

Aufbereitung realer Verbrauchsdaten zur Modellierung einer regenerativen elektrischen Vollversorgung in der Metropolregion Nürnberg

Bachelorarbeit

Name: Katharina Will
E-Mail: ina.will@live.com
Hochschule: Technische Hochschule Nürnberg
Studiengang: Maschinenbau Vertiefungsrichtung Energietechnik
Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Matthias Popp
Zweitprüfer: Prof. Dr. Frank Opferkuch

Inhalt

1. Einleitung	2
2. Die Ausgangssituation	4
2.1. Die europäische Metropolregion Nürnberg (EMN)	4
2.2. MERRA-2	5
3. Das Stromnetz in Deutschland	7
3.1. Der Aufbau des Netzes und die Netzebenen	7
3.3. Erfassung der verbrauchten elektrischen Energie	10
4. Pflichtveröffentlichungen nach Bundesnetzagentur	11
5. Die Datenakquise	13
6. Die Auswertung der Daten	18
6.1. Die starke Uneinheitlichkeit der veröffentlichten Daten	18
6.1.1. Das Format	18
6.1.2. Unvollständigkeiten	22
6.1.3. Begriffliche Uneindeutigkeiten	25
7. Die Auswertung	27
7.1. Die Auswertung der aufbereiteten Verbrauchszeitreihen	28
7.2. Die Auswertung anhand der Pflichtveröffentlichungen	29
7.3. Die Flächennetzbetreiber Bayernwerk und Main-Donau Netzgesellschaft	31
7.3.2. Die <i>Main-Donau Netzgesellschaft</i>	31
7.3.2. Das Bayernwerk	34
7.4. Auswertung der Netzbetreiber ohne verwendbare Lastgänge	37
7.4.1. Nachgelagerte Netzbetreiber der MDN	37
7.4.2. Nachgelagerte Netzbetreiber des Bayernwerks	37
7.4.3. Die Flächennetzbetreiber <i>Unterfränkische Überlandzentrale (UEZ)</i> und <i>Thüringer Energienetze (TEN)</i>	41

7.5. Netzbetreiber in 2 Rasterfeldern	41
7.6 Unschärfen	42
8. Die Lastverläufe der 17 Teilgebiete	44
9. Ausblick	56
10. Quellen	58
11. Anhang	60

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die Landkreise der EMN (Metropolregion Nürnberg 2019)	4
Abbildung 2: Die EMN aufgeteilt auf die MERRA-2 Rastergebiete (Bildmontage Katharina Will; Datenquellen: <i>Google Earth</i> , Metropolregion Nürnberg 2019).....	5
Abbildung 3: Der Aufbau des deutschen Stromnetzes (BMW 2020)	8
Abbildung 4: Erste E-Mail an die Verteilnetzbetreiber. Hier: <i>Infra Fürth</i>	14
Abbildung 5: Zweite Email an die Verteilnetzbetreiber. Hier: Stadtwerke Dettelbach	16
Abbildung 6: Kooperationsbereitschaft der Verteilnetzbetreiber in der EMN.....	17
Abbildung 7: Vorgaben zur Form der Veröffentlichungspflichten (Bundesnetzagentur 2008)	19
Abbildung 8: Darstellung von Datum und Uhrzeit am Beispiel von Ebersdorf.....	20
Abbildung 9: Darstellung von Datum und Uhrzeit am Beispiel von Herzogenaurach	20
Abbildung 10 Darstellung der geforderten Informationen am Beispiel von Ebersdorf	21
Abbildung 11: Darstellung der geforderten Informationen am Beispiel von Herzogenaurach	21
Abbildung 12: Veröffentlichung von Abs. 2 Nr. 6 der Stadtwerke Amberg.....	23
Abbildung 13: Netzstrukturmerkmale der Gemeindewerke Wilhermsdorf	24
Abbildung 14: Die Qualität der Pflichtveröffentlichungen	26
Abbildung 15: Auswertemethoden bei den verschiedenen Netzbetreibern.....	28
Abbildung 16: Ermittlung des Gesamtstromverbrauchs aus den Pflichtveröffentlichungen der Licht- und Kraftwerke Sonneberg	29
Abbildung 17: Auszug aus der Verbrauchszeitreihe der Licht- und Kraftwerke Sonneberg ...	30
Abbildung 18: Graphische Darstellung der Zeitreihe der Licht- und Kraftwerke Sonneberg .	30
Abbildung 19: Auswertung des Verbrauchs der Stadtwerke Zirndorf	31
Abbildung 20: Netzgebiet der <i>MDN</i> in der Metropolregion Nürnberg (Bildmontage Katharina Will; Datenquellen: <i>Google Earth</i> , Metropolregion Nürnberg 19, N-ERGIE Netz GmbH 2020).....	32
Abbildung 21: Berechnung des prozentualen Anteils des Verbrauchs des Teilgebiets 11 am Gesamtverbrauch	33
Abbildung 22: Ermittlung des Lastgangs von Teilgebiet 11	33

Abbildung 23: Netzgebiet des <i>Bayernwerks</i> in der Metropolregion Nürnberg (Bildmontage Katharina Will; Datenquellen: <i>Google Earth</i> , Metropolregion Nürnberg 2019, Bayernwerk 2020).....	35
Abbildung 24: Ermittlung des prozentualen Verbrauchs des Teilgebiets 13	36
Abbildung 25: Berechnung des Lastgangs des Teilgebiets 13	36
Abbildung 26: Die Jahres- und Pro-Kopf-Verbräuche der nachgelagerten Netzbetreiber im Bayernwerknetz	39
Abbildung 27: Ermittelte Jahresverbräuche der Netzbetreiber ohne Verbrauchsdaten	40
Abbildung 28: Ermittlung des anteiligen Lastverbrauchs von Gebiet 7 der Netzbetreiber ohne Verbrauchsdaten	40
Abbildung 29: Ausschnitt aus der Arbeitsmappe <i>Rastergebiete</i> der Verbrauchsaufbereitung der <i>Stadtwerke Zirndorf</i>	42
Abbildung 30: Zusammenaddieren der Einzellastverläufe zu einem Gesamtlastgang von Gebiet 6	44
Abbildung 31: Nachgelagerte Netzbetreiber des Bayernwerks in Gebiet 6.....	44
Abbildung 32: Übersicht über die EMN Teilgebiete.....	45
Abbildung 33: Jahresverbrauch der EMN Teilgebiete	46
Abbildung 34: Mittlerer Verbrauch der EMN Teilgebiete	47
Abbildung 35: Pro-Kopf-Verbrauch der EMN Teilgebiete.....	48
Abbildung 36: Prozentualer Minimal- und Maximalverbrauch der EMN-Teilgebiete	49
Abbildung 37: Prozentuale Minimal- und Maximalverbräuche.....	50
Abbildung 38: Gesamtlastverlauf der EMN	51
Abbildung 39: Lastverläufe von Gebiet 6 und 11	53
Abbildung 40: Prozentuale Lastverläufe von Gebiet 6 und 11	55

Abkürzungsverzeichnis

BW	Bayernwerk
EMN	Europäische Metropolregion Nürnberg
HöS	Höchstspannung
HS	Hochspannung
MDN	Main-Donau Netzgesellschaft
MS	Mittelspannung
MERRA-2	Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NS	Niederspannung
RLM	Registrierende Leistungsmessung
SLP	Standardlastprofil
TEN	Thüringer Energienetze
UEZ	Unterfränkische Überlandzentrale

1. Einleitung

Der Klimawandel und die Frage, wie man dieser Entwicklung noch entgegenwirken kann, ist zu einem dominierenden Thema in den Medien geworden.

Die Antwort des deutschen Umwelt Bundesamtes besteht darin, die Treibhausgasemissionen bis 2050 im Vergleich zu 1990 um 80-95 Prozent zu senken und dafür erneuerbare Energiequellen auszubauen. So soll noch verhindert werden, dass die Zwei-Grad Obergrenze der Erwärmung überschritten wird (Umwelt Bundesamt 2020). Nach dem Atomausstieg soll Deutschland bis spätestens 2038 auch keine Kohlekraftwerke mehr betreiben (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2020). Damit verbleiben im Wesentlichen Sonne, Wind, Biomasse und Laufwasser als Energieerzeuger, wobei das technische Potential der Wasserkraft in Deutschland nahezu ausgeschöpft ist (Umwelt Bundesamt 2020). Stromerzeugung aus Wind und Sonne ist uhrzeit- und saisonabhängig und Erzeugung und Verbrauch nicht zeitlich deckungsgleich. Um auch an sonnenlosen und windstillen Tagen den Energiebedarf decken zu können, bedarf es einer Möglichkeit in Phasen mit Erzeugungsüberschuss den Strom zu speichern, um damit Defizitphasen überbrücken zu können.

Auch regional zeigen sich deutliche Unterschiede des Potentials für die verschiedenen regenerativen Erzeugungsanlagen. Um eine ideale Versorgungsstruktur aufbauen zu können, muss daher zunächst der Stromverbrauch in den jeweiligen Gebieten ermittelt werden. Erst dann ist es möglich, die Anzahl der noch aufzubauenden Erzeugungsanlagen zu bestimmen und Speicherkapazitäten zu dimensionieren.

In dieser Bachelorarbeit wird der Fokus auf der Europäischen Metropolregion Nürnberg liegen. Diese lässt sich auf 17 Planquadrate gemäß der *NASA* Datenbank *MERRA-2* aufteilen. In dieser sind jeweils stündliche Werte aller für die für Wind- und Photovoltaikanalagen wichtigen Wetterdaten verzeichnet. Für diese Gebiete soll jeweils eine Stromverbrauchszeitreihe aus den tatsächlichen Verbräuchen modelliert werden, mit deren Hilfe der ideale Versorgungsmix bestimmt werden kann.

Die ursprüngliche Intention der Arbeit war es, anschließend auch die Versorgungsanalyse für eine vollständige regenerative Stromversorgung für alle Teilregionen durchzuführen und die nötige Speicherkapazität zu bestimmen. Allerdings erwies sich die Beschaffung und

Auswertung der Verbrauchsdaten sehr bald als so herausfordernd und zeitaufwendig, dass das Thema auf die Modellierung der 17 Verbrauchszeitreihen für das Jahr 2018 reduziert wurde. Auf die genannten Problematiken wird im weiteren Verlauf noch ausführlich eingegangen.

2017 beschäftigte sich Bernhard Römisch bereits in seiner Masterarbeit mit der Möglichkeit deutschlandweit die Verbrauchszeitreihen der einzelnen Netzgebiete mit Hilfe eines Programmes automatisiert zu bestimmen, scheiterte aber an der Verfügbarkeit der Daten und der Kooperation der Netzbetreiber. Sein Excel-Tool *Grunddatenbank* wird im Weiteren ein wichtiges Instrument sein. Auf seine Arbeit wird noch mehrmals Bezug genommen werden.

2. Die Ausgangssituation

Im Folgenden soll ein Überblick über die Metropolregion Nürnberg und deren Aufteilung in der Datenbank *MERRA-2* gegeben werden.

2.1. Die europäische Metropolregion Nürnberg (EMN)

Die europäische Metropolregion Nürnberg ist im Norden Bayerns gelegen und umfasst eine Fläche von 21.800 km², aufgeteilt in 23 Landkreise und 11 kreisfreie Städte. Die Einwohnerzahl beträgt 3,5 Mio. Menschen, was eine Bevölkerungsdichte von 160 Einwohnern/ km² ergibt. 150.000 Unternehmen, 20 Hochschulen und Universitäten und 53 Forschungseinrichtungen sind in der EMN angesiedelt. (Metropolregion Nürnberg 2020)

Diese vielseitig geprägte, wirtschaftsstarke Region eignet sich gut, die deutschlandweite Frage der Energiewende zu veranschaulichen.

