

**Bestimmung der Referenzwerte für das
Qualitätselement 2017-2018**

Untersuchung im Auftrag der

Bundesnetzagentur

Tulpenfeld 4, 53113 Bonn

Abschlussbericht

22. Februar 2017

Consentec GmbH

Grüner Weg 1
D-52070 Aachen

Tel. +49. 241. 93836-0

Fax +49. 241. 93836-15

E-Mail info@consentec.de

www.consentec.de

Inhalt

1	Hintergrund und Aufgabenstellung	1
1.1	Anwendung des Qualitätselements seit 2012	1
1.2	Aufgabenstellung	3
2	Datengrundlage	6
2.1	Prozess der Datenerhebung und -bereitstellung	6
2.2	Umfang der Daten zu Zuverlässigkeitskennzahlen	7
2.3	Umfang der Daten zu Strukturparametern	7
2.4	Ermittlung von 3-Jahres-Mittelwerten	10
3	Ingenieurwissenschaftliche Analyse	12
3.1	Analyseansatz	12
3.2	Exogenität/Endogenität von Strukturparametern	12
3.3	Strukturparameter Lastdichte	14
3.4	Weitere flächenbezogene Strukturparameter	16
3.5	Sonstige Strukturparameter	18
3.6	Gewichtungsgrößen	19
4	Methodik der statistischen Analyse	21
4.1	Signifikanztest	21
4.2	Regressionsanalyse	22
5	Ergebnisse der statistischen Analyse	25
5.1	Niederspannungsebene	25
5.1.1	Flächenbezogene Strukturparameter	25
5.1.2	Weitere Strukturparameter	34
5.2	Mittelspannungsebene	34
5.2.1	Flächenbezogene Strukturparameter	34
5.2.2	Gewichtungsgröße für die Regressionsanalyse	44
5.2.3	Weitere Strukturparameter	45
5.2.4	Kombinationen von Strukturparametern	46

6	Ergebniszusammenfassung und Empfehlungen	48
6.1	Niederspannungsebene	48
6.2	Mittelspannungsebene	49
	Literatur	52
A	Anhang	A-1
A.1	Weitere Ergebnisse der statistischen Analyse	A-1
A.1.1	Niederspannungsebene	A-1
A.1.2	Mittelspannungsebene	A-6

1 Hintergrund und Aufgabenstellung

1.1 Anwendung des Qualitätselements seit 2012

Die Anreizregulierungsverordnung (ARegV) sieht vor, dass zur Aufrechterhaltung eines langfristig angelegten, leistungsfähigen und zuverlässigen Betriebs von Energieversorgungsnetzen unter anderem Qualitätselemente in der Formel zur Bestimmung der Erlösobergrenzen der Netzbetreiber berücksichtigt werden können. Einzelheiten zur Anwendung und Bestimmung von Qualitätselementen sind in §§ 19-20 ARegV geregelt. Die Bundesnetzagentur (BNetzA) und die Landesregulierungsbehörden haben erstmals zum 01.01.2012 ein Qualitätselement berücksichtigt. Es bezieht sich auf die Qualitätsdimension Netzzuverlässigkeit in Stromverteilungsnetzen und dort auf die Netzebenen Mittel- und Niederspannung. Dieses Qualitätselement ist Gegenstand der vorliegenden Untersuchung. Für andere Netzebenen oder Qualitätsdimensionen im Strom- oder Gasnetzsektor werden bislang keine Qualitätselemente angewendet.

Einzelheiten zur Anwendung und Ausgestaltung des Qualitätselements hat die BNetzA erstmals mit ihrem Beschluss BK8-11/002 vom 07.06.2011 festgelegt. Die darin verfolgte Konzeption beruht im Wesentlichen auf einem nachfolgend als Ausgangsgutachten bezeichneten Gutachten vom 20.10.2010, das von einem Konsortium unter unserer Federführung erarbeitet wurde [1]. Gemäß dieser Konzeption wird das Qualitätselement ermittelt, indem

- für jeden Netzbetreiber und jede der beiden o. g. Netzebenen eine Zuverlässigkeitskennzahl aus den hierzu erhobenen Daten ermittelt wird, und zwar die Kennzahl SAIDI für die Niederspannungs- und ASIDI für die Mittelspannungsebene,
- diese Kennzahl von einem je Netzebene vorgegebenen Referenzwert subtrahiert wird, der netzbetreiberspezifisch oder auch für alle Netzbetreiber einheitlich sein kann, und
- die Differenz zwischen Kennzahl und Referenzwert mit einem Monetarisierungsfaktor multipliziert wird.

So ergibt sich eine monetäre Größe, die als Summand in der Formel zur Berechnung der Erlösobergrenze berücksichtigt wird. Wenn die individuelle Zuverlässigkeitskennzahl unter dem Referenzwert liegt, ergibt sich ein Zuschlag (Bonus) zur Erlösformel, andernfalls ein Abschlag (Malus). Im Detail kommen weitere Regelungen wie z. B. eine Limitierung der maximalen Zu- oder Abschläge (Kappung) zur Anwendung, die für das vorliegende Gutachten aber nicht von Bedeutung sind.

Die für die Ermittlung des Qualitätselements benötigten, in der ARegV als Kennzahlvorgaben bezeichneten Referenzwerte sollen gemäß §§ 19-20 ARegV als gewichtete Durchschnittswerte unter Heranziehung der Daten von Netzbetreibern aus dem gesamten Bundesgebiet und unter Berücksichtigung gebietsstruktureller Unterschiede ermittelt werden. Soweit solche gebietsstrukturellen Unterschiede in berücksichtigungsrelevanter Weise bestehen, ergeben sich netzbetreiberspezifische Referenzwerte. Andernfalls wird (je Netzebene) ein einheitlicher Referenzwert für alle Netzbetreiber verwendet. Gemäß § 20 ARegV kann die Berücksichtigung gebietsstruktureller Unterschiede durch Gruppenbildung erfolgen. Die BNetzA hat in ihrem Beschluss BK8-11/002 jedoch aufbauend auf der Empfehlung des Ausgangsgutachtens entschieden, anstelle einer Gruppenbildung den kontinuierlichen Strukturparameter Lastdichte zur Unterscheidung von Gebietsstrukturen heranzuziehen. Hierzu wird – separat für jede Netzebene – ein Funktionszusammenhang zwischen der Lastdichte und der jeweiligen Zuverlässigkeitskennzahl ermittelt, sofern ein statistisch signifikanter Zusammenhang besteht.

Für die beiden auf die erste Regulierungsperiode entfallenden Jahre 2012 und 2013 ist die BNetzA auf Basis der hierfür verwendeten Datengrundlage zu dem Ergebnis gekommen, dass für beide Netzebenen ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Lastdichte und Zuverlässigkeitskennzahl besteht. Sie hat daraufhin für beide Netzebenen Referenzwertfunktionen in der im Ausgangsgutachten empfohlenen hyperbolischen Funktionsform bestimmt.

Diese Entscheidung war neben anderen Aspekten Gegenstand gerichtlicher Auseinandersetzungen zur Anwendung des Qualitätselements. Während der Beschluss BK8-11/002 zur Konzeption des Qualitätselements durch den Bundesgerichtshof mit Beschluss vom 22.07.2014 als rechtmäßig bestätigt wurde, hat das Oberlandesgericht Düsseldorf die Entscheidung über die Verwendung und Parametrierung der Referenzwertfunktionen für die Jahre 2012 und 2013 mit Beschluss vom 17.02.2016 in Teilen als rechtswidrig erklärt.

Konkret erachtet das OLG die Verwendung einer Referenzwertfunktion anstelle eines einheitlichen Referenzwerts für die Netzebene Niederspannung als nicht rechtskonform, da ein hinreichend belastbarer Zusammenhang zwischen der Lastdichte und der verwendeten Zuverlässigkeitskennzahl nicht vorliege. Ein durch statistische Verfahren ermittelter Funktionszusammenhang sei nur dann im Sinne einer ganzheitlichen Beurteilung hinreichend belastbar, wenn dieser sowohl statistisch signifikant als auch in seiner funktionalen Form und Parametrierung aus ingenieurwissenschaftlicher Perspektive plausibel sei. Dies treffe für den für die Niederspannungsebene ermittelten Funktionszusammenhang auf Basis der hierfür herangezogenen

Datengrundlage nicht zu. Für die Mittelspannungsebene hat das OLG den von der BNetzA ermittelten funktionalen Zusammenhang hingegen als hinreichend belastbar erkannt und als rechtmäßig bestätigt.

Die Ermittlung von Referenzwerten für die Anwendung des Qualitätselements ist eine regelmäßig wiederkehrende Aufgabe, da sich das – ggf. strukturell differenzierte – netzbetreiberübergreifende Durchschnittsniveau der Netzzuverlässigkeit mit der Zeit verändern kann. Die BNetzA hat für die erste und zweite Regulierungsperiode entschieden, eine Neuberechnung von Referenzwerten jeweils für die ersten drei und die letzten zwei Jahre einer Regulierungsperiode vorzunehmen. Dementsprechend ist die BNetzA aktuell mit der Aufgabe befasst, Referenzwerte für die Anwendung des Qualitätselements in den Jahren 2017 und 2018 zu ermitteln. In diesem Zusammenhang hat uns die BNetzA damit beauftragt, auf Basis der hierfür bereitgestellten Datengrundlage Empfehlungen für die anzusetzende Höhe der Referenzwerte bzw. für die Form und Parametrierung von Referenzwertfunktionen auszuarbeiten. Mit dem vorliegenden Gutachten berichten wir über die Ergebnisse dieser Untersuchung und die daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen und Empfehlungen.

1.2 Aufgabenstellung

Die Aufgabe des vorliegenden Gutachtens besteht darin, für jede der beiden Netzebenen Nieder- und Mittelspannung auf Basis einer von der BNetzA bereitgestellten Datengrundlage

- zu untersuchen, ob ein hinreichend belastbarer Zusammenhang zwischen der Zuverlässigkeitskennzahl SAIDI bzw. ASIDI und einem oder mehreren als potenziell geeignet erachteten Strukturparameter(n) vorliegt,
- im Falle des Vorliegens eines solchen Zusammenhangs eine geeignete mathematische Funktion – einschließlich der darin enthaltenen Koeffizienten – für die Ermittlung strukturabhängiger Referenzwerte zu bestimmen und
- andernfalls einen nicht strukturabhängigen Referenzwert zahlenmäßig zu bestimmen.

Methodisch soll dabei eine ganzheitliche Betrachtung erfolgen, die

- eine ingenieurwissenschaftliche Analyse der Eignung der in Betracht gezogenen Strukturparameter und Funktionsformen und der erwarteten Wertebereiche von Funktionskoeffizienten sowie

- eine statistische Analyse der Signifikanz möglicher Zusammenhänge und des Bestimmtheitsmaßes der mittels Regressionsanalyse bestimmten Funktionen

umfasst. Soweit sinnvoll, soll dabei auf methodische Ansätze und Ergebnisse des Ausgangsgutachtens zurückgegriffen werden.

Die Untersuchung soll sich nicht nur auf den in den vergangenen Jahren für die Referenzwertmittlung herangezogenen Strukturparameter Lastdichte beziehen, sondern auch andere grundsätzlich in Frage kommende Strukturparameter berücksichtigen. Darüber hinaus soll untersucht werden, ob die in den vergangenen Jahren verwendete Gewichtunggröße für die Ermittlung gewichteter Durchschnittsgrößen gemäß § 20 Abs. 2 ARegV, nämlich die Zahl der direkt oder an die eigenen unterlagerten Netze angeschlossenen Letztverbraucher, für diesen Zweck weiterhin verwendet werden sollte oder ob andere in Frage kommende Größen besser geeignet wären. Diese Gewichtunggröße ist sowohl dann relevant, wenn ein einheitlicher Referenzwert für alle Netzbetreiber ermittelt wird (d. h. wenn eine Strukturabhängigkeit nicht hinreichend belastbar festgestellt werden kann), als auch dann, wenn eine strukturabhängige Referenzwertfunktion ermittelt wird, denn Letztere ist durch eine gewichtete Regressionsanalyse zu bestimmen.

Hinsichtlich der Datengrundlage für die Referenzwertbestimmung hat die BNetzA entschieden, Daten für den dreijährigen Zeitraum 2013-2015 zu erheben. Bei den Zuverlässigkeitskennzahlen sollen durch die auch im Ausgangsgutachten empfohlene Betrachtung eines mehrjährigen Zeitraums Auswirkungen zufälliger Schwankungen der Daten reduziert werden. Bei den Strukturparametern wird durch eine analoge Vorgehensweise ein Gleichlauf mit den Zuverlässigkeitskennzahlen gewährleistet, auch in Fällen von Netzübergängen. Darüber hinaus werden durch die Mittelwertbildung auch bei Strukturparametern mögliche stochastische Schwankungen, z. B. bei der Höchstlast, gedämpft. Konkret sollen bei der statistischen Analyse daher Mittelwerte der jeweiligen Einzeljahreswerte der Zuverlässigkeitskennzahlen und Strukturparameter verwendet werden.

Einzelheiten zu den benötigten Daten hat die BNetzA in ihrem Beschluss BK8-15/001 festgelegt. Die BNetzA hat diese Daten anschließend erhoben, auf Plausibilität geprüft, erforderliche bzw. von den Netzbetreibern eigenständig mitgeteilte Korrekturen berücksichtigt und uns in der endgültigen Fassung übermittelt.

Eine die Datengrundlage betreffende Fragestellung, die ebenfalls Gegenstand gerichtlicher Auseinandersetzungen war, betrifft die Behandlung von Netzen, die dem Netz eines betrachteten Netzbetreibers auf gleicher Spannungsebene hinterlagert sind, bei der Berechnung von Zuverlässigkeitskennzahlen und Strukturparametern. Dieser Aspekt ist nicht Gegenstand des vorliegenden Gutachtens. Die notwendigen Zuordnungen/Abgrenzungen in der von der BNetzA beabsichtigten Form sind in der uns übermittelten Datengrundlage bereits berücksichtigt.

Nachfolgend wird zunächst die verwendete Datengrundlage kurz beschrieben (Kapitel 2). In der anschließend dargelegten ingenieurwissenschaftlichen Analyse wird auf die grundsätzliche Eignung von Strukturparametern und erwartete funktionale Zusammenhänge einschließlich plausibler Wertebereiche von Funktionskoeffizienten eingegangen (Kapitel 3). Die Methodik und die Ergebnisse der statistischen Analyse werden in den Kapiteln 4 und 5 vorgestellt. Abschließend werden die Untersuchungsergebnisse zusammengefasst und konkrete Empfehlungen für die Ermittlung der Referenzwerte für die betrachteten Netzebenen Nieder- und Mittelspannung abgeleitet (Kapitel 6).

2 Datengrundlage

2.1 Prozess der Datenerhebung und -bereitstellung

Die BNetzA hat am 06.06.2016 den bereits erwähnten Beschluss BK8-15/001 zur Festlegung der für die Ermittlung des Qualitätselements zu erhebenden Daten getroffen. Hierdurch wurden die Verteilernetzbetreiber (VNB), die kein geschlossenes Verteilernetz nach § 110 EnWG betreiben und die für die zweite Regulierungsperiode keine Genehmigung zur Teilnahme am vereinfachten Verfahren nach § 24 Abs. 1 ARegV erhalten haben, verpflichtet, bis zum 22.06.2016 Kennzahlen zu den Versorgungsunterbrechungen sowie zusätzliche Daten zur Bestimmung der Referenzwerte elektronisch an die BNetzA zu übermitteln.

Die von den VNB übermittelten Daten wurden anschließend durch Mitarbeiter der BNetzA auf Plausibilität geprüft. Bei Bedarf wurden die VNB zur Beantwortung von Rückfragen und ggf. zur Korrektur der Daten aufgefordert. Parallel dazu konnten die VNB eigenständig Datenkorrekturen melden. Zur Dokumentation der zur Berechnung des Qualitätselements für die Jahre 2017 und 2018 verwendeten Daten wurden den VNB Mitte November 2016 Datenquittungen zugestellt, sodass die VNB letztmalig Gelegenheit zur Plausibilitätsprüfung der übermittelten Daten hatten. Der finale Stand der Daten von 190 VNB wurde uns durch die BNetzA am 24.11.2016 übermittelt. Ergänzend hierzu hat uns die BNetzA am 02.02.2017 Angaben zur Anschlusspunktzahl von dem Mittelspannungsnetz nachgelagerten eigenen¹ Umspannebenen übermittelt und einen offensichtlich unplausibel hohen Wert der Mittelspannungsleitungslänge eines VNB korrigiert. Auf diesen beiden Datenlieferungen beruhen die im vorliegenden Gutachten wiedergegebenen Untersuchungsergebnisse.

¹ In die Ermittlung der Zuverlässigkeitskennzahlen fließen nur Ereignisse in eigenen Netzen ein. Aus Konsistenzgründen hat die BNetzA daher nur Daten zu eigenen Netzen abgefragt, die zur Bildung der Strukturparameter herangezogen werden.

2.2 Umfang der Daten zu Zuverlässigkeitskennzahlen

Die von der BNetzA bereitgestellten Daten zu Versorgungsunterbrechungen umfassen geplante und ungeplante Ereignisse, bei denen die Versorgung von Letztverbrauchern oder Weiterverteilern länger als 3 Minuten unterbrochen war. Ereignisse von kürzerer Dauer sind in den Daten nicht berücksichtigt.

Aus den Daten zu Versorgungsunterbrechungen ergeben sich die benötigten Zuverlässigkeitskennzahlen. Für die Niederspannungsebene wird die letztverbraucherbezogene Kennzahl SAIDI und für die Mittelspannungsebene die auf die unterbrochene Bemessungsscheinleistung von Mittel-/Niederspannungstransformatoren bezogene Kennzahl ASIDI herangezogen. Die im Rahmen dieser Untersuchung je VNB zu verwendenden Kennzahlen wurden durch die BNetzA berechnet. Hierbei wurden die im Rahmen der Konzeption des Qualitätselements festgelegten Gewichtungen von Störungsanlässen bereits berücksichtigt. Demnach sind Ereignisse mit den Anlässen „Zählerwechsel“ und „Rückwirkungsstörung“ gar nicht und geplante Unterbrechungen mit einem Gewicht von 50 % in die Berechnung eingeflossen.

Wie eingangs erwähnt, beziehen sich die von der BNetzA erhobenen Daten und die daraus berechneten Kennzahlen SAIDI und ASIDI auf die Kalenderjahre 2013, 2014 und 2015. Bei den für das vorliegende Gutachten durchgeführten Untersuchungen wurden generell die arithmetischen Mittelwerte der auf die drei Einzeljahre bezogenen Kennzahlen berücksichtigt (siehe Abschnitt 2.4).

2.3 Umfang der Daten zu Strukturparametern

Neben Daten zu Versorgungsunterbrechungen umfasst die erhobene Datengrundlage eine Reihe von Größen, aus denen potenziell geeignete Strukturparameter zur Abbildung eines möglichen Zusammenhangs zwischen Zuverlässigkeitskennzahlen und gebietsstrukturellen Unterschieden berechnet werden können. Auch diese Daten wurden für die Kalenderjahre 2013, 2014 und 2015 erhoben.

