

ANREIZREGULIERUNG,
VERGLEICHsverfahren

Bericht

Zum Qualitätselement der
4. Regulierungsperiode

Bestimmung der Referenzwerte und
des Monetarisierungsfaktors
Anlage 1 zur Festlegung BK8-23/006-A



Bundesnetzagentur

Bericht zum Qualitätselement der 4. Regulierungsperiode

Bestimmung der Referenzwerte und des Monetarisierungsfaktors
Anlage 1 zur Festlegung BK8-23/006-A

Stand: 23. November 2023

**Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas,
Telekommunikation, Post und Eisenbahnen**

Referat BK8/611

Tulpenfeld 4

53113 Bonn

Tel.: +49 228 14-0

Fax: +49 228 14-8872

E-Mail: poststelle.bk8@bnetza.de <mailto:info@bnetza.de>

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	3
1 Vorbemerkungen.....	4
2 Verwendete Datengrundlage.....	5
2.1 Verwendete Strukturgrößen	5
2.2 Kennzahlen zur Beschreibung der Netzzuverlässigkeit	7
3 Ergebnisse für die Mittelspannungsnetze	9
3.1 Zusammenhänge der Netzzuverlässigkeit und Strukturgrößen	9
3.2 Gewichtungsgroßen.....	9
3.3 Explorative Analyse ausgewählter Einflussvariablen auf die Netzzuverlässigkeit der Mittelspannungsnetze	10
3.3.1 Lastdichte.....	10
3.3.2 Anschluss- und Bemessungsscheinleistungsdichte	11
3.3.3 Zwischenfazit	11
3.4 Die geschlossene Referenzfunktion: Nichtlineare bivariate Modelle	11
3.4.1 Lastdichte.....	12
3.4.2 Anschlussdichte	13
3.4.3 Bemessungsscheinleistungsdichte.....	14
3.5 Untersuchung multivariater Zusammenhänge in den Mittelspannungsnetzen	15
3.5.1 Erweiterung der Lastdichte um die Elementarlast	16
3.5.2 Zwischenfazit	17
4 Ergebnisse für die Niederspannungsnetze.....	18
5 Ermittlung des Monetarisierungsfaktors	19
5.1 Makroökonomische Analyse im Haushaltsbereich.....	19
5.2 Makroökonomische Analyse der Ausfallkosten in der Industrie	22
6 Zusammenfassung.....	25
7 Literaturverzeichnis.....	26
Abbildungsverzeichnis	28
Tabellenverzeichnis	29
Abkürzungsverzeichnis	30
Impressum.....	31

1 Vorbemerkungen

Vor dem Hintergrund der angestrebten Festsetzung der Methode des Qualitätselementes der vierten Regulierungsperiode beschreibt der vorliegende Bericht die Vorgehensweise bei der Ermittlung der Qualitätselemente hinsichtlich der Netzzuverlässigkeit Strom. Er vergleicht und bewertet weiterhin mögliche Modelle, die dieser Methode zugrunde zu legen sind. Betrachtet werden dabei ausschließlich die Nieder- und die Mittelspannungsnetze von insgesamt 196 Verteilernetzbetreibern.¹ Normative Grundlage bilden die §§ 19 bis 20 ARegV.

Dieser Bericht gliedert sich wie folgt:

- Der sich an diese Vorbemerkungen anschließende Abschnitt 2 beschreibt die verwendete Datenbasis aufgrund der Festlegung BK8-23/001-A vom 1. März 2023. Weiterhin wird in diesem Abschnitt ein Überblick über die relevanten Kennzahlen und Strukturgrößen zur Beschreibung der Netzzuverlässigkeit gegeben.
- Daran anschließend, fassen Abschnitte 3 und 4 die methodischen Grundlagen für die Ermittlung von Kennzahlvorgaben (Referenzwerte der SAIDI- bzw. ASIDI-Kennzahlen) zusammen. Darin enthalten sind die Ergebnisse der explorativen Datenanalyse und regressionsanalytischen Referenzwertermittlung für die Mittelspannungsnetze bzw. die Ausweisung des einheitlichen Referenzwertes der Niederspannungsnetze auf Basis eines gewichteten Mittelwertes.
- Im nächsten Abschnitt 5 sind die Berechnung und Ausweisung des Monetarisierungsfaktors m (Anreizrate) dargestellt.
- Der Bericht schließt mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse im Abschnitt 6.

¹ Vgl. BK8-23/006-A - Entwurf 2023, S. 1263.

2 Verwendete Datengrundlage

Den in diesem Bericht beschriebenen Analysen liegen die Daten aus den Kalenderjahren 2020 bis 2022 zugrunde. Entsprechend der Festlegung zur Datenerhebung mit dem Az. BK8-23/001-A vom 1. März 2023 wurden für die Mittel- bzw. Niederspannungsnetze, Strukturparameter zur Beschreibung gebietsstruktureller Unterschiede sowie Kenngrößen zur Beschreibung der Netzzuverlässigkeit erhoben.² Unter Beteiligung der betroffenen Netzbetreiber hatte die Bundesnetzagentur, die mit der zuvor genannten Festlegung übermittelten Daten verschiedenen Plausibilitätskontrollen unterzogen. Hierzu zählten insbesondere Vollzähligkeits- und Vollständigkeitsprüfung, netzbetreiberindividuelle Abgleiche mit vorliegenden Daten aus anderweitig erhobenen Abfragen bspw. aus den bisherigen Erhebungen zur Bestimmung der Qualitätselemente oder Effizienzwerte. Ebenso führte sie Abgleiche mit Datenmeldungen zu den Versorgungsunterbrechungen nach § 52 EnWG der Jahre 2020 bis 2022 durch. Daneben waren auch Logik- und Kennzahlenprüfungen Teil des Plausibilisierungsprozesses, der sich insgesamt über den Zeitraum vom 1. Mai 2023 bis zum 21. September 2023 erstreckte. Die Plausibilisierung endete mit der Übermittlung einer sogenannten Datenquittung an die beteiligten Netzbetreiber. Mit dieser erhielten die Netzbetreiber den von ihnen zuletzt übermittelten – und aus Sicht der Bundesnetzagentur plausiblen – Datensatz mit der Aufforderung einer abschließenden Prüfung und der Bundesnetzagentur ggf. letzte Änderungen oder Korrekturen am Datensatz mitzuteilen. Somit liegt für die folgenden Analysen eine belastbare Datengrundlage vor.

Die Datengrundlage umfasst Angaben von 196 Nieder- und 195 Mittelspannungsnetzen (von einem Netzbetreiber wird lediglich ein Niederspannungsnetz betrieben). Von der überwiegenden Anzahl dieser Stromnetze liegen die nach Beschluss Az. BK8-23/001-A vom 1. März 2023 (Festlegung zur Datenerhebung) angeforderten Daten für die drei Kalenderjahre 2020 bis 2022 vollständig vor. Lediglich von zwei Nieder- und Mittelspannungsnetzen konnten die Betreiber aufgrund von Netzübernahmen keine Daten für alle drei Kalenderjahre übermitteln.

2.1 Verwendete Strukturgrößen

Mit § 20 Abs. 2 ARegV ist festgelegt, dass bei der Ermittlung von Kennzahlvorgaben (Referenzwerten) gebietsstrukturelle Unterschiede zu berücksichtigen sind. Bereits im Ausgangsgutachten 2010 wurde untersucht und beschrieben, wie eine solche Berücksichtigung erfolgen kann.³ Die darin gefundenen Zusammenhänge der Netzzuverlässigkeits- und den Strukturgrößen sowie die daraus abzuleitenden Ergebnisse wurden mit einer aktualisierten Datenbasis im aktuellen Gutachten (Follegutachten 2020) aufgegriffen und unter Verwendung weiterentwickelter wissenschaftlicher Methoden und Erfahrungen abgeglichen.⁴ Die darin entwickelten Ansätze und Erkenntnisse wurden der Branche vorgestellt und Stellungnahmen berücksichtigt. Das bisher angewandte Konzept wurde bestätigt und dessen Anwendung weiter fortgesetzt. Beide Gutachten sind auf den Internetseiten der Bundesnetzagentur veröffentlicht.⁵ Demnach ist der Quotient aus den Strukturgrößen zeitgleiche Jahreshöchstlast [kW] und Fläche [km²] –

² Vgl. Bundesnetzagentur 08.03.2023, S. 157.

³ Vgl. Ausgangsgutachten 2010, S. 52ff.

⁴ Vgl. Follegutachten 2020, S. 46.

⁵ Vgl. www.bundesnetzagentur.de → Beschlusskammern → Beschlusskammer 8 → Erlösobergrenzen → Qualitätselement.