In Abbildung 1 sind die verschiedenen Landkreise der EMN abgebildet:



Abbildung 1: Die Landkreise der EMN (Metropolregion Nürnberg 2019)

2.2. MERRA-2

Wie in der Einleitung bereits dargelegt, eignet sich die NASA Datenbank *MERRA-2* dafür, die stündlichen Wetterdaten für Rasterfelder von je $0,625^\circ$ Länge und $0,5^\circ$ Breite zu bestimmen. (MERRA-2 2020). Dies entspricht einer West-Ost Distanz von circa 45 und einer Nord-Süd Distanz von 56 km.

In Abbildung 2 sieht man die Aufteilung der Metropolregion auf die 17 Felder:

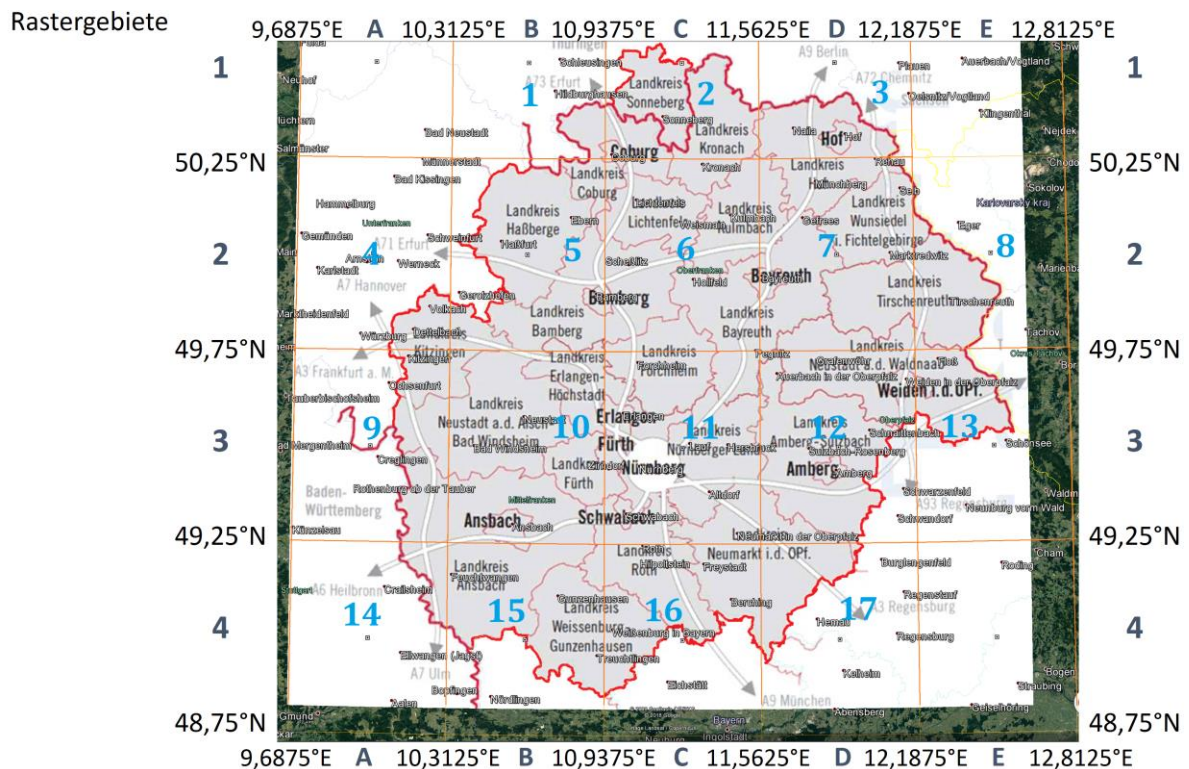


Abbildung 2: Die EMN aufgeteilt auf die MERRA-2 Rastergebiete (Bildmontage Katharina Will; Datenquellen: Google Earth, Metropolregion Nürnberg 2019)

Die Zuordnung der einzelnen Städte und Gemeinden zu diesen Rastergebieten erfolgt anhand des Exceltools *Grunddatenbank* von Bernhard Römisch (Römisch 2017). In diesen werden die das Quadrat begrenzenden Längen und Breitengrade eingegeben und das Programm ermittelt alle darin liegenden Gemeinden, deren Einwohnerzahl und den zuständigen Verteilnetzbetreiber. Das Programm bestimmt aufgrund des Koordinatenmittelpunkts des Postleitzahl-Gebietes, ob eine Ortschaft sich innerhalb des ausgewählten Gebiets befindet.

Da nur 3 der Quadrate vollständig in der Metropolregion liegen, muss bei allen anderen zuerst überprüft werden, welche Gemeinden tatsächlich zur EMN gehören. Diese Zuordnung lässt

sich am einfachsten über die Landkreise und die dazugehörigen Postleitzahlen durchführen (Römisch 2017, S. 5-7).

3. Das Stromnetz in Deutschland

Im folgenden Kapitel werden der Aufbau des deutschen Stromnetzes erläutert sowie für die nachfolgende Arbeit wichtige Begriffe eingeführt.

3.1. Der Aufbau des Netzes und die Netzebenen

In Abbildung 3 ist der Aufbau des deutschen Stromnetzes abgebildet:

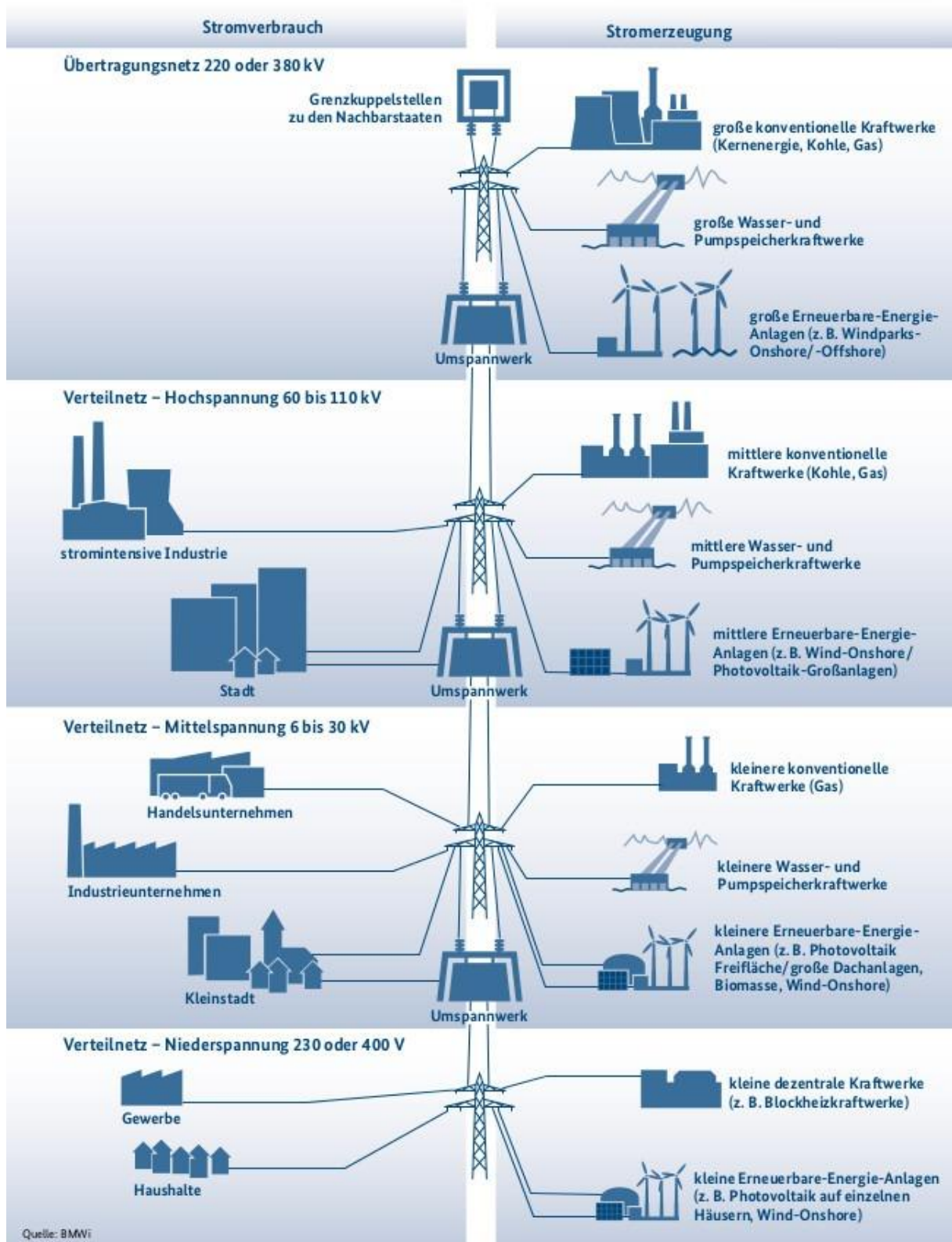


Abbildung 3: Der Aufbau des deutschen Stromnetzes (BMWi 2020)

Das deutsche Stromnetz ist in 7 Netzebenen aufgeteilt (BMWi 2020):

Ebene 1: Höchstspannung (HöS) 220 und 380 kV: Diese Ebene stellt gleichzeitig einen Teil des europäischen Verbundnetzes da, da es die Grenzkuppelstellen zu den deutschen Nachbarstaaten enthält. Darüber kann Strom importiert, exportiert oder auch durchgeleitet werden. Auf dieser Ebene speisen große konventionelle oder regenerative Stromerzeuger ein.

Ebene 2: Umspannebene Höchstspannung/ Hochspannung (HöS/HS): Diese Ebene besteht aus Umspannwerken, die die Spannung von Höchst- auf Hochspannungsniveau transformieren und den Strom in das Verteilnetz oder gegebenenfalls direkt an Großverbraucher weitergeben.

Ebene 3: Hochspannungsebene (HS) 60 bis 110 kV: Diese Ebene dient zur großräumigen regionalen Verteilung von Energie an die Städte und zur direkten Versorgung stromintensiver Industrie. Mittlere Erzeuger speisen auf dieser Ebene ein.

Ebene 4: Umspannebene Hochspannung/ Mittelspannung (HS/MS): Hier wird die Spannung auf Mittelspannungsniveau transformiert und in das Verteilnetz oder direkt an größere Verbraucher weitergegeben.

Ebene 5: Mittelspannungsebene (MS) 6 bis 30 kV: Diese Ebene dient der regionalen Verteilung von Energie an kleinere Städte und Ortschaften sowie Industrie und Handel. Einspeisung erfolgt durch kleinere Erzeuger.

Ebene 6: Umspannebene Mittelspannung/ Niederspannung (MS/NS): Auf dieser Ebene wird die Spannung auf Niederspannungsniveau für kleinere Endverbraucher transformiert und in das kommunale Verteilnetz weitergegeben.

Ebene 7: Niederspannungsebene (NS) 230 oder 400 V: Auf dieser Ebene befinden sich Haushalte, Handel und Gewerbe. Kleine dezentrale Anlagen (z.B. Photovoltaik) speisen hier ein.

3.2. Übertragungs- und Verteilnetzbetreiber

Der Transport von Strom vom Erzeuger zum Endkunden erfolgt durch zwei separate Instanzen (BMWi 2020):

Übertragungsnetzbetreiber transportieren den Strom auf Höchstspannungsebene über weite Distanzen, versorgen aber keine Verbraucher direkt. Es gibt 4 Übertragungsnetzbetreiber in

Deutschland: *TenneT*, *50Hertz Transmission*, *Amprion* und *TransnetBW*. Die Metropolregion Nürnberg liegt größtenteils im Versorgungsgebiet der *TenneT*. Nur der Landkreis Sonneberg in Thüringen wird von *50Hertz Transmission* versorgt.