Für die Niederspannungsebene hat die BNetzA uns je VNB folgende Angaben übermittelt:

- Letztverbraucheranzahl des eigenen Niederspannungsnetzes
- Letztverbraucherzahl der eigenen Mittel-/Niederspannungs-Umspannebene
- Versorgte Fläche des eigenen Niederspannungsnetzes

- Zeitgleiche Jahreshöchstlast des eigenen Niederspannungsnetzes ohne die Entnahmelasten durch Netze von fremden Netzbetreibern
- Stromkreislänge des eigenen Niederspannungsnetzes, differenziert nach Stromkreislänge Freileitung und Stromkreislänge Kabel
- Anschlusspunktzahl des eigenen Niederspannungsnetzes

Für die Mittelspannungsebene wurden je VNB folgende Angaben übermittelt:

- Bemessungsscheinleistung der Ortsnetz- und Letztverbrauchertransformatoren
- Letztverbraucherzahl des eigenen Mittelspannungsnetzes
- Letztverbraucherzahl der eigenen Hoch-/Mittelspannungs-Umspannebene
- Geografische Fläche des eigenen Mittelspannungsnetzes
- Zeitgleiche Jahreshöchstlast des eigenen Mittelspannungsnetzes ohne die Entnahmelasten durch Netze von horizontal nachgelagerten fremden Netzbetreibern
- Stromkreislänge des eigenen Mittelspannungsnetzes, differenziert nach Stromkreislänge Freileitung und Stromkreislänge Kabel
- Anschlusspunktzahl der Letztverbraucher des eigenen Mittelspannungsnetzes
- Anschlusspunktzahl von dem Mittelspannungsnetz nachgelagerten eigenen Umspannebenen

Eine Zuordnung der obigen Größenbezeichnungen zu den Bezeichnungen in den von der BNetzA übermittelten Datentabellen findet sich in Tabelle 2.1 für die Niederspannungsebene und in Tabelle 2.2 für die Mittelspannungsebene.

Größe	Bezeichnung in übermittelten Datentabellen
Letztverbraucheranzahl des eigenen Niederspannungsnetzes	4.1.1 Anzahl der Letztverbraucher der eigenen NS (ohne MS-/NS-Letzterverbraucher)
Letztverbraucheranzahl der eigenen MS-/NS-Umspannebene	4.1.2 Anzahl der Letztverbraucher der eigenen MS/NS
Versorgte Fläche des eigenen Niederspannungsnetzes	4.2 versorgte Fläche der eigenen NS
Zeitgleiche Jahreshöchstlast des eigenen Niederspannungsnetzes ohne die Entnahmelasten durch Netze von fremden Netzbetreibern	1.2 davon zJHL ohne die entnommenen Lasten von fremden Netzbetreibern auf gleicher Spannungsebene NS
Stromkreislänge des eigenen Niederspannungsnetzes, differenziert nach Stromkreislänge Freileitung und Stromkreislänge Kabel	4.4.1 SKL der Kabel in der eigenen NS 4.4.5 SKL der Freileitungen in der eigenen NS
Anschlusspunktzahl des eigenen Niederspannungsnetzes	4.5.1 Anzahl der Anschlusspunkte der Letztverbraucher in der eigenen NS

Tabelle 2.1: Zuordnung von verwendeten Größenbezeichnungen und Bezeichnungen in übermittelten Datentabellen, Niederspannungsebene

Größe	Bezeichnung in übermittelten Datentabellen
Bemessungsscheinleistung der Ortsnetz- und Letztverbrauchertransformatoren	6.1.3 Summe der installierten Bemessungsscheinleistung aller ONT und LVT
Letztverbraucherzahl des eigenen Mittelspannungsnetzes einschließlich Letztverbraucherzahlen der eigenen HS-/MS-Umspannebene	6.2.3 Summe Anzahl der Letztverbraucher
Geografische Fläche des eigenen Mittelspannungsnetzes	6.3 geografische Fläche in der MS
Zeitgleiche Jahreshöchstlast des eigenen Mittelspannungsnetzes ohne die Entnahmelasten durch Netze von horizontal nachgelagerten MS fremden Netzbetreibern	4.2 davon zJHL ohne die entnommenen Lasten von fremden Netzbetreibern auf gleicher Spannungsebene
Stromkreislänge des eigenen Mittelspannungsnetzes, differenziert nach Stromkreislänge Freileitung und Stromkreislänge Kabel	2.1 SKL der Kabel der eigenen MS 2.2 SKL der Freileitungen der eigenen MS
Anschlusspunktzahl des eigenen Mittelspannungsnetzes	3.1 Anzahl der AP der LV der eigenen MS
Anschlusspunktzahl der Ortsnetz- und Letztverbrauchertransformatoren	Anschlusspunkte von nachgelagerten eigenen Umspannebenen MS; 3.1 Anzahl der AP der LV der eigenen MS

Tabelle 2.2: Zuordnung von verwendeten Größenbezeichnungen und Bezeichnungen in übermittelten Datentabellen, Mittelspannungsebene

2.4 Ermittlung von 3-Jahres-Mittelwerten

In der vorliegenden Untersuchung werden generell arithmetische Mittelwerte der Angaben zu den berücksichtigten Erfassungsjahren verwendet. Dies dient sowohl der Dämpfung des Einflusses zufälliger Schwankungen der Zuverlässigkeitskennzahlen wie auch der Gewährleistung eines Gleichlaufs der zur Ermittlung von Strukturparametern verwendeten Größen mit den Zuverlässigkeitskennzahlen. Für den überwiegenden Teil der VNB liegen die benötigten Daten vollständig für die Erfassungsjahre 2013-2015 vor. Vereinzelt konnten VNB jedoch zu einzelnen Erfassungsjahren keine Angaben liefern, z. B. weil es sich um Neugründungen handelt. Bei sechs Netzbetreibern wurden nur die Erfassungsjahre in die Mittelwertbildung einbezogen, für

die die Anzahl der Letztverbraucher einen Wert größer als null aufweist, bei den übrigen 184 betrachteten Netzbetreibern wurden 3-Jahres-Mittelwerte gebildet.

3 Ingenieurwissenschaftliche Analyse

3.1 Analyseansatz

Im Rahmen des Ausgangsgutachtens ([1] Abschnitt 3.2) wurde unter Anwendung ingenieurwissenschaftlicher Analysetechniken untersucht, welche funktionalen Zusammenhänge zwischen Zuverlässigkeitskennzahlen und verschiedenen strukturellen Merkmalen von Netzen grundsätzlich zu erwarten sind. Konkret wurden hierbei die Analyseverfahren Modellnetzanalyse und Zuverlässigkeitsanalyse eingesetzt. Dieser Analyseansatz abstrahiert – bewusst – stark vom konkreten Einzelfall, indem eine gleichmäßige Verteilung von Anschlusspunkten mit jeweils gleichartigen Entnahmen (Letztverbrauchern bzw. Ortsnetzstationen) sowie einheitliche Vorgaben für die Netzgestaltung und Betriebsmittelwahl unterstellt werden.

Für die Beurteilung der grundsätzlichen Relevanz in Frage kommender Strukturparameter und die Identifikation potenziell geeigneter Funktionsformen zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen diesen Parametern und den Zuverlässigkeitskennzahlen ist dieser Analyseansatz gut geeignet. Er ist jedoch nicht in der Lage zu beurteilen, ob ein solcher Funktionszusammenhang in der Realität auch tatsächlich statistisch signifikant vorliegt, u. a. da er durch die Auswirkungen der Abweichungen zwischen realen und modellierten Strukturen überlagert sein kann und reale Netzgebiete in der Regel eine Mischung von Strukturtypen aufweisen.

Daher darf die Bestimmung einer Referenzwertfunktion nicht allein auf diesen Analyseansatz abgestützt werden, sondern erfordert zusätzlich eine statistische Analyse der als potenziell relevant erkannten Zusammenhänge. Andererseits sollten Parameter und Funktionszusammenhänge, die zwar statistisch signifikant erscheinen, aus ingenieurwissenschaftlicher Perspektive aber nicht plausibel sind, nicht für die Referenzwertbestimmung herangezogen werden. Ingenieurwissenschaftliche und statistische Analysen sollten somit in Kombination miteinander angewendet werden. Die Notwendigkeit eines solchen ganzheitlichen Analyseansatzes wurde, wie eingangs erwähnt, auch im Rahmen der gerichtlichen Auseinandersetzungen bestätigt.

3.2 Exogenität/Endogenität von Strukturparametern

Ein wesentlicher Aspekt im Hinblick auf die Eignung möglicher Strukturparameter für die Referenzwertbestimmung ist das Ausmaß der Beeinflussbarkeit der Parameter durch den Netzbe-

treiber. Im Grundsatz wird bei der Abbildung gebietsstruktureller Unterschiede für das Qualitätselement angestrebt, nur **exogene**, d. h. vom Netzbetreiber nicht beeinflussbare Parameter heranzuziehen, da nur so eine objektive Beschreibung gebietsstruktureller Unterschiede möglich ist.

Gleichwohl können auch **endogene**, d. h. vom Netzbetreiber beeinflussbare Parameter, einen relevanten Einfluss auf die Netzzuverlässigkeit haben. Ein endogener Parameter mit mutmaßlich starkem Zuverlässigkeitseinfluss ist etwa der Kabelanteil (oder dessen Gegenstück, der Freileitungsanteil), da sich die Anfälligkeit z. B. gegenüber Störungen aufgrund von Witterung, Bautätigkeit und Betriebsmittelalterung bei Kabeln und Freileitungen stark voneinander unterscheidet. Ein solcher endogener Einflussfaktor sollte jedoch selbst dann, wenn er sich als statistisch signifikant erweist, nicht als Parameter für die Referenzwertbestimmung verwendet werden, da die Referenzwerte gerade nicht die Wirkungen der für die Netzzuverlässigkeit relevanten Entscheidungen des einzelnen Netzbetreibers vorwegnehmen, sondern nur die durch äußere Einflussfaktoren bedingten Niveauunterschiede reflektieren sollen (s. a. [1], Abschnitt 3.2.1).

Allerdings zeigt bereits das Beispiel des Kabelanteils, dass grundsätzlich vom Netzbetreiber beeinflussbare Parameter nicht gänzlich frei von exogenen Einflüssen sein müssen. So wird heute zumindest in städtischen Gebieten in der Regel eine vollständige Verkabelung erwartet, und eine starke Tendenz dahin lässt sich auch in anderen Gebieten feststellen. Andere grundsätzlich endogene Parameter wie z. B. die Zahl der Ortsnetzstationen (und damit die Zahl der Anschlusspunkte) in einem Mittelspannungsnetz sowie die Dimensionierung der Ortsnetztransformatoren (Bemessungsscheinleistung) werden stark von exogenen Größen wie der Höhe und räumlichen Verteilung der Last in den unterlagerten Niederspannungsnetzen getrieben.

Daher werden in der vorliegenden Untersuchung neben eindeutig exogenen Parametern auch solche betrachtet, die zwar grundsätzlich endogen, aber sehr weitgehend von exogenen Faktoren beeinflusst sind. Bei der Auswahl der letztlich für die Referenzwertermittlung zu verwendenden Parameter unter Abwägung analytischer und statistischer Bewertungsaspekte kommt dem Grad der Exogenität der Parameter jedoch eine hohe Bedeutung zu. Mit Blick auf eine mögliche Strukturabhängigkeit der Netzzuverlässigkeit haben die Größen Letztverbraucherzahl (Mittel- und Niederspannung), Anschlusszahl (nur Niederspannung), zeitgleiche Höchstlast und Fläche (jeweils Mittel- und Niederspannung) vollständig exogenen Charakter. Alle übrigen

in der Datengrundlage enthaltenen Größen sind in unterschiedlichem Ausmaß endogen beeinflusst.

3.3 Strukturparameter Lastdichte

Wie bereits im Ausgangsgutachten festgestellt wurde, können als Strukturparameter für die Referenzwertermittlung nur Größen in Frage kommen, die nicht prinzipiell mit der Größe eines Netzgebiets korreliert sind. Beispielsweise ist die absolute Höhe der Last prinzipiell größenabhängig und daher nicht als Strukturparameter geeignet. Größenunabhängige Strukturparameter ergeben sich in der Regel als Quotient aus zwei größenabhängigen Grundgrößen.

Ein solcher Parameter, der im Ausgangsgutachten als besonders geeignet erkannt wurde, ist die (flächenbezogene) Lastdichte, d. h. der Quotient aus der Gesamtlast und der versorgten Fläche eines Netzes. (Unter der versorgten Fläche wird im Weiteren generell die von der BNetzA im Rahmen der Datenerhebung abgefragte Fläche verstanden, die dort für die Niederspannungsebene als versorgte Fläche und für die Mittelspannungsebene als geografische Fläche bezeichnet wird.) Dieser Parameter ist zum einen praktisch rein exogener Natur. Zum anderen bildet er Unterschiede in zwei für die Netzauslegung zentralen Eigenschaften der Versorgungsaufgabe in einem Netzgebiet in sich ab, nämlich einerseits der Höhe und andererseits der räumlichen Verteilung der anzuschließenden Lasten.

Für diesen Parameter wurde im Ausgangsgutachten zunächst durch Modellnetz- und Zuverlässigkeitsanalyse und anschließend durch eine Prinzipüberlegung anhand stilisierter Netzstrukturen aufgezeigt, dass ein hyperbolischer Zusammenhang mit den Zuverlässigkeitskennzahlen SAIDI bzw. ASIDI zu erwarten ist. In allgemeiner Form lässt sich ein solcher Zusammenhang wie folgt darstellen:

$$Y = \frac{a}{X^c} + b$$

Dabei steht Y für die betrachtete Zuverlässigkeitskennzahl (SAIDI bzw. ASIDI) und X für den betrachteten Strukturparameter, hier also die Lastdichte. Die Koeffizienten a, b und c bestimmen den genauen Verlauf der Funktion. Sie können nicht allein auf Basis der ingenieurwissenschaftlichen Analysen ermittelt werden. Es können jedoch plausible Wertebereiche für einen Teil der Koeffizienten hergeleitet werden. So darf der Koeffizient b nicht negativ sein, da sich ansonsten in bestimmten Bereichen der Lastdichte negative und somit unplausible Werte für

die Zuverlässigkeitskennzahl ergeben würden. Zur Herleitung eines plausiblen Wertebereichs für den Koeffizienten c wurden im Ausgangsgutachten folgende Überlegungen angestellt:

- Wenn die Lastdichte in einem Gebiet dadurch zunimmt, dass die einzelnen zu versorgenden Lasten („Elementarlasten“) bei gleichbleibender Größe enger angeordnet werden, so nimmt die durchschnittliche Länge von Abgängen (d. h. von Umspannstationen ins Gebiet herein verlaufenden Leitungen) ab, wobei die durchschnittliche Zahl der Elementarlasten pro Abgang jedoch unverändert bleibt. In diesem Fall verhält sich die Zuverlässigkeitskennzahl – unter den mit dieser Prinzipüberlegung verbundenen vereinfachenden Annahmen – proportional zum Kehrwert der Wurzel der Lastdichte. Dies würde einem Koeffizienten c in Höhe von 0,5 entsprechen.
- Wenn die Lastdichte hingegen dadurch zunimmt, dass die Höhe der Elementarlasten bei gleichbleibender Zahl und räumlicher Verteilung steigt, so sinkt sowohl die durchschnittliche Länge von Abgängen als auch die durchschnittliche Zahl der je Abgang versorgten Elementarlasten. In diesem Fall und ebenfalls unter den hier getroffenen vereinfachenden Annahmen verhält sich die Zuverlässigkeitskennzahl proportional zum Kehrwert der Lastdichte, entsprechend einem Koeffizienten c in Höhe von 1.

Unter der Annahme, dass Unterschiede in der Lastdichte realer Netzgebiete durch eine Mischung dieser beiden Einflussfaktoren bedingt sind, wurde aus diesen Erkenntnissen im Ausgangsgutachten ein zu erwartender Wertebereich für den Koeffizienten c von 0,5 bis 1 abgeleitet. Die Ränder dieses Erwartungsbereichs sollten allerdings nicht als scharfe Grenzen des Bereichs plausibler Werte angesehen werden, da bei den oben wiedergegebenen prinzipiellen Überlegungen verschiedene nachrangige, aber nicht vernachlässigbare Einflussfaktoren ausgeblendet werden, die ebenfalls mit der Lastdichte korreliert sein und damit auch den Funktionsverlauf beeinflussen können. Sollte sich bei der statistischen Analyse aber ein deutlich außerhalb dieses Bereichs liegender Koeffizient ergeben, so wäre dies jedenfalls als ein Indiz gegen das Vorliegen eines hinreichend belastbaren Zusammenhangs zu werten.

Diese Analyseergebnisse, Überlegungen und Erkenntnisse aus dem Ausgangsgutachten haben weiterhin unverändert Gültigkeit, da sich in der Zwischenzeit die Prinzipien und Randbedingungen der Netzgestaltung und die Einflüsse auf die Netzzuverlässigkeit nicht grundlegend geändert haben, auch nicht durch den in den vergangenen Jahren verstärkt erfolgten Zubau von dezentralen Erzeugungsanlagen auf den betrachteten Netzebenen. Wir gehen daher davon aus,

dass die Lastdichte weiterhin einen potenziell geeigneten Strukturparameter darstellt und auch die Erwartungen an die funktionale Form des Zusammenhangs unverändert bestehen bleiben.

3.4 Weitere flächenbezogene Strukturparameter

Weitere Parameter zur Abbildung der „Versorgungsdichte“ in einem Netzgebiet können gebildet werden, indem anstelle der Last andere den Umfang der Versorgungsaufgabe reflektierende Größen durch die versorgte Fläche dividiert werden:

- Auf der Niederspannungsebene kommen hierfür die Zahl der Anschlusspunkte und die Zahl der Letztverbraucher in Frage. Beide Größen sind auf dieser Ebene als rein exogen anzusehen.
- Auf der Mittelspannungsebene kann ebenfalls die Zahl der Anschlusspunkte aller Stationen mit Letztverbraucher- und Ortsnetztransformatoren und daneben die Summe der Bemessungsscheinleistungen aller Letztverbraucher- und Ortsnetztransformatoren in Betracht gezogen werden. Diese beiden Größen sind allerdings in nicht vernachlässigbarem Umfang durch den Netzbetreiber zu beeinflussen. Dies gilt ganz besonders für die Bemessungsscheinleistungen, zumal viele Netzbetreiber hierbei auf wenige Standardgrößen zurückgreifen, so dass sich eine deutliche – wirtschaftlich aber ggf. durchaus effiziente – Überdimensionierung ergeben kann.

Die aus den o. g. Größen gebildeten flächenbezogenen Strukturparameter werden in die statistische Analyse im Rahmen der vorliegenden Untersuchung einbezogen, wobei im Bereich des Mittelspannungsnetzes die partielle Endogenität der Parameter zu beachten ist.

Für die **Anschlussdichte** (Zahl der Anschlusspunkte dividiert durch versorgte Fläche) lässt sich mit ähnlichen wie den oben dargelegten Prinzipüberlegungen herleiten, dass die betrachteten Zuverlässigkeitskennzahlen

- bei einer Steigerung der Versorgungsdichte durch Zunahme der Zahl von Elementarlasten bei gleichbleibender Größe proportional zum Kehrwert der Wurzel der Anschlussdichte abnimmt und
- bei einer Steigerung der Versorgungsdichte durch Zunahme der Größe von Elementarlasten bei gleichbleibender Zahl proportional zur Wurzel der Anschlussdichte zunimmt,

jeweils wiederum unter den hierfür getroffenen vereinfachenden Annahmen. Der letztgenannte Zusammenhang, bei dem die Zuverlässigkeitskennzahl mit steigender Anschlussdichte ansteigt, entspricht nicht einer Hyperbel-, sondern einer Wurzelfunktion. Diese lässt sich jedoch ebenfalls mit der oben erläuterten allgemeinen Funktionsform fassen, wobei der Koeffizient c dann einen negativen Wert annimmt. Konkret ergibt sich für den Strukturparameter Anschlussdichte ein Erwartungsbereich für den Wertebereich dieses Koeffizienten von $-0,5$ bis $0,5$.