Lastdichte [kW/km²] –am besten geeignet, gebietsstrukturelle Unterschiede abzubilden.⁶ Daher ist aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht die Lastdichte allen weiteren Strukturparametern gegenüber vorzugswürdig, um gebietsstrukturelle Unterschiede im Sinne der Vorschriften der §§ 19 und 20 ARegV zu berücksichtigen.⁷ Der formale Zusammenhang zur Erklärung der Netzzuverlässigkeitskennzahlenwerte durch die Lastdichte ist mittels eines hyperbolischen Verlaufs gegeben.⁸ Dieser ist mit der Formel 1 wiedergegeben.⁹

$$\hat{y} = f(x) = a + \frac{b}{x^c}$$

Formel 1: Zusammenhang Netzzuverlässigkeit und Lastdichte.

Dabei ist:

\hat{y} Zu erklärende Variable, Erwartungswerte für die Zuverlässigkeitskennzahl, Referenzwert.

a, b, c Zu schätzende Regressionskoeffizienten.

x Erklärende Variable, beobachteter Strukturparameter (z. B. Lastdichte).

Dem zu schätzenden Exponenten c kommt aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht eine besondere Rolle zu; er sollte idealerweise Werte innerhalb eines definierten Bereichs annehmen.¹⁰ Für die Koeffizienten a und b gilt, dass diese nur positive Werte annehmen können. Bisher wurden die Qualitätselemente – zumindest für die Mittelspannungsnetze – unter Berücksichtigung der Lastdichte als Merkmal zur Beschreibung der gebietsstrukturellen Besonderheiten bestimmt. Als potenzieller Parameter zur Abbildung gebietsstruktureller Unterschiede ist bspw. auch die Anschlussdichte ingenieurwissenschaftlich begründet.¹¹ Die Anschlussdichte [1/km²] ist definiert als das Verhältnis aus der Anzahl von Anschlusspunkten und (geografischer) Fläche [km²]. Auch der Zusammenhang aus Anschlussdichte als erklärende Variable x und den Zuverlässigkeitskennzahlenwerten als zu erklärenden Variable y = f(x) folgt einem hyperbolischen Verlauf, s. Formel 1. Gutachterlich wurden neben den beiden hier genannten Strukturparametern weitere potentielle Größen untersucht, die in der Vergangenheit jedoch zu keinen plausiblen Ergebnissen führten. Diese stehen daher auf Grundlage des Beschlusses BK8-23/001-A nicht zur Verfügung.

Tabelle 1 fasst die zu analysierenden Einflussgrößen und die sich aus ingenieurwissenschaftlichen Analysen abgeleiteten Annahmen hinsichtlich der funktionalen Zusammenhänge und Wertebereiche zusammen.¹² Sie dienen als Blaupause zur Überprüfung anhand der statistischen Analysen. Zu beachten ist, dass die

⁶ Vgl. Folgegutachten 2020, S. 99.

⁷ Vgl. Ausgangsgutachten 2010, S. 61.

⁸ Vgl. Folgegutachten 2020, S. 99.

⁹ Hinweis: Zum Teil wird Formel 1 auch umformuliert zu $y = f(x) = a \cdot x^n + b$. Die beiden Schreibweisen sind äquivalent.

¹⁰ Vgl. Ladermann 2017, S. 18.

¹¹ Vgl. Ausgangsgutachten 2010, S. 55.

¹² Vgl. Ladermann 2017, S. 18.

angegebenen Wertebereiche für c nicht als harte Grenzwerte zu verstehen sind und auch nicht unmittelbar als quantitativer Maßstab für die Interpretation der Koeffizienten heranzuziehen sind.¹³

Wertebereiche von Koeffizienten

	Plausibler Funktionsverlauf	Koeffizienten a und b	Exponent c
Lastdichte	Hyperbolisch	Nicht negativ	0,5 bis 1
Anschlussdichte	Hyperbolisch	Nicht negativ	-0,5 bis 0,5
BSL-Dichte ¹⁾	Hyperbolisch	Nicht negativ	0,5 bis 1

1) Bemessungsscheinleistungsdichte

Quelle: Ladermann 2017, S. 18

Tabelle 1: Erwartete Funktionsverläufe und Wertebereiche der Koeffizienten a und b sowie des Exponenten c bei Verwendung flächenbezogener Strukturparameter (Dichteparameter).

Da der Strukturparameter Bemessungsscheinleistungsdichte (BSL-Dichte) [MVA/km²] u. a. in Ladermann 2017 zu Analysezwecken verwendet wurde, ist dieser in der Tabelle 1 enthalten und soll hier aus rein informatorischen Gründen untersucht werden.¹⁴ Die Bemessungsscheinleistungsdichte ist dabei definiert als Bemessungsscheinleistung der Ort- und Letztverbrauchertransformatoren [MVA] je geografischer Fläche der Mittelspannungsnetze [km²].

2.2 Kennzahlen zur Beschreibung der Netzzuverlässigkeit

Der Festlegung zur Datenerhebung mit dem Az. BK8/23-001-A vom 1. März 2023 folgend, waren Angaben zu den eingetretenen Versorgungsunterbrechungen der Kalenderjahre 2020 bis 2022 zu tätigen. Ausschließlich die Nieder- und Mittelspannungsnetze betreffend, waren dabei alle geplanten und ungeplanten (angekündigten und nicht angekündigten) Versorgungsunterbrechungen mit den Störungsanlässen:

- Atmosphärische Einwirkung
- Einwirkung Dritter
- Zuständigkeitsbereich des Netzbetreibers/kein erkennbarer Anlass
- Sonstiges (geplante bzw. angekündigte Versorgungsunterbrechungen)
- höhere Gewalt

zu berücksichtigen und anzugeben. Aus den übermittelten Daten zu den Versorgungsunterbrechungen sind Kennzahlenwerte gemäß § 20 Abs. 1 ARegV Kennzahlenwerte abzuleiten und zwar für die Niederspannungsnetze der "System Average Interruption Duration Index" (SAIDI) bzw. der "Average System Interruption Duration Index" (ASIDI) für die Mittelspannungsnetze.¹⁵ Beide Kennzahlen sind entsprechend der Formel 2 und Formel 3 definiert.

¹³ Vgl. Follegutachten 2020, S. 73.

¹⁴ Vgl. Ladermann 2017, S. 40ff.

¹⁵ Vgl. IEEE Std 1366-2003, S. 5ff.

$$SAIDI = \frac{\sum r_i \cdot N_i}{N_T}$$

Formel 2: Berechnung der Netzzuverlässigkeitskennzahl der Niederspannung (SAIDI).

$$ASIDI = \frac{\sum r_i \cdot L_i}{L_T}$$

Formel 3: Berechnung der Netzzuverlässigkeitskennzahl der Mittelspannung (ASIDI).

Dabei ist:

r_i Dauer [min] der Versorgungsunterbrechung i

N_i Anzahl der von der Versorgungsunterbrechung i in der Niederspannungsebene unterbrochenen Letztverbraucher

N_T Anzahl der an der Niederspannungsebene angeschlossenen Letztverbraucher

L_i Summe der durch die Versorgungsunterbrechung i unterbrochenen Bemessungsscheinleistung [MVA] der Orts- und Letztverbrauchertransformatoren in der Mittelspannungsebenen

L_T Summe der installierten Bemessungsscheinleistung [MVA] von Orts- und Letztverbrauchertransformatoren in der Mittelspannungsebenen.

Des Weiteren werden Gewichtungen der Zuverlässigkeitskennzahlenwerte im Sinne des § 20 Abs. 1 ARegV vorgenommen. Das bedeutet, dass eine Gewichtung mit dem Faktor 1 für alle Versorgungsunterbrechungen – bzw. den aus diesen gebildeten Kennzahlenwerte – vorgenommen wird, die den Störungsanlässen "atmosphärische Einwirkung", "Einwirkung Dritter" und "Zuständigkeitsbereich des Netzbetreibers/kein erkennbarer Anlass" zugeordnet sind (ungeplante/nicht angekündigte Versorgungsunterbrechungen). Mit dem Faktor ½ werden alle Versorgungsunterbrechungen gewichtet, die dem Störungsanlass "Sonstiges" zugeordnet sind (geplante/angekündigte Versorgungsunterbrechungen).