Verteilnetzbetreiber transportieren den Strom regional zu den Endverbrauchern. Dabei beziehen größere Verteilnetzbetreiber den Strom direkt auf Hochspannungsebene aus dem Übertragungsnetz. Kleinere Verteilnetzbetreiber erhalten den Strom in der Regel von den größeren Verteilnetzbetreibern auf Mittelspannungsebene. In der Metropolregion Nürnberg gibt es 84 Verteilnetzbetreiber.

3.3. Erfassung der verbrauchten elektrischen Energie

Bei Großabnehmern mit mehr als 100.000 KWh/ Jahr wird die abgenommene Leistung in Viertelstundenmittelwerten über Zähler erfasst. Der Verbrauch ist somit in seinem zeitlichen Verlauf sichtbar. Dieses Verfahren nennt sich **registrierende Leistungsmessung**.

Bei kleineren Abnehmern wie z.B. Haushalten, Landwirtschaft und kleinerem Gewerbe wird aus Kostengründen nur der akkumulierte Gesamtverbrauch erfasst. Um den zeitlichen Verlauf der Abnahme zu simulieren, werden sogenannte **Standardlastprofile** angewandt. Diese orientieren sich an typischen Lastverläufen der jeweiligen Verbrauchergruppen (siehe z.B. Konstantin 2009, S 407).

4. Pflichtveröffentlichungen nach Bundesnetzagentur

Die Bundesnetzagentur ist eine Regulierungsbehörde, die für die Netze der Telekommunikation, Gas, Elektrizität, Eisenbahn und Post zuständig ist.

Ihre Aufgaben im Bereich Energie definiert sie selbst folgendermaßen:

„Das Stromversorgungssystem in Deutschland befindet sich mitten im größten Umbau seiner Geschichte. Die Bundesnetzagentur unterstützt mit ihren Entscheidungen konsequent die Umsetzung der Energiewende und wacht darüber, dass die hohe Qualität der Stromversorgung in Deutschland gesichert bleibt. Als Wettbewerbsbehörde regelt sie die Öffnung der Netze für neue Anbieter und sichert den Wettbewerb. Gleichzeitig ist die Bundesnetzagentur Ansprechpartner für Verbraucherfragen zum Thema Energie.“ (Bundesnetzagentur 2020).

Die Bundesnetzagentur verpflichtet die Übertragungs- und Verteilnetzbetreiber im Bereich Elektrizität zu jährlichen Veröffentlichungen auf deren Homepages. Für diese Arbeit sind nur die Daten der Verteilnetzbetreiber relevant. Diese sind im *Leitfaden für die Internet-Veröffentlichungspflichten der Stromnetzbetreiber* §17 Abs. 2 festgehalten (Bundesnetzagentur 2008). Dieser beinhaltet:

- Nr. 1 Jahreshöchstlast und Lastverlauf als viertelstündige Leistungsmessung

Dies umfasst einen Lastverlauf für jede im Verteilnetz vorhandene Netz- und Umspannebene, der die Summe aller Entnahmen beinhaltet. Entnahmen können von Letztverbrauchern oder Weiterverteilern erfolgen oder die in die nachgelagerte Netzebene abgegebene Leistung umfassen. Außerdem muss für jede Netzebene der höchste Wert der Entnahme ausgewiesen werden.

- Nr. 2: Die Netzverluste

Die Summe der über das Jahr entstandenen Netzverluste muss hier für jede Netz- und Umspannebene separat aufgeführt werden.

- Nr. 3: Die Summenlast der nicht leistungsgemessenen Kunden und die Summenlast der Netzverluste

Hier soll zum einen auf allen Netzebenen der tatsächliche vorhandene Lastgang der Standardlastprofil-Kunden veröffentlicht werden. Zum anderen wird hier ein

Summenlastgang der Netzverluste, der aus den addierten Verlusten aller Netzebenen besteht, gefordert.

- Nr. 4: Summenlast der Fahrplanprognosen für Lastprofilkunden und die Restlastkurve der Lastprofilkunden bei Anwendung des analytischen Verfahrens

Hier wird die prognostizierte Lastkurve der Lastprofilkunden dargestellt und der durch die Subtraktion der leistungsgemessenen Kunden und der Netzverluste von der Netzlast ermittelte tatsächliche Lastverlauf.

- Nr. 5 Höchstentnahmelast und der Bezug aus der vorgelagerten Netzebene

Hier wird für jede Ebene separat der Lastgang der Entnahme aus der ihr vorgelagerten Netzebene zur Verfügung gestellt. Dieser lässt sich folgendermaßen ermitteln:

Abgabe an die untergelagerte Ebene + Entnahme + Netzverluste – Einspeisungen aus Erzeugung auf der betrachteten Ebene

Außerdem soll auch hier der höchste Viertelstundenwert und die gesamte über das Jahr entnommene Energie aufgeführt werden.

- Nr. 6: Die Summe aller Einspeisungen pro Spannungsebene und im zeitlichen Verlauf

Hier soll für jede Netzebene ein Lastverlauf für alle in der Netzebene erzeugten Leistungsmengen veröffentlicht werden, sowie deren monatliche Summen.

5. Die Datenakquise

Die erste Kontaktaufnahme mit den Verteilnetzbetreibern erfolgte mittels einer E-Mail, in der die Intention dieser und möglicher darauf aufbauender Arbeiten geschildert wurde.

Es wurde um eine aufbereitete Verbrauchszeitreihe gebeten. Damit ist eine Zeitreihe gemeint, die den gesamten Verbrauch im Verteilnetzgebiet in Form von Viertelstundenmittelwerten enthält. Diese wird nicht von der Bundesnetzagentur als Veröffentlichung gefordert, lässt sich aber aus den veröffentlichungspflichtigen Zeitreihen zusammensetzen.

Dazu wurde die Emailadresse projekt-verteilnetzanalyse@th-nuernberg.de verwendet, die Römisch für seine Arbeit generiert hatte.

In Abbildung 4 ist exemplarisch die E-Mail an die *Infra Fürth* abgebildet:

z. Hd. Herrn Marcus Steurer: Forschung zur Energiewende in der europäischen Metropolregion N...

 Projekt Verteilnetzanalyse <projekt-verteilnetzanalyse@tl...>
An kundenservice@infra-fuerth.de

 Antworten  Allen antworten  Weiterleiten 

Di 17.09.2019 10:14

Sehr geehrter Herr Steurer,

in einer Forschungsarbeit an der Technischen Hochschule Nürnberg, geht es um die regenerative Vollversorgung mit Elektrizität in der Europäischen Metropolregion Nürnberg (EMN). Erforscht wird dabei ein kostenminimierender Ausbau der Energieumwandlungssysteme in Kombination mit Netzanforderungen sowie der Bedarf an Speichern. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf dem Stülpmembranspeicher, von dem bis 2025 in der EMN ein Prototyp entstehen soll.

Dieses Modell wird für die EMN eine Lösung der Energiewende vorschlagen und ist von entsprechend hoher politischer Aktualität. Für eine realitätsnahe Modellierung der Versorgungsanforderungen bitten wir um Ihre Unterstützung. Gerne stellen wir Ihnen dafür die späteren Ergebnisse zur Verfügung.

Über die Pflichtveröffentlichung netzrelevanter Daten nach §17 Abs. 2 der Stromnetzzugangsverordnung hinaus sind die Verbrauchszeitreihen der Verteilnetzgebiete von entscheidender Bedeutung für die anstehende Untersuchung. Zur Modellierung wird die Region in Planquadrate gegliedert und die Verbräuche auf diese Rastergebiete verteilt. Die Untersuchungsergebnisse werden damit keine unmittelbaren Rückschlüsse auf einzelne Netzgebiete ermöglichen. Durch Ihr Unternehmen zur Verfügung gestellte, gegebenenfalls als vertraulich eingestufte Informationen bleiben dadurch auf alle Fälle geschützt. Auf Wunsch bestätigen wir diese Vertraulichkeit auch gerne durch eine schriftliche Vereinbarung.

Wir bitten, uns die Kontaktperson zu benennen, über die der Informationsaustausch in dieser Angelegenheit abgewickelt werden soll.

Frau Katharina Will steht Ihnen unter der der Rufnummer 0162 6928203 für Rückfragen und zur Abwicklung des Datenaustausches gerne zur Verfügung. Sie wird sich auch telefonisch mit Ihnen in Verbindung setzen.

Kommen Sie jederzeit gerne auch auf mich, Prof. Dr. Matthias Popp (Tel. 09232/9933-11) zu, wenn das Projekt und unsere energietechnischen Aktivitäten Ihr Interesse wecken.

Vielen Dank!

Mit besten Grüßen

Prof. Dr.-Ing. Matthias Popp
Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm
Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik
Professur und Schwerpunktverantwortung für Energietechnik
matthias.popp@th-nuernberg.de
Raum KA.012, Telefon (+49) (0) 911 / 5880 – 1354
Keßlerplatz 12, 90489 Nürnberg
<https://www.th-nuernberg.de/person/popp-matthias/>
Hausadresse:
Burgstraße 19, D-95632 Wunsiedel, Tel. (+49) (0) 9232 / 9933 -11,
www.poppware.de

Katharina Will
Studentin Bachelor of Engineering Maschinenbau
Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm
Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik
willka70233@th-nuernberg.de
Hausadresse:
Hauptstr. 6, 91077 Dormitz, Tel. (+49) (0) 162 / 6928203

Abbildung 4: Erste E-Mail an die Verteilnetzbetreiber. Hier: *Infra Fürth*

Es wurde dabei immer versucht, direkt den Geschäftsführer zu kontaktieren. Allerdings war in den meisten Fällen dessen E-Mail-Adressen nicht zu ermitteln, weshalb die allgemeine Info-Adresse verwendet werden musste.

Da nur wenige Netzbetreiber auf diese E-Mail reagierten, wurde eine Woche danach mit der telefonischen Kontaktaufnahme begonnen. Dieser Prozess war aufgrund der reinen Anzahl der Verteilnetzbetreiber sehr zeitaufwendig. Häufig bedurfte es mehrerer Anläufe die zuständige Person zu erreichen und in den meisten Fällen wurde nur angeboten, der Anfrage nachzugehen, es erfolgte jedoch keine Rückmeldung mehr. Zwei Monate später hatten nur 27 der 84 Netzbetreiber ihre Daten übergeben bzw. ihre Kooperation zugesichert. Allerdings waren von diesen nur 13 vollständig und zur direkten Übernahme aufbereitet. Die anderen Daten mussten erst miteinander verrechnet werden.

Zu diesem Zeitpunkt war eindeutig, dass die übrigen 57 Netzbetreiber entweder über keine aufbereiteten Verbrauchszeitreihen verfügten oder nicht bereit waren, diese zur Verfügung zu stellen. Daher wurde eine alternative Methode entwickelt, eine Auswertung auf Grundlage der Pflichtveröffentlichungen durchzuführen.

Es zeigte sich jedoch, dass in den meisten Fällen die Veröffentlichungen starke Abweichungen zu den Vorgaben durch die Bundesnetzagentur aufwiesen und in der Regel auch unvollständig waren. Nur bei 4 weiteren Verteilnetzbetreibern waren die Daten der Homepage direkt verwendbar. Auf die sich daraus ergebenden Auswertungsprobleme wird in Kapitel 6 noch genauer eingegangen werden.