Für die **Letztverbraucherichte** lässt sich ein solcher Erwartungsbereich nicht unmittelbar ableiten, da sich die Zahl der an einen Anschlusspunkt angeschlossenen Letztverbraucher nicht unmittelbar auf die Zuverlässigkeitskennzahlen auswirkt. Der Parameter weist aber einen engen Bezug sowohl zur Last- als auch zur Anschlussdichte auf:

- Sofern angenommen wird, dass die durchschnittliche Last pro Letztverbraucher bei allen Netzbetreibern in einer ähnlichen Größenordnung liegt, ist die Letztverbraucherichte näherungsweise proportional zur Lastdichte.
- Sofern hingegen angenommen wird, dass die durchschnittliche Zahl der Letztverbraucher pro Anschlusspunkt bei allen Netzbetreibern ähnlich ist, ist die Letztverbraucherichte näherungsweise proportional zur Anschlussdichte.

Eine empirische Auswertung hierzu zeigt, dass der Quotient Last pro Letztverbraucher überwiegend in einer engeren Bandbreite liegt als der Quotient Letztverbraucherzahl pro Anschlusspunkt, so dass die Letztverbraucherichte tendenziell eher die Lastdichte reflektiert. Für den Zusammenhang zwischen Zuverlässigkeitskennzahl und Letztverbraucherichte wäre somit eine Hyperbelfunktion mit einem Wertebereich für den Koeffizienten c von $0,5$ bis 1 zu erwarten. Grundsätzlich plausibel wäre aber auch ein niedrigerer Koeffizient entsprechend dem oben dargelegten Erwartungsbereich für den Strukturparameter Anschlussdichte von $-0,5$ bis $0,5$.

Die **Bemessungsscheinleistung** der Letztverbraucher- und Ortsnetztransformatoren dürfte – abgesehen von ihrer bereits erläuterten partiellen Endogenität – sehr eng mit der Höchstlast in einem Netz korreliert sein, so dass für den Zusammenhang zwischen Zuverlässigkeitskennzahl und der flächenbezogenen Dichte der Bemessungsscheinleistung ein ähnlicher Funktionszusammenhang wie für den Strukturparameter Lastdichte zu erwarten ist.

Die nachfolgende Tabelle fasst zusammen, welche flächenbezogenen Strukturparameter in dieser Untersuchung betrachtet werden und welche Erwartungen an den Wertebereich des Koeffizienten c jeweils abgeleitet wurden.

Netzebene	Strukturparameter	Wertebereich für Koeffizient c
Niederspannung	Lastdichte	0,5 bis 1
	Anschlussdichte	-0,5 bis 0,5
	Letztverbraucherdichte	-0,5 bis 1
Mittelspannung	Lastdichte	0,5 bis 1
	Anschlussdichte	-0,5 bis 0,5
	Bemessungsscheinleistungsdichte	0,5 bis 1

Tabelle 3.1: Erwartete Wertebereiche für Koeffizient c bei Verwendung flächenbezogener Strukturgrößen

3.5 Sonstige Strukturparameter

Strukturparameter zur Abbildung der Versorgungsdichte eines Netzgebiets können alternativ zu den zuvor dargestellten Ansätzen auch gebildet werden, indem eine Größe, die den Umfang der Versorgungsaufgabe reflektiert, durch die Stromkreislänge dividiert wird. Diese längenbezogenen Dichteparameter weisen prinzipiell einen höheren Grad an Endogenität auf als die flächenbezogenen Parameter, da die Stromkreislänge vom Netzbetreiber beeinflussbar ist. Da andererseits aber auch starke exogene Einflüsse auf die Stromkreislänge wirken, werden in dieser Untersuchung auch längenbezogene Dichteparameter auf ihre Eignung hin untersucht. Dabei werden analog zu den flächenbezogenen Parametern

- für die Niederspannungsebene die Quotienten aus Höchstlast und Stromkreislänge, Anschlusspunktzahl und Stromkreislänge sowie Letztverbraucherzahl und Stromkreislänge und
- für die Mittelspannungsebene die Quotienten aus Höchstlast und Stromkreislänge, Anschlusspunktzahl und Stromkreislänge sowie Bemessungsscheinleistung und Stromkreislänge

betrachtet. Anhand von Prinzipüberlegungen lässt sich auch hier zeigen, dass die zu erwartenden Zusammenhänge zwischen Zuverlässigkeitskennzahl und Strukturparameter durch die oben dargestellte allgemeine Funktionsform abgebildet werden können. Die aus diesen Überlegungen abgeleiteten Erwartungen für die Wertebereiche des Koeffizienten c sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Netzebene	Strukturparameter	Wertebereich für Koeffizient c
Niederspannung	Höchstlast/SKL	ca. 1
	Anschlusspunktzahl/SKL	-1 bis 1
	Letztverbraucherzahl/SKL	-1 bis 1
Mittelspannung	Höchstlast/SKL	ca. 1
	Anschlusspunktzahl/SKL	-1 bis 1
	Bemessungsscheinleistung/SKL	ca. 1

Tabelle 3.2: Erwartete Wertebereiche für Koeffizient c bei Verwendung längenbezogener Strukturgrößen (SKL: Stromkreislänge)

Neben den flächenbezogenen und den längenbezogenen Dichteparametern wird außerdem für beide Netzebenen der Erklärungsgehalt des Strukturparameters Kabelanteil untersucht. Dieser Parameter kommt allerdings aufgrund seiner stark endogenen Natur nicht als Parameter für die Bestimmung der Referenzwerte für das Qualitätselement in Frage. Die Untersuchung erfolgt hier daher nur zu informativen Zwecken, da dieser Parameter häufig als ein vermuteter Grund für Unterschiede in den Zuverlässigkeitsniveaus angeführt wird.

Über die zuvor genannten Parameter hinaus werden in dieser Untersuchung keine weiteren Parameter zur Abbildung von Strukturunterschieden untersucht, da weitere Quotienten aus den vorliegenden Größen, die grundsätzlich gebildet werden könnten, keinen ingenieurwissenschaftlich plausiblen direkten Zusammenhang mit der Netzzuverlässigkeit aufweisen. Parameter dieser Art sind z. B. die Quotienten aus Höchstlast und Letztverbraucherzahl sowie aus Letztverbraucherzahl und Anschlusspunktzahl. Diese Parameter geben Eigenschaften der an das Netz angeschlossenen Verbraucher wieder, die bei unveränderter Höchstlast, Fläche und Anschlusspunktzahl eines Netzes aber keine unmittelbare Auswirkung auf die Netzzuverlässigkeit haben. Indirekte Zusammenhänge solcher Parameter mit der Netzzuverlässigkeit, die z. B. mit der Dichte der Versorgungsaufgabe verbunden sind, werden hingegen von den zuvor beschriebenen Parametern erfasst.

3.6 Gewichtungsgroßen

Wie eingangs erwähnt, sind die Zuverlässigkeitskennzahlen der Netzbetreiber bei der Ermittlung eines einheitlichen Referenzwerts bzw. einer Referenzwertfunktion in gewichteter Form

zu berücksichtigen, wobei die Gewichtunggröße den jeweiligen Umfang der Versorgungsaufgabe reflektieren soll. Bislang wurde bei der Ermittlung des Qualitätselements die Zahl der Letztverbraucher als Gewichtunggröße herangezogen. Für die Mittelspannungsebene wurde hierzu die Summe der Letztverbraucherzahlen des eigenen Mittel- und des eigenen nachgelagerten Niederspannungsnetzes sowie der eigenen HS-/MS- und der eigenen MS-/NS-Umspannungsebene verwendet.

Neben dieser Größe sind auch andere Gewichtungsgrößen denkbar, wobei auch hier auf möglichst weitgehende Exogenität zu achten ist, da bei Wahl einer von Netzbetreibern beeinflussbaren Gewichtunggröße Fehlanreize entstehen können. Im Rahmen dieses Gutachtens wird die Eignung von grundsätzlich in Frage kommenden Gewichtungsgrößen beispielhaft für die Mittelspannungsebene und den Strukturparameter Lastdichte untersucht. Hierbei werden alternativ zur Summe der Letztverbraucher einerseits die zeitgleiche Höchstlast und andererseits die Summe der Bemessungsscheinleistungen der Letztverbraucher- und Ortsnetztransformatoren betrachtet. Die letztgenannte Größe ist im Gegensatz zu den beiden erstgenannten stärker endogener Natur. Sie wird dennoch untersucht, da sie auch in die Berechnung der Zuverlässigkeitskennzahl ASIDI eingeht und daher möglicherweise zumindest statistisch zu einem besseren Erklärungsgehalt der Regressionsfunktion führt.

Hinsichtlich der Auswahl der Gewichtunggröße ist zu beachten, dass hier ein Zusammenhang mit der Gestaltung des Monetarisierungsfaktors für das Qualitätselement besteht. Gemäß dem von der BNetzA beschlossenen Konzept wird angestrebt, dass das Qualitätselement insgesamt eine näherungsweise neutrale Wirkung auf die Summe der Erlösbergrenzen der VNB hat. Um dies zu erreichen, sollte die Gewichtunggröße mit der Bezugsgröße des Monetarisierungsfaktors übereinstimmen. Dementsprechend wurde bei der bisherigen Anwendung des Qualitätselements auch der Monetarisierungsfaktor als eine auf die Zahl der Letztverbraucher bezogene Größe angegeben. Wenn für die zukünftige Anwendung eine andere Gewichtunggröße als die Zahl der Letztverbraucher gewählt wird, sollte mit Blick auf die angestrebte Erlösneutralität daher ggf. auch der Monetarisierungsfaktor entsprechend angepasst werden.

4 Methodik der statistischen Analyse

4.1 Signifikanztest

Für die Analyse der statistischen Signifikanz der betrachteten Strukturparameter wird analog zur Vorgehensweise im Ausgangsgutachten zunächst das Testverfahren nach Kolmogoroff und Smirnow (KS-Test) angewandt. Hierzu werden für jeden Strukturparameter zunächst die Wertepaare bestehend aus der Zuverlässigkeitskennzahl SAIDI bzw. ASIDI und dem Strukturparameter nach der Höhe des Strukturparameters sortiert und in Klassen gleicher Größe aufgeteilt. Anschließend wird anhand des Signifikanztests geprüft, ob sich die Mittelwerte der Zuverlässigkeitskennzahlen je Klasse statistisch signifikant voneinander unterscheiden. Kann ein signifikanter Unterschied nicht festgestellt werden, so kann ein Einfluss des Strukturparameters auf die Zuverlässigkeitskennzahl nicht nachgewiesen und der Strukturparameter verworfen werden. Andernfalls wird der Einfluss des Strukturparameters in nachfolgenden Schritten näher untersucht.

Der Vorteil einer Aufteilung in mehrere Klassen besteht darin, dass bereits die Mittelwerte der Klassen einen Hinweis geben, welcher grundsätzliche Zusammenhang zwischen Zuverlässigkeitskennzahl und Strukturparameter vorzuliegen scheint (z. B. steigend oder fallend). Dieses Erkenntnis kann mit der in der ingenieurwissenschaftlichen Analyse abgeleiteten Erwartung verglichen werden und erste Hinweise auf die Plausibilität des Zusammenhangs geben. Dabei führt die Bildung von einer größeren Anzahl von Klassen zu einem höher aufgelösten Mittelwertverlauf; andererseits nehmen hierdurch die Stichprobengrößen innerhalb der Klassen ab, wodurch die Aussagekraft des Signifikanztests abnimmt. Daher wurde hier wie bereits im Ausgangsgutachten eine Einteilung in drei Klassen vorgenommen.

Der KS-Test gilt für die hier zu untersuchende Frage nach der Signifikanz des Unterschieds der Mittelwerte zwischen zwei Klassen als besonders scharf [2]. Er erfasst Unterschiede der Verteilungsformen aller Art und ist insofern anderen statistischen Tests, die – wie z. B. der t-Test und der U-Test – auf konkreten Verteilungsannahmen beruhen, vorzuziehen. Der KS-Test wird hier für alle untersuchten Strukturparameter für die gebräuchlichen Irrtumswahrscheinlichkeiten von 5 % und 1 % durchgeführt.

4.2 Regressionsanalyse

Für Strukturparameter, die nicht bereits aufgrund des Signifikanztests verworfen werden, wird anschließend der funktionale Zusammenhang mit der jeweiligen Zuverlässigkeitskennzahl mittels Regressionsanalyse untersucht. Hierbei wird die Differenz zwischen den empirischen Zuverlässigkeitskennzahlen und den durch die Regressionsanalyse geschätzten Werten mittels der Methode der kleinsten Quadrate minimiert. Dabei werden, wie bereits erläutert, die einzelnen Abweichungen mit Gewichtungsgößen multipliziert, die die Größe der Versorgungsaufgaben der Netzbetreiber reflektieren. Zur Berechnung der gewichteten Regressionen wird die Statistiksoftware R² eingesetzt.

Zunächst wird hierbei jeder Strukturparameter einzeln betrachtet, d. h. es werden funktionale Zusammenhänge mit genau einem Strukturparameter untersucht. Anschließend wird mittels multipler Regressionsanalyse für ausgewählte ingenieurwissenschaftlich plausible Kombinationen von zwei grundsätzlich geeigneten Strukturparametern geprüft, ob deren gemeinsame Berücksichtigung zu einer wesentlichen Verbesserung des Erklärungsgehalts der Regressionsfunktion führt. Da die Aufnahme zusätzlicher Parameter in der Regel immer zu einer Verbesserung des Erklärungsgehalts führt, wird mit Hilfe des F-Tests überprüft, ob die Verbesserung signifikant ist.

Zentrales Ergebnis der Regressionsanalyse sind Werte für die Koeffizienten des jeweils erwarteten funktionalen Zusammenhangs zwischen der Zuverlässigkeitskennzahl und dem bzw. den betrachteten Strukturparameter(n). Wie in Kapitel 3 erläutert, werden bei allen betrachteten Strukturparametern hyperbolische, lineare oder wurzelförmige funktionale Zusammenhänge erwartet, die alle von der allgemeinen Form

$$Y = \frac{a}{X^c} + b$$

abgedeckt werden. Die Wertebereiche der Funktionsparameter a, b und c werden bei der Regressionsanalyse nicht eingeschränkt. Aus den sich ergebenden Koeffizienten können dann durch Vergleich mit den erwarteten Wertebereichen – insbesondere für den Koeffizienten c – Erkenntnisse zur Plausibilität des ermittelten Funktionszusammenhangs gewonnen werden.

² Version 3.2.2 mit Standardbibliotheken

Eine valide Aussage über die Plausibilität des Werts eines Koeffizienten lässt sich jedoch nur dann treffen, wenn der Koeffizient einen hinreichend großen Beitrag zum Erklärungsgehalt eines Regressionsmodells aufweist. Je kleiner der Erklärungsbeitrag eines Koeffizienten ist, desto stärker ist der vom Regressionsverfahren bestimmte Wert des Koeffizienten durch die zufallsbedingte Streuung der Eingangsdaten und durch Implementierungsdetails des Regressionsanalyseverfahrens (Schrittweiten und Abbruchkriterien) beeinflusst. Das Vorliegen solcher Koeffizienten mit geringem Erklärungsgehalt, deren Wert stark von zufallsbedingten Faktoren beeinflusst wird, stellt auch ein Indiz für mangelnde Belastbarkeit des gesamten von der Regressionsanalyse ermittelten Funktionszusammenhangs dar. Daher wird bei den Regressionsanalysen neben den Koeffizienten auch der jeweilige p-Wert für den t-Test aufgeführt. Der p-Wert liegt zwischen 0 und 1 und gibt an, mit welcher Irrtumswahrscheinlichkeit der einzelne Koeffizient zum Erklärungsgehalt beiträgt. Robuste Modellergebnisse sind in der Regel nur bei p-Werten kleiner 0,1 zu erwarten.

Ein weiterer wesentlicher Maßstab für die Belastbarkeit des Funktionszusammenhangs – auch im Vergleich unterschiedlicher Strukturparameter untereinander – ist das Bestimmtheitsmaß R^2 , das die Güte der Anpassung der Schätzfunktion an die tatsächlichen Beobachtungen wiedergibt. Da hier Regressionen unter Berücksichtigung von Gewichtungsgrößen durchgeführt werden, wird die Gewichtung auch bei der Berechnung des Bestimmtheitsmaßes R^2 berücksichtigt.

Bei den Regressionsanalysen werden grundsätzlich Daten aller in der Datengrundlage enthaltenen Netzbetreiber berücksichtigt. Dies gilt auch für Wertepaare, die etwa aufgrund netzspezifischer Besonderheiten, nicht erkannter Datenerfassungsfehler oder auch nach Mittelwertbildung verbliebener stochastischer Streuung der Zuverlässigkeitskennzahlen und/oder Strukturparameter weit außerhalb des jeweiligen Hauptfeldes liegen. Solche Wertepaare können, müssen aber nicht zwangsläufig „Ausreißer“ darstellen. Übliche mathematische Verfahren zur Identifikation von Ausreißern wie z. B. Cook-Distanz oder DFBETAS können hier wegen der vorgenommenen Gewichtung der Datenpunkte nicht verwendet werden, da die Verfahren nicht erkennen können, ob der Einfluss eines Datenpunkts auf das Bestimmtheitsmaß oder den Funktionsverlauf durch seine Lage oder seine Gewichtung bedingt ist.

Unabhängig von der Eignung von Verfahren zur Ausreißeridentifikation ist aber auch zu beachten, dass endogene Einflüsse für nennenswerte Zuverlässigkeitsunterschiede verantwortlich

sein können. Insofern kann ein Datenpunkt nicht allein wegen seiner Lage außerhalb des Hauptfeldes als „Ausreißer“ eingestuft werden. Vielmehr erscheint es grundsätzlich nicht sachgerecht, außenliegende Datenpunkte auszuschließen, sofern deren Lage nicht durch Datenfehler bedingt ist. Diese Auffassung deckt sich mit den Vorgaben der ARegV, die für die Ermittlung der Referenzwerte keine Ausreißeranalyse vorsieht, anders als für die Methodik zur Effizienzbewertung der Netzbetreiber. Um jedoch deutliche Verzerrungen des Ergebnisses der statistischen Analysen, insbesondere bei der Bestimmung der Regressionsfunktion, zu vermeiden, die durch mögliche Datenfehler verursacht werden, wird bei den Regressionsfunktionen, die grundsätzlich plausible und valide Zusammenhänge aufweisen, ein Robustheitstest durchgeführt. Auffällige Datenpunkte werden durch einen visuellen Test im Punktediagramm identifiziert, und anhand des individuellen Beitrags zur Gewichtunggröße wird beurteilt, ob ein nennenswerter Einfluss auf die Koeffizienten und das Bestimmtheitsmaß der Regressionsfunktion zu erwarten ist. Sofern ein solcher Einfluss aus dieser Analyse nicht sicher auszuschließen ist, werden in einem zweiten Prüfschritt die auffälligen Datenpunkte nacheinander versuchsweise aus der Datengrundlage entfernt, um ihren Einfluss zu quantifizieren. Bei den nachfolgend dargestellten Ergebnissen war jedoch die Durchführung des zweiten Prüfschritts nicht erforderlich. Es mussten somit bei keiner Untersuchung Unternehmen aus der Datengrundlage entfernt werden.