3 Ergebnisse für die Mittelspannungsnetze

3.1 Zusammenhänge der Netzzuverlässigkeit und Strukturgrößen

Das Ziel der statistischen Analyse besteht in der Bestätigung ingenieurwissenschaftlich festgestellter, funktionaler Zusammenhänge zwischen der Netzzuverlässigkeit, repräsentiert durch die ASIDI-Kennzahlenwerten und den o. g. Strukturparametern zur Beschreibung gebietsstruktureller Unterschiede. Hierzu sind die ingenieurwissenschaftlich hergeleiteten Modellansätze und Erkenntnisse zu berücksichtigen, die sowohl im Ausgangsgutachten 2010, als auch im aktuellen Folgegutachten 2020 beschrieben sind. Basis der Analysen sind die Datenmeldungen, die aufgrund der Festlegung Az. BK8-23/001-A vom 1. März 2023 abgefragt und in der Folge plausibilisiert wurden. Die Ergebnisse können gegenüber den ingenieurwissenschaftlichen Überlegungen abweichen.¹⁶ Ursächlich hierfür sind bspw. Überlagerungen der betrachteten Einflüsse, Stochastik der Kennzahlenwerte in Abhängigkeit von Strukturparametern (z. B. Lastdichte), nicht beobachtbare, insbesondere endogene Einflüsse (Fernwirktechnik) oder die Interpretation komplexer Funktionsverläufe.

Die hier gewählte Vorgehensweise orientiert sich im Wesentlichen an den Erkenntnissen im Folgegutachten 2020.¹⁷ Demzufolge ist im ersten Schritt eine explorative Datenanalyse bivariater Zusammenhänge durchzuführen. Anschließend erfolgt die Untersuchung von geschlossenen funktionalen Zusammenhängen mittels Regressionsanalysen. Die für die Referenzwerte zu verwendenden Koeffizienten (a, b und c) werden dabei regressionsanalytisch geschätzt. Sodann werden Rückschlüsse für die Modellauswahl gezogen. Die Referenzwerte sind aus dem geeignetsten Modell abzuleiten.

3.2 Gewichtungsgroßen

Aus den Kennzahlenwerten nach Abschnitt 2.2 sind Kennzahlenvorgaben (Referenzwerte) als gewichtete Durchschnittswerte zu ermitteln. Als Gewichtungsgroße dieser Referenzwerte wird die Anzahl der Letztverbraucher aus beiden Netzebenen (Nieder- und Mittelspannung) sowie aus den beiden Umspannebenen Hoch- zu Mittelspannung (HS/MS) und Mittel- zu Niederspannung (MS/NS) verwendet. Diese Vorgehensweise dient einerseits der Skalierung und andererseits der Forderung des § 20 Abs. 2 ARegV nach einer gewichteten Betrachtungsweise. Hinsichtlich der Auswahl der Gewichtungsgroße ist zu beachten, dass ein Zusammenhang mit der Gestaltung des Monetarisierungsfaktors für das Qualitätselement besteht. Darüber hinaus sollen die Gewichtungsgroßen den Umfang der Versorgungsaufgabe reflektieren. Bislang wurde hierzu ausschließlich die Anzahl der Letztverbraucher verwendet. Von den Verfassern der Gutachten wird dies ebenfalls empfohlen, da zwischen der Gewichtungsgroße und dem Monetarisierungsfaktor ein enger Zusammenhang besteht. Auch um das Ziel eines in Summe erlösneutralen Qualitätselementes zu erreichen, sollte die Gewichtungsgroße mit der Skalierungsgroße des Monetarisierungsfaktors übereinstimmen (auch dort wird hierfür diese Größe verwendet). Aus diesem Grund wird auf die Darstellung von Modellen mit anderen Gewichtungsgroßen als der Anzahl der Letztverbraucher verzichtet. Im Übrigen besitzen anderweitig gewichtete Modelle keinen höheren Erklärungsgehalt.

¹⁶ Vgl. Folgegutachten 2020, S. 37.

¹⁷ Vgl. ebd., S. 73.

3.3 Explorative Analyse ausgewählter Einflussvariablen auf die Netzzuverlässigkeit der Mittelspannungsnetze

Wie im Follegutachten 2020 beschrieben, beinhaltet die erste Stufe der Analyse eine explorative Datenanalyse lokaler Polynomfunktionen höheren Grades, welche sich abschnittsweise an die jeweils zu untersuchenden Einflüsse anpassen. Dadurch können durchgehend monotone Einflüsse erklärender Variablen (bspw. die Lastdichte) auf die Zuverlässigkeitskennzahlenwerte (ASIDI-Werte) der Mittelspannungsnetze untersucht werden. Es werden die Daten aller am Verfahren beteiligten Netzbetreiber verwendet. Als Gewichtungsfaktor dient jeweils die Summe der Letztverbraucher der Nieder- und Mittelspannungsnetze sowie der Umspannebenen HS/MS und MS/NS.

3.3.1 Lastdichte

Der durch ingenieurwissenschaftliche Modellüberlegungen gefundene und auch in der Vergangenheit mehrfach nachgewiesene hyperbolische Verlauf kann im Ergebnis der explorativen Datenanalyse für die (korrigierte) Lastdichte [kW/km^2] in der Mittelspannung grundsätzlich bestätigt werden, wie Abbildung 1 zeigt.¹⁸ Die dargestellten Konfidenzintervalle zeigen weiterhin eine akzeptable Streuung der Schätzung, insbesondere im Wertebereich bis $500 \text{ kW}/\text{km}^2$ bei der gewichteten Schätzung auf Basis der gesamten Zeitreihe (2020 bis 2022). Bemerkenswert ist, dass sich der gezeigte Funktionsverlauf gegenüber den bislang durchgeführten Untersuchungen "abflacht". Dies kann durch die mehrfach beschriebenen Wechselwirkungen verschiedener (endogener) Einflussfaktoren motiviert sein, insbesondere durch die zunehmende Ausbringung von Fernwirktechnik.¹⁹ In der Folge reduzieren sich Wiederversorgungsdauern und damit auch die Zuverlässigkeitskennzahlen erheblich.²⁰

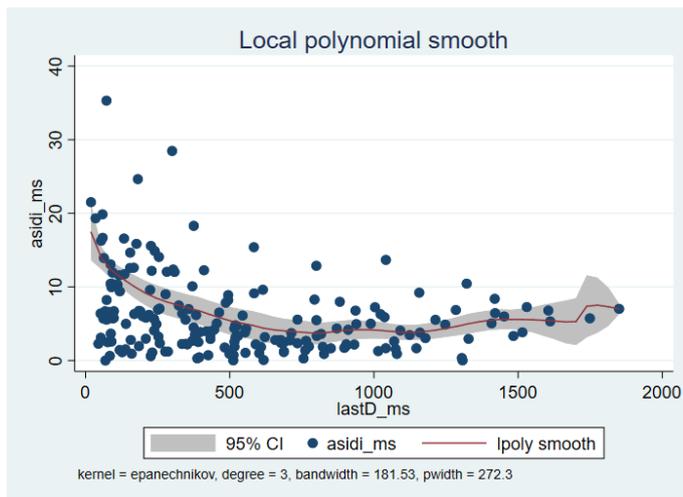


Abbildung 1: Bivariater Zusammenhang ASIDI und Lastdichte (lastD_ms), gesamte Zeitreihe, gewichtet (Letztverbraucheranzahl).

¹⁸ Vgl. Follegutachten 2020, S. 77.

¹⁹ Vgl. Schröders et al. 2012, S. 41ff.

²⁰ Vgl. Follegutachten 2020, S. 41.

3.3.2 Anschluss- und Bemessungsscheinleistungsdichte

Für die Anschlussdichte [$1/\text{km}^2$] ist ebenfalls der erwartete, systematische Einfluss auf die Netzzuverlässigkeit der Mittelspannung festzustellen, wie Abbildung 2 zeigt. Im Bereich kleiner Dichtewerte sind bis ca. 5 Anschlusspunkte pro km^2 fallende ASIDI-Kennzahlenwerte zu beobachten.

Im Fall der Bemessungsscheinleistung [MVA/km^2] ist – der Last- bzw. Anschlussdichte vergleichbar – ebenfalls ein systematischer Einfluss auf die ASIDI-Zuverlässigkeitskennzahlenwerte der Mittelspannungsnetze erkennbar, wie Abbildung 3 zeigt. Aus regulatorischen Erwägungen ist dieser Strukturparameter jedoch aufgrund seiner endogenen Merkmale nachrangig für die Ermittlung von Referenzwerten zu sehen.²¹ Zudem korreliert die Bemessungsscheinleistung deutlich mit der zeitgleichen Jahreshöchstlast, sodass bereits eine (lineare) Abhängigkeit beider Größen besteht.