Es wurde eine zweite E-Mail an die Verteilnetzbetreiber geschickt, die diese an die Veröffentlichungspflichten und den darin vorgeschriebenen Inhalt erinnern sollte. Als Anlage wurden die für die Verteilnetzbetreiber relevanten Abschnitte aus dem Leitfaden der Bundesnetzagentur angefügt. Diese ist in Abbildung 5 dargestellt:



Sehr geehrte Damen und Herren,

wir hatten uns im September bereits mit der Bitte um Unterstützung bei einem Forschungsprojekt an der TH Nürnberg an Sie gewandt (s. unten). Leider war noch kein Datenaustausch möglich. Um den Ablauf zu vereinfachen, würden uns auch die Pflichtveröffentlichungen nach § 17 Abs. 2 Nr. 5 und 6 StromNZV ausreichen, die wir auf Ihrer Webseite leider nicht in der geforderten Form finden konnten. Falls wir etwas übersehen haben sollten, bitten wir das entschuldigen und bitten Sie um die Zusendung des Links, unter dem diese abrufbar sind. Ansonsten bitten wir Sie, die Daten zur Verfügung zu stellen. Wir benötigen die Werte in einem verarbeitbaren Format, vorzugsweise in .csv, wie durch die Bundesnetzagentur vorgegeben. Als Hilfestellung ist als Anhang ein Auszug aus dem Leitfaden der Bundesnetzagentur beigefügt (gerne senden wir Ihnen auch den vollständigen Leitfaden zu).

Vielen Dank für Ihre Unterstützung!

Mit besten Grüßen

Prof. Dr.-Ing. Matthias Popp
Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm
Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik
Professur und Schwerpunktverantwortung für Energietechnik
matthias.popp@th-nuernberg.de
Raum KA.012, Telefon (+49) (0) 911 / 5880 – 1354
Keßlerplatz 12, 90489 Nürnberg
<https://www.th-nuernberg.de/person/popp-matthias/>
Hausadresse:
Burgstraße 19, D-95632 Wunsiedel, Tel. (+49) (0) 9232 / 9933 -11,
www.poppware.de

Katharina Will
Studentin Bachelor of Engineering Maschinenbau
Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm
Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik
willka70233@th-nuernberg.de
Hausadresse:
Hauptstr. 6, 91077 Dormitz, Tel. (+49) (0) 162 / 6928203

Informationsaustausch über:
Projekt-verteilnetzanalyse@th-nuernberg.de

Abbildung 5: Zweite Email an die Verteilnetzbetreiber. Hier: Stadtwerke Dettelbach

Auf Grund dieser Email wurden nochmals von 7 Verteilnetzbetreibern verwendbare Daten zur Verfügung gestellt. Andere sendeten nur die bereits auf der Webseite befindlichen und nicht

verwendbaren Daten zu und waren auch nach einer erneuten Spezifizierung nicht bereit, die benötigten und veröffentlichungspflichtigen Zeitreihen zu übergeben.

Damit blieben 43 Netzbetreiber, die keine Kooperationsbereitschaft zeigten.

In Abbildung 6 wird dieser Sachverhalt verbildlicht:

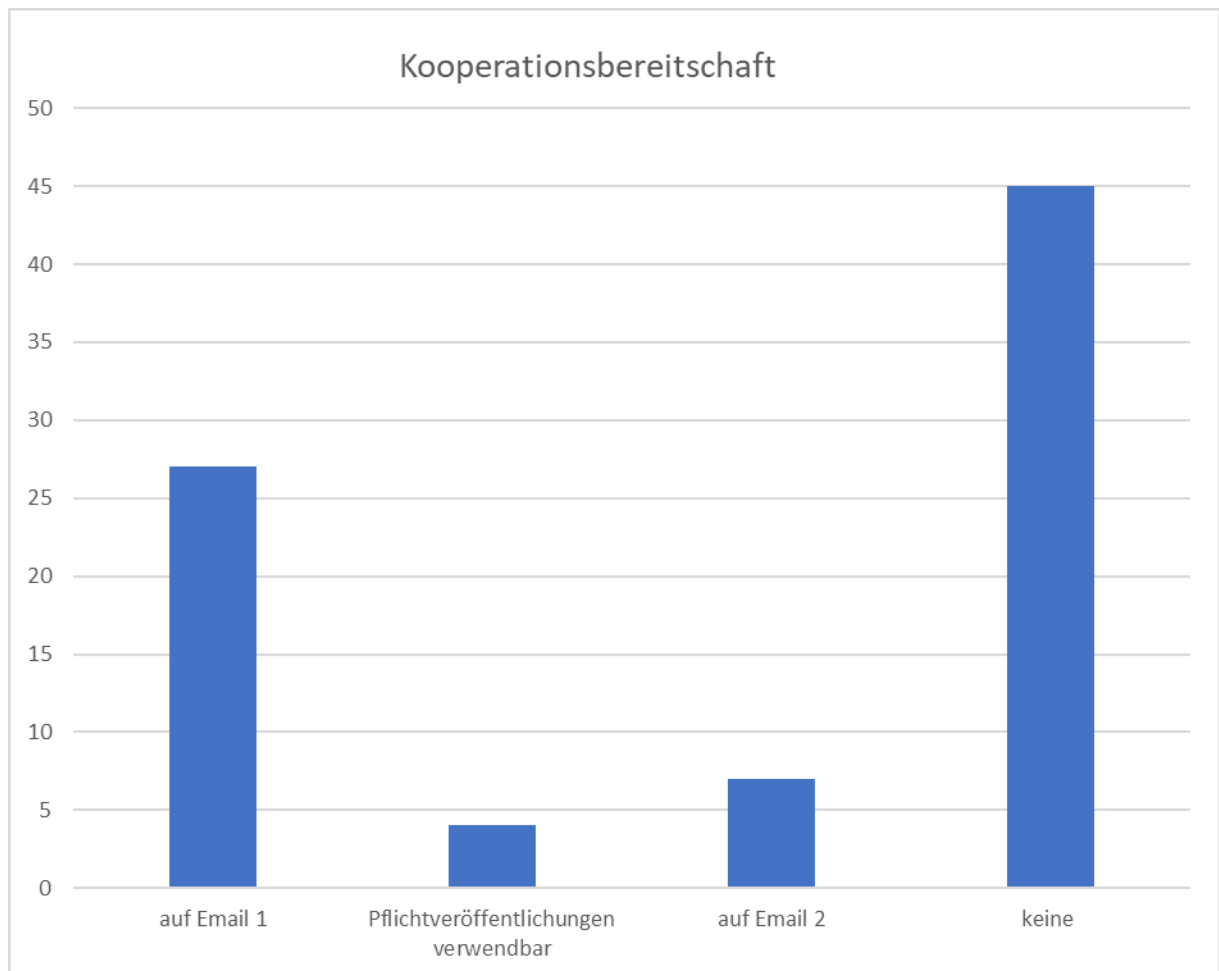


Abbildung 6: Kooperationsbereitschaft der Verteilnetzbetreiber in der EMN

6. Die Auswertung der Daten

Im Folgenden sollen die verschiedenen Methoden, die für die Auswertung der erhaltenen Daten angewandt wurden, genauer dargestellt werden. Ebenso werden die damit verbundenen Problematiken erläutert.

6.1. Die starke Uneinheitlichkeit der veröffentlichten Daten

Trotz der genauen Vorgaben der Bundesnetzagentur in ihrem Leitfaden (Bundesnetzagentur 2008), welche Daten auf der Webseite veröffentlicht werden müssen, und Richtlinien zu deren Form, gibt es nahezu keine Netzbetreiber, deren Pflichtveröffentlichungen dem exakt nachkommen.

6.1.1. Das Format

In ihrem Leitfaden gibt die Bundesnetzagentur vor, die Daten als csv-Datei zu veröffentlichen. Dafür soll jeder Lastgang als separate Datei gesichert werden. Weiterhin soll die Datei neben den Zeitreihen auch den Namen des Netzbetreibers, die Netz- oder Umspannebene, den Lastgangstyp, die entsprechende gesetzliche Grundlage (z.B. §17 Abs. 1. Nr. 2 StromNZV), die physikalische Einheit der Daten und den Betrachtungszeitraum enthalten. Anschließend soll eine Spalte der Datei das Datum, die nächsten beiden den Anfangs- und Endzeitpunkt der betrachteten Viertelstunde und die letzte den Wert enthalten.

In Abbildung 7 ist das im Leitfaden bereitgestellte Muster abgebildet:

Netzbetreibername:	Musternetzbetreiber GmbH		
Netz- oder Umspannebene:	Hochspannung		
Lastgangtyp:	Lastverlauf Hochspannungsnetz		
gesetzliche Grundlage:	§ 17 Abs. 1 Nr. 2 StromNZV		
Einheit:	kW		
Betrachtungszeitraum:	01.01.2006	bis	31.03.2006

Datum	von	bis	Wert
01.01.2006	00:00	00:15	12.087
01.01.2006	00:15	00:30	11.958
01.01.2006	00:30	00:45	11.780
01.01.2006	00:45	01:00	11.524
01.01.2006	01:00	01:15	11.204
01.01.2006	01:15	01:30	10.952
01.01.2006	01:30	01:45	10.742
01.01.2006	01:45	02:00	10.609
01.01.2006	02:00	02:15	10.497
01.01.2006	02:15	02:30	10.351
...
31.03.2006	21:45	22:00	11.251
31.03.2006	22:00	22:15	11.857
31.03.2006	22:15	22:30	11.826
31.03.2006	22:30	22:45	11.600
31.03.2006	22:45	23:00	11.443
31.03.2006	23:00	23:15	11.251
31.03.2006	23:15	23:30	10.970
31.03.2006	23:30	23:45	10.649
31.03.2006	23:45	00:00	10.264

Abbildung 7: Vorgaben zur Form der Veröffentlichungspflichten (Bundesnetzagentur 2008)

Viele Veröffentlichungen zeigen starke Abweichungen von diesem Muster.

Manche Netzbetreiber z.B. die *Stadtwerke Bayreuth* veröffentlichen die Zeitreihen nicht als csv-Datei, sondern als PDF-Dokument. Das bedeutet, dass die Daten zur Bearbeitung erst mit Hilfe eines Konvertierungsprogramms in ein von Excel bearbeitbares Format umgewandelt werden müssen.

Häufig kommt es vor, dass die Lastgänge auf den verschiedenen Netzebenen in einer einzigen Datei bereitgestellt werden. Diese sind dann entweder in verschiedenen Arbeitsmappen dargestellt oder nebeneinander in derselben Arbeitsmappe abgebildet.

Auch in der Darstellung des Datums und der Uhrzeit gibt es Unterschiede.

In Abbildung 8 wird ein Auszug aus den Veröffentlichungen der *Gemeindewerke Ebersdorf bei Coburg* gezeigt:

01.01.2018 00:00	1.556
01.01.2018 00:15	1.505
01.01.2018 00:30	1.451
01.01.2018 00:45	1.358
01.01.2018 01:00	1.340
01.01.2018 01:15	1.267
01.01.2018 01:30	1.208
01.01.2018 01:45	1.157
01.01.2018 02:00	1.163
01.01.2018 02:15	1.068
01.01.2018 02:30	1.050
01.01.2018 02:45	1.020
01.01.2018 03:00	1.013
01.01.2018 03:15	1.004
01.01.2018 03:30	1.022
01.01.2018 03:45	1.019
01.01.2018 04:00	1.038

Abbildung 8: Darstellung von Datum und Uhrzeit am Beispiel von Ebersdorf

Anders als im Muster sind Datum und Uhrzeit in einer Spalte dargestellt. Die Werte befinden sich dementsprechende bereits in Spalte zwei.