5 Ergebnisse der statistischen Analyse

5.1 Niederspannungsebene

5.1.1 Flächenbezogene Strukturparameter

Für die Niederspannungsebene werden entsprechend den Ergebnissen der ingenieurwissenschaftlichen Analyse die folgenden flächenbezogenen Strukturparameter auf ihre Signifikanz bezüglich der Zuverlässigkeitskennzahl SAIDI hin getestet:

- Lastdichte: zeitgleiche Jahreshöchstlast bezogen auf versorgte Fläche, Einheit kW/km²
- Anschlussdichte: Anschlusspunktzahl bezogen auf versorgte Fläche, Einheit 1/km²
- Letztverbraucherdichte: Letztverbraucherzahl des eigenen Niederspannungsnetzes³ bezogen auf versorgte Fläche, Einheit 1/km²

5.1.1.1 Lastdichte

Ergebnis KS-Test

Wie in Kapitel 4 erläutert, wird der KS-Test hier in der Weise angewandt, dass die Wertepaare aus Zuverlässigkeit und Strukturparameter jeweils in drei Klassen gleicher Größe eingeteilt werden, die nachfolgend mit A, B und C bezeichnet werden. Klasse A umfasst dabei immer das Drittel der Wertepaare mit den niedrigsten Werten des Strukturparameters, Klasse C das Drittel mit den höchsten Werten und Klasse B das mittlere Drittel. Bei der Darstellung der Ergebnisse des KS-Tests bezieht sich der für Klasse A angegebene Wert auf den Vergleich der Klassen A und B, der für Klasse B angegebene Wert auf den Vergleich der Klassen B und C und der für Klasse C angegebene Wert auf den Vergleich der Klassen C und A. Das Testergebnis wird dann

³ Hier werden ausschließlich Letztverbraucher mit Anschluss in der Niederspannungsleitungsebene betrachtet, da nur die direkt in dieser Ebene angeschlossenen Verbraucher primär auf die Auslegung des Niederspannungsleitungsnetzes wirken, mit der wiederum unterschiedliche Zuverlässigkeitsniveaus verbunden sein können. Als Gewichtunggröße bei der Regressionsanalyse hingegen wird die Summe der Letztverbraucherzahlen des eigenen nachgelagerten Niederspannungsnetzes und der eigenen MS-/NS-Umspannebene verwendet, die als Maß für die Unternehmensgröße herangezogen wird.

als positiv ausgewiesen, wenn die Nullhypothese, wonach kein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten der Klassen besteht, mit der angegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit abgelehnt werden kann.

Bei dem Strukturparameter Lastdichte wird die Nullhypothese mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % vollständig abgelehnt (Tabelle 5.1). Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 % wird sie beim Vergleich der Klassen A und B sowie A und C jedoch nicht abgelehnt. Ein signifikanter Unterschied kann dementsprechend nur mit einer Sicherheit von 95 % festgestellt werden. Weiter fällt auf, dass entgegen der Erwartung Klasse C (mit der höchsten Lastdichte) den größten SAIDI-Mittelwert aufweist. Dies widerspricht der in der ingenieurwissenschaftlichen Analyse abgeleiteten Erwartung eines hyperbolischen Zusammenhangs zwischen der Zuverlässigkeitskennzahl und diesem Strukturparameter.

	A	B	C
Mittelwert	3,48	3,12	3,99
Streuung	2,24	2,10	2,47
KS-Test 95%	positiv	positiv	positiv
KS-Test 99%	negativ	positiv	negativ

Tabelle 5.1: Ergebnis Signifikanztest für Parameter NS-Lastdichte

Ergebnis Regressionsanalyse

Das Punktediagramm der Wertepaare von Zuverlässigkeitskennzahl und Strukturparameter weist für den Strukturparameter Lastdichte eine große Streuung auf, und rein visuell ist kein hyperbolischer Verlauf zu erkennen (Bild 5.1). Die mittels Regression für den Zusammenhang $Y = \frac{a}{x^c} + b$ ermittelte Schätzfunktion weist keine Hyperbelform auf, da für den Koeffizienten c ein negativer Wert und für a ein Wert nahe Null bestimmt wird (Tabelle 5.2). Zusätzlich besitzen beide Koeffizienten nur einen geringen Beitrag zum Erklärungsgehalt der Schätzfunktion. Weiter fällt auf, dass sich die Regressionsfunktion und der hier als blaue Linie eingetragene gewichtete Mittelwert der Zuverlässigkeitskennzahl SAIDI kaum voneinander unterscheiden. (Als Gewichtunggröße wurde in beiden Fällen die Summe der Letztverbraucher des eigenen nachgelagerten Niederspannungsnetzes sowie der eigenen MS-/NS-Umspannebene verwendet.) Darüber hinaus weist das Bestimmtheitsmaß R^2 einen äußerst geringen Wert auf. Im

Ergebnis lässt sich feststellen, dass zumindest bei dieser Grundform der Schätzfunktion kein belastbarer und plausibler Zusammenhang vorliegt.

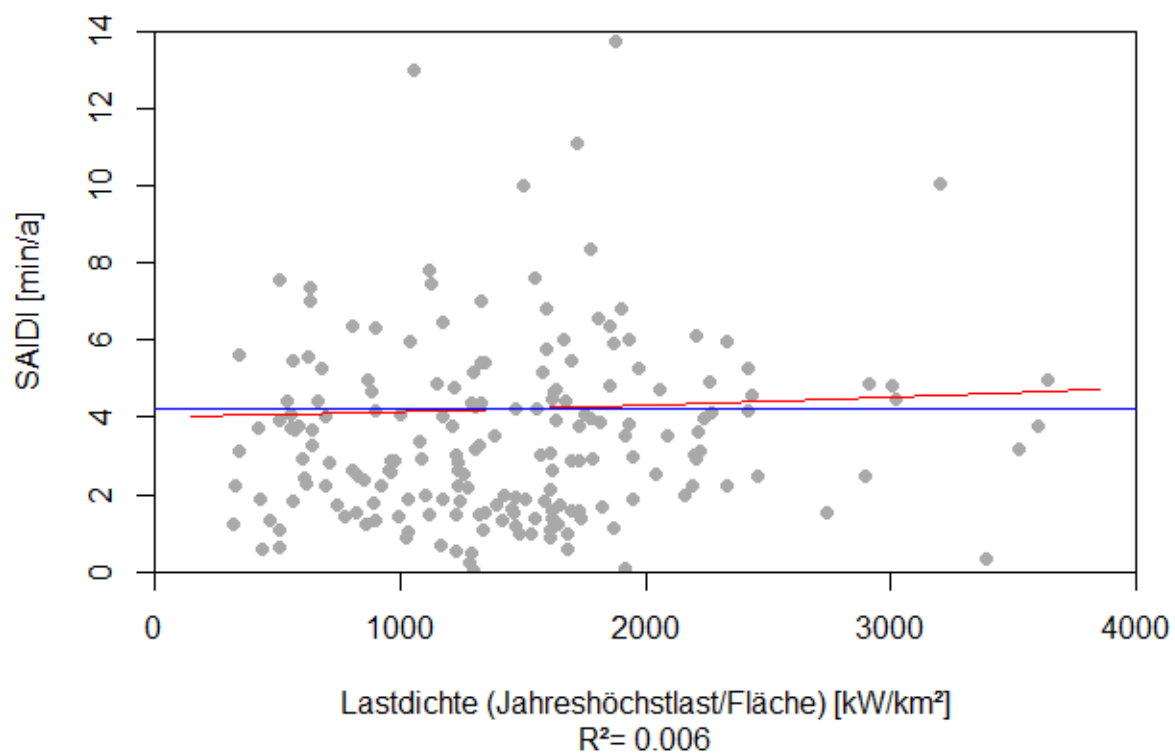


Bild 5.1: Regressionsfunktion (rote Linie) für den Strukturparameter NS-Lastdichte; blaue Linie: gewichteter mittlerer SAIDI (4,21 min/a)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	0,00	0,00	0,032	0,9740
b	4,03	0,56	7,174	0,0000***
c	-1,34	3,79	-0,355	0,7230

Tabelle 5.2: Mittels Regression geschätzte Funktionsparameter für den Strukturparameter NS-Lastdichte, auffällige oder unplausible Werte rot markiert⁴

Abweichend von den Ergebnissen der ingenieurwissenschaftlichen Analyse wird nachfolgend zusätzlich untersucht, ob zwischen den SAIDI-Werten und der Lastdichte evtl. ein signifikanter Zusammenhang in Form einer quadratischen Form mit einem Minimum im Bereich der mittleren Klasse der Wertepaare existiert. Ein solcher „U-förmiger“ Verlauf könnte u. U. damit erklärt werden, dass die Wiederversorgungszeiten nach Störungen in stark urbanen Strukturen – d. h. bei hohen Lastdichten – aufgrund zunehmender Fahrzeiten stark ansteigen und so den erwarteten Rückgang der Zuverlässigkeit überkompensieren. Hierzu wird eine Regressionsanalyse für folgende Funktionsform durchgeführt:

$$Y = c \cdot (X - a)^2 + b$$

Auch die so erhaltene Schätzfunktion unterscheidet sich jedoch kaum von der Mittelwert-Linie der Zuverlässigkeitskennzahl SAIDI (Bild 5.2), und der in Betracht gezogene U-förmige Verlauf stellt sich nicht ein. Dies ist auch an dem extrem niedrigen Wert des Koeffizienten c zu erkennen (Tabelle 5.3). Das Bestimmtheitsmaß verschlechtert sich sogar graduell, und alle Koeffizienten weisen nur äußerst geringe Beiträge zum Erklärungsgehalt der Schätzfunktion auf.

⁴ Erläuterung der Spaltenbezeichnungen und Markierungen: Als Estimate werden die ermittelte Koeffizienten der Regressionsgleichung bezeichnet. t value ist der Wert für den t-Test und Pr(>|t|) der p-Wert des t-Tests. Der p-Wert liegt zwischen 0 und 1 und gibt an, mit welcher Irrtumswahrscheinlichkeit der einzelne Koeffizient zum Erklärungsgehalt beiträgt, d. h. je kleiner der Wert, desto höher ist der Beitrag zum Erklärungsgehalt. Weiter werden die p-Werte Wertebereichen zugeordnet, die gebräuchlichen Signifikanzniveaus entsprechen. Für die Bereiche werden folgende Bezeichnungen verwendet: ‘***’ = 0 bis 0,001; ‘**’ = 0,001 bis 0,01; ‘*’ = 0,01 bis 0,05; ‘.’ = 0,05 bis 0,1; ‘ ’ = 0,1 bis 1

Auch bei dieser Grundform der Schätzfunktion besteht somit kein belastbarer Zusammenhang zwischen Zuverlässigkeitskennzahl und dem Strukturparameter Lastdichte.

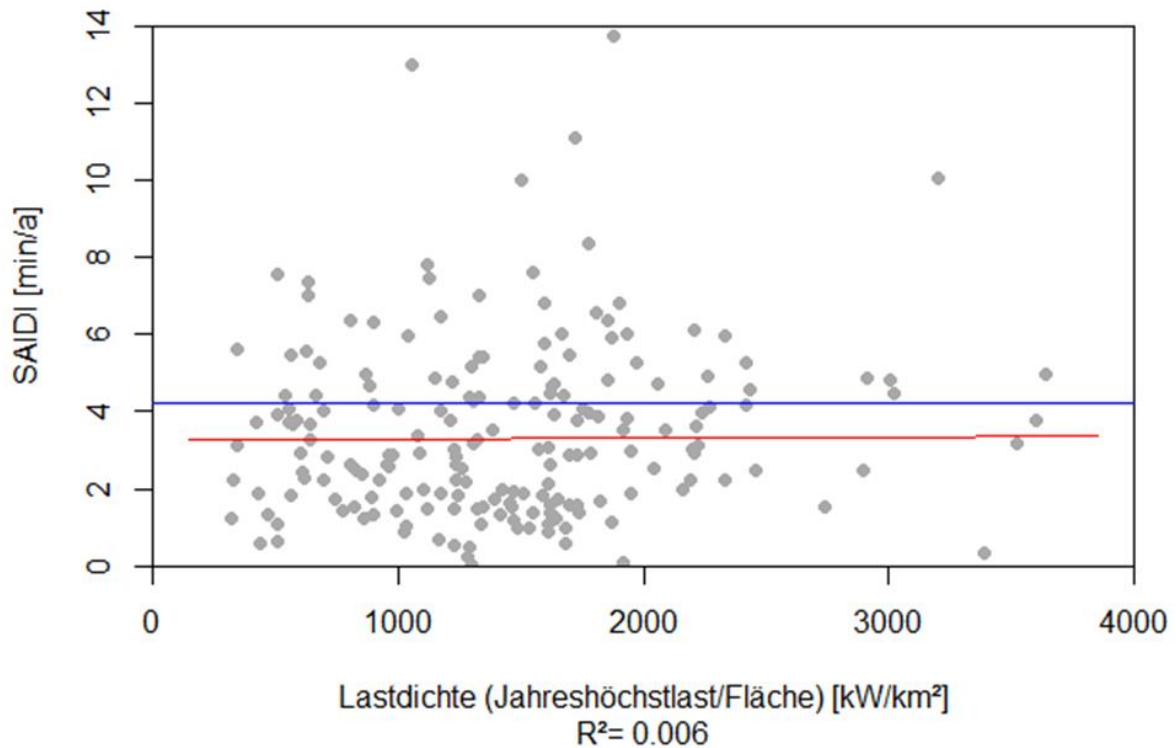


Bild 5.2: Regressionsfunktion (rote Linie) für den Strukturparameter NS-Lastdichte bei angenommenem quadratischem Funktionszusammenhang; blaue Linie: gewichteter mittlerer SAIDI (4,21 min/a)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	-10.730,00	344.000,00	-0,031	0,975
b	3,15	31,09	0,101	0,919
c	0,00	0,00	0,036	0,971

Tabelle 5.3: Mittels Regression geschätzte Funktionsparameter für den Strukturparameter NS-Lastdichte bei angenommenem quadratischen Funktionszusammenhang, auffällige oder unplausible Werte rot markiert

5.1.1.2 Anschlussdichte

Ergebnis KS-Test

Bei Verwendung des Strukturparameters Anschlussdichte kann, anders als beim Parameter Lastdichte, die Nullhypothese nicht vollständig abgelehnt werden. Insbesondere beim Vergleich der Klassen A und C sowie auch A und B müssten sich die Mittelwerte der Verteilungen bei einem erwarteten hyperbolischen Zusammenhang (s. Kapitel 3) signifikant unterscheiden, was mit 95 %-Vertrauenswahrscheinlichkeit nur für den Vergleich der Klassen A und C und mit 99 %-Vertrauenswahrscheinlichkeit gar nicht erfüllt ist. Wie schon bei der Lastdichte weist auch bei der Anschlussdichte die Klasse C den höchsten Mittelwert auf, was der Erwartung widerspricht.

	A	B	C
Mittelwert	3,41	3,30	3,82
Streuung	2,34	2,27	2,27
KS-Test 95%	negativ	positiv	positiv
KS-Test 99%	negativ	positiv	negativ

Tabelle 5.4: Ergebnis Signifikanztest für Parameter NS-Anschlussdichte

Ergebnis Regressionsanalyse

Das Punktediagramm weist große Ähnlichkeit mit dem Diagramm für den Strukturparameter Lastdichte auf (Bild 5.3). Die Schätzfunktion, die einen leicht wurzelförmigen Verlauf aufweist und deren Koeffizient c , wenn auch mit hoher Irrtumswahrscheinlichkeit, grundsätzlich im erwarteten Wertebereich für diesen Strukturparameter liegt (Tabelle 5.5), verläuft sehr nah an der Mittelwertlinie, und das Bestimmtheitsmaß R^2 ist äußerst gering. Auffällig ist zudem, dass eine Regressionsfunktion mit Achsenabschnitt b keine Konvergenz liefert, so dass hier eine Funktionsform ohne diesen Koeffizienten verwendet werden muss.

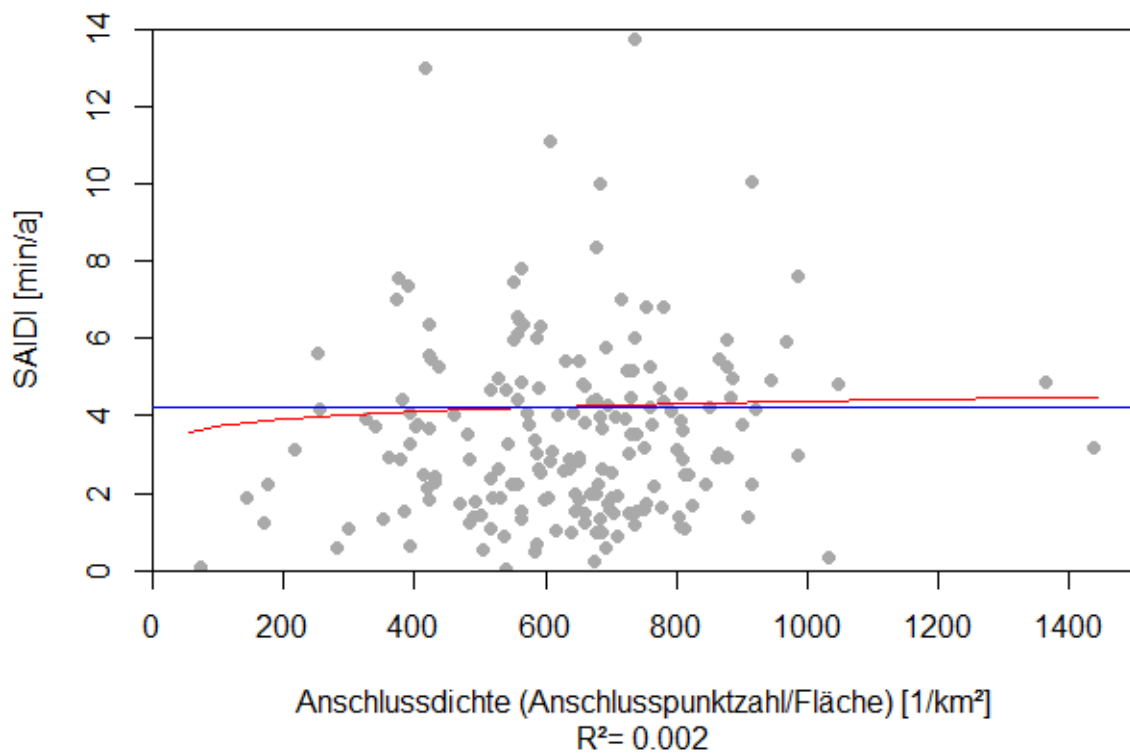


Bild 5.3: Regressionsfunktion (rote Linie) für den Strukturparameter NS-Anschlussdichte; blaue Linie: gewichteter mittlerer SAIDI (4,21 min/a)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	2,72	1,92	1,416	0,158
c	-0,07	0,11	-0,621	0,535

Tabelle 5.5: Mittels Regression geschätzte Funktionsparameter für den Strukturparameter NS-Anschlussdichte, auffällige oder unplausible Werte rot markiert

5.1.1.3 Letztverbraucherdichte

Ergebnis KS-Test

Auch bei der Letztverbraucherdichte kann die Nullhypothese, insbesondere wegen des negativen Testergebnisses beim Vergleich der Klassen A und B, nicht vollständig abgelehnt werden,

so dass eine Signifikanz des Parameters Letztverbraucherichte nicht durchgängig bestätigt werden kann (Tabelle 5.6).