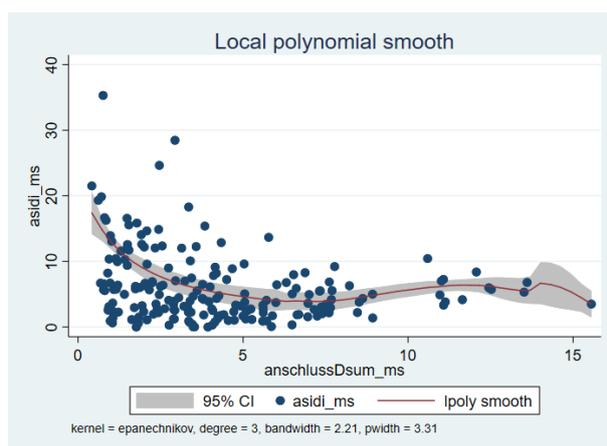


Abbildung 2: Bivariater Zusammenhang ASIDI und Anschlussdichte (Summe über alle Anschlusspunkte in der MS, `anschlussDsum_ms`), gesamte Zeitreihe, gewichtet (Letztverbraucheranzahl).

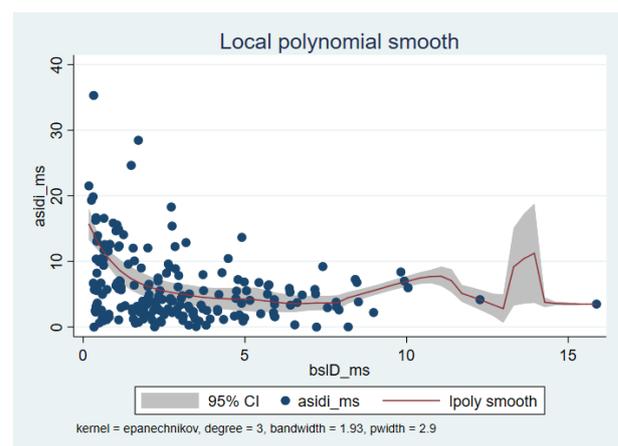


Abbildung 3: Bivariater Zusammenhang ASIDI und Bemessungsscheinleistungsdichte (`bsID_ms`), gesamte Zeitreihe, gewichtet (Letztverbraucheranzahl).

3.3.3 Zwischenfazit

Im Fall der Mittelspannungsebene konnte durch die explorative Datenanalyse die weitgehend exogenen Strukturparameter Last- und Anschlussdichte als erklärende Variablen Zusammenhänge mit der Netzzuverlässigkeit identifizieren, deren Verlauf ingenieurwissenschaftlichen Modellüberlegungen entspricht. Der hyperbolische Zusammenhang wurde somit bestätigt. Dies trifft auch für den Einfluss des weitgehend endogenen Strukturparameters Bemessungsscheinleistungsdichte zu. Im Rahmen der Regressionsanalysen sind nun die Referenzfunktionen zu bestimmen und weiter zu analysieren.

3.4 Die geschlossene Referenzfunktion: Nichtlineare bivariate Modelle

Aufgrund der zuvor beschriebenen Überlegungen und durchgeführten Analysen werden die nachfolgend zu schätzenden Referenzfunktionen unter der Annahme hyperbolischer Zusammenhänge zwischen dem erklärenden Struktureinfluss und der Netzzuverlässigkeit geschätzt, s. Formel 1. Zu schätzen sind die darin

²¹ Vgl. Ladermann 2017, S. 31.

enthaltenen Regressionskoeffizienten a und b sowie der Regressionsexponent c. Dargestellt sind jeweils nur die mit der Anzahl der Letztverbraucher gewichteten Modelle.

3.4.1 Lastdichte

Die Lastdichte ist den Ergebnissen der ingenieurwissenschaftlichen bottom-up-Modellen folgend das zentrale Strukturmerkmal bei der Erklärung der Zuverlässigkeitskennzahlenwerte.²² Für die Spezifikation wird der aus den ingenieurwissenschaftlichen Modellen und der explorativen Analyse abgeleitete hyperbolische Zusammenhang zwischen dem ASIDI der Mittelspannung und der (korrigierten) Lastdichte [kW/km²] verwendet. Es ergibt sich folgende Regressionsfunktion (s. Formel 4) mit b und c als Hyperbelkoeffizienten, a als Konstante:

$$\hat{y} = f(x) = a + \frac{b}{x^c} = 1,80 + \frac{76,08}{x^{0,45}}$$

Formel 4: Parametrierter Zusammenhang Netzzuverlässigkeit und Lastdichte in der Mittelspannung.

Tabelle 2 enthält die entsprechenden Koeffizienten, deren zugehörigen Standardfehler (in Klammern) sowie die statistischen Kennzahlen. Die wiedergegebenen Sterne geben das Signifikanzniveau, bzw. die Vertrauenswahrscheinlichkeit an. Die regressionsanalytisch geschätzten Koeffizienten b und c sind mit einer Vertrauenswahrscheinlichkeit von mindestens 95 % statistisch signifikant von Null verschieden und nach den üblichen wissenschaftlichen Kriterien ausreichend präzise geschätzt.²³ Wie zuletzt, trifft diese statistische Signifikanz für die Konstante a nicht zu. Der Exponent c liegt geringfügig unterhalb des erwarteten Wertebereichs von 0,5 bis 1. Das Bestimmtheitsmaß R² nimmt mit 0,4 einen Wert an, der mit den bisher ermittelten sowie den in den Gutachten ausgewiesenen Größenordnungen von R² vergleichbar ist. Auch wenn es im Vergleich zu den Werten in der Vergangenheit unwesentlich geringer ausfällt. Das Bestimmtheitsmaß als statistisches Gütemaß (Qualitätsmaß) zu $0 \leq R^2 \leq 1$ beschreibt den Anteil der durch das Modell erklärten Varianz der Zielgröße.²⁴ Mit Verweis auf das Folgegutachten 2020 und die darin angesprochenen Wechselwirkungen sind die Ergebnisse plausibel.²⁵

²² Vgl. Folgegutachten 2020, S. 85.

²³ Vgl. ebd., S. 86.

²⁴ Vgl. Hedderich und Sachs 2020, S. 823.

²⁵ Vgl. Folgegutachten 2020, S. 52.

Lastdichte	
	Schätzung
a	1,8029 (2,4528)
b	76,0845 * (37,4699)
c	0,4531 ** (0,1651)
Beobachtungen	195
R ²	0,40
AIC	1.317,44
BIC	1.330,53
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1	
Quelle Bundesnetzagentur	

Tabelle 2: Regressionsergebnisse ASIDI, Lastdichte.

3.4.2 Anschlussdichte

Die Ergebnisse für das Modell sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Es ergibt sich folgende Regressionsfunktion (s. Formel 5) mit b und c als Hyperbelkoeffizienten, a als Konstante:

$$\hat{y} = f(x) = a + \frac{b}{x^c} = 3,58 + \frac{9,00}{x^{0,88}}$$

Formel 5: Parametrierter Zusammenhang Netzzuverlässigkeit und Anschlussdichte in der Mittelspannung.

Die regressionsanalytisch geschätzten Koeffizienten a, b und c Formel 5 sind zu einer Vertrauenswahrscheinlichkeit von mindestens 95 % statistisch von Null verschieden. Das Bestimmtheitsmaß R² nimmt einen Wert an, der leicht oberhalb des ermittelten Wertes für das Modell Lastdichte liegt. Die Informationskriterien AIC und BIC liefern gleiche Rangfolgen, auch im Vergleich zur Lastdichte. Der geschätzte Exponent c liegt allerdings außerhalb des ingenieurwissenschaftlich plausiblen Wertebereichs. Dieser Wertebereich liegt zwischen -0,5 und 0,5. Auch an dieser Stelle ist ein Rückgang des Exponenten c gegenüber der Analyse im Jahr 2020 zu beobachten. Aus Sicht der Netzplanung beschreibt die Lastdichte die jeweilige Versorgungsaufgabe vollständiger, da der Netzausbau vor allem getrieben durch die anzuschließende Leistung ist. Die anzuschließende Leistung beeinflusst Anzahl und damit indirekt die Länge der Abgänge in den Mittelspannungsnetzen stärker als die Anzahl anzuschließender Kunden, solange die Last nicht auf nur ganz wenige Kunden mit sehr hoher Anschlussleistung konzentriert ist.²⁶

²⁶ Vgl. Folgegutachten 2020, S. 46.