Abbildung 9 zeigt einen Auszug der *Herzo Werke*:

01.01.2018	00:15:00	5.168,71
01.01.2018	00:30:00	4.939,38
01.01.2018	00:45:00	5.071,21
01.01.2018	01:00:00	5.318,18
01.01.2018	01:15:00	5.082,52
01.01.2018	01:30:00	5.054,37
01.01.2018	01:45:00	5.622,43
01.01.2018	02:00:00	6.427,42
01.01.2018	02:15:00	6.244,79
01.01.2018	02:30:00	6.218,92
01.01.2018	02:45:00	6.339,71
01.01.2018	03:00:00	6.421,60
01.01.2018	03:15:00	6.396,65
01.01.2018	03:30:00	5.847,29

Abbildung 9: Darstellung von Datum und Uhrzeit am Beispiel von Herzogenaurach

Hier werden Datum und Uhrzeit in zwei Spalten dargestellt. Anders als bei Ebersdorf stellt die Uhrzeit jedoch nicht den Anfangs- sondern den Endzeitpunkt des Intervalls dar. Die Werte befinden sich in Spalte drei.

Ein weiteres Problem sind die von der Bundesnetzagentur geforderten anzugebenden Informationen oberhalb der Zeitreihe. In den meisten Fällen werden weniger Informationen angegeben als gefordert.

In Abbildung 10 sieht man abermals einen Auszug aus den Veröffentlichungen von Ebersdorf:

	A	B	C
1			
2	kW (MAX), Zeitpunkt	11.01.2018 08:00	
3	kW (MAX), zum Zeitpunkt P_{max}	6.984	
4	Datum/Zeit von		
5	01.01.2018 00:00	1.556	
6	01.01.2018 00:15	1.505	
7	01.01.2018 00:30	1.451	

Abbildung 10 Darstellung der geforderten Informationen am Beispiel von Ebersdorf

Sämtliche im Muster vorgegebenen Informationen fehlen. Stattdessen wird der Zeitpunkt der höchsten Leistung und deren Wert angegeben. Die Datenreihe beginnt in Spalte 5.

Abbildung 11 zeigt nochmals die Veröffentlichung der *Herzo Werke*:

	A	B	C	D
1	Datum	Zeit	Wirkleistung [kW]	
2	01.01.2018	00:15:00	5.168,71	
3	01.01.2018	00:30:00	4.939,38	
4	01.01.2018	00:45:00	5.071,21	
5	01.01.2018	01:00:00	5.318,18	

Abbildung 11: Darstellung der geforderten Informationen am Beispiel von Herzogenaurach

Hier gibt es lediglich die Beschriftung der Spalten und keinerlei Informationen dazu, was die folgenden Daten beinhalten. Die Datenreihe beginnt in Zeile 2.

Eine weitere Abweichung von den Richtlinien bestand in einigen Fällen darin, dass die Zeitreihen in Monate oder Quartale aufgeteilt in einzelnen Arbeitsmappen vorlagen und erst zu einer Jahreszeitreihe zusammengefügt werden mussten.

Die bisher genannten Probleme sind vor allem relevant, wenn eine automatisierte Auswertung der Daten angestrebt wird, wie bei dieser Arbeit ursprünglich der Fall. Besonders die unterschiedliche Position der Werte stellt hier ein Problem dar.

Was zusammen mit den fehlenden, in den Dateien angegebenen Informationen jedoch selbst bei manueller Auswertung zu einer großen Herausforderung wird, sind die Datei-Bezeichnungen. Auch wenn einige Netzbetreiber die gesetzliche Grundlage und die Netzebene in den Namen der Datei mit aufnehmen, gibt es einige, deren Namensgebung uneindeutig ist. Beschriftungen wie z.B. „Lastgang Netzlast“ lassen ohne weitere Informationen nicht direkt auf die gesetzliche Grundlage schließen – in den meisten Fällen bestand die Unklarheit, ob es sich um die Zeitreihen nach Abs.2 Nr. 1 oder Nr. 5 handelte.

Dies musste immer erst im Kontext der sonstigen Veröffentlichungen überprüft werden und erforderte in jedem Fall eine tiefgehende Auseinandersetzung mit den Daten des Netzbetreibers. Automatisiert ist eine solche Plausibilitätsüberprüfung nicht möglich.

6.1.2. Unvollständigkeiten

In mehr als der Hälfte der Fälle sind die von den Netzbetreibern veröffentlichten Daten stark unvollständig.

Ein sehr häufig auftretendes Problem ist die Veröffentlichung der Lastgänge ausschließlich in einem PDF-Diagramm, das zwar den Verlauf über das Jahr hinweg zeigt, aber keine einzelnen Viertelstundenmittelwerte angibt.

In Abbildung 12 zeigt exemplarisch dafür der Einspeiselastrgang (Abs. 2 Nr.6 StromNVZ) auf Mittelspannungsebene der *Stadtwerke Amberg*:

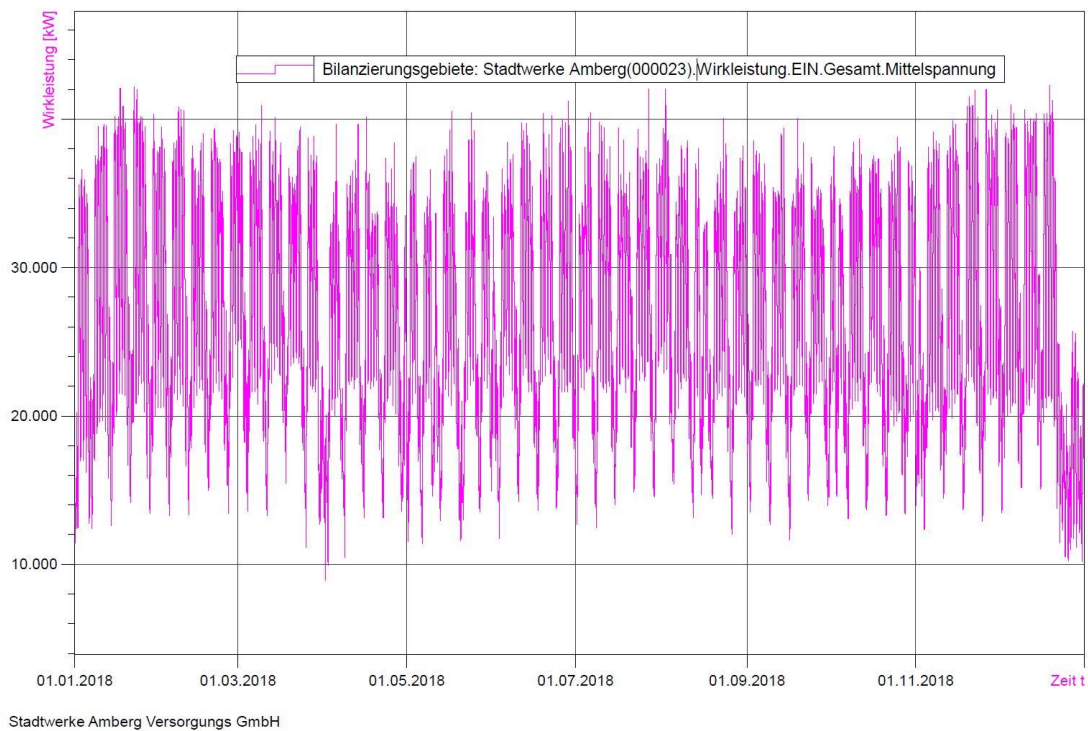


Abbildung 12: Veröffentlichung von Abs. 2 Nr. 6 der Stadtwerke Amberg

Es ist unmöglich aus diesem Diagramm exakte Werte oder gar eine Zeitreihe abzuleiten. Für die Auswertung der Daten im Rahmen dieser Arbeit sind also Veröffentlichungen wie diese absolut ungeeignet und verstoßen zudem gegen die Vorgaben der Bundesnetzagentur. Allerdings wurden derartige Diagramme eindeutig aus einer vorhandenen Zeitreihe abgeleitet. Leider waren die Netzbetreiber in den meisten Fällen auch auf Nachfrage nicht gewillt, uns diese zur Verfügung zu stellen.

Bei vielen Netzbetreibern liegen die Daten nicht einmal in dieser Form vor, sondern nur in Form von „Netzstrukturdaten“. In einzelnen Fällen lautete die Bezeichnung auch anders. Diese bestehen in der Regel aus einem ein- bis zweiseitigem PDF-Dokument, das die im Leitfaden verlangten Jahressummen und Höchstwerte enthält, jedoch keine zeitlichen Verläufe.

In Abbildung 13 sind die Netzstrukturmerkmale der *Gemeindewerke Wilhermsdorf* dargestellt:

Gemeindewerke Wilhermsdorf

Bezugsjahr: 2018

Veröffentlichungen nach StromNZV

Netzrelevante Daten (§17 Abs. 2 StromNZV)

§17 (2) Nr. 1	Jahreshöchstlast	2.304 kW
	Lastverlauf	
§17 (2) Nr. 2	Netzverluste	4,42%
§17 (2) Nr. 3	Summenlast der nicht leistungsgemessenen Kunden	1.419 kW
	Summenlast der Netzverluste	124 kW
§17 (2) Nr. 4	Summenlast der Fahrplanprognosen für Lastprofilkunden	1.419 kW
§17 (2) Nr. 5	Höchstentnahmelast aus der vorgelagerten Netzebene	2.316 kW
	Bezug aus der vorgelagerten Netzebene	9.245.094 kWh
§17 (2) Nr. 6	Summe aller Einspeisungen MS (110 kV > U ≥ 1 kV)	0 kWh
	Summe aller Einspeisungen NS (1 kV > U)	2.013.382 kWh
	Zeitlicher Verlauf der Summe der Einspeisung MS (110 kV > U ≥ 1 kV)	
	Zeitlicher Verlauf der Summe der Einspeisung NS (1 kV > U)	
§17 (2) Nr. 7	Menge der Verlustenergie	497.378 kWh
	Preis der Verlustenergie	3,44 ct/kWh

Ergebnis der Differenzbilanzierung (§13 Abs. 3 StromNZV)

An Kunden mit einer jährlichen Entnahme bis zu 100.000 kWh abgegebene Energiemenge:	8.194.314 kWh
	0 €
	0,00 Ct/kWh

Abbildung 13: Netzstrukturmerkmale der Gemeindewerke Wilhermsdorf

In einigen wenigen Fällen gibt es keinerlei Veröffentlichungen zum Verbrauch in den Netzgebieten, so bei den *Stadtwerken Schwarzenbach/ Saale*, den *Stadtwerken Burgbernheim*, der *Stromversorgung Egloffstein* und der *Gemeinde Hemhofen*.

Ein weiteres Problem ist die Aktualität der Daten. Mehrere Netzbetreiber hatten zum Zeitpunkt der Verfassung dieser Arbeit die Daten für 2018 noch nicht veröffentlicht, so zum Beispiel die *Gemeindewerke Markt Lichtenau* oder das *Städtische Kommunalunternehmen Baiersdorf*. Beim *Elektrizitätswerk Heinrich Schirmer*, den *Stadtwerken Neumarkt i. d. Oberpfalz Energie GmbH*, den *Gemeindewerken Georgensgmünd* und den *Gemeindewerken Pleinfeld* sind die Veröffentlichungen sogar aus noch weiter zurückliegenden Jahren.

6.1.3. Begriffliche Uneindeutigkeiten

Wie bereits erwähnt, sind die Bezeichnungen der Lastgänge durch die Netzbetreiber häufig nicht eindeutig, was die Zuordnung schwierig oder sogar unmöglich macht.

