des Qualitätselementes (Bundesnetzagentur 2023) und somit auf Basis der aktuellen Datenerhebung zum 03. Mai 2023 resultiert für die MS-Ebene der folgende vorläufige Zusammenhang zwischen ASIDI-Wert und

¹ Die zeitgleiche Jahreshöchstlast beschreibt die höchste zeitgleiche Summe der Entnahmen (ohne Netzverluste) aus einer Netz- oder Umspannebene. Entnahmen sind Abgaben an Letztverbraucher, geschlossene Verteilernetze und an die nachgelagerte Netz- oder Umspannebene. Die Zeitgleichheit ist bezogen auf die jeweilige Netz- oder Umspannebene, d. h. die Höchstwerte können in den einzelnen Netz- oder Umspannebenen zu unterschiedlichen Zeitpunkten auftreten. Die korrigierte zeitgleiche Jahreshöchstlast ist die zeitgleiche Jahreshöchstlast ohne die entnommenen Lasten von fremden Elektrizitätsverteilnetzen, die mit der gleichen Netzebene an die betrachtete Netzebene des Netzbetreibers angeschlossen sind, d.h. die horizontal an das eigene Netz angeschlossen sind (sog. Weiterverteiler auf gleicher Spannungsebene). (BNetzA 2022)

Lastdichte für die Jahre 2020 – 2022. Das Bestimmtheitsmaß der Regressionsanalyse entspricht $R^2 = 0,40$ und sinkt damit im Vergleich zu vorherigen Regulierungsperioden leicht ab. Ferner liegt der Exponent c der Referenzfunktion mit 0,45 unterhalb der angesprochenen unteren Schwelle von 0,5. Darüber hinaus zeigen die erhobenen Daten eine tendenzielle Abnahme der korrigierten zeitgleichen Jahreshöchstlast.

$$y = f(x) = a + \frac{b}{x^c} = 1,8 + \frac{75,09}{x^{0,45}}$$

Formel 2: Zusammenhang ASIDI-Wert und Lastdichte auf Basis der Datenerhebung zum 03. Mai 2023

Die resultierenden Funktionskoeffizienten und Bestimmtheitsmaße führten bereits in vorherigen Konsultationen zu wiederkehrenden Diskussionen hinsichtlich der Eignung des Verfahrens. Entsprechend soll in diesem Gutachten untersucht werden, ob die aktuell resultierenden Koeffizienten sowie das Bestimmtheitsmaß nachvollziehbar sind und ob es spezifische Werte gibt, bei deren Unter- oder Überschreiten das Ergebnis nicht mehr als belastbar zu bewerten ist. Besondere Aufmerksamkeit soll dabei auf den in (Consentec 2010) genannten unteren Schwellenwert des Funktionskoeffizient c von 0,5 gelegt werden. Es ist zu erörtern, ob Werte unter 0,5 vertretbar sind und wie sie im Kontext der Entwicklung der gemeldeten Daten zu bewerten sind. Weiterhin sollen die ingenieurwissenschaftlichen und energiewirtschaftlichen Gründe für die Schwankungen der Koeffizienten beleuchtet werden.

Nicht Bestandteil des Gutachtens ist die Frage, ob durch Hinzunahme weiterer oder anderer exogener gebietsstruktureller Merkmale in der Regression signifikant höhere Erklärungsbeiträge für die Unterschiede der Nichtverfügbarkeit zwischen den Verteilnetzbetreibern erzielt werden könnten.

3 Analyse von Einflussparametern auf Versorgungszuverlässigkeit und Referenzfunktion

Für die Veränderungen und die sich daraus ergebenden Fragestellungen können verschiedene Teilaspekte eine Erklärung oder einen Erklärungsbeitrag liefern. Zum einen können individuelle, signifikante Veränderungen an der grundsätzlichen Datenbasis, wie sie sich im Rahmen der Regulierung durch Veränderungen in der Verteilnetzbetreiber (VNB)-Struktur ergeben, einen Einfluss auf die Regressionsfunktion nehmen. Zum anderen können auch Trends, die den gesamten Datensatz betreffen, die ermittelten Parameter der Regressionsfunktion beeinflussen. Dies kann sowohl durch endogene als auch durch exogene Einflüsse erfolgen. Ein absinkendes R^2 deutet darauf hin, dass die Veränderungen nicht in einem gleichbleibenden Maße in Zusammenhang mit den Prädiktoren stehen. Im Falle von endogenen Parametern ist dieser Effekt neutral für die Bewertung des Verfahrens zu sehen, da der Einfluss endogener Größen in der Regulierungsmethodik als gebietsstrukturelles Merkmal bewusst nicht einbezogen wird. Im Folgenden werden die aus der aktuellen Datengrundlage identifizierten Veränderungen und Trends in ihrem Einfluss auf die Regressionsfunktion analysiert. Zusätzlich wird mit dem Ausbau der Fernwirktechnik der Einfluss einer endogenen Größe auf die Referenzfunktion untersucht. Dies ist motiviert durch die bereits im Vorgängergutachten (E-Bridge 2020) erwähnte reduzierende Wirkung auf den Betrag des Exponenten n der Referenzfunktion (s. Abschnitt 1) sowie die zunehmende Ausbringung der Fernwirktechnik in MS-Netze. Dieser Trend dürfte, wie in Abschnitt 3.2 weitergehend begründet wird, von allen Entwicklungen den größten Einfluss auf die Nichtverfügbarkeit aufweisen. Damit wird nicht ausgeschlossen, dass auch andere Einflüsse bestehen. Wenn jedoch die Beobachtungen zur Entwicklung des Exponenten n und des Bestimmtheitsmaßes R^2 – bei natürlich weiterhin hinreichend hohem Wert – der empirischen Referenzfunktion mit dem Ausbringen der Fernwirktechnik erklärt und damit plausibilisiert werden können, kann die Referenzfunktion als weiterhin belastbar und kongruent mit ingenieurwissenschaftlichen Überlegungen eingestuft werden.

Hinweis:

In den folgenden Betrachtungen wurden zur Auswertung bereits in E-Bridge 2020 benutzte Tools verwendet. Um die Auswertegrößen zwischen Analysen und den Untersuchungen gebietsstruktureller Einflussgrößen konsistent zu halten, verwenden wir die zur im Q-Element angewendeten äquivalente Darstellungsform:

$$y(t) = a \cdot x^n + b \text{ statt } y(t) = a + \frac{b}{x^c} \rightarrow n = -1 \cdot c; a = b; b = a$$

3.1 Veränderungen der Datenbasis durch individuelle Einflüsse

Als erster Einflussparameter wurden die Effekte der in den Einzeljahren aufgetretenen Veränderungen des Datensatzes betrachtet. Ziel dieser Betrachtung ist die Differenzierung zwischen strukturellen Veränderungen im Netzgebiet (z. B. Zubau Fernwirktechnik, Betriebsmitteltausch, Leitungsverstärkung) bzw. der Versorgungsaufgabe (sinkende JHL) und organisatorischen Veränderungen, wie ein Ausscheiden oder Eintreten weiterer VNB in das Verfahren.

Zusätzlich zu den Betrachtungen basierend auf den über drei Jahre gemittelten Referenzwerten, wie sie sich im Rahmen der Berichte zur Bestimmung des Qualitätselements ergeben, wurden die einzelnen Jahresscheiben grafisch und analytisch ausgewertet. Die grafische Darstellung ist in Abbildung 1 zu finden.