Anschlussdichte	
	Schätzung
a	3,5851 ** (1,2918)
b	8,9981 *** (1,5208)
c	0,8804 *** (0,2331)
Beobachtungen	195
R ²	0,41
AIC	1.314,04
BIC	1.327,13
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1	
Quelle Bundesnetzagentur	

Tabelle 3: Regressionsergebnisse ASIDI und Anschlussdichte (Anschlusspunkte MS gesamt).

3.4.3 Bemessungsscheinleistungsdichte

Die Ergebnisse für das Modell "Bemessungsscheinleistungsdichte" sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Die regressionsanalytisch geschätzten Koeffizienten a, b und c sind zu einer Vertrauenswahrscheinlichkeit von mindestens 95 % statistisch von Null verschieden. Das Bestimmtheitsmaß R² nimmt einen Wert an, der mit dem für das Modell Lastdichte ermittelten Wert vergleichbar ist. Der Exponent c liegt innerhalb des ingenieurwissenschaftlich plausiblen Wertebereichs. Wie zuvor ist auch hier ein Rückgang des Exponenten c gegenüber der Analyse im Jahr 2020 zu beobachten. Es ergibt sich folgende Regressionsfunktion mit b und c als Hyperbelkoeffizienten, a als Konstante:

$$\hat{y} = f(x) = a + \frac{b}{x^c} = 3,21 + \frac{5,54}{x^{0,65}}$$

Formel 6: Parametrierter Zusammenhang Netzzuverlässigkeit und Bemessungsscheinleistungsdichte in der Mittelspannung.

Die Bemessungsscheinleistung ist eng mit der zeitgleichen Jahreshöchstlast korreliert. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson für eine lineare Abhängigkeit der beiden Größen beträgt 0,93, siehe Tabelle 1Tabelle 5. Insofern ist es nicht überraschend, dass die Regressionsanalyse für diese beiden Parameter ähnliche Ergebnisse liefert. Diese Ergebnisse sprechen zunächst nicht für eine Ablehnung als möglichem Parameter für die Abbildung struktureller Unterschiede bei der Referenzwertermittlung. Kritisch ist jedoch zu werten, dass die Summe der Bemessungsscheinleistungen der Letztverbraucher- und Ortsnetztransformatoren ein relativ hohes Maß an Beeinflussbarkeit durch den Netzbetreiber aufweist. Bei Verwendung dieses Parameters für die Referenzwertermittlung könnte der fragwürdige Anreiz entstehen, durch eine "Verknappung" der Bemessungsscheinleistung, die in einem weiten Bereich keine Auswirkungen auf die Höhe der Zuverlässigkeitskennzahl ASIDI hat, den unternehmensindividuellen Referenzwert zu

erhöhen und so eine Verbesserung des Qualitätselements zu erreichen.²⁷ Daher und angesichts der ohnehin sehr hohen Korrelation mit der Lastdichte (s. o.) erscheint Bemessungsscheinleistungsdichte dem Strukturparameter Lastdichte in der Eignung für die Referenzwertermittlung klar unterlegen.

Bemessungsscheinleistungsdichte	
	Schätzung
a	3,2113 *
	(1,5164)
b	5,5441 **
	(1,8560)
c	0,6467 **
	(0,2028)
Beobachtungen	195
R ²	0,40
AIC	1.315,47
BIC	1.328,56

Signif. codes: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Quelle Bundesnetzagentur

Tabelle 4: Regressionsergebnisse ASIDI, Bemessungsscheinleistung.

3.5 Untersuchung multivariater Zusammenhänge in den Mittelspannungsnetzen

Abschließend werden basierend auf den Untersuchungsergebnissen für einzelne Strukturparameter ausgewählte Kombinationen jeweils zweier Parameter daraufhin untersucht, ob sich durch multiple Regressionsanalyse eine wesentliche Verbesserung erzielen lässt. Konkret werden Linearkombinationen von Strukturparametern betrachtet, für die die einfache Regression jeweils grundsätzlich plausible Schätzfunktionen liefert und die nicht – wie die Bemessungsscheinleistung – aufgrund ihrer starken Endogenität als Parameter für die Referenzwertermittlung ausgeschlossen werden. Neben der Lastdichte sind dies grundsätzlich die Strukturparameter Anschlussdichte oder Elementarlast. Um Scheinsignifikanzen zu vermeiden, muss bei multiplen Regressionsanalysen zunächst die wechselseitige Korrelation von einzelnen Strukturparametern überprüft werden, s. Tabelle 5.

Dazu wird der Korrelationskoeffizient nach Pearson ausgewertet. Tabelle 5 zeigt, dass die betrachteten Strukturparameter unterschiedlich hohe Korrelationen untereinander aufweisen. Im Falle eines signifikanten Erklärungsbeitrags ergänzt die Variable das Basismodell (Lastdichte) und es wird analog mit den übrigen Variablen verfahren.

²⁷ Vgl. Ladermann 2017, S. 43.

Korrelationskoeffizienten

	Lastdichte MS	Anschlussdichte MS	BSL-Dichte MS ¹⁾	Elementarlast MS
Lastdichte MS	1			
Anschlussdichte MS	0,94	1		
BSL-Dichte MS	0,95	0,93	1	
Elementarlast MS	-0,05	-0,18	-0,15	1

1) Bemessungsscheinleistungsdichte

Quelle Bundesnetzagentur

Tabelle 5: Korrelationskoeffizienten verschiedener Strukturparameter in der Mittelspannungsnetze.

Bereits aufgrund dieses Ergebnisses ist eine zusätzliche Erkenntnis durch eine multiple Regression ausschließlich mit dem Strukturparameter Elementarlast zu erwarten.

3.5.1 Erweiterung der Lastdichte um die Elementarlast

Die Ergebnisse für das Modell sind in Tabelle 6 zusammengefasst. Es ergibt sich folgende Regressionsfunktion mit b, c und d als Hyperbelkoeffizienten, a als Konstante (Formel 7):

$$\hat{y} = f(x) = a + \frac{b}{x^c} + d \cdot z = 1,80 + \frac{76,18}{x^{0,45}} + 0,01 \cdot z$$

Formel 7: Multivariater Zusammenhang der Netzzuverlässigkeit, Lastdichte und Elementarlast (Mittelspannung).

Dabei ist:

\hat{y} Zu erklärende Variable, Erwartungswerte für die Zuverlässigkeitskennzahl, Referenzwert.

a, b, c, d Zu schätzende Regressionskoeffizienten.

x, z Erklärende Variablen, beobachteter Strukturparameter (x für Lastdichte und z für Elementarlast).

Es zeigt sich, dass nur die regressionsanalytisch geschätzten Koeffizienten b und c zu einer Vertrauenswahrscheinlichkeit von mindestens 95 % statistisch von Null verschieden sind. Für alle verbleibenden Koeffizienten trifft dies nicht zu. Das Bestimmtheitsmaß R^2 zeigt keine Verbesserung gegenüber dem Basismodell "Lastdichte". Darüber hinaus ergeben sich im Vergleich zur Basismodell mit AIC = 1.317,44 und BIC = 1.330,53 keine Verbesserungen bzw. leichte Verschlechterungen für das erweiterte Modell (AIC = 1.319,43 und BIC = 1.335,79). Ziel der Modellbildung ist es, einen möglichst kleinen Wert für das Informationskriterium AIC (bzw. BIC) zu erhalten.²⁸ Das bedeutet, dass die Ergebnisse hinsichtlich der

²⁸ Vgl. Hedderich und Sachs 2020, S. 838.

Erweiterung um die Variable Elementarlast keinen zusätzlichen Erklärungsgehalt gegenüber der Basisspezifikation (Lastdichte) liefern.

Multivariates Modell	
	Lastdichte und Elementarlast
	1,7970
a	(2,4546)
	76,1807 *
b	(37,6561)
	0,4536 **
c	(0,1657)
	0,0127
d	(0,1259)
Beobachtungen	195
R ²	0,40
AIC	1.319,43
BIC	1.335,79
Signif. codes: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1	
Quelle Bundesnetzagentur	

Tabelle 6: Ergebnisse hinsichtlich der Erweiterung um die Variable Elementarlast.

3.5.2 Zwischenfazit

Vergleichbar den bisher durchgeführten Untersuchungen bleibt im Ergebnis festzuhalten, dass ein Erweiterungsschritt keine Verbesserung des bivariaten Basismodells der Schätzung des Einflusses der Lastdichte auf die Zuverlässigkeitskennzahl ASIDI darstellt. Der hyperbolische Funktionszusammenhang des Basismodells ist dabei sowohl aus ingenieurwissenschaftlichen Überlegungen und quantitativen Abschätzungen als auch aus explorativen Analyseverfahren abgeleitet.