Darüber hinaus gibt es offenbar auch bei den Netzbetreibern selbst Unklarheiten, was genau in den einzelnen Punkten des Leitfadens der Bundesnetzagentur gefordert wird. Sehr häufig sind in den Netzstrukturdaten die gesamte Entnahme innerhalb des Jahres aufgeführt. Allerdings lässt sich erkennen, dass nicht bei jedem Netzbetreiber dasselbe damit gemeint ist. Bei den einen meint die Entnahme tatsächlich nur die Entnahme durch Letztverbraucher, bei den anderen ist auch die Entnahme durch Weiterverteiler und die Abgabe an die nachgelagerte Netzebene mit enthalten. Daher müssen die Daten in jedem Fall genau überprüft werden.

In Abbildung 14 ist graphisch die Verteilung der Qualität der Pflichtveröffentlichungen der Netzbetreiber abgebildet:

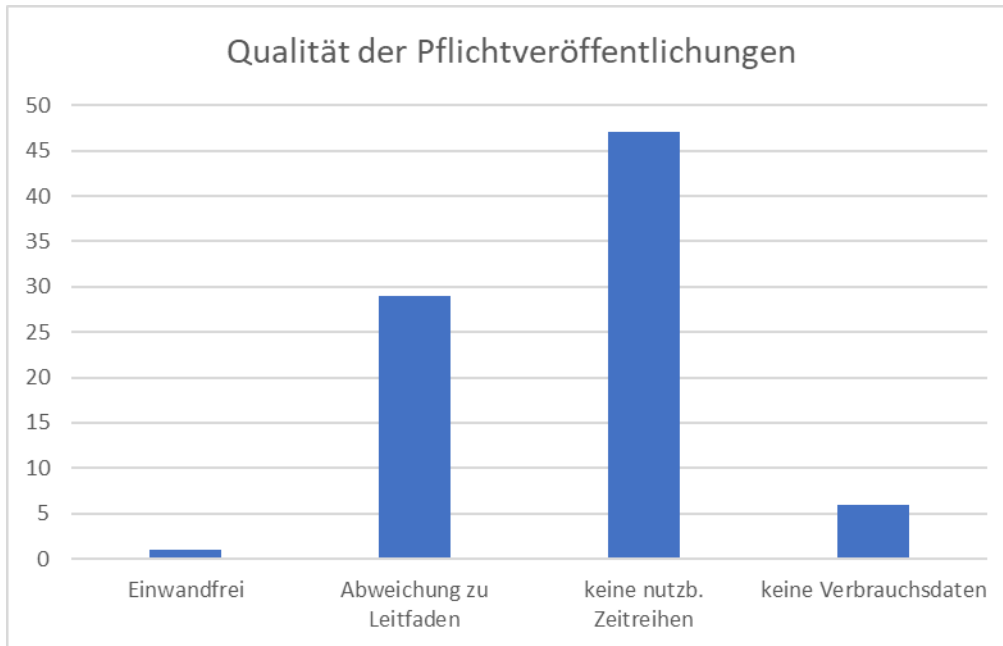


Abbildung 14: Die Qualität der Pflichtveröffentlichungen

Nur bei einem Netzbetreiber konnten keinerlei (formale) Abweichungen zu den Vorgaben der Bundesnetzagentur gefunden werden. Die unter „Abweichung zum Leitfaden“ aufgeführten Veröffentlichungen sind prinzipiell verwendbar, bedürfen aber einer oft aufwendigen Bearbeitung. Davon waren nur 12 auf der Webseite veröffentlicht, die restlichen 17 wurden erst auf Nachfrage zugesandt.

7. Die Auswertung

Die Art der Auswertung richtet sich nach Form und Umfang der zur Verfügung gestellten Daten. Allgemein wird unterschieden nach Netzbetreibern, die bereits aufbereitete Verbrauchszeitreihen zur Verfügung stellten, Netzbetreibern, bei denen der Verbrauch nach ihren Pflichtveröffentlichungen ausgewertet werden konnte und Netzbetreiber, bei denen aufgrund fehlender Daten Approximationen anhand des Jahresverbrauchs oder des Durchschnittsverbrauchs repräsentativer anderer Netzbetreiber entwickelt werden mussten.

Einen Sonderfall stellen nochmals die zwei großflächigen Netzbetreiber *Bayernwerk* und *Main-Donau Netzgesellschaft* (im Weiteren mit *MDN* abgekürzt)¹ dar, deren Gebiete sich auf mehrere *MERRA-2*-Planquadrate erstrecken, und die in folgenden vereinfacht als Flächennetzbetreiber bezeichnet werden sollen.

In Abbildung 15 ist eine Übersicht zu sehen, nach welchen Verfahren die Daten der einzelnen Netzbetreiber ausgewertet wurden:

¹ Die *Main-Donau Netzgesellschaft* änderte zum 01.01.2020 ihren Namen zu *N-ERGIE Netz GmbH*. Der Eindeutigkeit halber wird sie im Folgenden weiterhin *Main-Donau Netzgesellschaft* genannt werden.

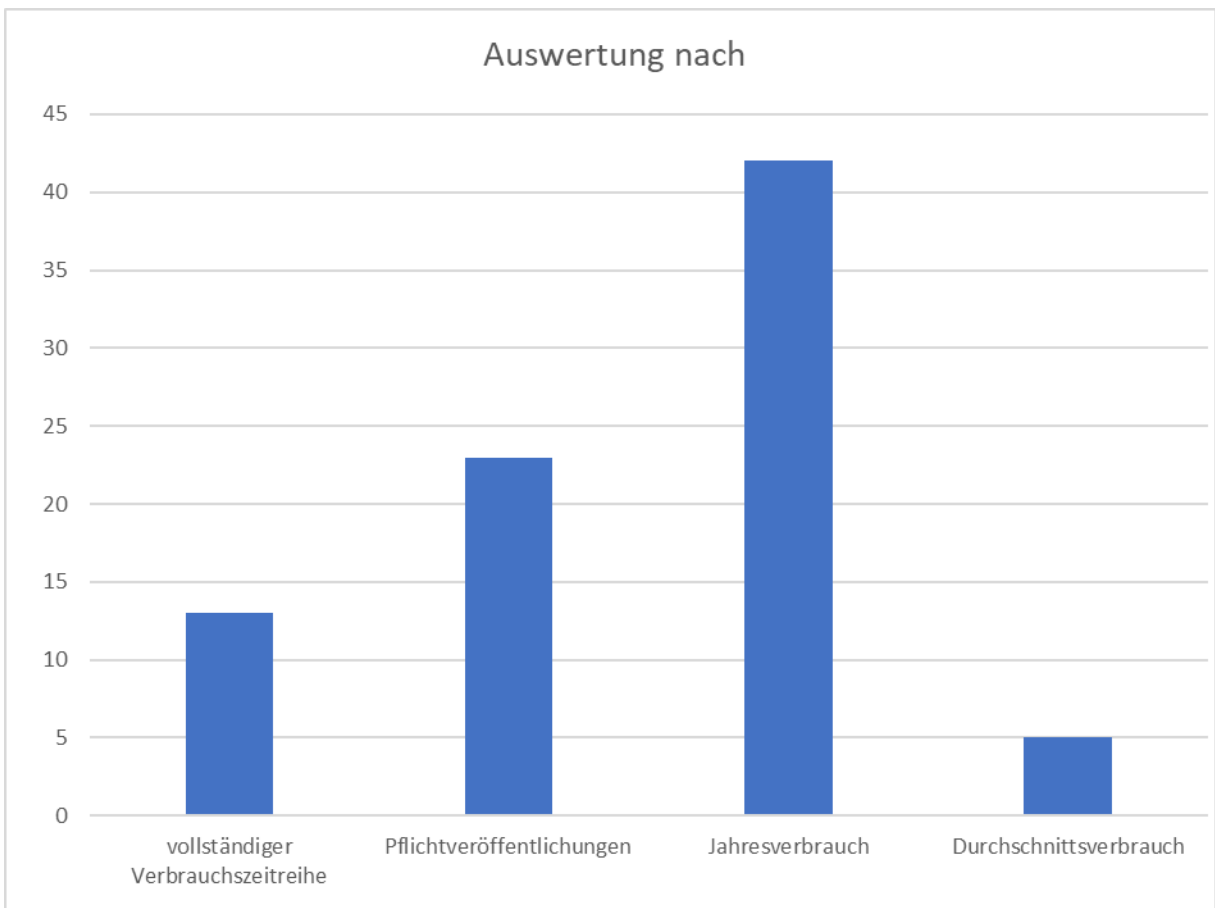


Abbildung 15: Auswertemethoden bei den verschiedenen Netzbetreibern

7.1. Die Auswertung der aufbereiteten Verbrauchszeitreihen

Von 13 Netzbetreibern wurden bereits vollständige Verbrauchszeitreihen übergeben. Diese wurden von einer viertelstündlichen in eine stündliche Zeitreihe überführt. Hierbei wird auch die Darstellung der Zeitumstellung vereinheitlicht, die bei der Umstellung auf die Sommerzeit teils als tatsächlicher „Zeitsprung“ in den Zeitangaben dargestellt ist, teils als 0-Werte in der übersprungenen Stunde.

Wichtig ist zu beachten, ob die Einheit der Zeitreihe kW oder kWh beträgt, ob es sich also um eine Leistung oder eine Energiemenge handelt. Bei Angabe der Leistung muss das Programm jeweils 4 Viertelstunden aufsummieren sie anschließend durch 4 teilen. Bei Angabe der Energiemenge muss nur aufsummiert werden. Diese Änderung im Code ist manuell in *Visual Basic* vorzunehmen.

Nach zwei Rechengängen erhält man jeweils die Zeitreihe mit stündlichen Leistungswerten und eine prozentuale Zeitreihe bezogen auf den Mittelwert.

7.2. Die Auswertung anhand der Pflichtveröffentlichungen

Die meisten kleineren Verteilnetze bekommen den Strom auf Mittelspannungsebene von einem größeren Verteilnetzbetreiber übergeben. Abgabe an nachgelagerte Verteilnetze, also Stromdurchleitungen finden hier in der Regel nicht statt. Damit lässt sich eine Formel zur Ermittlung des Gesamtverbrauchs innerhalb des Netzes ermitteln:

Höchstentnahmelast auf MS-Ebene (Nr. 5) + Einspeisungen durch Erzeugung in der MS-, MS/NS- und NS-Ebene

Die Zeitreihe nach Abs. 2 Nr. 5 gibt an, welche Leistung aus der vorgelagerten Netzebene bezogen wird. Dazu müssen die Eigenerzeugungen innerhalb des Netzgebiets addiert werden, um den Gesamtverbrauch zu erhalten. Die Netzverluste sind bereits enthalten. Diese werden für diese Arbeit nicht herausgerechnet, da die tatsächlich zu erzeugende Menge an Strom in der Metropolregion Nürnberg ermittelt werden soll.