	A	B	C
Mittelwert	3,23	2,88	4,46
Streuung	2,27	1,89	2,43
KS-Test 95%	negativ	positiv	positiv
KS-Test 99%	negativ	positiv	positiv

Tabelle 5.6: Ergebnis Signifikanztest für Parameter NS-Letzverbraucherichte

Ergebnis Regressionsanalyse

Auch bei diesem Parameter liefert die Regressionsanalyse eine Funktion mit zwar plausiblen Koeffizienten c, der jedoch, wie auch die übrigen Koeffizienten, eine hohe Irrtumswahrscheinlichkeit aufweist (Tabelle 5.7). Die Funktion verläuft sehr nah an der Mittelwertlinie und ist mit einem sehr geringen Bestimmtheitsmaß verbunden (Bild 5.4).

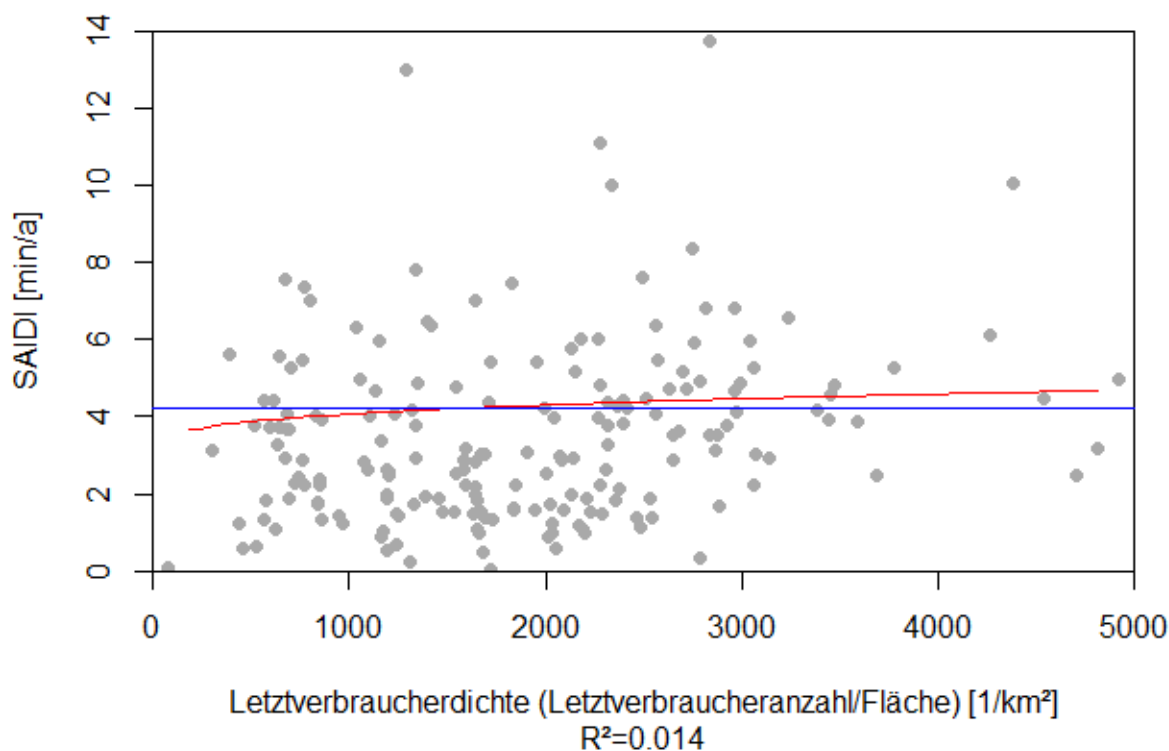


Bild 5.4: Regressionsfunktion (rote Linie) für den Strukturparameter NS-Letzverbraucherichte; blaue Linie: gewichteter mittlerer SAIDI (4,21 min/a)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	0,18	4,09	0,044	0,965
b	2,92	10,02	0,292	0,771
c	-0,27	2,06	-0,131	0,896

Tabelle 5.7: Mittels Regression geschätzte Funktionsparameter für den Strukturparameter NS-Letzverbraucherichte, auffällige oder unplausible Werte rot markiert

Auch eine ergänzend durchgeführte Regression mit quadratischer Funktionsform analog zur Vorgehensweise beim Parameter Lastdichte liefert keine plausible Schätzfunktion. Der Funktionsverlauf weicht auch hier nur unwesentlich vom gewichteten Mittelwert ab, und das Bestimmtheitsmaß weist einen sehr geringen Wert auf. Eine detaillierte Darstellung der Regressionsfunktion und ihrer Koeffizienten findet sich im Anhang A.1.1.

5.1.2 Weitere Strukturparameter

Wie in Kapitel 3 dargestellt, werden neben den flächenbezogenen Strukturparametern die auf die Stromkreislänge bezogenen Parameter

- zeitgleiche Jahreshöchstlast bezogen auf Stromkreislänge, Einheit kW/km,
- Anschlusspunktzahl bezogen auf Stromkreislänge, Einheit 1/km und
- Letztverbraucherzahl bezogen auf Stromkreislänge, Einheit 1/km

sowie – primär zu informativen Zwecken – der Kabelanteil (Stromkreislänge NS-Kabel bezogen auf gesamte NS-Stromkreislänge, einheitslose Größe) auf ihren Zusammenhang mit der Zuverlässigkeitskennzahl SAIDI hin getestet.

Es zeigt sich, dass für die Niederspannungsebene die Parameter „Kabelanteil“ und „Anschlusspunktzahl bezogen auf Stromkreislänge“ bereits im KS-Test keinen signifikanten Unterschied zwischen den betrachteten Werteklassen aufweisen. Bei den übrigen beiden Parametern kann die Nullhypothese nur teilweise abgelehnt werden, so dass partiell signifikante Unterschiede festzustellen sind. Allerdings treten in den durchgeführten Regressionsanalysen sehr geringe Bestimmtheitsmaße auf, und der Koeffizient c liegt jeweils deutlich außerhalb des erwarteten Wertebereichs. Ausführliche Darstellungen der Regressionsfunktionen und ihrer Koeffizienten finden sich im Anhang A.1.1.

5.2 Mittelspannungsebene

5.2.1 Flächenbezogene Strukturparameter

Für die Mittelspannungsebene werden im ersten Schritt die folgenden flächenbezogenen Strukturparameter auf ihren Zusammenhang mit der Zuverlässigkeitskennzahl ASIDI hin untersucht:

- Lastdichte: zeitgleiche Jahreshöchstlast bezogen auf geografische Fläche, Einheit kW/km²
- Anschlussdichte LVT: Anschlusspunktzahl der Stationen mit Letztverbrauchertransformatoren bezogen auf geografische Fläche, Einheit 1/km²
- Anschlussdichte ONT&LVT: Anschlusspunktzahl der Stationen mit Ortsnetz- und Letztverbrauchertransformatoren bezogen auf geografische Fläche, Einheit 1/km²

- Scheinleistungsdichte: Bemessungsscheinleistung der Ortsnetz- und Letztverbrauchertransformatoren bezogen auf geografische Fläche, Einheit MVA/km²

5.2.1.1 Lastdichte

Ergebnis KS-Test

Der KS-Test zeigt für den Strukturparameter Lastdichte auf beiden Vertrauensniveaus 95 % und 99 % einen signifikanten Unterschied beim Vergleich der Klassen A und B sowie A und C an (Tabelle 5.8). Die Mittelwerte in den drei Klassen nehmen mit zunehmender Lastdichte entsprechend der in der ingenieurwissenschaftlichen Analyse abgeleiteten Erwartung ab, und das Punktediagramm (Bild 5.5) legt bereits einen hyperbelförmigen Zusammenhang nahe. Das negative Testergebnis zwischen den Klassen B und C erscheint daher unkritisch.

	A	B	C
Mittelwert	11,96	5,41	4,79
Streuung	9,89	5,15	4,86
KS-Test 95%	positiv	negativ	positiv
KS-Test 99%	positiv	negativ	positiv

Tabelle 5.8: Ergebnis Signifikanztest für Parameter MS-Lastdichte

Ergebnis Regressionsanalyse

Der Verlauf der Regressionsfunktion bestätigt die Erwartung einer hyperbolischen Abhängigkeit der Kenngröße ASIDI von der Lastdichte. Der Koeffizient c liegt innerhalb der aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht als plausibel erachteten Bandbreite (Tabelle 5.9). Weiter weisen alle Koeffizienten sehr geringe Irrtumswahrscheinlichkeiten auf. Als Gewichtungsgröße wurde hier die Zahl der Letztverbraucher des eigenen Mittel- und des eigenen nachgelagerten Niederspannungsnetzes sowie der eigenen HS-/MS- und der eigenen MS-/NS-Umspannebene verwendet. Die Auswirkungen einer davon abweichenden Wahl der Gewichtungsgröße werden in Abschnitt 5.2.2 erörtert.

Das Bestimmtheitsmaß R^2 ist mit ca. 0,61 relativ hoch, insbesondere im Vergleich zu den entsprechenden Ergebnissen des Ausgangsgutachtens. Wie bereits dort thematisiert, liegen mehr Datenpunkte unter- als oberhalb der Regressionsfunktion, was auf die Gewichtung bei der Regressionsanalyse zurückzuführen ist. Die von der Funktion weiter entfernt liegenden Datenpunkte mit ASIDI-Werten im Bereich von ca. 25 bis 40 min/a weisen Letztverbraucherzahlen zwischen etwa 15.000 und 50.000 auf, die angesichts der durchschnittlichen Letztverbraucherzahlen in Höhe von ca. 280.000 den Verlauf der Regressionsfunktion allenfalls geringfügig beeinflussen und somit nicht als für die Regressionsanalyse kritische „Ausreißer“ zu werten sind.

Angesichts der Ergebnisse des Signifikanztests, des plausiblen Verlaufs der Regressionsfunktion und des hohen Bestimmtheitsmaßes erachten wir diesen Zusammenhang zwischen der Zuverlässigkeitskennzahl ASIDI und dem Strukturparameter Lastdichte als hinreichend belastbar für die Berücksichtigung struktureller Unterschiede bei der Ermittlung des Qualitätselements.

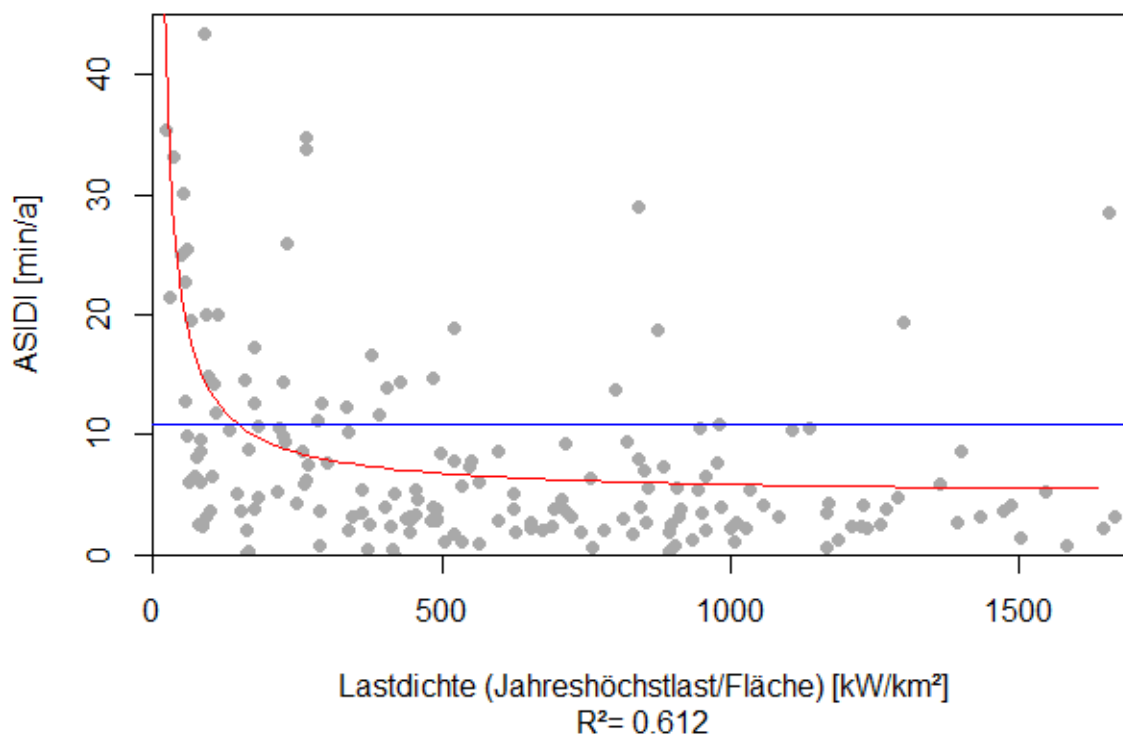


Bild 5.5: Regressionsfunktion (rote Linie) für den Strukturparameter MS-Lastdichte; blaue Linie: gewichteter mittlerer ASIDI (10,87 min/a)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	612,36	257,48	2,378	0,0184 *
b	4,82	0,82	5,8840	0,0000 ***
c	0,93	0,12	7,9170	0,0000 ***

Tabelle 5.9: Mittels Regression geschätzte Funktionsparameter für den Strukturparameter MS-Lastdichte, auffällige oder unplausible Werte rot markiert

5.2.1.2 Anschlussdichte LVT

Ergebnis KS-Test

Für den Strukturparameter Anschlussdichte LVT ergibt der KS-Test bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %, dass die Nullhypothese vollständig abgelehnt werden kann und der Unterschied der Mittelwerte zwischen allen betrachteten Klassen somit signifikant ist. Auch mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 % wird die Nullhypothese außer beim Vergleich der Klassen B und C abgelehnt, so dass auch mit einem Vertrauensniveau von 99 % von Signifikanz auszugehen ist (Tabelle 5.10).

	A	B	C
Mittelwert	10,56	6,58	4,99
Streuung	9,44	6,58	5,57
KS-Test 95%	positiv	positiv	positiv
KS-Test 99%	positiv	negativ	positiv

Tabelle 5.10: Ergebnis Signifikanztest für Parameter Anschlussdichte LVT

Ergebnis Regressionsanalyse

Auch für den Parameter Anschlussdichte LVT liefert die Regressionsanalyse eine hyperbolische Funktion mit einem Koeffizienten c innerhalb des erwarteten Wertebereichs (Bild 5.6,

Tabelle 5.11). Das Bestimmtheitsmaß R^2 ist mit knapp 0,43 jedoch deutlich geringer als beim Parameter Lastdichte.

Auch hier weisen die von der Regressionsfunktion weiter entfernt liegenden Datenpunkte mit ASIDI-Werten im Bereich von knapp 20 bis ca. 35 min/a Letztverbraucherzahlen zwischen knapp 20.000 und gut 50.000 auf, die angesichts der durchschnittlichen Letztverbraucherzahlen in Höhe von ca. 280.000 den Verlauf der Regressionsfunktion allenfalls geringfügig beeinflussen und somit nicht als kritische „Ausreißer“ zu werten sind.

Im Ergebnis erscheint auch dieser Parameter grundsätzlich geeignet, den Zusammenhang zwischen Zuverlässigkeit und gebietsstrukturellen Eigenschaften zu erfassen. Die Belastbarkeit dieses Zusammenhangs ist jedoch mit Blick auf das Bestimmtheitsmaß deutlich geringer als bei der Lastdichte. Dies könnte grundsätzlich darauf zurückzuführen sein, dass hier nur die Anschlüsse von Stationen mit Letztverbrauchertransformatoren betrachtet wurden, wohingegen für die hergeleitete Zunahme der Zuverlässigkeitskennzahl mit steigender Anschlussdichte (s. Abschnitt 3.4) sowohl Anschlüsse von Stationen mit Letztverbraucher- als auch mit Ortsnetztransformatoren relevant sind. Daher wird nachfolgend als weiterer möglicher Parameter die Anschlusspunktzahl von Stationen mit Ortsnetz- und Letztverbrauchertransformatoren bezogen auf geografische Fläche untersucht.

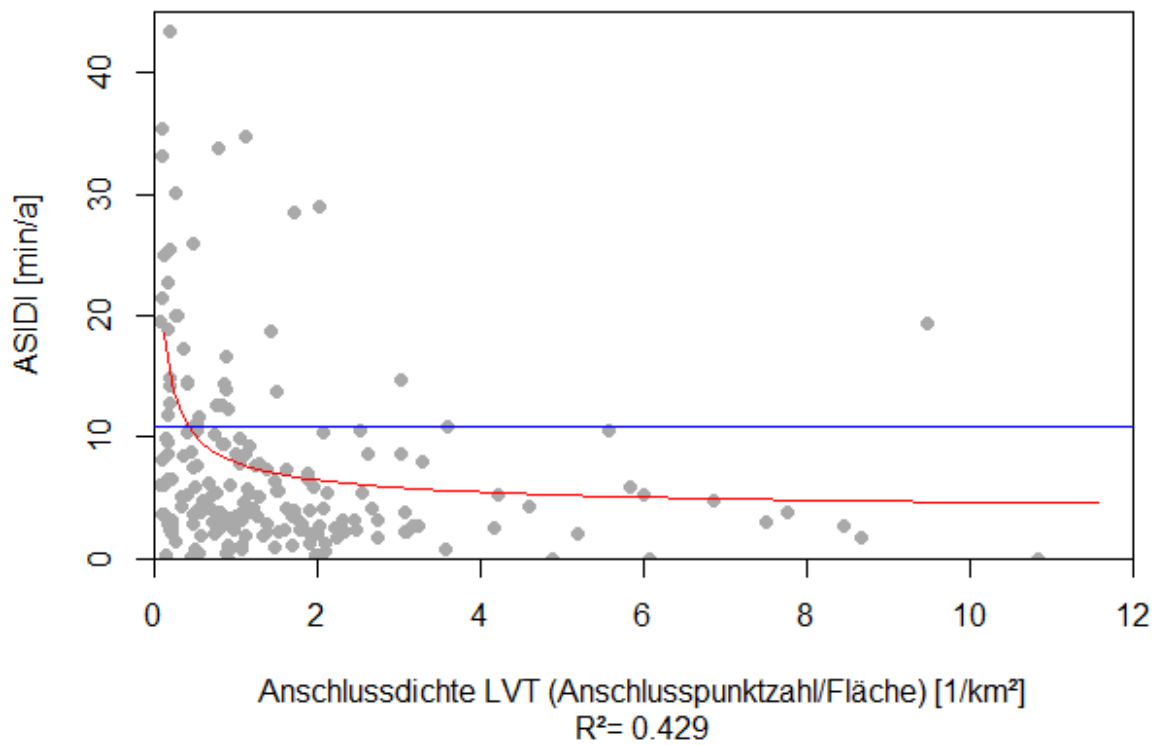


Bild 5.6: Regressionsfunktion (rote Linie) für den Strukturparameter Anschlussdichte LVT; blaue Linie: gewichteter mittlerer ASIDI (10,87 min/a)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	4,54	2,38	1,903	0,05860 .
b	3,37	2,32	1,454	0,14767
c	0,56	0,17	3,214	0,00154 ***

Tabelle 5.11: Mittels Regression geschätzte Funktionsparameter für den Strukturparameter Anschlussdichte LVT, auffällige oder unplausible Werte rot markiert

5.2.1.3 Anschlussdichte ONT&LVT

Ergebnis KS-Test

Anders als für den Strukturparameter Anschlussdichte LVT kann beim KS-Test für den Parameter Anschlussdichte ONT&LVT die Nullhypothese bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % nur noch teilweise abgelehnt werden. Sie wird bei beiden betrachteten Vertrauensniveaus beim Vergleich der Klassen B und C nicht abgelehnt, was insgesamt jedoch als unkritisch zu bewerten ist, da die Mittelwerte in den drei Klassen erwartungsgemäß mit steigender Anschlussdichte ONT&LVT abnehmen. Somit ist auch beim Strukturparameter Anschlussdichte ONT&LVT von Signifikanz auszugehen.