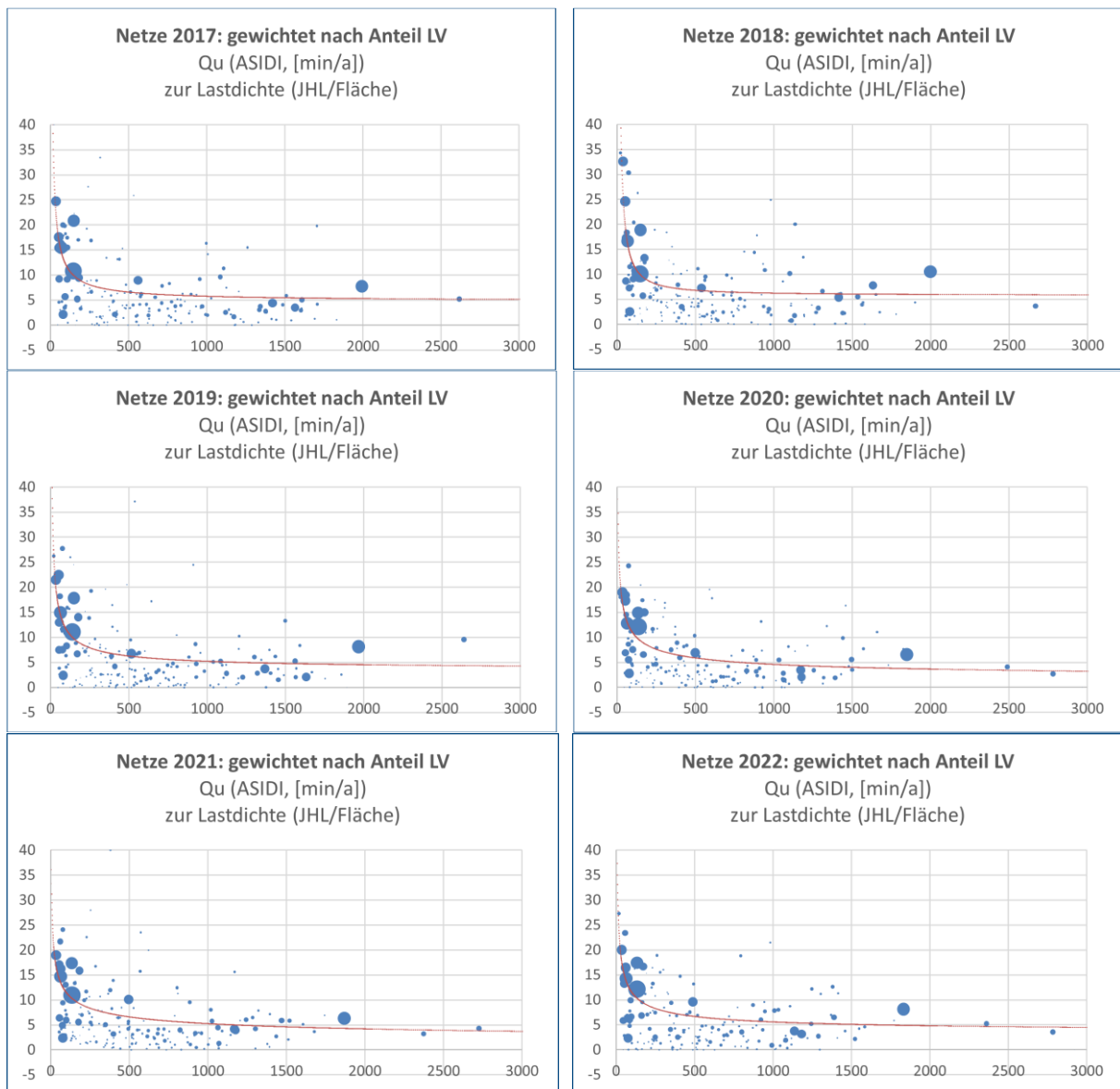


Abbildung 1: Abhängigkeit ASIDI von der Lastdichte in MS-Netzen und ermittelte Regressionsfunktion - 2017-2022

Aus der Analyse der Daten ergeben sich signifikante Veränderungen einzelner Netzbetreiber. Netzbetreiber werden als zusätzliche Datenpunkte in das Regelverfahren der Anreizregulierung und damit in den Datensatz zur Ermittlung der Referenzfunktion für das Qualitätselement aufgenommen oder weisen teils starke Veränderungen in ihrer versorgten Fläche auf.

Wie in (E-Bridge 2020) im Abschnitt „Analytische Untersuchung von gebietsstrukturellen Einflüssen“ beschrieben, kann eine unterschiedliche Verteilung von Netzgebieten auf VNB, die als einzelner Datenpunkt in das Verfahren eingehen, einen Einfluss auf den Verlauf der Referenzfunktion haben.

Identifiziert wurde – wie in Abbildung 2 auch erkennbar ist – eine signifikante Veränderung im Bereich hoher Lastdichten. Neue Datenpunkte könnten den Verlauf der Referenzfunktion beeinflussen und somit einen niedrigeren c-Wert erklären. Der Einfluss der Veränderung der Jahreshöchstlasten wird in Abschnitt 3.3 genauer untersucht.

Durchschnittliche, gewichtete SAIDI Werte ($SAIDI_{ARegV}$) sind in Abbildung 2 aufgeführt. Hier spiegeln sich die Schwankungen der Versorgungszuverlässigkeit wider, wie sie auch in den Berichten auf Basis der nach § 52 EnWG erfassten Daten zu Versorgungsunterbrechungen zu verzeichnen sind.

Der gleitende Mittelwert über jeweils 3 Jahre weist dabei in den letzten Jahren einen abnehmenden Trend auf. Dies führt systemimmanent auch zu entsprechenden Änderungen der Parameter der zugehörigen Referenzfunktionen. Naheliegend ist eine entsprechende Abnahme des konstanten additiven Parameters b . Eine ausschließliche Abbildung dieses Mittelwerttrends auf den Parameter b würde aber eine identische Änderung der Nichtverfügbarkeit bei allen Netzbetreibern voraussetzen. Da dies nicht gegeben ist, wirkt sich dieser Trend auf alle Parameter aus, die bei Betrachtung von Einzeljahren zudem stark schwanken (Tabelle 1). Dies unterstreicht die Notwendigkeit einer Zusammenfassung über mehrere Jahre. Zugleich ist erkennbar, dass das Bestimmtheitsmaß einen sinkenden Trend aufweist.

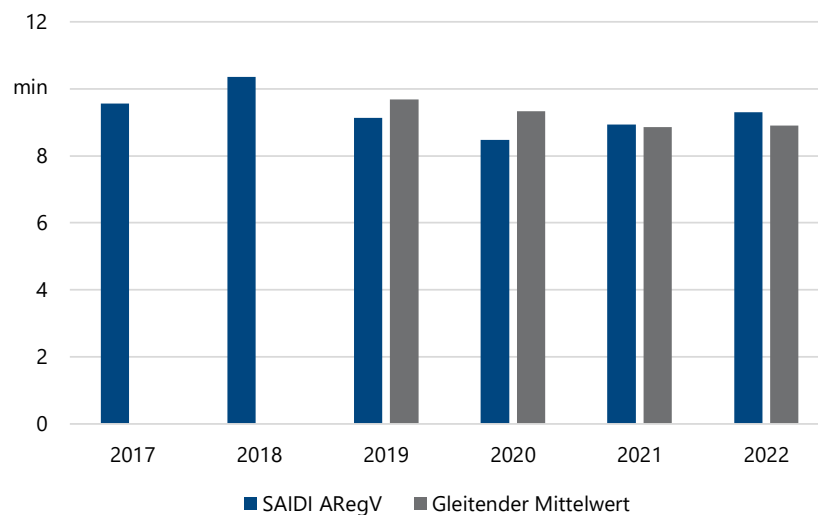


Abbildung 2: Durchschnittlicher SAIDI nach Jahren

Jahr	a	b	n	R ² adj.
2017	502,34	4,99	-0,94	0,44
2018	1634,35	5,9	-1,21	0,456
2019	161,83	3,36	-0,64	0,417
2020	74,03	0,99	-0,44	0,453
2021	59,17	0,63	-0,37	0,351
2022	95,61	3,08	-0,53	0,237

Tabelle 1: Referenzfunktionen für Einzeljahre

Zur Untersuchung des Einflusses der Veränderungen durch einzelne VNB wurde der Datensatz des Jahres 2019 mit zwei zusätzlichen pseudo VNB ergänzt. Wie in Abbildung 3 dargestellt, liegen diese VNB im Bereich hoher Lastdichten, also dem Bereich, in dem Verschiebungen detektiert wurden. Die Referenzfunktionsparameter in dieser veränderten Variante und der Basisvariante sind in Tabelle 2 aufgeführt.