Man benötigt also 4 Zeitreihen, die in der Arbeitsmappe *Verbrauch Verteilnetz* direkt aufaddiert werden können. In Abbildung 16 ist dieser Schritt für *die Licht- und Kraftwerke Sonneberg* dargestellt:

	A	B	C	D	E	F
1	MEZ/ MESZ	Bezug aus vorgelagertem Netz [kW]	Einspeisung MS [kW]	Einspeisung MS/NS [kW]	Einspeisung NS [kW]	Gesamtverbrauch [kW]
2	Mo 01.01.2018 00:15	4.524	1.974	89,75	12,95	6.600,70
3	01.01.2018 00:30	4.490	1.960	90,3	12,95	6.553,25
4	01.01.2018 00:45	4.490	1.960	89,45	12,95	6.552,40
5	01.01.2018 01:00	4.470	1.960	90,35	12,95	6.533,30
6	01.01.2018 01:15	4.422	1.974	89,45	12,95	6.498,40
7	01.01.2018 01:30	4.296	1.960	90,4	12,95	6.359,35
8	01.01.2018 01:45	4.138	1.960	90,55	12,95	6.201,50
9	01.01.2018 02:00	3.994	1.974	89,2	12,95	6.070,15
10	01.01.2018 02:15	3.924	1.960	89,95	12,95	5.986,90
11	01.01.2018 02:30	3.883	1.960	89,3	12,95	5.945,25
12	01.01.2018 02:45	3.804	1.974	90,5	12,95	5.881,45
13	01.01.2018 03:00	3.656	1.960	90	12,95	5.718,95
14	01.01.2018 03:15	3.648	1.960	88,95	12,95	5.709,90
15	01.01.2018 03:30	3.521	1.974	89,1	12,95	5.597,05
16	01.01.2018 03:45	3.432	1.960	89,55	12,95	5.494,50
17	01.01.2018 04:00	3.389	1.960	90,2	12,95	5.452,15
18	01.01.2018 04:15	3.464	1.974	89,4	12,95	5.540,35

Abbildung 16: Ermittlung des Gesamtstromverbrauchs aus den Pflichtveröffentlichungen der Licht- und Kraftwerke Sonneberg

Anschließend erfolgt die Umwandlung in einen stündlichen Lastgang wie bereits in Kapitel 7.1. beschrieben. Abbildung 17 zeigt einen Ausschnitt aus der Zeitreihe mit Stundenwerten sowie dem errechneten Maximal-, Minimal- und Mittelwert:

31.12.2018 19:30	8.331,08	67,05%
31.12.2018 20:30	7.723,46	62,16%
31.12.2018 21:30	7.315,76	58,88%
31.12.2018 22:30	6.963,23	56,04%
31.12.2018 23:30	6.559,91	52,79%
Minimum	4.957,34	39,90%
Mittelwert	12.425,88	100,00%
Maximum	19.748,83	158,93%
Summe	108.850.739,11	

Abbildung 17: Auszug aus der Verbrauchszeitreihe der Licht- und Kraftwerke Sonneberg

Die prozentualen Stundenwerte können in der Arbeitsmappe *Lastverlauf* graphisch dargestellt werden, wie in Abbildung 18 gezeigt:

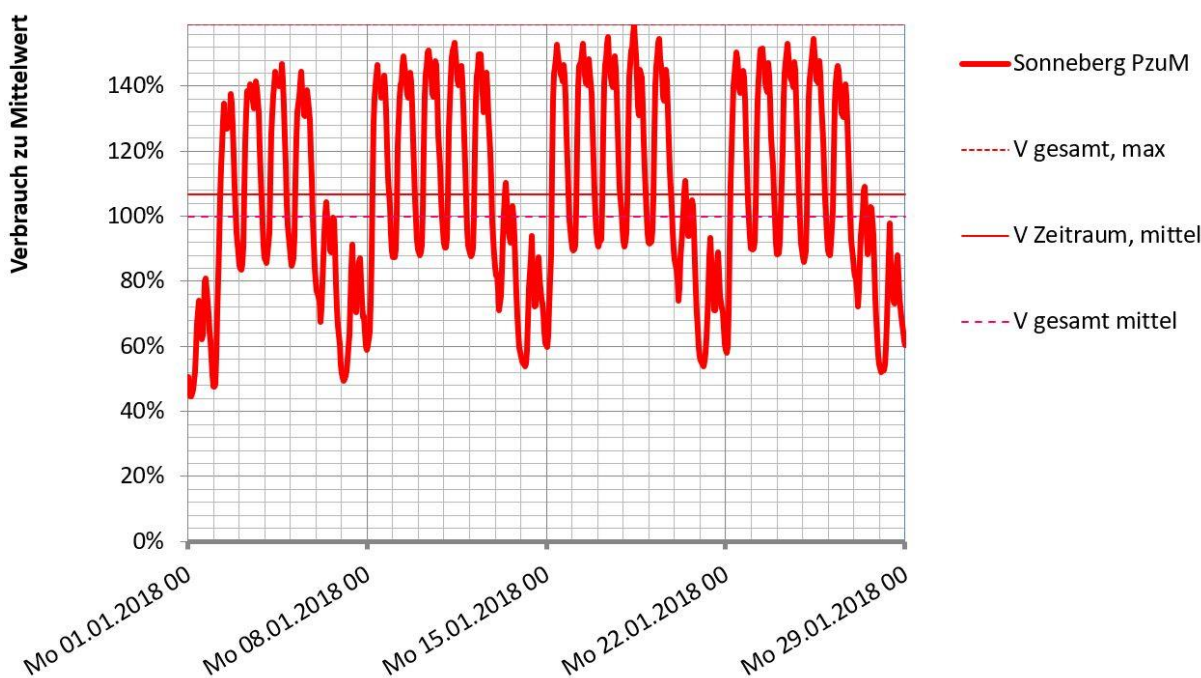


Abbildung 18: Graphische Darstellung der Zeitreihe der Licht- und Kraftwerke Sonneberg

Dieses Verfahren konnte jedoch nicht in allen Fällen angewendet werden.

Bei den *Stadtwerken Zirndorf* fehlte zum Beispiel der Lastgang nach Abs. 2 Nr. 5. Veröffentlicht war dafür aber die Summenlast RLM der leistungsgemessenen Kunden. Durch

das Addieren der Summenlast SLP der Standardlastprofil-Kunden sowie der Netzverluste lässt sich ebenfalls der Verbrauch ermitteln. Dies ist in Abbildung 19 dargestellt:

	A	B	C	D	E	F
1	MEZ/ MESZ	Bezug aus vorgelag.	Summenlast SLP [kW]	Summenlast RLM [kW]	Netzverluste [kW]	Gesamtverbrauch
2	Mo 01.01.2018 00:15		4.942,42	1.897,68	277,162	7.117,27
3	01.01.2018 00:30		4.632,17	1.898,66	270,989	6.801,82
4	01.01.2018 00:45		4.325,49	1.899,31	268,52	6.493,32
5	01.01.2018 01:00		4.034,29	1.811,00	263,999	6.109,29
6	01.01.2018 01:15		3.764,92	1.797,99	258,831	5.821,74
7	01.01.2018 01:30		3.516,36	1.741,78	247,499	5.505,63
8	01.01.2018 01:45		3.284,51	1.742,42	241,575	5.268,51
9	01.01.2018 02:00		3.107,34	1.731,76	233,079	5.072,17
10	01.01.2018 02:15		2.962,15	1.742,94	228,183	4.933,27
11	01.01.2018 02:30		2.866,00	1.736,04	221,289	4.823,32
12	01.01.2018 02:45		2.803,38	1.726,95	216,503	4.746,83
13	01.01.2018 03:00		2.751,28	1.743,59	211,604	4.706,48
14	01.01.2018 03:15		2.689,05	1.739,90	208,379	4.637,32
15	01.01.2018 03:30		2.653,98	1.626,08	202,597	4.482,66
16	01.01.2018 03:45		2.619,56	1.619,11	200,948	4.439,62
17	01.01.2018 04:00		2.583,91	1.613,08	198,921	4.395,92

Abbildung 19: Auswertung des Verbrauchs der Stadtwerke Zirndorf

In vielen Fällen sind die Einspeisungen nicht in Lastgänge der verschiedenen Netzebenen aufgeteilt, sondern nach Erzeugungsart. Dies traf insbesondere bei Netzbetreibern zu, die uns die Daten auf Nachfrage zukommen ließen, z.B. bei der *Elektrizitätsgenossenschaft Nordhalben und Umgebung*. Das bedeutet, dass mehr Zeitreihen berücksichtigt und zusammengezählt werden müssen, als bei den Pflichtveröffentlichungen nach Leitfaden.

7.3. Die Flächennetzbetreiber Bayernwerk und Main-Donau Netzgesellschaft

Die beiden Netzbetreiber *Bayernwerk* und *Main-Donau Netzgesellschaft* versorgen flächenmäßig den größten Teil der Metropolregion. Während das *Bayernwerk* hauptsächlich in den Regionen Oberfranken und Oberpfalz operiert, ist die *MDN* überwiegend in Unter- und Mittelfranken vertreten. Die Gebiete beider Netzbetreiber erstrecken sich über mehrere *MERRA-2*-Planquadrate. Die Lastverläufe nach Pflichtveröffentlichungen sind jedoch immer nur für das jeweils gesamte Gebiet vorhanden. Die größte Herausforderung bestand darin, diese auf die einzelnen Quadrate aufzuteilen. Ebenfalls muss beachtet werden, dass diese beiden Flächennetzbetreiber die meisten kleineren Netzbetreiber in der EMN beliefern.

7.3.2. Die Main-Donau Netzgesellschaft

Das Netzgebiet der Main-Donau Netzgesellschaft (seit dem 01.01.2020 N-ERGIE Netz GmbH) erstreckt sich über eine Fläche von fast 9000 km² und 1.319.604 Einwohner (N-ERGIE Netz GmbH 2020).

In Abbildung 20 ist ein Google Earth Overlay mit der Karte der Metropolregion Nürnberg (Metropolregion Nürnberg 2019) und der Karte des MDN-Netzgebietes (N-ERGIE Netz GmbH 2020) zu sehen:



Abbildung 20: Netzgebiet der MDN in der Metropolregion Nürnberg (Bildmontage Katharina Will; Datenquellen: Google Earth, Metropolregion Nürnberg 19, N-ERGIE Netz GmbH 2020)

Das Netzgebiet der MDN erstreckt sich über 9 Planquadrate.

Von der MDN wurde der aufbereitete Verbrauchslastgang von 2018 für das gesamte Netzgebiet zur Verfügung gestellt, sowie eine Datei mit den übergebenen Jahresmengen an jede Ortschaft im Netzgebiet. Mit Hilfe der Grunddatenbank (Römisch 2017), mit der die Ortschaften den einzelnen Quadraten zugeordnet werden konnten, konnte so der Jahresverbrauch der MDN-

Kunden in den entsprechenden Feldern der Metropolregion Nürnberg berechnet werden. Ortschaften außerhalb des EMN-Gebietes wurden dabei nicht berücksichtigt.

Den Jahresverbrauch des gesamten MDN-Netzgebietes in kWh konnte durch Aufaddieren der viertelstündigen Leistungswerte und eine anschließende Division durch 4 ermittelt werden. Anschließend ließ sich der prozentuale Verbrauch des einzelnen Teilgebiets von diesem Gesamtverbrauch bestimmen wie in Abbildung 21 dargestellt:

Jahresverbrauch MDN [kWh]	7.954.514.765,19
Verbrauch Teilgebiet [kWh]	3.637.992.746,85
Anteil Teilgebiet an Gesamtverbrauch	45,73%

Abbildung 21: Berechnung des prozentualen Anteils des Verbrauchs des Teilgebiets 11 am Gesamtverbrauch

Dieser Prozentanteil multipliziert mit den Viertelstundenwerten des Gesamtlastgang der MDN in Spalte B ergibt einen anteiligen Lastgang für das jeweilige Teilgebiet. Dies ist in Abbildung 22 zu sehen:

	A	B	C	D	E	F
1	MEZ/ MESZ	Gesamtlastgang MDN [kW]				Lastgang Teilgebiet [kW]
2	Mo 01.01.2018 00:15	662.634,52				303.055,52
3	01.01.2018 00:30	656.603,87				300.297,40
4	01.01.2018 00:45	653.094,01				298.692,17
5	01.01.2018 01:00	645.741,42				295.329,46
6	01.01.2018 01:15	637.450,32				291.537,54
7	01.01.2018 01:30	621.145,17				284.080,39
8	01.01.2018 01:45	610.176,69				279.063,96
9	01.01.2018 02:00	602.998,48				275.781,01
10	01.01.2018 02:15	597.085,05				273.076,51
11	01.01.2018 02:30	591.109,23				270.343,47
12	01.01.2018 02:45	589.986,02				269.829,77
13	01.01.2018 03:00	581.560,36				265.976,29

Abbildung 22: Ermittlung des Lastgangs von Teilgebiet 11

Im Gesamtlastgang sind die Verluste bereits miteingeschlossen. Anschließend muss der Lastgang noch in stündliche Werte umgewandelt werden. Dies geschieht nach demselben Prinzip, wie bei der Auswertung der Pflichtveröffentlichungen. Zu berücksichtigen ist, dass der prozentuale Lastgang bezogen auf den Mittelwert in allen Teilgebieten somit gleich ist. Die absoluten Werte unterscheiden sich zwar, die Form des Verlaufs jedoch nicht. Selbstverständlich ist das in Realität nicht der Fall. Regionale Gegebenheiten wie zum

Beispiel das Verhältnis von Stadt und Land und die Anzahl der Industrieunternehmen und deren Größe, lassen den Verlauf in jedem Gebiet anders aussehen. Allerdings ist eine bessere Näherung mit den vorhandenen Daten nicht möglich.