4 Ergebnisse für die Niederspannungsnetze

Die Referenzwerte für die Niederspannungsnetze konnten bislang nicht auf Basis eines Zusammenhangs der Zuverlässigkeitskennzahlenwerte SAIDI mit einer geeigneten Strukturgröße bestimmt werden. Dies liegt darin begründet, dass, trotz umfangreicher Analysen, kein geeigneter Strukturparameter zur Abbildung struktureller Unterschiede identifiziert werden konnte.²⁹ Die Festlegung über die Datenerhebung mit dem Az. BK8/23-001-A vom 8. März 2023 trägt diesem Umstand Rechnung, indem sie, auch um den Erhebungs- und Verwaltungsaufwand nach Möglichkeit zu begrenzen, auf die Erhebung entsprechender Strukturgrößen der Niederspannungsnetze verzichtet. Die Referenzwerte für die Niederspannungsnetze ergeben sich somit aus einem Mittelwert, der über alle den Niederspannungsnetzen zurechenbaren SAIDI-Werte zu bestimmen ist. Für das Qualitätselement 2024 sind dabei die Werte aus den Kalenderjahren 2020 bis 2022 zu verwenden. Dieser Mittelwert über alle SAIDI-Werte ist des Weiteren mit der Anzahl der an die NS und MS/NS angeschlossenen Letztverbraucher zu gewichten. Aus diesen Daten ergibt sich der gewichtete SAIDI-Mittelwert in Höhe von rd. 4,021 min/a und dieser gilt als einheitlicher Referenzwert für alle betrachteten Niederspannungsnetze.

Abbildung 4 zeigt die Zuverlässigkeitskennzahlenwerte (SAIDI-Werte) der 196 betrachteten Niederspannungsnetze im Vergleich mit dem aus diesen Daten gebildeten gewichteten Mittelwert. Der gewichtete Mittelwert wird als Referenzwert für die SAIDI-Werte in den Niederspannungsnetzen herangezogen.

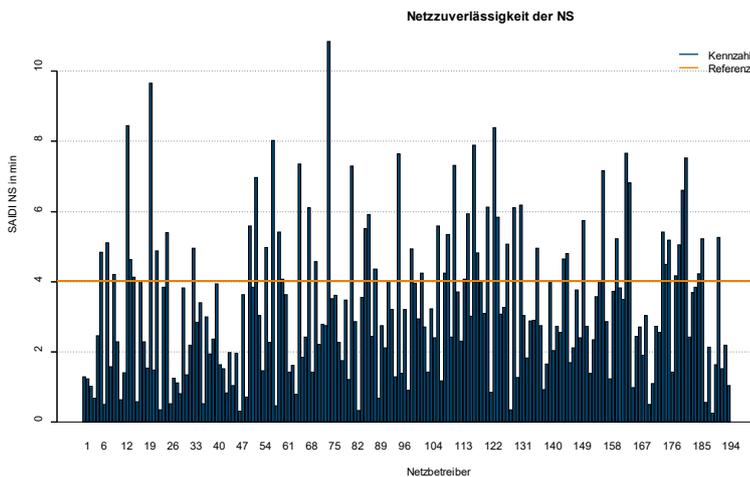


Abbildung 4: SAIDI-Werte der Niederspannungsnetze im Vergleich zu deren einheitlichem Referenzwert.

²⁹ Vgl. Ladermann 2017, S. 49; Folgegutachten 2020, 60.

5 Ermittlung des Monetarisierungsfaktors

Folgender Abschnitt zeigt die Vorgehensweise bei der Bestimmung der Monetarisierungsfaktors (Anreizrate m) für die Qualitätselemente 2024. Diese orientiert sich am Ausgangsgutachten 2010.³⁰

5.1 Makroökonomische Analyse im Haushaltsbereich

Wert der Freizeit für Erwerbstätige

Formel	Bezeichnung	Einheit	2020	2021	2022
a	Bevölkerung	Personen	83.161.000	83.196.000	83.798.000
a_{Erw}	Anzahl erwerbstätigen Personen	Personen	44.818.000	44.868.000	45.457.000
$b = s * 8760$	Anteil Freizeit am Jahr	Std.	2.371,68	2.365,20	2.365,20
s	Durchschnittlicher Anteil der Freizeit pro Tag	%	27	27	27
f	Arbeitsstunden pro Erwerbstätiger	h/Jahr	1.315,90	1.347,60	1.346,80
$d_{\text{Erw}} = a_{\text{Erw}} * b / 10^9$	Gesamtmenge Freizeit Erwerbstätige	Mrd. Std.	106,29	106,12	107,51
$g = a_{\text{Erw}} * f / 10^9$	Gesamtmenge Arbeitszeit	Mrd. Std.	58,98	60,46	61,22
e	Gesamtnetto Lohn	Mrd. €	1.021,07	1.062,86	1.118,80
$h = e / g$	Nettostundenlohn pro Erwerbstätigen	€/h	17,31	17,58	18,27
i_{Erw}	Verhältnis Wert der Freizeit / Nettostundenlohn Erwerbstätige		1	1	1
$j_{\text{Erw}} = h * i_{\text{Erw}}$	Wert der Freizeit Erwerbstätige	€/h	17,31	17,58	18,27
$k_{\text{Erw}} = j * d$	Gesamtwert Freizeit Erwerbstätige	Mrd. €	1.840,29	1.865,45	1.964,80

Quelle: Bundesnetzagentur, Datenquelle s. Tabelle 10

Tabelle 7: Wert der Freizeit für Erwerbstätige.

³⁰ Vgl. Ausgangsgutachten 2010, S. 99ff.

Wert der Freizeit für Erwerbslose und Nichterwerbstätige

Formel	Bezeichnung	Einheit	2020	2021	2022
$a_{NErW} = a - a_{ErW}$	Anzahl				
	Erwerbslosen & nicht-erwerbstätigen Personen	Personen	38.343.000	38.328.000	38.341.000
c (=f)	zusätzl. entfallende				
	Arbeitszeit bei Nicht-Erwerbstätigen	Std.	1.315,90	1.347,60	1.346,80
$d_{NErW} = a_{NErW} * (b + c) / 10^9$	Gesamtmenge				
	Freizeit Nicht-Erwerbstätige	Mrd. Std.	141,39	142,30	142,32
i_{NErW}	Verhältnis Wert der Freizeit /				
	Nettostundenlohn Nicht-Erwerbstätige		0,5	0,5	0,5
$j_{NErW} = h * i_{NErW}$	Wert der Freizeit				
	Nicht-Erwerbstätige	€/h	8,66	8,79	9,14
$k_{NErW} = j * d$	Gesamtwert Freizeit				
	Nicht-Erwerbstätige	Mrd. €	1.223,99	1.250,74	1.300,44

Quelle: Bundesnetzagentur, Datenquelle s. Tabelle 10

Tabelle 8: Wert der Freizeit für Erwerbslose und Nichterwerbstätige.

Gesamtwert Freizeit

Formel	Bezeichnung	Einheit	2020	2021	2022
k_{ErW}	Gesamtwert Freizeit				
	Erwerbstätige	Mrd. €	1.840,29	1.865,45	1.964,80
k_{NErW}	Gesamtwert Freizeit				
	Nicht-Erwerbstätige	Mrd. €	1.223,99	1.250,74	1.300,44
$k = k_{ErW} + k_{NErW}$	Gesamtwert Freizeit				
		Mrd. €	3.064,28	3.116,19	3.265,24
l	Stromverbrauch				
	Haushalte	Mrd. kWh	127,40	138,50	139,30
$m = k / l$	Value of Lost Load				
		€/kWh	24,05	22,50	23,44

Quelle: Bundesnetzagentur, Datenquelle s. Tabelle 10

Tabelle 9: Gesamtwert Freizeit.

Quellenangabe für die Makroökonomische Analyse im Haushaltsbereich.