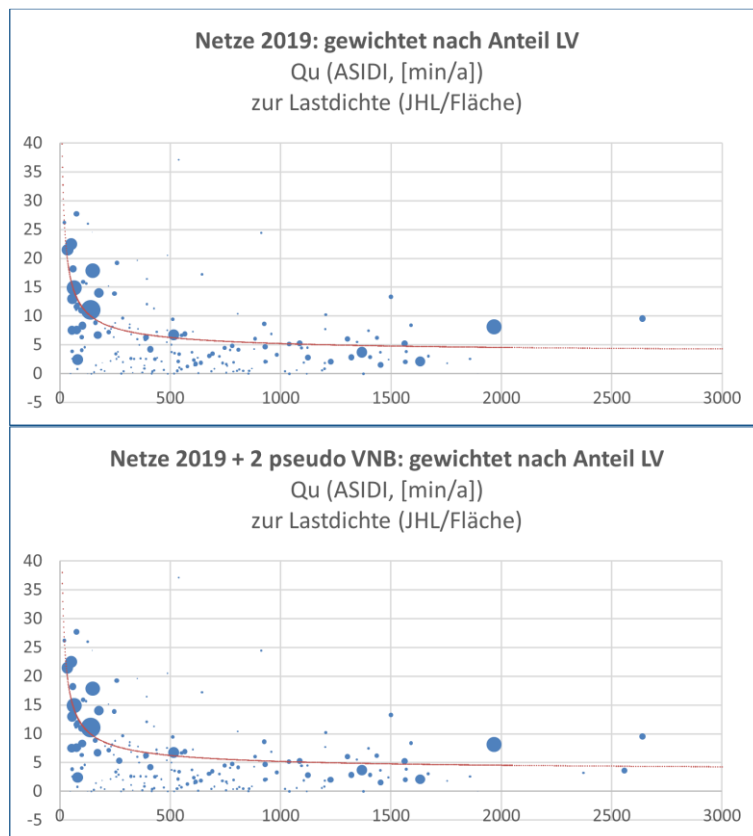


Abbildung 3: Einflüsse der Veränderungen durch einzelne NB

Jahr	a	b	n	R2 adj.
2019	161,82	3,36	-0,65	0,417
2019_Szenario +VNB	165,79	3,37	-0,65	0,418

Tabelle 2: Referenzfunktionsparameter in veränderter Variante und Basisvariante

Durch das Hinzufügen weiterer NB sind nur geringe Änderungen der Parameter a, b und n zu beobachten, der Einfluss ist gering. Dies ist sicherlich nur ein Beispiel und Effekte können durch größere Abweichungen der Nichtverfügbarkeiten von der bisherigen Referenzfunktion oder auch größere Gewichte verstärkt werden. Jedoch entspricht die „Größe“ im Sinne des Gewichts Letztverbraucheranzahl der hinzugenommenen VNB den maximal zwischen den Jahren beobachteten Veränderungen. Die Zielfunktionsbeiträge für die optimale Bestimmung der Parameter a, b und n sind die gewichteten quadratischen Abweichungen der Nichtverfügbarkeiten der tatsächlichen Datenpunkte von der Regressionsfunktion bei gleicher Lastdichte. Zusätzliche Datenpunkte mit kleinem Gewicht üben also stets nur einen begrenzten Einfluss auf die Zielfunktion aus. Ferner sind extreme Unterschiede der gemessenen Nichtverfügbarkeit zum Referenzwert im Bereich hoher Lastdichten selten. Daher zeigen diese und auch weitere durchgeführte Sensitivitätsuntersuchungen, dass neu ins Verfahren eingetretene bzw. ausgeschiedene oder von strukturellen Veränderungen betroffene VNB nicht als dominierender Faktor für die beobachteten Veränderungen anzusehen sind.

3.2 Wirkung der Fernwirktechnik

Der Begriff Fernwirktechnik umfasst dabei in diesem Gutachten

- die Fernmeldung von Schalterstellungen, Schutzgeräten und Geräten zur Unterstützung der Fehlerortung wie Kurzschlussanzeiger,
- die Fernsteuerbarkeit von Schaltgeräten in den Stationen sowie
- auch die Ausstattung von Schaltgeräten mit Antrieben und Speichern derart, dass auch nach Schalthandlungen keine Vor-Ort-Handlungen für erneute Schalthandlungen erforderlich sind.

Mit Fernwirktechnik kann die Nichtverfügbarkeit signifikant reduziert werden. Dies wird in Abbildung 4 anhand von zwei kurzschlussartigen Fehlern verdeutlicht, die im hinteren bzw. vorderen Bereich eines exemplarischen MS-Abgangs auftreten. Bei ausgebrachter Fernwirktechnik an der offenen Trennstelle zu einem weiteren MS-Abgang sowie an einer geeignet gewählten Stelle in der Abgangsmitte – und entsprechend üblicher Praxis unterstellter Fernbedienbarkeit in der HS/MS-Umspannstation – kann jeweils der durch die Stationen mit Fernwirktechnik begrenzte Teil des MS-Abgangs, in dem der Fehler nicht aufgetreten ist, allein durch fernbediente Schalthandlungen wiederversorgt werden. Damit können Unterbrechungsdauern auf wenige Minuten bis etwa eine Viertelstunde begrenzt werden, während eine Fehlerortung vor Ort und entsprechende Vor-Ort-Schalthandlungen üblicherweise eine Dauer von 30 min bis in den Stundenbereich aufweisen. Mit der relativen Verringerung der Unterbrechungsdauer reduziert sich in gleichem Maß die Nichtverfügbarkeit.

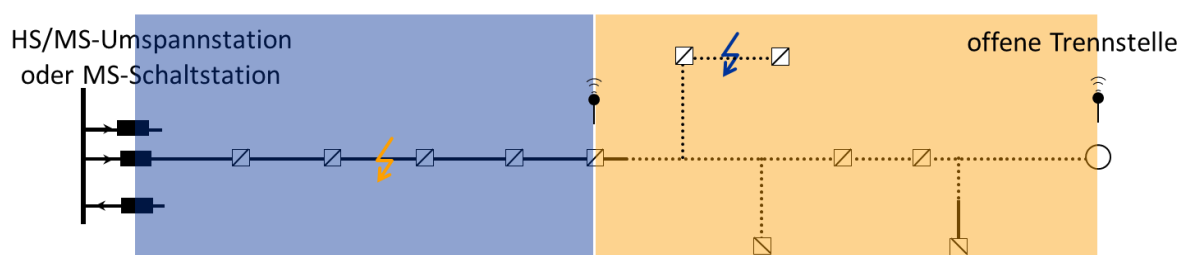


Abbildung 4: Verdeutlichung der Wirkung von Fernwirktechnik auf die Reduktion von Unterbrechungsdauern und damit der Nichtverfügbarkeit

In den Verteilnetzen ist ein zunehmender Trend zur Ausbringung von Fernwirktechnik zu verzeichnen. Dieser Trend kann zwar nicht anhand statistischer Daten oder aus den zur Qualitätsregulierung von den VNB abgefragten Daten quantitativ erhärtet werden, neben der Erfahrung der Gutachter sprechen aber dafür die folgenden Argumente:

1. In vielen Untersuchungen in der Zeitspanne kurz vor und nach Einführung der Qualitätsregulierung und auch danach wurde aufgezeigt, dass die angewendeten Qualitätspreise hinsichtlich einer Erhöhung der Versorgungszuverlässigkeit vor allem einen Anreiz zur Ausbringung von Fernwirktechnik auslösen. Denn damit kann gemäß obigen Ausführungen die Nichtverfügbarkeit signifikant zu Mehrkosten gesenkt werden, die zumeist deutlich unter denen netztopologischer Anpassungen liegen. Dementsprechend haben viele VNB so gehandelt, was dem Konzept der Qualitätsregulierung entspricht.
2. Beim Anschluss von Erzeugungsanlagen an das MS-Netz muss deren Betreiber laut bereits seit vielen Jahren geltenden Netzanschlussregeln und Gesetzen für den überwiegenden Teil der Anlagen eine Fernsteuerbarkeit der Einspeiseleistung durch den Verteilnetzbetreiber sicherstellen. Zu deren Nutzung muss der Verteilnetzbetreiber diese Kundenstationen fernwirktechnisch erschließen. Diese Erschließung stellt einen großen Kostenanteil für die Fernwirktechnik dar, so dass deren Existenz dann auch für den Netzbetrieb genutzt werden kann.

3. Der Betrieb aktiver Verteilnetze, d.h. fortlaufende Maßnahme des Netzbetriebs zur Einhaltung technischer Grenzen, setzt eine hinreichende Beobachtbarkeit des aktuellen Netzzustands voraus. Dazu ist eine Erfassung von Messwerten in der Fläche erforderlich, die wiederum eine entsprechende fernwirktechnische Erschließung nach sich zieht. Daher haben viele VNB sogenannte intelligente Ortsnetzstationen als Standardbetriebsmittel definiert, konzipiert und bringen diese im Rahmen von Netzausbau und Erneuerungsmaßnahmen systematisch aus.
4. Schließlich schaffen technische Fortschritte in der Digitalisierung neue, kostengünstigere Lösungen für die fernwirktechnische Erschließung.