	A	B	C
Mittelwert	11,07	6,33	5,04
Streuung	9,22	7,14	5,40
KS-Test 95%	positiv	negativ	positiv
KS-Test 99%	positiv	negativ	positiv

Tabelle 5.12: Ergebnis Signifikanztest für Parameter Anschlussdichte ONT&LVT

Ergebnisse Regressionsanalyse

Die Regressionsfunktion für den Strukturparameter Anschlussdichte ONT&LVT weist im Vergleich zu der Funktion für den Strukturparameter Anschlussdichte LVT ein deutlich höheres Bestimmtheitsmaß R^2 auf (Bild 5.7), das nur leicht unterhalb des Bestimmtheitsmaßes der Regressionsfunktion für den Strukturparameter Lastdichte liegt. Allerdings weist der Koeffizient c einen Wert deutlich außerhalb des erwarteten Bereichs auf (Tabelle 5.13). Entsprechend liegt kein belastbarer und plausibler Zusammenhang vor. Daher wird dieser Strukturparameter, der darüber hinaus im Vergleich zur Lastdichte ein höheres Maß an endogenen Einflüssen aufweist, bei den nachfolgenden Untersuchungen nicht weiter betrachtet.

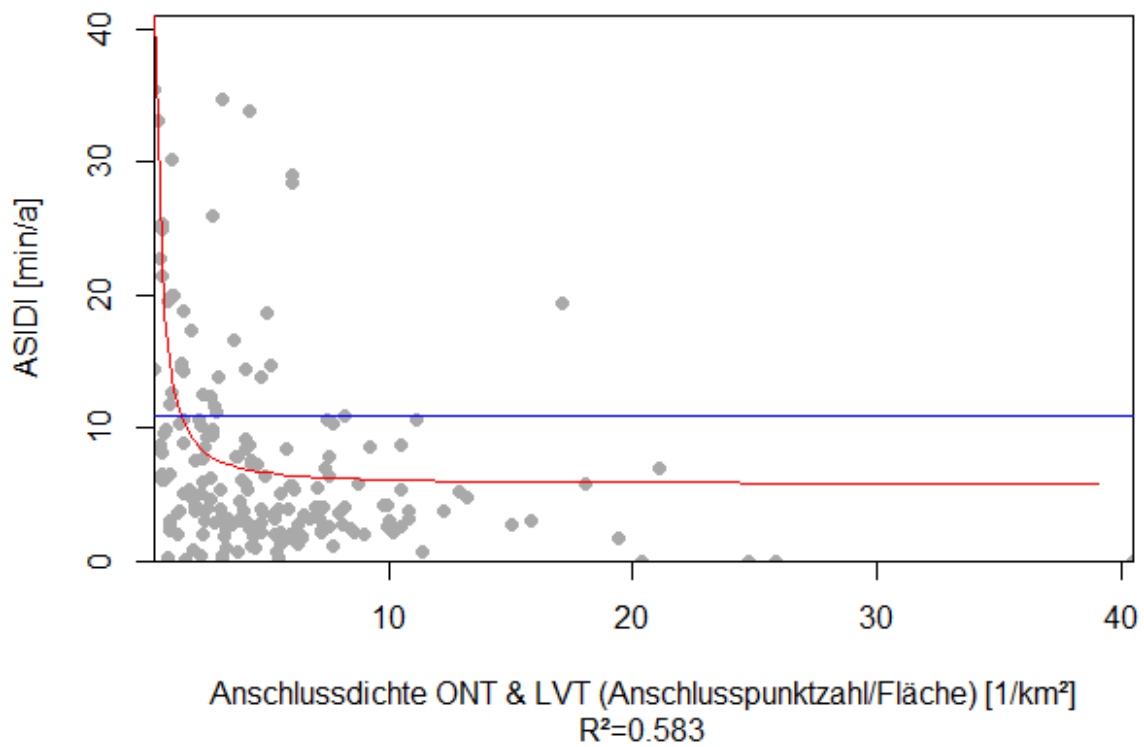


Bild 5.7: Regressionsfunktion (rote Linie) für den Strukturparameter Anschlussdichte ONT&LVT; blaue Linie: gewichteter mittlerer ASIDI (10,87 min/a)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	8,95	1,13	7,924	0.000***
b	5,78	0,72	8,066	0.000***
c	1,48	0,19	7,604	0.000***

Tabelle 5.13: Mittels Regression geschätzte Funktionsparameter für den Strukturparameter Anschlussdichte ONT&LVT, auffällige oder unplausible Werte rot markiert

5.2.1.4 Scheinleistungsdichte

Ergebnis KS-Test

Für den Parameter Scheinleistungsdichte wird beim KS-Test die Nullhypothese mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % vollständig abgelehnt, so dass der Unterschied der Mittelwerte aller betrachteten Klassen als signifikant zu werten ist. Auch mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 % wird die Nullhypothese bis auf den Vergleich der Klassen B und C abgelehnt, so dass auch mit einem Vertrauensniveau von 99 % von Signifikanz auszugehen ist (Tabelle 5.14).

	A	B	C
Mittelwert	11,81	5,63	4,69
Streuung	9,51	5,51	5,40
KS-Test 95%	positiv	positiv	positiv
KS-Test 99%	positiv	negativ	positiv

Tabelle 5.14: Ergebnis Signifikanztest für Parameter Scheinleistungsdichte

Ergebnisse Regressionsanalyse

Die Bemessungsscheinleistung ist eng mit der zeitgleichen Jahreshöchstlast korreliert. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson für eine lineare Abhängigkeit der beiden Größen beträgt 0,98, so dass bei einer Gegenüberstellung dieser beiden Parameter in einem Punktediagramm alle Wertepaare annähernd auf einer Geraden liegen⁵. Insofern ist es nicht überraschend, dass die Regressionsanalyse für diese beiden Parameter sehr ähnliche Ergebnisse liefert. Für die Scheinleistungsdichte ergibt sich ein etwas geringeres Bestimmtheitsmaß R^2 (Bild 5.8) und ein leicht außerhalb des erwarteten Wertebereichs liegender Koeffizient c (Tabelle 5.15).

Diese Ergebnisse sprechen zunächst nicht für eine Ablehnung der Scheinleistungsdichte 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

⁵ Lügen alle Punkte auf einer Geraden, nähme der Koeffizient den Wert 1 an.

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.

Daher und angesichts der ohnehin sehr hohen Korrelation mit der Lastdichte (s. o.) erscheint der Parameter Scheinleistungsdichte dem Parameter Lastdichte in der Eignung für die Referenzwertermittlung klar unterlegen.

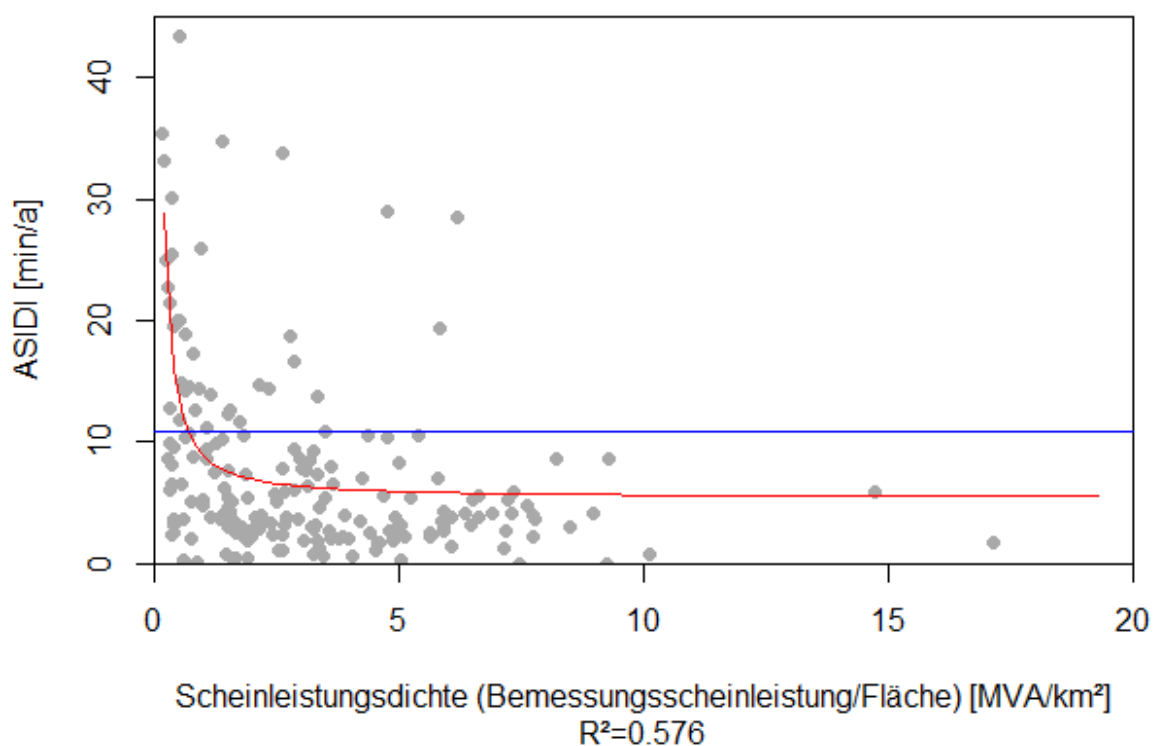


Bild 5.8: Regressionsfunktion (rote Linie) für den Strukturparameter Scheinleistungsdichte; blaue Linie: gewichteter mittlerer ASIDI (10,87 min/a)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	3,52	0,84	4,171	0,0000 ***
b	5,37	0,75	7,173	0,0000 ***
c	1,15	0,15	7,576	0,0000 ***

Tabelle 5.15: Mittels Regression geschätzte Funktionsparameter für den Strukturparameter Scheinleistungsdichte, auffällige oder unplausible Werte rot markiert

5.2.2 Gewichtungsgröße für die Regressionsanalyse

Nachfolgend wird beispielhaft für den Strukturparameter Lastdichte aufgezeigt, welche Auswirkungen die Wahl der Gewichtungsgröße auf die Ergebnisse der Regressionsanalyse hat. Wie in Abschnitt 3.6 erläutert, werden als alternative Gewichtungsgrößen die Bemessungsscheinleistung der Letztverbraucher- und Ortsnetztransformatoren sowie die zeitgleiche Jahreshöchstlast untersucht.

Die Verwendung der Bemessungsscheinleistung als Gewichtungsgröße führt im Vergleich zur Gewichtung mit der Letztverbraucherzahl des eigenen Mittel- und des eigenen nachgelagerten Niederspannungsnetzes sowie der eigenen HS-/MS- und der eigenen MS-/NS-Umspannebene zu einer Verbesserung des Bestimmtheitsmaßes R^2 von ca. 0,61 auf ca. 0,63 (Tabelle 5.16). Diese nur leichte Verbesserung der Güte der Schätzfunktion rechtfertigt den Übergang auf diese Gewichtungsgröße angesichts ihrer nicht unerheblichen Beeinflussbarkeit durch den Netzbetreiber nicht. Hierdurch könnte ein Anreiz entstehen, durch gezielte Erhöhung der Bemessungsscheinleistung das Gewicht des eigenen Datenpunkts bei der Regressionsanalyse zu erhöhen und so die Regressionsfunktion zum eigenen Vorteil zu beeinflussen.

Bei Verwendung der praktisch rein exogenen Größe Jahreshöchstlast für die Gewichtung sinkt das Bestimmtheitsmaß der Regressionsfunktion leicht auf ca. 0,58 ab. Eine ähnliche Tendenz ergibt sich auch, wenn diese Größe bei anderen Strukturparametern als der Lastdichte als Gewichtungsgröße verwendet wird.

Hieraus lässt sich folgern, dass die Jahreshöchstlast zwar grundsätzlich ebenfalls als Gewichtunggröße geeignet wäre, tendenziell jedoch zu etwas geringeren Bestimmtheitsmaßen führt als die Zahl der Letztverbraucher des eigenen Mittel- und des eigenen nachgelagerten Niederspannungsnetzes sowie der eigenen HS-/MS- und der eigenen MS-/NS-Umspannebene, so dass Letztere aus statistischen Gründen als Gewichtunggröße vorzugswürdig erscheint. Die im Weiteren dargestellten Untersuchungsergebnisse beruhen dementsprechend auch auf der Gewichtung mit der Zahl der Letztverbraucher des eigenen Mittel- und des eigenen nachgelagerten Niederspannungsnetzes.

Gewichtunggröße	Anzahl Letztverbraucher	Zeitgleiche Jahreshöchstlast	Bemessungs-scheinleistung
R^2	0,612	0,575	0,631

Tabelle 5.16: Höhe des Bestimmtheitsmaßes R^2 bei Veränderung der Gewichtunggröße bei Verwendung des Strukturparameters MS-Lastdichte

5.2.3 Weitere Strukturparameter

Neben den flächenbezogenen Strukturparametern werden für die Mittelspannungsebene die auf die Stromkreislänge bezogenen Parameter

- zeitgleiche Jahreshöchstlast bezogen auf MS-Stromkreislänge, Einheit kW/km,
- Anschlusspunktzahl LVT bezogen auf MS-Stromkreislänge, Einheit 1/km,
- Anschlusspunktzahl LVT&ONT bezogen auf MS-Stromkreislänge, Einheit 1/km und
- Bemessungsscheinleistung der Ortsnetz- und Letztverbrauchertransformatoren bezogen auf MS-Stromkreislänge, Einheit MVA/km

sowie aus informativen Gründen (s.u.) der Kabelanteil (Stromkreislänge MS-Kabel bezogen auf gesamte MS-Stromkreislänge, einheitslose Größe) auf ihren Zusammenhang mit der Zuverlässigkeitskennzahl ASIDI hin untersucht.

Die zu diesen Parametern durchgeführten Signifikanztests zeigen, dass zumindest die jeweiligen Vergleiche zwischen den Klassen A und B sowie A und C mit Vertrauensniveaus von 95 %

wie auch 99 % signifikante Unterschiede der Mittelwerte aufweisen. Ausführliche Darstellungen der Ergebnisse der Signifikanztests und der nachfolgend beschriebenen Regressionsanalysen finden sich im Anhang A.1.2.

Die Regressionsanalysen liefern für alle vier auf die Stromkreislänge bezogenen Parameter keine plausiblen Funktionsverläufe, u. a. da die Regressionsfunktionen die x-Achse schneiden und somit negative Werte annehmen können, was ingenieurwissenschaftlich nicht zu begründen ist. Im Ergebnis kann somit festgehalten werden, dass die längenbezogenen Strukturparameter nicht als Strukturparameter für die Referenzwertermittlung geeignet sind.

Der Parameter Kabelanteil führt bei der als plausibel zu erachtenden Annahme eines linearen Zusammenhangs zu einem Bestimmungsmaß R^2 von ca. 0,466 (s. Anhang A.1.2). Für die Mittelspannungsebene lässt sich somit der vermutete Einfluss des Kabelanteils auf das Zuverlässigkeitsniveau mit einer durchaus nennenswerten statistischen Bestimmtheit nachweisen. Diese Erkenntnis wird hier, wie bereits erwähnt, nur informationshalber wiedergegeben, da dieser Parameter aufgrund seiner stark endogenen Charakteristik nicht als Strukturparameter für die Referenzwertermittlung in Frage kommt.

5.2.4 Kombinationen von Strukturparametern

Abschließend werden basierend auf den Untersuchungsergebnissen für einzelne Strukturparameter ausgewählte Kombinationen jeweils zweier Parameter daraufhin untersucht, ob sich durch multiple Regressionsanalyse eine wesentliche Verbesserung des Bestimmtheitsmaßes erzielen lässt. Konkret werden Linearkombinationen von Strukturparametern betrachtet, für die die einfache Regression jeweils grundsätzlich plausible Schätzfunktionen liefert und die nicht – wie der Kabelanteil – aufgrund ihrer starken Endogenität als Parameter für die Referenzwertermittlung ausgeschlossen werden. Neben der flächenbezogenen Lastdichte sind dies die flächenbezogenen Größen Anschlussdichte und Bemessungsscheinleistungsdichte.

Um Scheinsignifikanzen zu vermeiden, muss bei multiplen Regressionsanalysen zunächst die wechselseitige Korrelation von einzelnen Strukturparametern überprüft werden. Dazu wird hier der Korrelationskoeffizient nach Pearson ausgewertet (Tabelle 5.17). Die drei betrachteten Strukturparameter weisen demnach eine hohe Korrelation untereinander auf. Bereits aufgrund dieses Ergebnisses lässt eine multiple Regression mit jeweils zwei dieser Strukturparameter keine zusätzliche Erkenntnis erwarten. Sie wurde der Vollständigkeit halber dennoch durchgeführt.

	Lastdichte	Anschlussdichte	Bemessungs- scheinleistungsdichte
Lastdichte	1		
Anschlussdichte	0,82	1	
Bemessungs- scheinleistungsdichte	0,98	0,80	1

Tabelle 5.17: Korrelationskoeffizienten zwischen jeweils zwei Strukturparametern

Die Ergebnisse der multiplen Regressionsanalysen bestätigen die Vermutung, dass hierdurch keine signifikante Verbesserung der Regressionsfunktion zu erreichen ist. Die Hinzunahme der Anschlussdichte bzw. Bemessungsscheinleistungsdichte zu der in jedem Fall berücksichtigten Lastdichte führt zwar zu einer leichten Verbesserung des Bestimmtheitsmaßes R^2 (s. Anhang A.1.2), die aber durch einen anschließend durchgeführten F-Test als nicht signifikant eingestuft wird bzw. zu unplausiblen Koeffizienten führt. Es erscheint daher nicht sinnvoll, bei der Referenzwertermittlung eine Kombination von zwei Strukturparametern (aus der Menge der Parameter, die bei einfacher Regression grundsätzlich plausible Zusammenhänge aufweisen) zu berücksichtigen.

6 Ergebniszusammenfassung und Empfehlungen

6.1 Niederspannungsebene

Die Ergebnisse der statistischen Analyse der für die Niederspannungsebene betrachteten Strukturparameter sind in Tabelle 6.1 im Überblick dargestellt.