Variable	Bezeichnung	Quelle
a	Bevölkerung	Quelle: Destatis - Genesis Datenbank: VGR des Bundes - Bevölkerung, Erwerbstätigkeit: Deutschland, Jahre (81000-0011) Stand: 07.11.2023 / 16:43:25 https://www-genesis.destatis.de
a _{Erw}	Anzahl erwerbstätigen Personen	Quelle: Destatis - Genesis Datenbank: VGR des Bundes - Bevölkerung, Erwerbstätigkeit: Deutschland, Jahre (81000-0011) Stand: 07.11.2023 / 16:43:25 https://www-genesis.destatis.de
s	Share of Leisure time in average per day	Quelle: OECD "Society at a Glance 2011"; Chapter 1 (Cooking, Caring, Building and Repairing: Unpaid Work around the World), Stand: 2011 https://www.oecd.org/berlin/42675407.pdf Hinweis: Bereinigung des Wertes um "lowest country rate of personal care" wie in OECD "Society at a Glance 2009"; Chapter 2 (Special Focus: Measuring Leisure in OECD Countries)
f (=c)	Arbeitsstunden pro Erwerbstätiger	Quelle: Destatis - Genesis Datenbank: VGR des Bundes - Erwerbstätigkeit, Löhne und Gehälter, Arbeitsstunden: Deutschland, Jahre, Wirtschaftsbereiche (81000-0015) Stand: 07.11.2023 / 16:44:54 https://www-genesis.destatis.de
e	Gesamtnettolohn	Quelle: Destatis - Genesis Datenbank: VGR des Bundes - Arbeitnehmerentgelt, Löhne und Gehälter (Inländerkonzept): Deutschland, Jahre (81000-0007) Stand: 07.11.2023 / 16:41:37 https://www-genesis.destatis.de
l	Stromverbrauch Haushalte	Quelle: AGEB Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2022, S. 38 Stand: 06.03.2023 Aufgerufen am 20.07.2023 https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2023/06/AGEB_Jahresbericht2022_20230615_dt.pdf

Tabelle 10: Quellenangabe für die Makroökonomische Analyse im Haushaltsbereich.

5.2 Makroökonomische Analyse der Ausfallkosten in der Industrie

Bruttowertschöpfung 2020-2022³¹

Bruttowertschöpfung / Wirtschaftsbereiche	Einheit	2020	2021	2022
Bruttowertschöpfung gesamt	Mrd. EUR	3.086,38	3.276,38	3.509,63
Land- und Forstwirtschaft, Fischerei	Mrd. EUR	25,15	25,75	35,67
Produzierendes Gewerbe ohne Baugewerbe	Mrd. EUR	740,90	806,01	841,84
Baugewerbe	Mrd. EUR	168,15	171,94	201,10
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	Mrd. EUR	2.152,18	2.272,68	2.431,01

Quelle: Destatis - Genesis Datenbank

Tabelle 11: Bruttowertschöpfung 2020-2022.

Stromverbrauch 2020-2022³²

Stromverbrauch nach Wirtschaftsbereichen	Einheit	2020	2021	2022
Industrie	Mrd. kWh	206,7	214,4	188,5
Verkehr	Mrd. kWh	11,5	12,9	12,3
Haushalte	Mrd. kWh	127,4	138,5	139,3
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	Mrd. kWh	136,1	128,8	133,2

Quelle: AG Energiebilanzen a.V. 2023

Tabelle 12: Stromverbrauch 2020-2022.

³¹ Vgl. Destatis - Genesis Datenbank: VGR des Bundes - Bruttowertschöpfung (nominal/preisbereinigt): Deutschland, Jahre, Wirtschaftsbereiche (81000-0013); Stand: 07.11.2023 / 16:44:10; <https://www-genesis.destatis.de>.

³² Vgl. Buttermann 2023, S. 38; Aufgerufen am 07.11.2023; https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2023/06/AGEB_Jahresbericht2022_20230615_dt.pdf.

Aufteilung des Stromverbrauches auf Sektoren 2020–2022³³

Aufgrund Nichtverfügbarkeit werden die Daten des Jahres 2020 für 2020, 2021 und 2022 verwendet werden.

Sektor	TJ	Anteil am Gesamtstrom- verbrauch	Anteil Non- Residential
Industry	759.920	0,44	0,60
Transport	40.093	0,02	0,03
Commercial Public services	451.271	0,26	0,36
Residential	457.315	0,26	
Agricultural, Forestry, Fishing	18.731	0,01	0,01
Gesamt	1.727.330		
Gesamt Non-Residential	1.270.015		

Quelle: International Energy Agency

Tabelle 13: Aufteilung des Stromverbrauches auf Sektoren 2020–2022.

Zwischenergebnisse zum Monetarisierungsfaktor nach Sektoren

	2020			2021			2022		
	Bruttowert- schöpfung [Mrd. EUR]	Strom- verbrauch [GWh]	Value of Lost Load [€/kWh]	Bruttowert- schöpfung [Mrd. EUR]	Strom- verbrauch [GWh]	Value of Lost Load [€/kWh]	Bruttowert- schöpfung [Mrd. EUR]	Strom- verbrauch [GWh]	Value of Lost Load [€/kWh]
Industrie	740,90	211.997,23	3,49	806,01	213.074,26	3,78	841,84	199.850,62	4,21
Land- und Forstwirtschaft, Fischerei	25,15	5.225,44	4,81	25,75	5.251,99	4,90	35,67	4.926,05	7,24
Gewerbe / Handel / Dienstleistungen	2.320,33	137.077,33	16,93	2.444,62	137.773,74	17,74	2.632,11	129.223,34	20,37
Haushalte	3.064,28	127.400,00	24,05	3.116,19	138.500,00	22,50	3.265,24	139.300,00	23,44
Gesamt Industrie, Landwirtschaft, Fischerei, Handel, Gewerbe, Dienstleistungen, Transport	3.086,38	354.300,00	8,71	3.276,38	356.100,00	9,20	3.509,63	334.000,00	10,51
Gesamt	6.150,66	481.700,00	12,77	6.392,57	494.600,00	12,92	6.774,87	473.300,00	14,31

Quelle: Bundesnetzagentur

Tabelle 14: Zwischenergebnisse zum Monetarisierungsfaktor nach Sektoren.

³³ Vgl. International Energy Agency - Electricity consumption by sector, Germany 1990-2020; <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser>; Aufgerufen am: 07.11.2023 18:19.

Durchschnittliche Last³⁴

	2020	2021	2022
Stromverbrauch [GWh]	481.700	494.600	473.300
Endkunden Deutschland	45.900.000	45.900.000	45.900.000
Anzahl der Jahresstunden	8.784	8.760	8.760
Durchschnittliche Last pro Endkunde pro Jahr [kW/Kunde/a]	1,19	1,23	1,18

Quelle: Bundesnetzagentur

Tabelle 15: Durchschnittliche Last.

Monetarisierungsfaktor

Jahr	Value of Lost Load [€/kWh]	Durchschnittliche Last [kW/Kunde/a]	Monetarisierungsfaktor [€/Stunde/Kunde/Jahr]	Monetarisierungsfaktor [€/Minute/Kunde/Jahr]
2020	12,77	1,19	15,26	0,25
2021	12,92	1,23	15,90	0,26
2022	14,31	1,18	16,85	0,28
Mittelwert			16,00	0,27

Quelle: Bundesnetzagentur

Tabelle 16: Monetarisierungsfaktor.

³⁴ Quellenangabe für Endkunden in Deutschland, vgl. Bundesverband der Energie und Wasserwirtschaft e. V. [BDEW] 2022 und BDEW 2021.

6 Zusammenfassung

In den Mittelspannungsnetzen erfolgt die Bestimmung der Referenzwerte für deren Zuverlässigkeitskennzahlenwerte (ASIDI-Werte) auf Basis eines funktionalen Zusammenhangs, unter Verwendung des Strukturparameters Lastdichte. Die Lastdichte dient dabei der Berücksichtigung struktureller Unterschiede gemäß § 20 Abs. 2 ARegV. Der Parameter ist weiterhin geeignet, bestehende Unterschiede innerhalb der ASIDI-Werte zu erklären. Die Referenzwerte sind dementsprechend aus einem hyperbolischen Zusammenhang der ASIDI- und Lastdichtewerte zu bestimmen. Das bedeutet, dass in Abhängigkeit von der Lastdichte netzbetreiberindividuelle Referenzwerte für die Mittelspannungsnetze zu bestimmen sind. Die Gewichtung des Zusammenhangs erfolgt mit der Anzahl der an die NS-, MS/NS-, MS und HS/MS angeschlossenen Letztverbraucher. Die individuellen Referenzwerte y ergeben sich aus der nachfolgend angegebenen Formel 8, die Lastdichte trägt darin das Formelzeichen x , a , b und c sind die regressionsanalytisch ermittelten Koeffizienten.

$$\hat{y} = f(x) = a + \frac{b}{x^c} = 1,80 + \frac{76,08}{x^{0,45}}$$

Formel 8: Zusammenhang aus Netzzuverlässigkeit und Lastdichte zur Bestimmung der Referenzwerte in der Mittelspannung.

Demgegenüber sind die individuellen SAIDI-Werte der Niederspannungsnetze einem einheitlichen Referenzwert entgegen zu stellen. Dieser ergibt sich aus dem mit der Anzahl der Letztverbraucher gewichteten Mittelwert der SAIDI-Werte zu rd. 4,021 min/a.