Bei einer von der Lastdichte unabhängigen, gleichen relativen Reduktion der mittleren Unterbrechungsdauer und damit der Nichtverfügbarkeit für alle Netzbetreiber ließe sich zwar der Trend einer abnehmenden mittleren Nichtverfügbarkeit erklären, nicht jedoch ein geringerer Betrag des Exponenten n der Referenzfunktion. Vielmehr würden sich dann lediglich der additive Parameter a sowie der Parameter b ändern. Um also den sowohl im vorherigen Gutachten (E-Bridge 2020) in den analytischen Untersuchungen nachgewiesenen als auch empirisch beobachteten Effekt eines sinkenden Betrages des Exponenten zu erklären, muss sich die Nichtverfügbarkeit besonders stark in Netzen auf Flächen geringer Lastdichte verringern. Dies erscheint für den Einsatz von Fernwirktechnik aus folgenden Gründen plausibel:

1. Der Anschluss von Erzeugungsanlagen am MS-Netz erfolgt tendenziell eher im ländlichen Bereich (Wind, Biogas, PV-Freiflächenanlagen).
2. Der Anteil am gesamten Störungsgeschehen, bei der Fernwirktechnik eine besonders starke relative Senkung der Nichtverfügbarkeit begünstigt, ist durch die Fehler auf Leitungen gegeben. Diese weisen in ländlichen Netzen eine größere Länge auf, so dass sich Fernwirktechnik dort stärker senkend auf die mittlere Unterbrechungsdauer auswirken kann.
3. Mit gleicher Begründung wird durch die Qualitätsregulierung der Einbau von Fernwirktechnik gerade in ländlichen Netzen besonders angereizt.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich die Motivation, den Einfluss der Fernwirktechnik analytisch und empirisch – soweit die verfügbaren Daten dies zulassen – genauer zu analysieren.

Entwicklung der Unterbrechungsdauern

Auf Basis der durch die BNetzA zur Verfügung gestellten netzbetreiberbezogenen Angaben zu Summen der unterbrochenen Bemessungsscheinleistungen von Ortsnetz- und Letztverbrauchertransformatoren sowie des Summenwertes zu den unterbrochenen MVAnin wurde für die Einzeljahre 2017 bis 2022 jeweils der Durchschnittswert der Unterbrechungsdauer für jeden VNB ermittelt. Daraus wurden Mittelwerte für verschiedene Lastdichtebereiche unter Berücksichtigung der Gewichtung mit der versorgten Letztverbraucheranzahl gebildet. Die Abweichung dieser Mittelwerte über den Zeitraum 2020-2022 gegenüber dem Zeitraum 2017-2019 ist in Tabelle 3 aufgeführt.

Bereich Lastdichte (LD) [kW/km ²]	Relative Veränderung der Unterbrechungsdauern 2020-2022 gegenüber 2017-2019
≤ 250	-7,1%
250 < LD ≤ 500	-1,8%
500 < LD ≤ 1000	-4,1%
1000 < LD ≤ 1500	-7,6%
> 1500	-8,8%

Tabelle 3: Änderung des Mittelwertes der Unterbrechungsdauern in den Jahren 2020-2022 gegenüber 2017-2019 für die VNB im Regelverfahren der Anreizregulierung. Gewichtung bei Zusammenfassung in den Lastdichteklassen mit der Letztverbraucheranzahl.

Dabei ist erkennbar, dass sich die Unterbrechungsdauer stärker in Bereichen besonders geringer und besonders hoher Lastdichte verringert hat. Zunächst untermauert die deutliche Abnahme im Bereich geringer Lastdichte die obige Argumentationskette, dass überproportional im ländlichen Bereich Fernwirktechnik eine Ursache der veränderten mittleren Unterbrechungsdauern darstellen kann. Da im Bereich geringer Lastdichte in Summe die meisten Letztverbraucher versorgt werden, diese Veränderung also besonders hohes Gewicht in der Referenzfunktion aufweist, kann daraus auch ein kleinerer Betrag des Exponenten n in der Referenzfunktion resultieren.

Referenznetzanalyse

Außerdem wurden die im Vorgängergutachten (E-Bridge 2020) durchgeführten Referenznetzanalysen erneut durchgeführt, um die dort ermittelten Abhängigkeiten vom Ausstattungsgrad mit Fernwirktechnik detaillierter und auf Basis einer größeren Anzahl zufällig ausgewählter Versorgungsaufgaben zu analysieren.

Als endogener Parameter wird eine Datengrundlage zur Fernwirktechnik im Rahmen der Datenmeldung der Qualitätsregulierung nicht erfasst. Wie in (E-Bridge 2020) dargestellt, lassen sich die Einflüsse von Strukturparametern auf Basis synthetischer Modellnetze untersuchen. Die synthetisch generierten Modellnetze bilden hierbei auf Basis öffentlich verfügbarer Daten sowie realitätsnaher Planungsgrundsätze zunächst die Versorgungsaufgabe und darauf aufbauend Netzstrukturen auf. Das hier eingesetzte Verfahren ist im Detail in (Tran 2019) beschrieben, ähnliche Implementierungen finden sich beispielsweise in (Amme 2017). Wie in (E-Bridge 2020) und (Wirtz 2021) dargestellt, können auf Basis dieser Referenznetze probabilistische Zuverlässigkeitsberechnungen durchgeführt werden.

Um die Auswirkungen einer steigenden Durchdringung von Fernwirktechnik zu untersuchen, wurden die Planungsgrundsätze im Gegensatz zu den vorausgegangenen Untersuchungen erweitert. Als Ausgangspunkt werden Referenznetze erzeugt, an denen außerhalb der MS-Schaltanlage der HS/MS-Umspannstation und etwaigen MS-Schwerpunktstationen keine Fernwirktechnik im MS-Netz installiert ist. Dann wird der Durchdringungsgrad mit Fernwirktechnik – bezogen auf die Anzahl der Ortsnetz- und Kundenstationen (Kreise in Abbildung 5) im MS-Netz – sukzessive erhöht. Zunächst erfolgt dabei in den MS-Ring- oder Strangstrukturen die Ausstattung der Station mit der offenen Trennstelle mit Fernwirktechnik sowie der Stationen, die die beiden MS-Abgänge des Rings jeweils in etwa hälftig aufteilen. Diese werden in der Darstellung von Abbildung 5 mit $\frac{1}{4}$ - sowie $\frac{3}{4}$ -Ringstationen bezeichnet, da sie den Ring ausgehend von einem Abgang zusammen mit der offenen Trennstelle in etwa gleich große Viertelstücke teilen. Erst wenn mit weiterer Erhöhung des Durchdringungsgrades mit Fernwirktechnik alle MS-Ringe entsprechend ausgestattet sind, werden weitere Stationen mit Fernwirktechnik versehen, die die bisherigen Viertelstücke des Ringes jeweils weiter halbieren. Bei einer Durchdringung von 100% wären dann alle Stationen mit Fernwirktechnik ausgestattet. Somit kann eine graduelle Erhöhung des Durchdringungsgrades mit Fernwirktechnik in einer Reihenfolge simuliert werden, die einer optimalen Platzierung und damit dem Vorgehen in der Praxis sehr nahekommt.

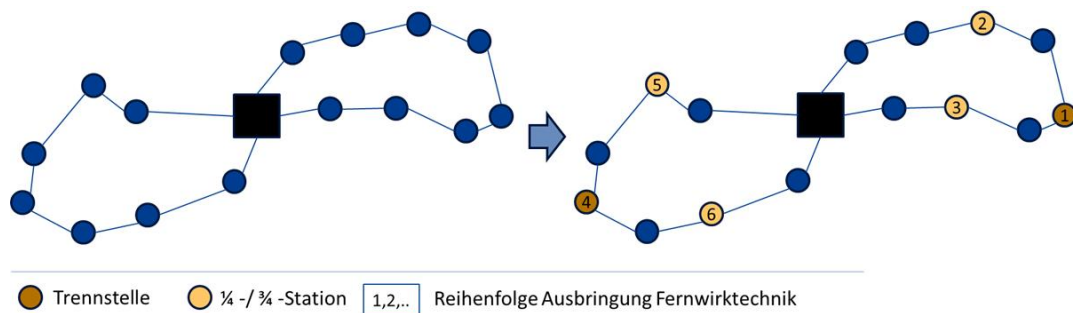


Abbildung 5: Schematische Darstellung Zubauverfahren Fernwirktechnik

Im Fokus der hier durchgeführten Analyse stehen die Auswirkungen einer Ausbringung von Fernwirktechnik auf der Mittelspannungsebene in den Referenzverteilernetzen. Zur Untersuchung wurden dazu verschiedene Szenarien definiert. Betrachtet werden, wie in Abbildung 6 dargestellt:

- Ein Grundszenario mit Fernwirktechnik ausschließlich in der MS-Schaltanlage der HS/MS-Umspannstation sowie etwaigen Schwerpunktstationen (Szenario 1)
- Szenarien mit einer graduellen Erhöhung des Durchdringungsgrades mit Fernwirktechnik. Dabei erfolgt die Ausbringung der Fernwirktechnik entsprechend des oben beschriebenen Verfahrens. Es werden mit Szenario 2 – a, b, c drei unterschiedliche Durchdringungsgrade – niedrig, mittel und hoch – mit Fernwirktechnik betrachtet. Beim Szenario c (hoch) sind alle Ringe mit Fernwirktechnik an den offenen Trennstellen sowie der $\frac{1}{4}$ - und $\frac{3}{4}$ -Ringstationen versehen (entspricht Ausstattung gemäß Abbildung 5 rechts)
- Eine Untersuchung in einem durchmischten Szenario (50 % der Netze Grundszenario, 50 % der Netze hohe Ausstattung mit Fernwirktechnik), wobei die Netze jeweils in beiden Kategorien über den gesamten Lastdichtebereich verteilt sind (Szenario 3)
- Ein durchmisches Szenario, das eine überwiegende Ausbringung der Fernwirktechnik in ländlichen Netzen abbildet (Szenario 4)