Strukturparameter	Funktion	signifikant gemäß KS-Test (95 %)	Koeffizient c	R ²	Beurteilung
Lastdichte	a/X^c+b	ja (vollständig)	-1,34	0,006	c deutlich kleiner als erwartet, sehr geringes R ²
Lastdichte	$c*(X-a)^2+b$	ja (vollständig)	0,0	0,006	c wirkungslos, sehr geringes R ²
Anschlussdichte	a/X^c	ja (teilweise)	-0,07	0,002	c wie erwartet, sehr geringes R ² , b nicht bestimmbar
Letztverbraucherdichte	a/X^c+b	ja (teilweise)	-0,27	0,014	c wie erwartet, sehr geringes R ²
Letztverbraucherdichte	$c*(X-a)^2+b$	ja (teilweise)	0,00	0,024	c wirkungslos, sehr geringes R ²
Jahreshöchstlast/SKL	a/X^c+b	ja (teilweise)	-2,43	0,022	c deutlich kleiner als erwartet, sehr geringes R ² , teilweise endogen
Anschlusszahl/SKL		Nein	-	-	keine Signifikanz
Letztverbraucherzahl/SKL	a/X^c+b	ja (vollständig)	-2,85	0,042	c deutlich kleiner als erwartet, sehr geringes R ² , teilweise endogen

Tabelle 6.1: Überblick über Untersuchungsergebnisse für die Niederspannungsebene (SKL: Stromkreislänge)

Wie sich gezeigt hat, weist der KS-Test für die überwiegende Zahl der Parameter einen signifikanten Einfluss auf die Zuverlässigkeitskennzahl SAIDI aus oder kann einen solchen zumindest nicht eindeutig ausschließen. Gleichwohl ergibt sich bei keinem der Parameter eine Regressionsfunktion mit einem ansatzweise akzeptablen Bestimmtheitsmaß. Teilweise liegen die Koeffizienten der Funktionen zudem mehr oder weniger deutlich außerhalb des erwarteten Wertebereichs. Vielfach haben die Koeffizienten nur einen geringen Beitrag zum Erklärungsgehalt der Schätzfunktion. Darüber hinaus verlaufen die ermittelten Regressionsfunktionen

überwiegend sehr nah an der Linie des strukturabhängigen gewichteten Mittelwerts der Zuverlässigkeitskennzahl und wären schon deshalb für die Referenzwertermittlung kaum aussagekräftig.

Wir kommen daher zu dem Ergebnis, dass für die Niederspannungsebene auf Basis der vorliegenden Datengrundlage ein hinreichend belastbarer Zusammenhang zwischen der Zuverlässigkeitskennzahl SAIDI und einem der untersuchten Strukturparameter im Hinblick auf die Berücksichtigung gebietsstruktureller Unterschiede bei der Referenzwertermittlung nicht vorliegt. Wir empfehlen, für diese Netzebene den mit der Letztverbraucherzahl gewichteten Durchschnitt der Zuverlässigkeitskennzahlen aller berücksichtigten Netzbetreiber als einheitlichen Referenzwert zu verwenden. Dieser Wert liegt nach unseren Berechnungen bei 4,21 min/a.

6.2 Mittelspannungsebene

Tabelle 6.2 zeigt die Ergebnisse der statistischen Analyse der für die Mittelspannungsebene betrachteten Strukturparameter im Überblick.

Strukturparameter	Funktion	signifikant gemäß KS-Test (95 %)	Koeffizient c	R ²	Beurteilung
Lastdichte	a/X^c+b	ja (teilweise)	0,93	0,612	c wie erwartet, vglw. hohes R ²
Anschlussdichte	a/X^c+b	ja (vollständig)	0,56	0,429	c nah an Erwartung, mittleres R ²
Anschlüsse (ONT & LVT)/km ²	a/X^c+b	ja (teilweise)	1,48	0,583	c deutlich höher als erwartet, vglw. hohes R ² , teilweise endogen
Bemessungs-scheinleistungsdichte	a/X^c+b	ja (vollständig)	1,15	0,576	c nah an Erwartung, vglw. hohes R ² , teilweise endogen
Jahreshöchstlast/SKL	a/X^c+b	ja (teilweise)	0,75	0,535	c kleiner als erwartet, Funktionsverlauf unplausibel, teilweise endogen
Anschlusszahl/SKL	a/X^c+b	ja (teilweise)	0,21	0,187	c wie erwartet, Funktionsverlauf unplausibel, teilweise endogen
Anschlusszahl LVT&ONT/SKL	a/X^c+b	ja (teilweise)	1,09	0,316	c nah an Erwartung, Funktionsverlauf unplausibel, teilweise endogen
Bemessungs-scheinleistung/SKL	a/X^c+b	ja (teilweise)	0,76	0,461	c kleiner als erwartet, Funktionsverlauf unplausibel, teilweise endogen

Tabelle 6.2: Überblick über Untersuchungsergebnisse für die Mittelspannungsebene (SKL: Stromkreislänge)

Der KS-Test weist für alle untersuchten Strukturparameter einen signifikanten Einfluss auf die Zuverlässigkeitskennzahl ASIDI aus.

Bei den flächenbezogenen Strukturparametern ergeben sich bei der Lastdichte und der Anschlussdichte LVT Regressionsfunktionen mit Koeffizienten c innerhalb des erwarteten Wertebereichs. Bei der Bemessungsscheinleistungsdichte liegt c zumindest nah am Rand dieses Bereichs. Beim vierten untersuchten flächenbezogenen Strukturparameter Anschlussdichte ONT&LVT liegt der Koeffizient hingegen deutlich außerhalb des erwarteten Wertebereichs. Das höchste Bestimmtheitsmaß ergibt sich bei dem Strukturparameter Lastdichte, der zugleich als einziger der flächenbezogenen Parameter mit plausiblen Koeffizient c rein exogen und daher grundsätzlich vorzuzugswürdig ist. Das bei diesem Parameter erreichte Bestimmtheitsmaß erscheint ausreichend hoch, um von einem belastbaren Zusammenhang auszugehen.

Bei den längenbezogenen Strukturparametern ergeben sich hingegen durchweg unplausible Funktionsverläufe und deutlich geringere Bestimmtheitsmaße. Diese Parameter erscheinen daher im Vergleich zur Lastdichte nicht geeignet, zumal sie auch prinzipiell aufgrund des nicht rein exogenen Charakters der Stromkreislänge nicht vorzugswürdig wären.

Die Berücksichtigung einer Kombination von zwei der drei flächenbezogenen Strukturparameter mittels multipler Regressionsanalyse führt zu keiner signifikanten Verbesserung des Bestimmtheitsmaßes oder zu unplausiblen Koeffizienten. Die kombinierte Verwendung von zwei dieser Parameter für die Referenzwertermittlung erscheint daher nicht sinnvoll.

Für die Mittelspannungsebene kommen wir somit zu dem Ergebnis, dass der Strukturparameter Lastdichte einen hinreichend belastbaren Zusammenhang mit der Zuverlässigkeitskennzahl ASIDI aufweist und dass dieser Parameter von allen untersuchten Parametern am besten geeignet ist, als Maßstab für die Berücksichtigung gebietsstruktureller Unterschiede bei der Referenzwertermittlung für das Qualitätselement verwendet zu werden. Unter den untersuchten Gewichtungsgößen für die Ermittlung der Referenzwertfunktion mittels gewichteter Regression hat sich die Zahl der Letztverbraucher des eigenen Mittel- und des eigenen nachgelagerten Niederspannungsnetzes sowie der eigenen HS-/MS- und der eigenen MS-/NS-Umspannebene als geeignetste Größe herausgestellt. Wir empfehlen, für diese Netzebene die von uns ermittelte Regressionsfunktion für den Parameter Lastdichte zur Referenzwertermittlung zu verwenden. Diese Funktion lautet wie folgt:

$$\text{Referenzwert (in min/a)} = \frac{a}{X^c} + b$$

mit X = Lastdichte (in kW/km²)

$$a = 612,36$$

$$b = 4,82$$

$$c = 0,93$$

Literatur

- [1] CONSENTEC Consulting für Energiewirtschaft und -technik GmbH; Forschungsgem. für Elektrische Anlagen und Stromwirtschaft e. V. (FGH); Frontier Economics Ltd.
Konzeptionierung und Ausgestaltung des Qualitäts-Elements (Q-Element) im Bereich Netzzuverlässigkeit Strom sowie dessen Integration in die Erlösobergrenze
Gutachten für die Bundesnetzagentur, 20.10.2010, www.bundesnetzagentur.de
- [2] Lothar Sachs
Angewandte Statistik
Springer, 11. Auflage, ISBN 3-540-40555-0, S. 379ff

Anhang

A Anhang

A.1 Weitere Ergebnisse der statistischen Analyse

A.1.1 Niederspannungsebene

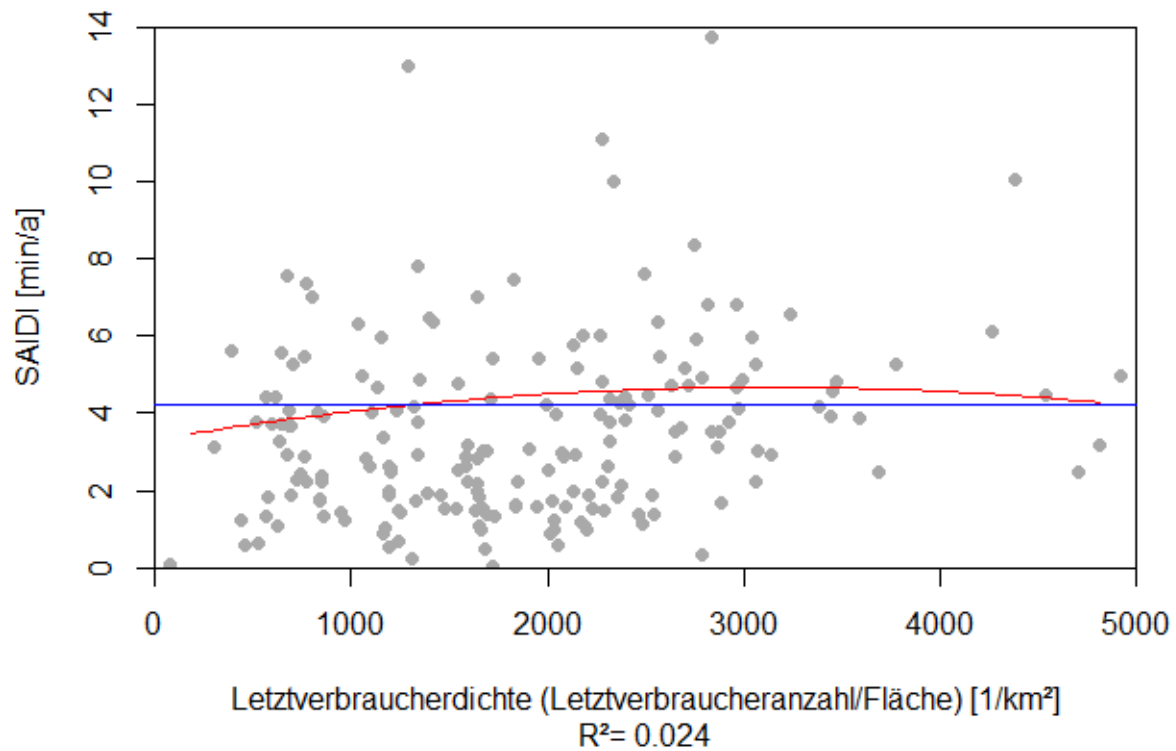


Bild A.1: Regressionsfunktion (rote Linie) für den Strukturparameter NS-Letzverbraucherichte bei angenommenem quadratischem Funktionszusammenhang; blaue Linie: gewichteter mittlerer SAIDI (4,21 min/a)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	3.128,00	582,80	5,367	0,00***
b	4,68	0,26	18,024	< 2e-16***
c	0,00	0,00	-1,512	0,132

Tabelle A.1: Mittels Regression geschätzte Funktionsparameter für den Strukturparameter NS-Letzterverbraucherichte bei angenommenem quadratischen Funktionszusammenhang, auffällige oder unplausible Werte rot markiert

	A	B	C
Mittelwert	3,41	3,14	4,05
Streuung	2,23	2,01	2,57
KS-Test 95%	negativ	positiv	positiv
KS-Test 99%	negativ	positiv	negativ

Tabelle A.2: Ergebnis Signifikanztest für Parameter Jahreshöchstlast NS bezogen auf NS-Stromkreislänge

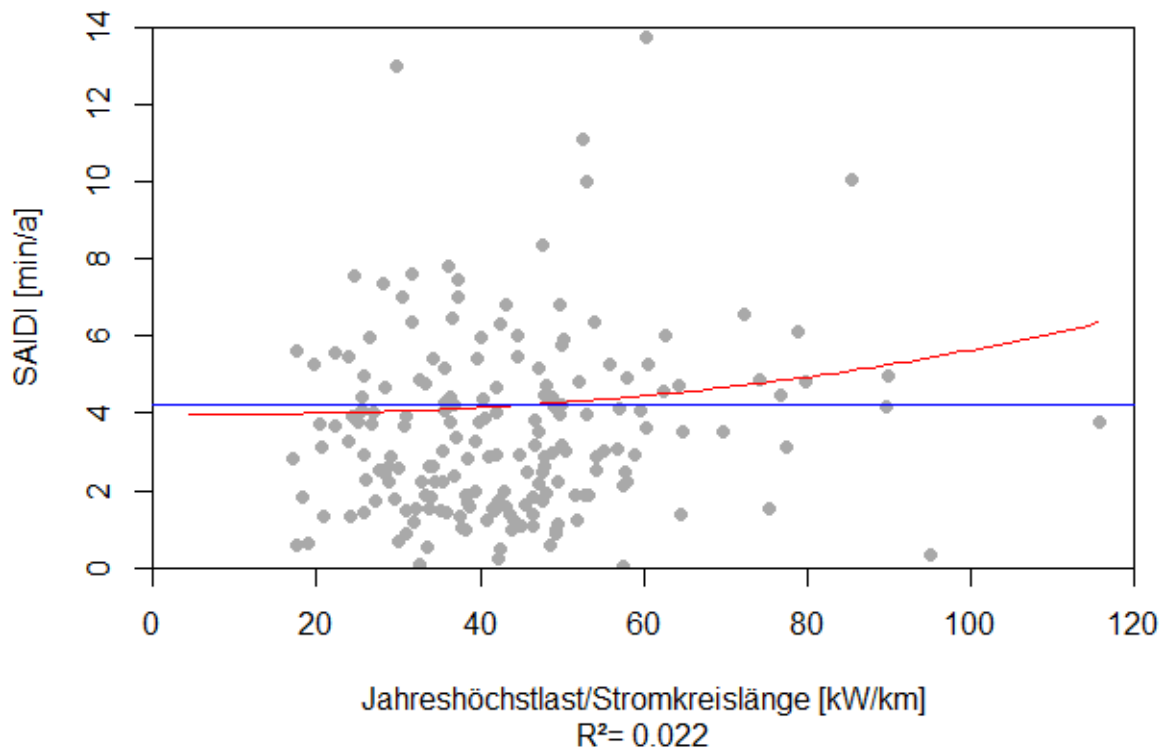


Bild A.2: Regressionsfunktion (rote Linie) für den Strukturparameter Jahreshöchstlast NS bezogen auf NS-Stromkreislänge; blaue Linie: gewichteter mittlerer SAIDI (4,21 min/a)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	0,00	0,00	0,0990	0,9210
b	3,97	0,33	12,151	<2e-16***
c	-2,43	2,23	-1,090	0,277

Tabelle A.3: Mittels Regression geschätzte Funktionsparameter für Strukturparameter Jahreshöchstlast NS bezogen auf NS-Stromkreislänge, auffällige oder unplausible Werte rot markiert

	A	B	C
Mittelwert	3,24	3,68	3,53
Streuung	2,17	2,29	2,41
KS-Test 95%	negativ	negativ	negativ
KS-Test 99%	negativ	negativ	negativ

Table A.4: Ergebnis Signifikanztest für Parameter NS-Anschlusspunktzahl bezogen auf NS-Stromkreislänge

	A	B	C
Mittelwert	3,35	2,86	4,31
Streuung	2,25	1,84	2,48
KS-Test 95%	positiv	positiv	positiv
KS-Test 99%	negativ	positiv	positiv

Table A.5: Ergebnis Signifikanztest für Parameter NS-Letzterverbraucherzahl bezogen auf NS-Stromkreislänge

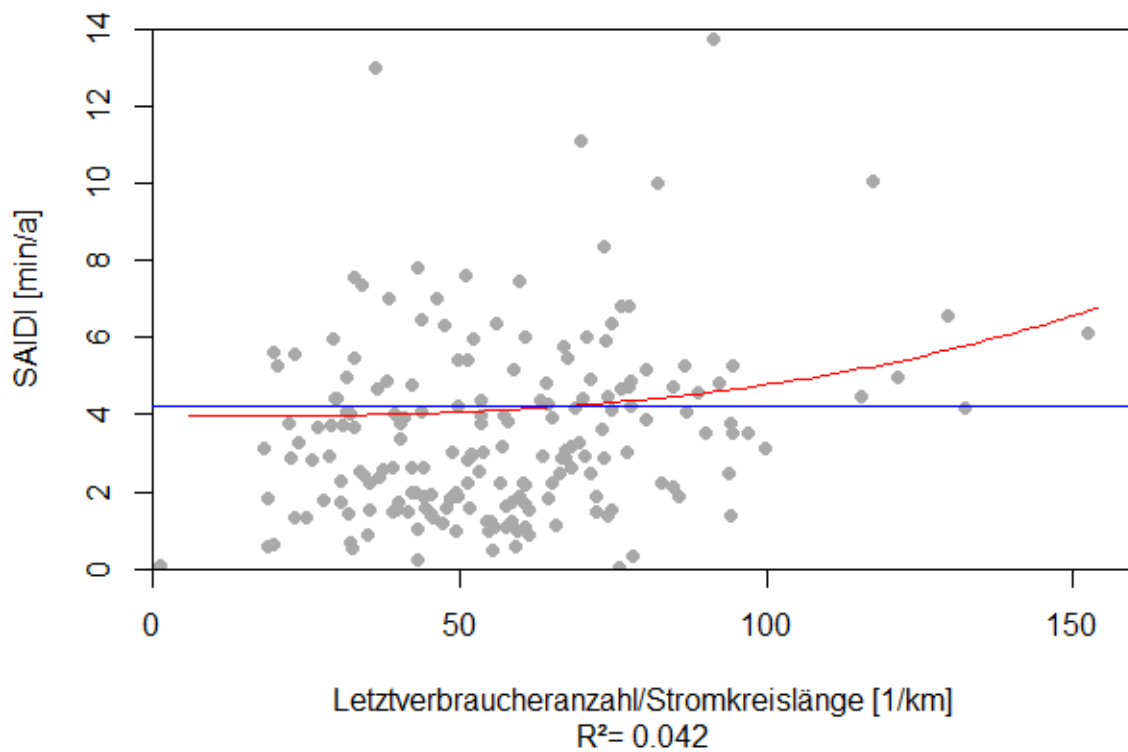


Bild A.3: Regressionsfunktion (rote Linie) für den Strukturparameter NS-Letzterverbraucherzahl bezogen auf NS-Stromkreislänge; blaue Linie: gewichteter mittlerer SAIDI (4,21 min/a)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	0,00	0,00	0,120	0,9045
b	3,96	0,23	16,923	<2e-16***
c	-2,85	1,71	-1,661	0,0984 .