Der Monetarisierungsfaktor m (bzw. Anreizrate) wird auf Grundlage der aktualisierten Datenbasis zu 0,27 €/min/Letzterverbraucher/a bestimmt.

Die hier gefundenen Ergebnisse sind mit den in der Vergangenheit ermittelten Qualitätselementen vergleichbar.

7 Literaturverzeichnis

American National Standards Institute; IEEE Power Engineering Society; IEEE-SA Standards Board; Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE Std 1366-2003, 14.05.2004: IEEE guide for electric power distribution reliability indices. New York, NY: Institute of Electrical and Electronics Engineers. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=9113>, Stand: 22.11.2023.

Ausgangsgutachten (2010): Konzeptionierung und Ausgestaltung des Qualitätselements im Bereich Netzzuverlässigkeit Strom sowie dessen Integration in die Erlösobergrenze. Untersuchung im Auftrag der Untersuchung der Bundesnetzagentur. Endbericht. Consentec - Consulting für Energiewirtschaft und -technik GmbH; Forschungsgemeinschaft für elektrische Anlagen und Stromwirtschaft e. V. (FGH); Frontier Economics Limited. URL: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Netzentgelte/Strom/Qualitaetselement/GA_consentec_KonzeptionUndAusgestaltungQ-Element.pdf?__blob=publicationFile&v=2, Stand: 08.09.2023.

BK8-23/006-A - Entwurf. Einleitung eines Verfahrens und Konsultation zur 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 für die Jahre 2024-2028 (2023). In: Amtsblatt 19. Amtsblatt der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 19/2023 (19/2023, 19). Bonn, S. 1261–1293. URL: https://data.bundesnetzagentur.de/Bundesnetzagentur/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/AmtsblattPublikationen/Amtsblatt/Einzeldownloads/amtsblatt_19.pdf, Stand: 22.11.2023.

Bundesnetzagentur (08.03.2023): Festlegung über die Datenerhebung zur Bestimmung des Qualitätselementes hinsichtlich der Netzzuverlässigkeit Strom nach den §§ 19 und 20 ARegV, BK8-23/001-A, vom Beschluss. In: Amtsblatt 05. Amtsblatt der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (05/2023, 05). Bonn, Stand: 22.11.2023.

Bundesverband der Energie und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW) (2021): Energiemarkt Deutschland 2021. Berlin (ISSN 1866-6728).

Bundesverband der Energie und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW) (2022): Stromzahlen 2022. Der deutsche Strommarkt auf einen Blick. Berlin.

Buttermann, Hans Georg (2023): Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2022. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. Berlin. URL: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2023/06/AGEB_Jahresbericht2022_20230615_dt.pdf, Stand: 22.11.2023.

Follegutachten (2020): Konzeptionierung eines Qualitätselementes. Gutachten im Auftrag der Bundesnetzagentur. E-Bridge Consulting GmbH; Forschungsgemeinschaft für elektrische Anlagen und Stromwirtschaft e. V. (FGH); Leibniz-Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH Mannheim (ZEW). URL: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Netzentgelte/Strom/Qualitaetselement/GA_ebridge_consulting_forschungsgemeinschaft_fur_elektrische_anlagen_und_stromwirtschaft_e_v_fgh_leibniz-zentrum_fur_europaeische_wirtschaftsforschung_gmbh_mannheim_zew.pdf

tionen/Netzentgelte/Strom/Qualitaetselement/GutachtenKonzeptQElement.pdf;jsessionid=790BECCC5C339CBFA9BDA27190461CC2?__blob=publicationFile&v=1, Stand: 22.11.2023.

Hedderich, Jürgen; Sachs, Lothar (2020): Angewandte Statistik. Methodensammlung mit R. 17. Aufl. (Lehrbuch). Berlin: Springer.

Ladermann, Alexander (2017): Bestimmung der Referenzwerte für das Qualitätselement 2017-2018. Untersuchung im Auftrag der Bundesnetzagentur. Consentec - Consulting für Energiewirtschaft und -technik GmbH. URL:

https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Netzentgelte/Strom/Qualitaetselement/Bestimmung_der_Referenzwerte_f%C3%BCr_das_Qualit%C3%A4tselement2017-2018.pdf?__blob=publicationFile&v=2, Stand: 22.11.2023.

Schröders, Christian; Krahl, Simon Cornelius; Moser (2012): Mittelspannungsnetze: Planungsgrundsätze im Kontext der Qualitätsregulierung. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen: et (7), S. 41-44.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bivariater Zusammenhang ASIDI und Lastdichte (lastD_ms), gesamte Zeitreihe, gewichtet (Letztverbraucheranzahl).....	10
Abbildung 2: Bivariater Zusammenhang ASIDI und Anschlussdichte (Summe über alle Anschlusspunkte in der MS, anschlussDsum_ms), gesamte Zeitreihe, gewichtet (Letztverbraucheranzahl).....	11
Abbildung 3: Bivariater Zusammenhang ASIDI und Bemessungsscheinleistungsdichte (bslD_ms), gesamte Zeitreihe, gewichtet (Letztverbraucheranzahl).....	11
Abbildung 4: SAIDI-Werte der Niederspannungsnetze im Vergleich zu deren einheitlichem Referenzwert.....	18

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Erwartete Funktionsverläufe und Wertebereiche der Koeffizienten a und b sowie des Exponenten c bei Verwendung flächenbezogener Strukturparameter (Dichteparameter).....	7
Tabelle 2: Regressionsergebnisse ASIDI, Lastdichte.	13
Tabelle 3: Regressionsergebnisse ASIDI, Anschlussdichte (Anschlusspunkte MS gesamt).....	14
Tabelle 4: Regressionsergebnisse ASIDI, Bemessungsscheinleistung.....	15
Tabelle 5: Korrelationskoeffizienten verschiedener Strukturparameter in der Mittelspannungsnetze.....	16
Tabelle 6: Ergebnisse hinsichtlich der Erweiterung um die Variable Elementarlast.....	17
Tabelle 7: Wert der Freizeit für Erwerbstätige.....	19
Tabelle 8: Wert der Freizeit für Erwerbslose und Nichterwerbstätige.....	20
Tabelle 9: Gesamtwert Freizeit.....	20
Tabelle 10: Quellenangabe für die Makroökonomische Analyse im Haushaltsbereich.....	21
Tabelle 11: Bruttowertschöpfung 2020-2022.....	22
Tabelle 12: Stromverbrauch 2020–2022.....	22
Tabelle 13: Aufteilung des Stromverbrauches auf Sektoren 2020–2022.....	23
Tabelle 14: Zwischenergebnisse zum Monetarisierungsfaktor nach Sektoren.....	23
Tabelle 15: Durchschnittliche Last.	24
Tabelle 16: Monetarisierungsfaktor.....	24

Abkürzungsverzeichnis

AIC	Akaike Information Criterion (statistisches Informationskriterium)
ASIDI	Average System Interruption Duration Index (Netzzuverlässigkeitskennzahl der Mittelspannungsnetze)
BIC	Bayesian Information Criterion (statistisches Informationskriterium)
BK8	Beschlusskammer 8 der Bundesnetzagentur – Netzentgelte Strom
BNetzA	Bundesnetzagentur
BSL	Bemessungsscheinleistung in Megavoltampere (MVA)
HS/MS	Umspannnetzebene Mittel- zu Niederspannung
IEA	International Energy Agency (internationale Energieagentur)
MS	Mittelspannungsnetz
MS/NS	Umspannnetzebene Mittel- zu Niederspannung
NS	Niederspannungsnetz
R ²	Bestimmtheitsmaß (statistisches Gütemaß)
SAIDI	System Average Interruption Duration Index (Netzzuverlässigkeitskennzahl der Niederspannungsnetze)
Std.	Stunde
TJ	Thetajoule (Einheit für Energie)
VNB	Betreiber eines Verteilernetzes (hier: eines Elektrizitätsverteilternetzes)

Impressum

Herausgeber

Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen

Tulpenfeld 4

53113 Bonn

Bezugsquelle | Ansprechpartner

Beschlusskammer 8/Referat 611

Tulpenfeld 4

53113 Bonn

poststelle.bk8@bnetza.de

www.bundesnetzagentur.de

Tel. +49 228 14-0

Stand

23.11.2023

Druck

Bundesnetzagentur

Text

Beschlusskammer 8/Referat 611



www.bundesnetzagentur.de

-  x.com/BNetzA
-  social.bund.de/@bnetza
-  youtube.com/BNetzA