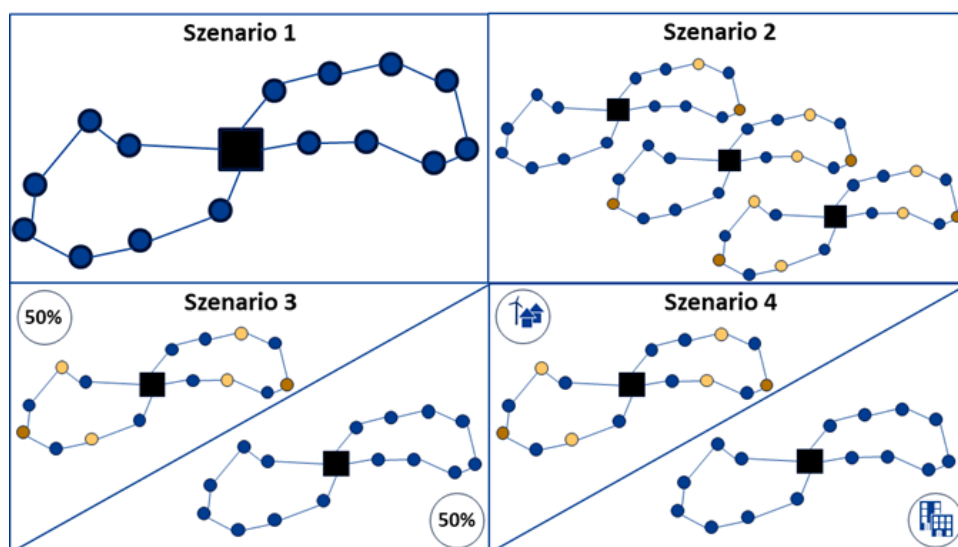


Abbildung 6: Schematische Darstellung der untersuchten Ausbauszenarien Fernwirktechnik

Die resultierenden Referenzfunktionen sind in Abbildung 7 dargestellt, die Parameter in Tabelle 4 aufgeführt.

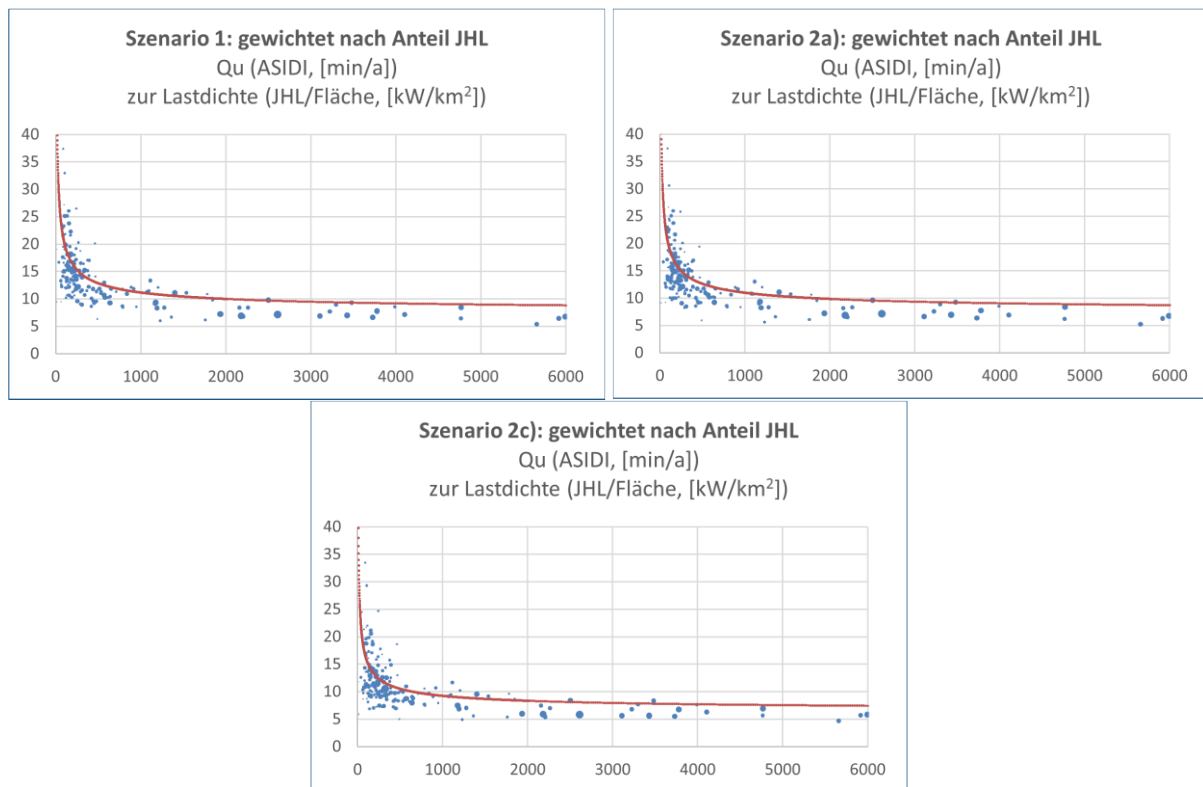


Abbildung 7: Abhängigkeit ASIDI von der Lastdichte in MS-Netzen und ermittelte Regressionsfunktion bei Szenario 1, 2a) und 2c)

Modell	AVG ASIDI gewichtet	a	b	n	R2 adj.
Szenario 1	13,51	152,62	7,34	-0,54	0,3
Szenario 2a) (niedrig)	13,24	141,96	7,28	-0,53	0,3
Szenario 2b) (mittel)	11,66	116,68	6,83	-0,53	0,25
Szenario 2c) (hoch)	10,96	103,3	6,22	-0,51	0,24

Tabelle 4: Regressionsparameter Fernwirktechnik-Szenarien 1 und 2

Eine Erhöhung des Anteils an ausgebrachter Fernwirktechnik führt zu einer signifikanten Verringerung des ASIDI über die Referenznetze. Eine Ausbringung von Fernwirktechnik an Trennstelle und $\frac{1}{4}$ - und $\frac{3}{4}$ - Ringstationen in allen MS-Abgängen (Szenario 2c) hat hierbei naturgemäß die stärksten Auswirkungen. Bei allen probabilistischen Zuverlässigkeitsberechnungen wurde kein Einsatz von Notstromaggregaten oder eine etwaige NS-seitige Wiederversorgungsmöglichkeit simuliert. Demnach ergibt sich bei Fehlern in Ortsnetz- und Kundenstationen oder in Stichen die Unterbrechungsdauer von hinterlagert befindlichen Letztverbrauchern aus der sogenannten Aus-Dauer des ausgefallenen Betriebsmittels. Die Aus-Dauer ist bei Auftreten von Schäden vor allem durch die Reparaturdauer bedingt. Der daraus entstehende Anteil an den jeweiligen MVA-Minuten (ausgefallenen Minuten) ist also besonders hoch. Bei Berücksichtigung der beschriebenen Maßnahmen zur Verringerung der Unterbrechungsdauer ist demnach zu erwarten, dass der relative senkende Einfluss der Fernwirktechnik noch stärker hervortreten würde.

Entscheidend für einen etwaigen Einfluss auf den Exponenten n in der Regressionsfunktion ist aber – wie oben argumentiert – eine besonders starke Abnahme der Nichtverfügbarkeit in Bereichen geringer Lastdichte. Diese ist auch bei einer entsprechenden Auswertung (Abbildung 8) tatsächlich zu verzeichnen. Die allerdings geringen Unterschiede führen nach Tabelle 4 zu einer

nachweisbaren, aber nur geringfügigen Abnahme des Betrags des Parameters n . Gleichzeitig sinkt interessanterweise auch das adjustierte Bestimmtheitsmaß in Übereinstimmung mit der empirischen Beobachtung.