Tabelle A.6: Mittels Regression geschätzte Funktionsparameter für den Strukturparameter NS-Letzterverbraucherzahl bezogen auf NS-Stromkreislänge, auffällige oder unplausible Werte rot markiert

	A	B	C
Mittelwert	3,64	3,44	3,42
Streuung	2,11	2,08	2,62
KS-Test 95%	negativ	negativ	negativ
KS-Test 99%	negativ	negativ	negativ

Table A.7: Ergebnis Signifikanztest für Parameter NS-Kabelanteil

A.1.2 Mittelspannungsebene

	A	B	C
Mittelwert	11,67	5,24	5,21
Streuung	10,22	4,26	5,42
KS-Test 95%	positiv	negativ	positiv
KS-Test 99%	positiv	negativ	positiv

Table A.8: Ergebnis Signifikanztest für Parameter Jahreshöchstlast MS bezogen auf MS-Stromkreislänge

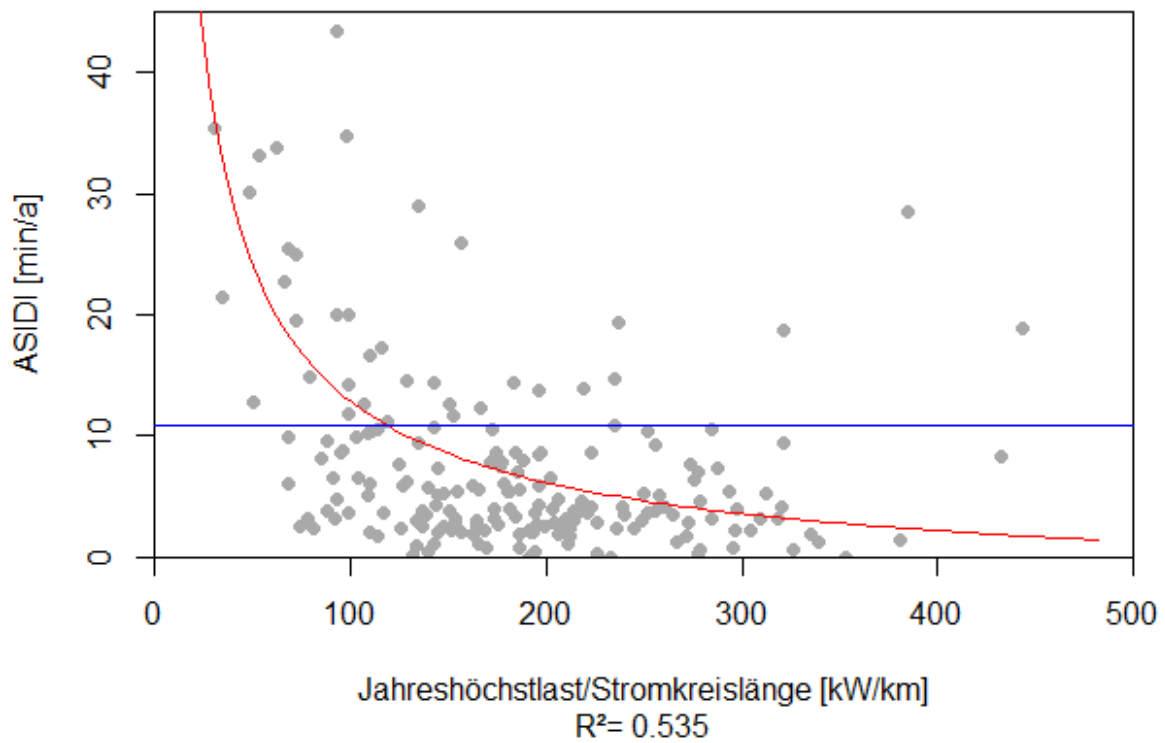


Bild A.4: Regressionsfunktion (rote Linie) für den Strukturparameter Jahreshöchstlast MS bezogen auf MS-Stromkreislänge; blaue Linie: gewichteter mittlerer ASIDI (10,87 min/a)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	518,91	356,34	1,456	0,1470
b	-3,72	4,51	-0,824	0,4111
c	0,75	0,21	3,555	0,0005 ***

Tabelle A.9: Mittels Regression geschätzte Funktionsparameter für Jahreshöchstlast MS bezogen auf MS-Stromkreislänge, auffällige oder unplausible Werte rot markiert

	A	B	C
Mittelwert	10,59	6,44	5,14
Streuung	9,77	6,94	4,506
KS-Test 95%	positiv	negativ	positiv
KS-Test 99%	positiv	negativ	positiv

Tabelle A.10: Ergebnis Signifikanztest für Parameter Anschlusspunktzahl LVT bezogen auf MS-Stromkreislänge

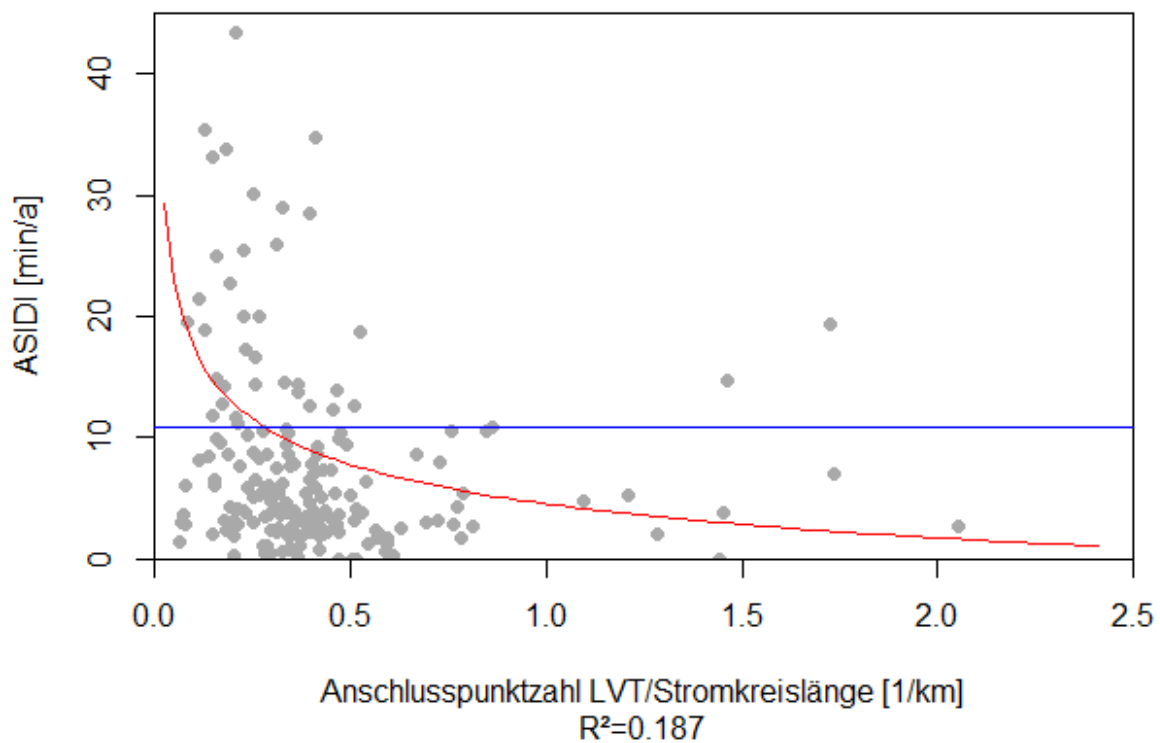


Bild A.5: Regressionsfunktion (rote Linie) für den Strukturparameter Anschlusspunktzahl LVT bezogen auf MS-Stromkreislänge; blaue Linie: gewichteter mittlerer ASIDI (10,87 min/a)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	20,21	46,81	0,432	0,666
b	-15,71	48,36	-0,325	0,746
c	0,21	0,38	-0,567	0,572

Tabella A.11: Mittels Regression geschätzte Funktionsparameter für Anzahl MS-Anschlusspunktzahl bezogen auf MS-Stromkreislänge, auffällige oder unplausible Werte rot markiert

	A	B	C
Mittelwert	11,07	6,33	5,04
Streuung	9,22	7,14	5,40
KS-Test 95%	positiv	negativ	positiv
KS-Test 99%	positiv	negativ	positiv

Tabella A.12: Ergebnis Signifikanztest für Parameter Anschlusspunktzahl LVT&ONT bezogen auf MS-Stromkreislänge

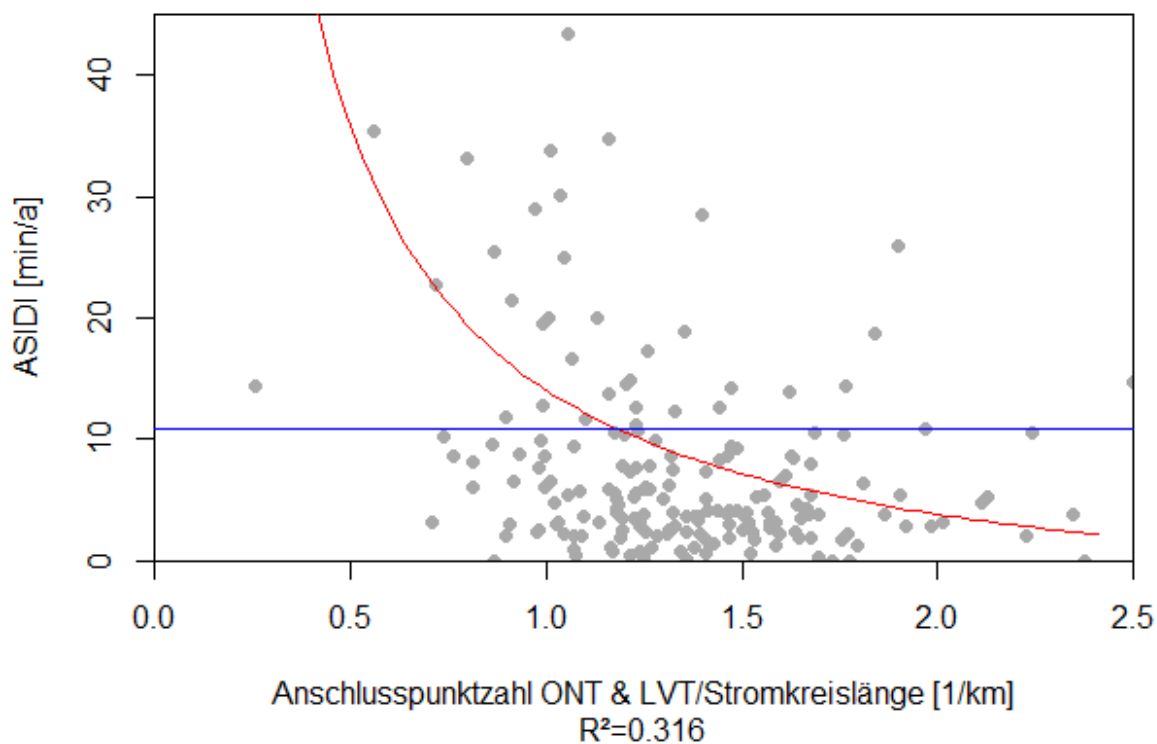


Bild A.6: Regressionsfunktion (rote Linie) für den Strukturparameter Anschlusspunktzahl LVT&ONT bezogen auf MS-Stromkreislänge; blaue Linie: gewichteter mittlerer ASIDI (10,87 min/a)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	19,27	6,92	2,785	0,0059 **
b	-5,23	6,61	-0,792	0,4291
c	1,09	0,40	2,739	0,0068 **

Tabelle A.13: Mittels Regression geschätzte Funktionsparameter für Anzahl Anschlusspunktzahl LVT&ONT bezogen auf MS-Stromkreislänge, auffällige oder unplausible Werte rot markiert

	A	B	C
Mittelwert	11,92	5,34	5,01
Streuung	10,05	4,75	5,06
KS-Test 95%	positiv	negativ	positiv
KS-Test 99%	positiv	negativ	positiv

Tabelle A.14: Ergebnis Signifikanztest für Parameter Bemessungsscheinleistung bezogen auf MS-Stromkreislänge

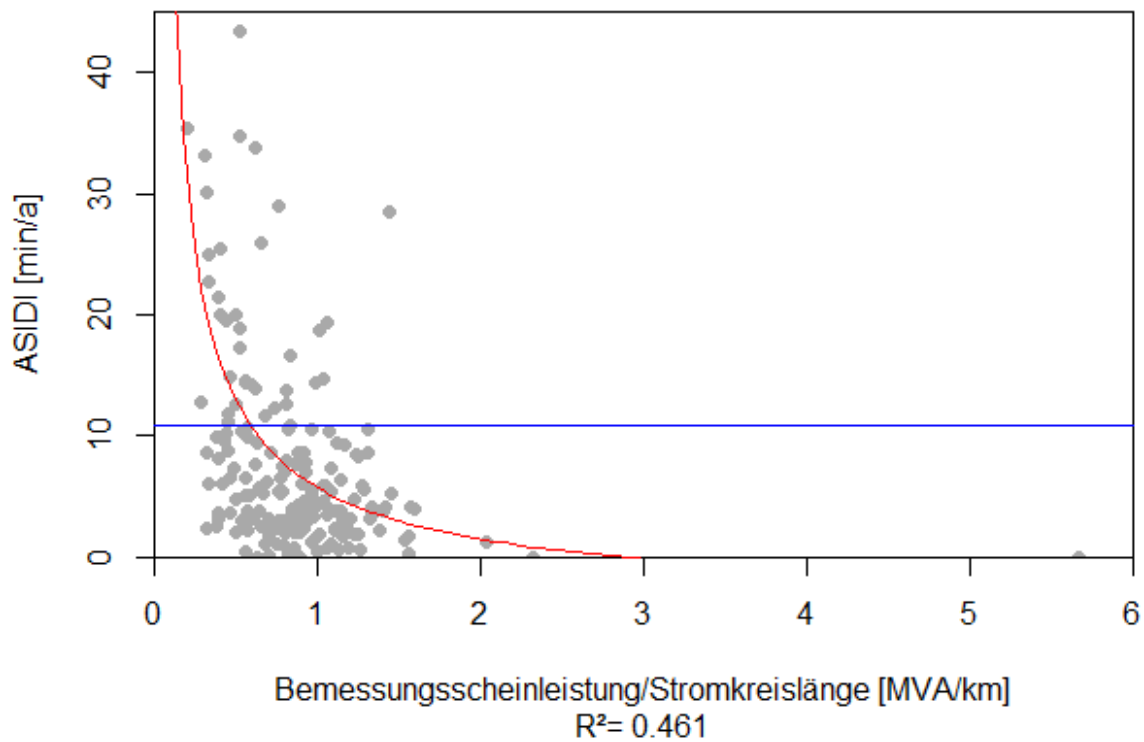


Bild A.7: Regressionsfunktion (rote Linie) für den Strukturparameter Bemessungsscheinleistung bezogen auf MS-Stromkreislänge; blaue Linie: gewichteter mittlerer ASIDI (10,87 min/a)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	10,33	6,3632	1,623	0,1062
b	-4,64	6,5533	-0,708	0,4798
c	0,76	0,3221	2,371	0,0187 *

Tabelle A.15: Mittels Regression geschätzte Funktionsparameter für Bemessungsscheinleistung bezogen auf MS-Stromkreislänge, auffällige oder unplausible Werte rot markiert

	A	B	C
Mittelwert	12,33	5,35	4,43
Streuung	9,48	5,65	4,53
KS-Test 95%	positiv	negativ	positiv
KS-Test 99%	positiv	negativ	positiv

Tabelle A.16: Ergebnis Signifikanztest für Parameter MS-Kabelanteil

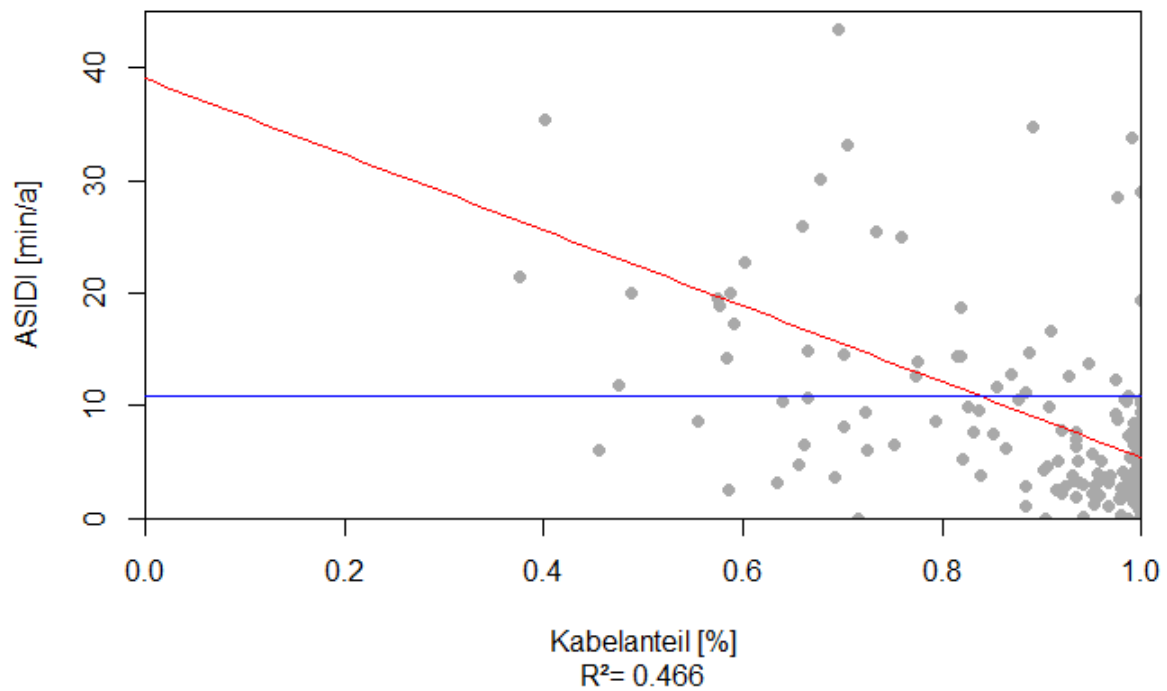


Bild A.8: Regressionsfunktion (rote Linie) für den Strukturparameter MS-Kabelanteil bei unterstelltem linearen Zusammenhang ($a * X + b$); blaue Linie: gewichteter mittlerer ASIDI (10,87 min/a)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	-33,64	2,62	-12,82	<2e-16 ***
b	39,03	2,24	17,45	<2e-16 ***

Tabelle A.17: Mittels Regression geschätzte Funktionsparameter für MS-Kabelanteil bei unterstelltem linearen Funktionszusammenhang ($Y = a * X + b$), auffällige oder unplausible Werte rot markiert

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	445,86	189,17	2,357	0,0195 *
c	0,79	0,13	5,891	0,0000***
d	-35,78	655,01	-0,055	0,9565
e	0,03	0,52	0,055	0,9558
b	38,98	654,26	0,060	0,9526

Table A.18: Mittels multipler Regression geschätzte Funktionsparameter für Linearkombination aus Lastdichte (X) und Anschlussdichte(Z) ($Y = (a/X^c) + (d/Z^e) + b$), auffällige oder unplausible Werte rot markiert, $R^2 = 0,617$

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	228,75	161,89	1,413	0,1593
c	0,70	0,18	3,908	0,0001 ***
d	0,02	0,06	0,303	0,7621
e	3,61	1,75	2,063	0,0405 *
b	4,02	1,32	3,047	0,0027 **

Table A.19: Mittels multipler Regression geschätzte Funktionsparameter für Linearkombination aus Lastdichte (X) und Bemessungsscheinleistungsdichte (Z) ($Y = (a/X^c) + (d/Z^e) + b$), auffällige oder unplausible Werte rot markiert, $R^2 = 0,623$