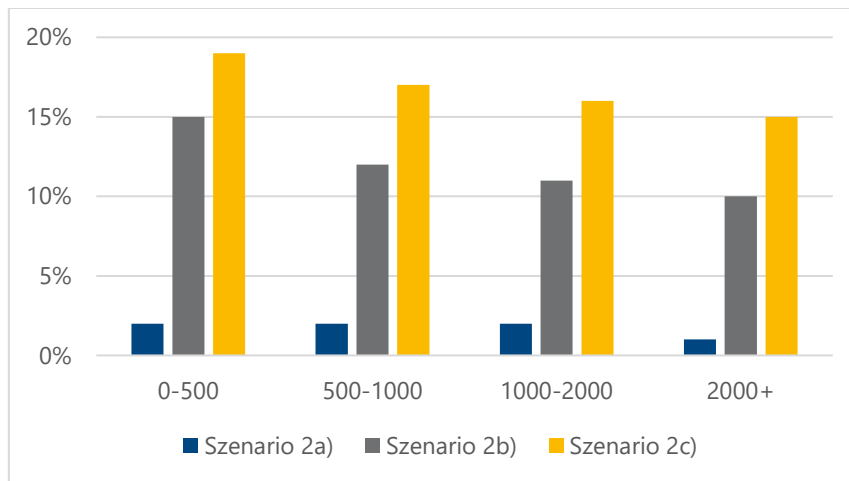


Abbildung 8: Abnahme des ASIDI für verschiedene Lastdichtegruppen bei unterschiedlichem Durchdringungsgrad mit Fernwirktechnik in den Referenznetzen

Prozentual hat die Fernwirktechnik ähnliche Auswirkungen auf die ASIDI Werte der Netze. Aufgrund des leicht höheren Einflusses auf Netze geringer Lastdichte ergibt sich für die Varianten mit Fernwirktechnik ein leicht sinkender Betrag des Parameters n .

Zusätzlich kann sich der Parameter n im Betrag verkleinern, wenn ländliche Netze überproportional mit Fernwirktechnik ausgestattet werden. Daher sind in Abbildung 9 und Tabelle 5 die Ergebnisse der simulativen Betrachtung der Datensätze der Szenarien 3 und 4 dargestellt.

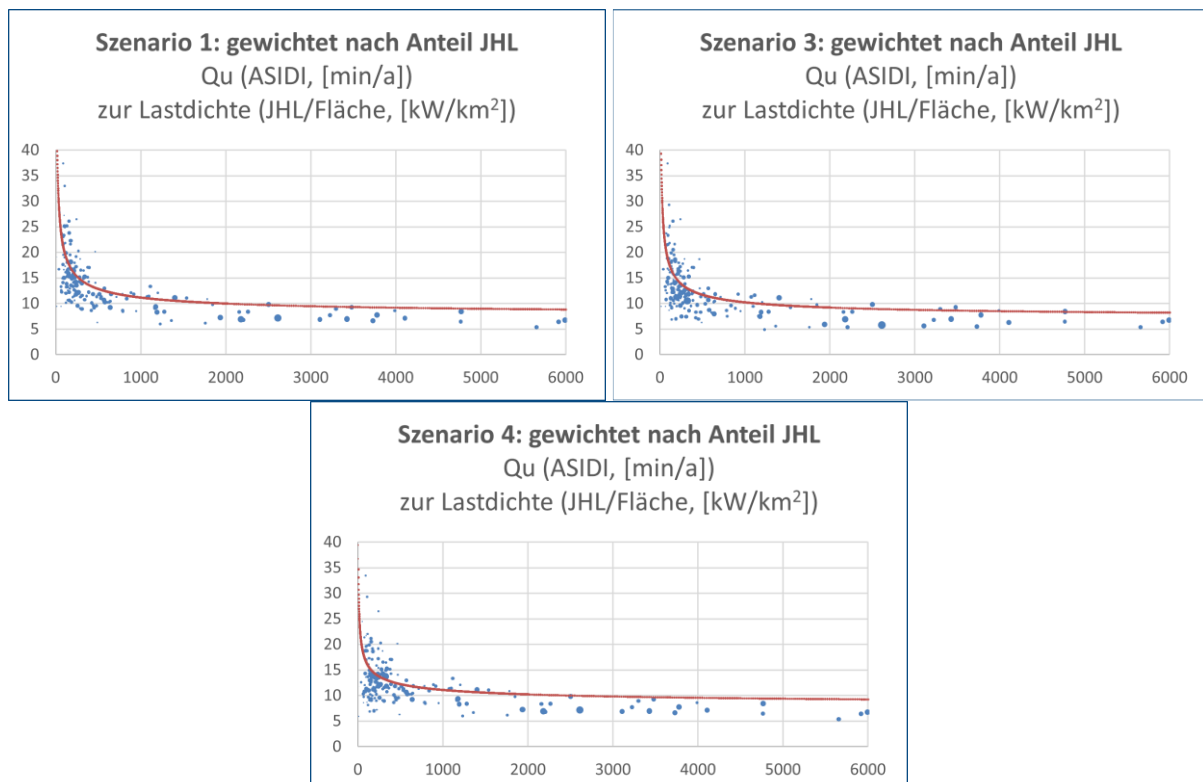


Abbildung 9: Ergebnisse der simulativen Betrachtung der Datensätze für die Szenarien 3 und 4

Modell	AVG ASIDI	a	b	n	R2 adj.
Szenario 1	13,51	152,62	7,34	-0,54	0,3
Szenario 2c) (hoch)	10,96	103,3	6,22	-0,51	0,24
Szenario 3	12,28	133,52	6,95	-0,54	0,27
Szenario 4	12,44	55,2	7,46	-0,39	0,14

Tabelle 5: Szenario mit einer verstärkten Ausbringung in ländlichen Netzen

Falls von einer verstärkten Durchdringung mit Fernwirktechnik in ländlich geprägten Netzen mit geringer Lastdichte ausgegangen werden kann (Szenario 4), verstärkt sich das Absinken des Betrages n, da die Kurvenform der Referenzfunktion weiter abflacht.

Eine zufällige Durchmischung von Netzen mit und ohne Fernwirktechnik zeigt dagegen keinen nennenswerten Effekt, da nunmehr alle Netze eine Reduzierung der Nichtverfügbarkeit erfahren und die etwas stärkere Reduktion im ländlichen Bereich kaum noch Einfluss aufweist. Sehr wohl nimmt in beiden Fällen mit Einsatz der Fernwirktechnik wiederum das Bestimmtheitsmaß Bereich kaum noch Einfluss aufweist. Sehr wohl nimmt in beiden Fällen mit Einsatz der Fernwirktechnik wiederum das Bestimmtheitsmaß gegenüber Szenario 1 (ohne Fernwirktechnik) ab, da nunmehr ein weiterer – aber endogener – Parameter für die Erklärung der Streuung der Datenpunkte existiert.

Ein zunehmender Ausbau von Fernwirktechnik führt zu einer Verringerung des ASIDI-Wertes der ausgebauten Netze. Erfolgt dieser Ausbau über alle Referenznetze, ergibt sich – in Übereinstimmung mit der Argumentationskette in Abschnitt 3.2 – ein leicht stärkerer Effekt bei Netzen geringer Lastdichte, was vor allem ländlichen Netzen entspricht. Erfolgt die Ausbringung zudem verstärkt in ländlichen Netzen, was entsprechend der Argumentation in Abschnitt 3.2 durchaus plausibel ist, verstärkt sich die Verbesserung des ASIDI-Wertes im Bereich niedriger Lastdichten. Damit sinkt der Betrag des Exponenten n der Referenzfunktion ab, da sich diese abflacht. Zugleich sinkt durch den verstärkten Einfluss des endogenen Parameters Ausstattungsgrad mit Fernwirktechnik der Erklärungsbeitrag des lastdichtebasierten Modells. Dies korrespondiert mit der in Abschnitt 2 empirisch beobachteten Entwicklung.

3.3 Entwicklung der Jahreshöchstlast

In den gemeldeten Datensätzen der vergangenen Regulierungsperioden zeigt sich eine tendenzielle Abnahme der Jahreshöchstlast und somit eine Veränderung eines wesentlichen Strukturparameters. Die Jahreshöchstlast (JHL) beeinflusst über den funktionalen Zusammenhang der Lastdichte direkt die Referenzfunktion. Eine Veränderung der Referenzfunktion kann also im Zusammenhang mit der veränderten JHL stehen.

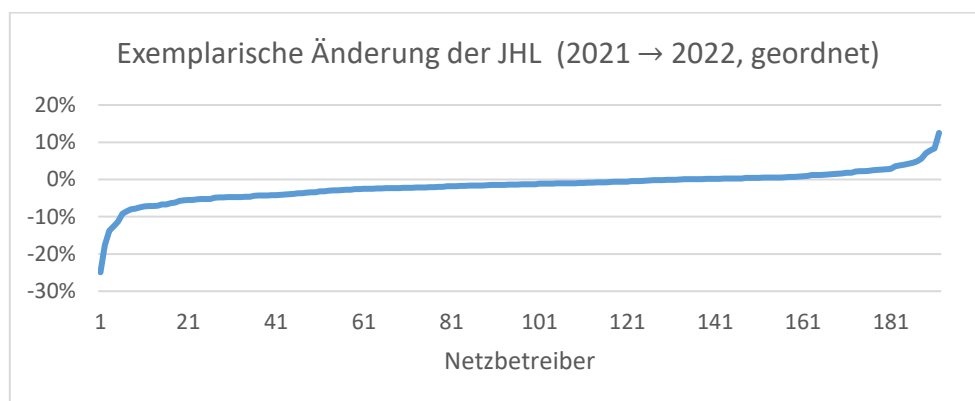


Abbildung 10: Exemplarische Änderung der Jahreshöchstlast

Um den Einfluss der Veränderungen der JHL auf die Referenzfunktion der aktuellen und vergangenen Regulierungsperioden separat zu untersuchen und mögliche zukünftige Auswirkungen auf die Referenzfunktion abzuschätzen, wurden dazu vertiefende Untersuchungen durchgeführt.

Zunächst wurden die Referenzfunktionen der Jahre 2017-2022 in Form einer Untersuchungsvariante neu bestimmt. Hierbei wurde der Parameter JHL in Variante a) auf die Werte des Jahres 2017 und in Variante b) auf die Werte des Jahres 2021 fixiert. Die so neu berechnete Referenzfunktion wird mit den Ursprungswerten verglichen.

Aufgrund der Inkonsistenz der VNB-Datenpunkte über den gesamten Betrachtungszeitraum (Eintreten bzw. Austreten von VNB aus Referenzverfahren) weichen die Ursprungswerte leicht vom Gesamtdatensatz der Jahresscheiben ab.

Eine Darstellung der Referenzfunktionen findet sich in Abbildung 11. Aus der Grafik ist erkennbar, dass sich Datenpunkte insbesondere im Bereich mittlerer und hoher Lastdichte horizontal verschieben, sich also offensichtlich gerade dort Änderungen der JHL über die Jahre ergeben haben.

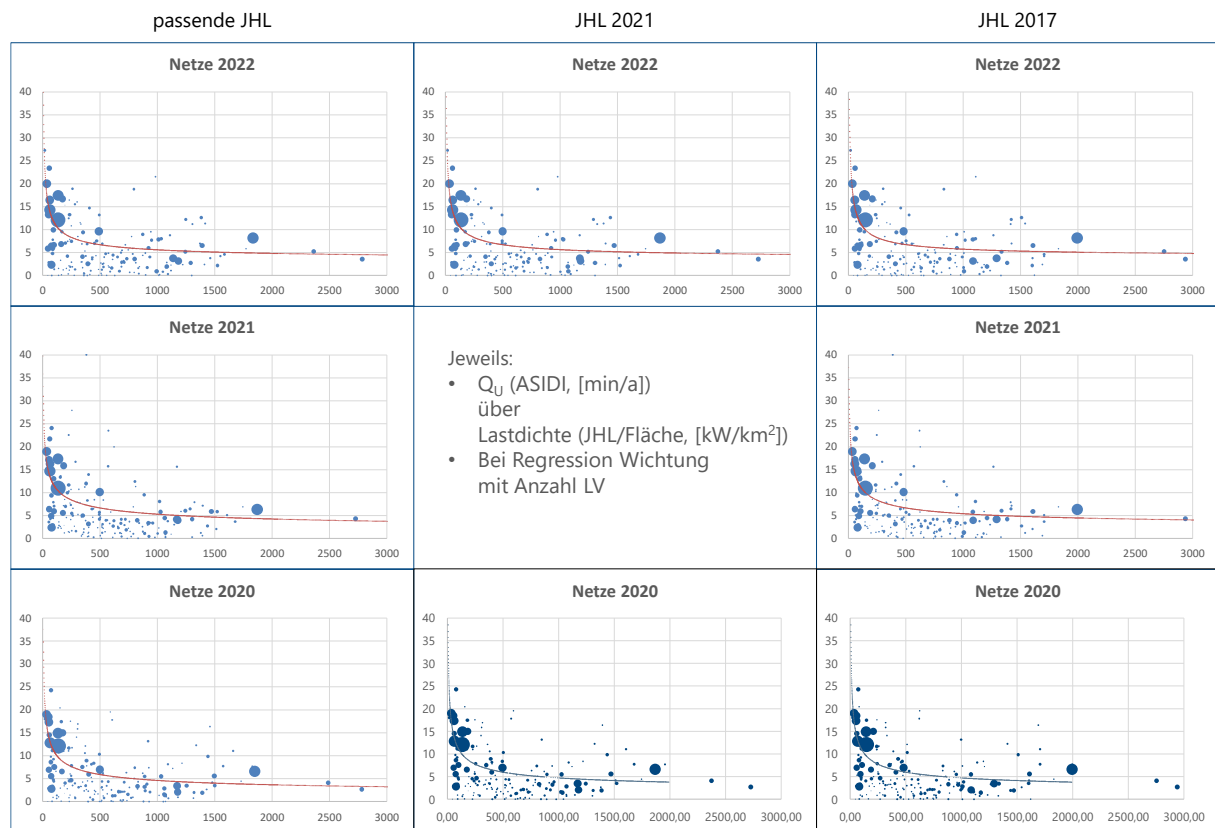


Abbildung 11: Grafische Darstellung der Referenzfunktion

Die sich ergebenden Referenzfunktionswerte sind in Tabelle 6 aufgeführt. Die durchschnittliche Jahreshöchstlast lag im Jahre 2017 bei 277,8 MW, im Jahre 2021 bei 265,6 MW und im Jahre 2022 bei 260 MW.

Jahr	JHL	a	b	n	R2 adj.
2017	original	502,34	4,99	-0,94	0,44
	2021	397,55	4,77	-0,89	0,44
2018	original	1628,22	5,88	-1,21	0,46
	2021	713	5,43	-1,01	0,45
	2017	1330	5,82	-1,16	0,48
2019	Original	161,83	3,36	-0,64	0,417
	2021	125,12	2,83	-0,58	0,45
	2017	177,21	3,3	-0,66	0,466
2020	Original	74,03	0,99	-0,44	0,453
	2021	81,52	1,33	-0,46	0,45
	2017	81,55	1,32	-0,46	0,46
2021	Original	59,17	0,63	-0,37	0,351
	2017	71,18	1,8	-0,43	0,35
2022	Original	95,61	3,08	-0,53	0,237
	2021	104,42	3,33	-0,55	0,24
	2017	134,3	3,9	-0,62	0,246

Tabelle 6: Referenzfunktionswerte

Eine Verringerung der JHL, wie in den vergangenen Jahren zu beobachten, hat als isolierter Parameter geringen Einfluss auf die Regressionsfunktion. Die Effekte der absinkenden JHL (im Vergleich mit JHL 2017) entsprechen den beobachteten Veränderungen der Q-Element Regressionsfunktion. Vor allem ergeben sich:

- Ein leicht geringeres R^2
- Der Betrag des Parameters n sinkt weiter ab
- Die Werte der Parameter a und b sind niedriger für Jahre niedriger JHL

Die veränderte Jahreshöchstlast erklärt jedoch nur einen Teil der beobachteten Veränderungen, da die Auswirkungen über den hier herausgestellten Einfluss hinausgehen. Die Ergebnisse zeigen sich gegenüber der Veränderung der Jahreshöchstlast robust.

Der Parameter n wäre aber bei gleichbleibender JHL entsprechend des Jahres 2017 in den Jahren 2021 und 2022 im (bzw. näher am) erwarteten Bereich von [-0,5; -1] (vgl. Consentec 2010).

3.4 Einordnung Referenzfunktionsparameter

An dieser Stelle soll abschließend auf die Wertebereiche der Referenzfunktionsparameter und das Bestimmtheitsmaß der Regressionsanalyse eingegangen werden.

Hinsichtlich des Funktionsparameters c wird in (Consentec 2010) beschrieben, dass zwar ein Wertebereich prognostiziert werden kann, aber eine eindeutige Parametrierung vorab nicht möglich ist und auch Parameter c unterhalb 0,5 plausibel auftreten können. Dies gelte insbesondere bei der Berücksichtigung betrieblicher Aspekte (Anfahrten, Fehlerortung etc.). In (E-Bridge 2020) wird im Rahmen von Sensitivitätsanalysen unter Variation der Planungsgrundsätze bei der Erzeugung der Referenznetze hinsichtlich des Parameters c nochmals deutlich gemacht, dass auch Werte im Bereich [0,2;0,5] mit den ingenieurtechnischen Überlegungen kongruent sind.

Im Rahmen der genannten Untersuchungen in (E-Bridge 2020) wird ein sinkendes Bestimmtheitsmaß R^2 mit Werten größer 0,3 als weiterhin statistisch signifikant eingestuft. Mit einem niedrigeren Bestimmtheitsmaß geht zwar tendenziell eine niedrigere Korrelation zwischen Funktion und Argument einher, es gibt aber keine definitiven Grenzen für die Anwendbarkeit einer

Regressionsanalyse in Abhängigkeit des Bestimmtheitsmaßes (Witte 2021). Trotz dessen sind – wie bereits zu Eingang des Kapitels beschrieben – sinkende Bestimmtheitsmaße insbesondere im Falle von endogenen Parametern neutral für die Bewertung des Verfahrens zu sehen: Aufgrund des Ausschließens von endogenen Parametern bei der Betrachtung möglicher Prädiktoren fällt ein Erklärungsbeitrag durch diese automatisch weg. Ziel der Methodik ist es darüber hinaus nicht, ein möglichst akkurates Modell zu finden, das den Gesamtzusammenhang von ASIDI und allen relevanten Einflussgrößen erklärt, sondern ein Modell, das den Zusammenhang zwischen gebietsstrukturellen Einflüssen und ASIDI in Form exogener Parameter möglichst gut beschreibt, um diese Zusammenhänge im Rahmen der Qualitätsregulierung einfließen zu lassen. Selbstverständlich müssen die Einzelvariablen weiterhin eine ausreichende statistische Signifikanz des Erklärungsgehalts aufweisen. Hinsichtlich einer möglichen Fixierung des Parameters c kann gesagt werden, dass dies der Aufnahme endogener Einflüsse in die Referenzfunktion entsprechen könnte und somit abzulehnen ist.

Trotz der aufgeführten Punkte kann bei starken Veränderungen der Funktionsparameter (z.B. $c \approx 0$) und des Bestimmtheitsmaßes (z.B. analog zur Betrachtung der NS-Ebene $R^2 \leq 0.1$) eine Prüfung der grundlegenden mathematischen Funktionsformulierung notwendig werden.

4 Zusammenfassung

Das Ziel der Analyse ist es zu untersuchen, ob die Methodik der Bundesnetzagentur (BNetzA) auch unter Berücksichtigung unterschiedlicher Parameterveränderungen weiterhin ein robustes Werkzeug darstellt. Die hier analysierten Parameterveränderungen lassen jedenfalls den Schluss zu, dass dies der Fall ist:

1. Sinkendes R^2 : Dieses Phänomen ergibt sich zwangsläufig, wenn Netze mit unterschiedlichen endogenen Merkmalen miteinander durchmischt werden. Im Gutachten wurde als möglicher wesentlicher Einfluss die Ausbringung von Fernwirktechnik identifiziert. In analytischen Untersuchungen konnte – in Übereinstimmung mit dem Vorgängergutachten – die Wirkung auf R^2 bestätigt werden. Eine Analyse der empirischen Daten legt aufgrund sinkender Unterbrechungsdauern nahe, dass dieser Effekt tatsächlich auftritt.

Die Methodik bleibt somit korrekt, wenn wir ausschließlich von exogenen Parametern ausgehen. Andere gebietsstrukturelle Parameter wurden nicht im Rahmen der Analyse berücksichtigt und könnten einen Einfluss auf die R^2 -Entwicklung haben.

2. Sinkender Exponent c: Ein zu erwartender Rückgang des Exponenten c ist plausibel, da Fernwirktechnik eine überproportionale Reduktion der Nichtverfügbarkeit in Netzen mit geringer Lastdichte bewirkt und viele Argumente dafürsprechen, dass Fernwirktechnik insbesondere in Gebieten geringerer Lastdichte ausgebracht wurde und wird. Die Existenz dieses Effektes wurde in analytischen Untersuchungen bestätigt, wiederum sprechen sinkende Unterbrechungsdauern in den empirischen Daten für das tatsächliche Auftreten.

Eine Veränderung der Parameter stellt nicht zwangsläufig die gesamte Methodik in Frage, solange es plausible endogene Erklärungsansätze gibt. Die weiterhin signifikante Bedeutung des gebietsstrukturellen Parameters Lastdichte unterstreicht die Robustheit der Methode. Eine Kongruenz zwischen ingenieurwissenschaftlichen Überlegungen und empirischem Befund ist weiterhin gegeben. Eine Anpassung der Methodik ist somit nicht zwingend erforderlich, sondern vielmehr eine Frage der Feinjustierung und Weiterentwicklung, um den sich wandelnden Anforderungen gerecht zu werden.

ANHANG

- A. Abbildungsverzeichnis
- B. Tabellenverzeichnis
- C. Quellen/Referenzen

A. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Abhängigkeit ASIDI von der Lastdichte in MS-Netzen und ermittelte Regressionsfunktion - 2017-2022	5
Abbildung 2: Durchschnittlicher SAIDI nach Jahren	6
Abbildung 3: Einflüsse der Veränderungen durch einzelne NB	7
Abbildung 4: Verdeutlichung der Wirkung von Fernwirktechnik auf die Reduktion von Unterbrechungsdauern und damit der Nichtverfügbarkeit	8
Abbildung 5: Schematische Darstellung Zubauverfahren Fernwirktechnik	11
Abbildung 6: Schematische Darstellung der untersuchten Ausbauszenarien Fernwirktechnik	11
Abbildung 7: Abhängigkeit ASIDI von der Lastdichte in MS-Netzen und ermittelte Regressionsfunktion bei Szenario 1, 2a) und 2c).....	12
Abbildung 8: Abnahme des ASIDI für verschiedene Lastdichtegruppen bei unterschiedlichem Durchdringungsgrad mit Fernwirktechnik in den Referenznetzen	13
Abbildung 9: Ergebnisse der simulativen Betrachtung der Datensätze für die Szenarien 3 und 4.....	13
Abbildung 10: Exemplarische Änderung der Jahreshöchstlast.....	14
Abbildung 11: Grafische Darstellung der Referenzfunktion	15

B. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Referenzfunktionen für Einzeljahre	6
Tabelle 2: Referenzfunktionsparameter in veränderter Variante und Basisvariante	7
Tabelle 3: Änderung des Mittelwertes der Unterbrechungsdauern in den Jahren 2020-2022 gegenüber 2017-2019 für die VNB im Regelverfahren der Anreizregulierung. Gewichtung bei Zusammenfassung in den Lastdichteklassen mit der Letztverbraucheranzahl.	10
Tabelle 4: Regressionsparameter Fernwirktechnik-Szenarien 1 und 2	12
Tabelle 5: Szenario mit einer verstärkten Ausbringung in ländlichen Netzen	14
Tabelle 6: Referenzfunktionswerte	16

C. Quellen/Referenzen

- Amme, J., Pleßmann, G., Bühler, J., Hülk, L., Kötter, E., Schwaeger, P. (2017), *The eGo grid model: An open-source and open-data based synthetic medium-voltage grid model for distribution power supply systems*, SciGRID International Conference on Power Grid Modelling 30–31 March 2017, Oldenburg, Germany, J. Phys.: Conf. Ser. 977 012007
- Bundesnetzagentur (2022), *Erhebungsbogen Qualitätselement Strom 2022*
- Bundesnetzagentur (2023), *Festlegungsentwurf über die nähere Ausgestaltung und das Verfahren zur Bestimmung des Qualitätselementes hinsichtlich der Netzzuverlässigkeit für Elektrizitätsverteilernetze nach den §§ 19 und 20 ARegV für die vierte Regulierungsperiode (Jahre 2024 bis einschließlich 2028 – Methodikbeschluss)*, Beschluss BK8-23-006-A
- Consentec, FGH, Frontier Economics (2010), *Konzeptionierung und Ausgestaltung des Qualitäts-Elements (Q-Element) im Bereich Netzzuverlässigkeit Strom sowie dessen Integration in die Erlösobergrenze*, Gutachten im Auftrag der Bundesnetzagentur
- E-Bridge, FGH, ZEW (2020), *Gutachten zur Konzeptionierung eines Qualitätselementes*, im Auftrag der Bundesnetzagentur
- Tran, J., Wirtz, C., Pfeifer, P., Wursthorn, D., Vennegeerts, H., & Moser, A. (2019), *Modelling of Synthetic Power Distribution Systems in Consideration of the Local Electricity Supply Task*, 25th CIRED Madrid/Spain, S. Paper No. 2107
- Wirtz, C., Vennegeerts, H., Nikogosian, V., Kaltschnee, J., Schober, D., Krah, S., (2021), *Influence of Area-Structural Characteristics on Reliability of Supply of Electrical Distribution Networks*, CIRED 2021 - The 26th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, pp. 921-925
- Witte, R. S., Witte, J. S. (2021), *Statistics*

KOMPETENZ
IN ENERGIE



E-Bridge
Kompetenz in Energie