7.3.2. Das Bayernwerk

Das Netzgebiet (Bayernwerk 2020) ist flächenmäßig mehr als viermal größer als das der *MDN* und umfasst fast 41.000km². Versorgt werden 4.710.751 Einwohner. Allerdings liegt ein großer Teil davon außerhalb der Metropolregion Nürnberg.

Abbildung 23 zeigt das Google Earth Overlay mit der Karte der Metropolregion Nürnberg (Metropolregion Nürnberg 2019) und der Karte des *Bayernwerk*-Netzgebietes (Bayernwerk 2020):

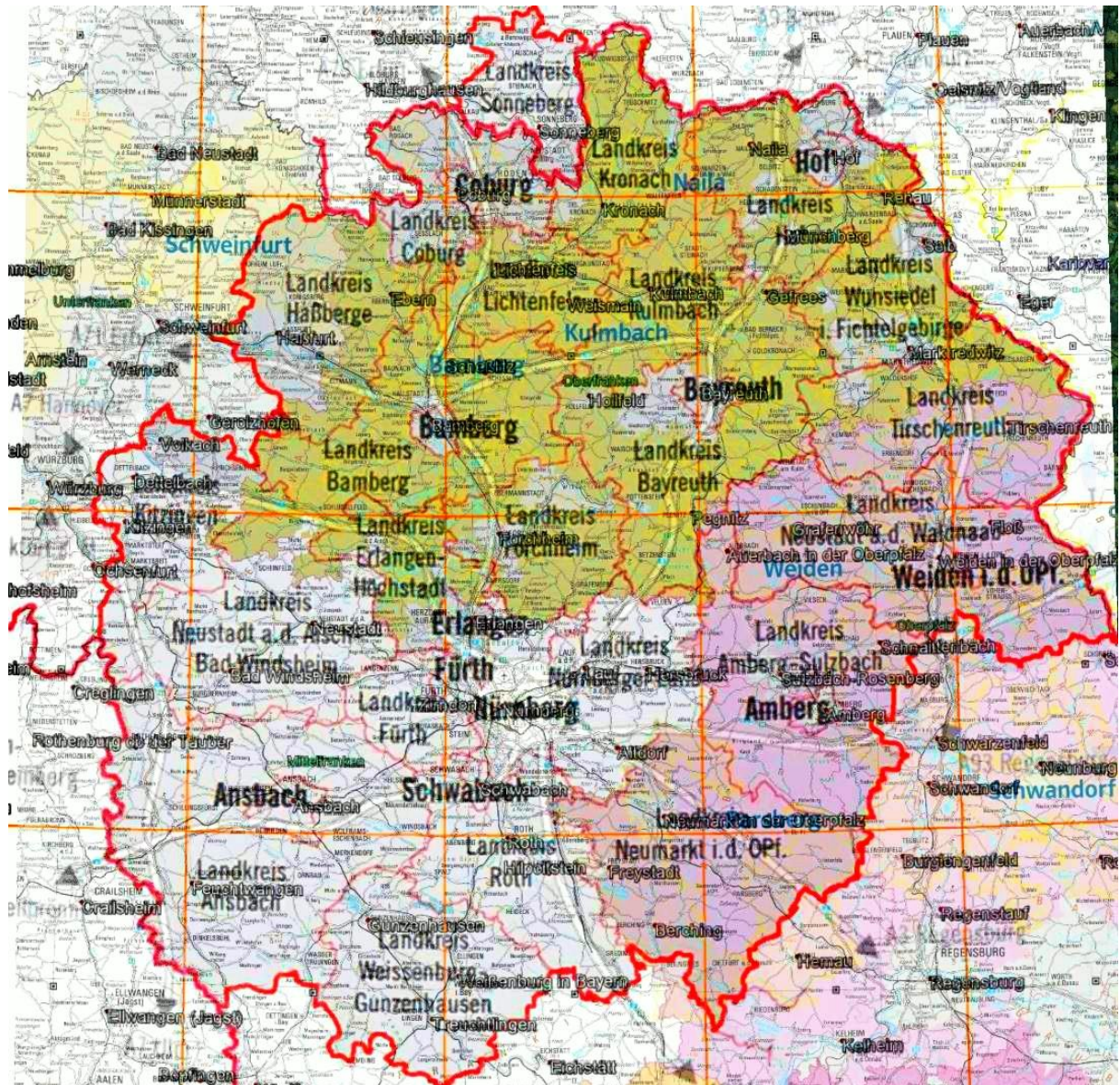


Abbildung 23: Netzgebiet des *Bayernwerks* in der Metropolregion Nürnberg (Bildmontage Katharina Will; Datenquellen: *Google Earth*, Metropolregion Nürnberg 2019, *Bayernwerk* 2020)

Auch vom *Bayernwerk* wurde ein Verbrauchslastgang für das gesamte Netzgebiet übergeben. Allerdings standen uns anders als bei der *MDN* keine Jahresverbräuche einzelner Städte und Ortschaften zur Verfügung. Daher konnte der prozentuale Verbrauch der einzelnen Quadrate nur anhand der Einwohnerzahl ermittelt werden. Die Einwohner pro Netzgebiet wurden mit Hilfe der *Grunddatenbank* (Römisch 2017) ermittelt. Dazu wurden die Einwohner aller Orte im EMN Gebiet, die vom *Bayernwerk* versorgt werden, aufaddiert. Es gibt jedoch auch

Gemeinden, die von mehreren Netzbetreibern versorgt werden. Da eine genaue Aufteilung nicht zu ermitteln war, wurden dieser Einwohner durch die Anzahl der versorgenden Netzbetreiber geteilt und dann entsprechend zugeordnet. Es handelte sich hier jedoch nur um einen geringen Anteil der Gesamteinwohnerzahl.

Anschließend wurde ähnlich wie bei der MDN der Anteil am Gesamtverbrauch ermittelt und dann mit dem Gesamtlastgang multipliziert. Allerdings sind in der übergebenen Zeitreihe die Netzverluste nicht beinhaltet, deshalb müssen diese noch miteingerechnet werden.

Die Berechnung des prozentualen Verbrauchs ist in Abbildung 24 dargestellt.

Bayernwerk	
Einwohner gesamtes Netzgebiet	4.710.751,00
Einwohner Teilgebiet	33.361
Anteil Teilgebiet an Gesamtverbrauch	0,71%
Netzverlust	4,46%

Abbildung 24: Ermittlung des prozentualen Verbrauchs des Teilgebiets 13

In Abbildung 25 ist gezeigt, wie der Lastgang des Teilgebiets berechnet wird:

	A	B	C	D	E	F	G
1	MEZ/ MESZ	Gesamtlastgang Bayernwerk				Lastgang Teilgebiet	
2	Mo 01.01.2018 00:15	605978,756				4.482,68	
3	01.01.2018 00:30	595404,344				4.404,46	
4	01.01.2018 00:45	577650,885				4.273,13	
5	01.01.2018 01:00	554707,37				4.103,41	
6	01.01.2018 01:15	540671,211				3.999,58	
22	01.01.2018 05:15	397830,627				2.942,92	
23	01.01.2018 05:30	401223,917				2.968,03	
24	01.01.2018 05:45	403216,032				2.982,76	
25	01.01.2018 06:00	406637,792				3.008,07	
26	01.01.2018 06:15	425927,745				3.150,77	
27	01.01.2018 06:30	429122,679				3.174,40	
28	01.01.2018 06:45	431649,355				3.193,10	
29	01.01.2018 07:00	435465,008				3.221,32	
30	01.01.2018 07:15	441684,722				3.267,33	

Abbildung 25: Berechnung des Lastgangs des Teilgebiets 13

Die Spalte B enthält den Viertelstundenwert der Leistung im gesamten Netzgebiet. In Spalte F wird diese multipliziert mit dem prozentualen Anteil des Teilgebiets und dem Faktor für die Netzverluste. Auch hier müssen im Anschluss noch die stündlichen Werte generiert werden.

7.4. Auswertung der Netzbetreiber ohne verwendbare Lastgänge

Bei 47 Netzbetreibern waren die Pflichtveröffentlichungen so unvollständig, dass für diese keine eigenen Zeitreihen ermittelt werden konnten. Daher war die einzige Möglichkeit, einen Lastgang zu erhalten, diesen anhand des Jahresverbrauchs als anteilige Zeitreihe von der der großen vorgelagerten Netzbetreiber *MDN* und *Bayernwerk* zu berechnen. Zwei Sonderfälle stellen die Flächennetzbetreiber *Unterfränkische Überlandzentrale* und *Thüringer Energienetze* dar, auf die in Kapitel 7.4.3 noch genauer eingegangen werden soll.

7.4.1. Nachgelagerte Netzbetreiber der MDN

25 der Netzbetreiber ohne ausreichende Daten beziehen ihren Strom über das Netz der *MDN*. Die übergebenen Mengen wurden von der *MDN* zur Verfügung gestellt. Diese Netzbetreiber wurden mit den von der *MDN* in den einzelnen Rastergebieten direkt versorgten Ortschaften zusammengerechnet. Somit entstand für jedes Feld ein gemeinsamer Lastgang der *MDN* und der nachgelagerten Netze.

Zu berücksichtigen ist, dass die Eigenerzeugung in diesen Netzen nicht erfasst wird und der tatsächliche Verbrauch um diese Einspeisungen höher ist. Diese Netzbetreiber versorgen jedoch vorwiegend nur kleinere Städte und Ortschaften, diese Abweichungen bezogen, auf Gesamtverbrauch des *MDN*-Gebietes fallen relativ gering aus. Um diese Unschärfen zu beseitigen müssten die EEG-Anlagenstammdaten der *TenneT* herangezogen werden (TenneT 2020). Darin ist die gesamte regenerativ installierte Leistung der einzelnen Netzbetreiber verzeichnet. Anhand der Wind- und Solardaten aus *MERRA-2*, den Wasserständen der Flüsse über das Jahr 2018 hinweg und einem gemittelten Nutzungsgrad der Biomasseanlagen könnte damit die 2018 erzeugte Energiemenge ermittelt werden. Nicht erfasst sind hierbei die konventionellen Kraftwerke. Dies hätte jedoch den zeitlichen Rahmen dieser Arbeit gesprengt.

Ebenfalls nicht berücksichtigt werden regionale z.B. produktionsbedingte Lastspitzen, da der zeitliche Verlauf des Lastgangs aus dem Gesamtnetz der *MDN* verwendet wird.

7.4.2. Nachgelagerte Netzbetreiber des Bayernwerks

Für diese 22 Netzbetreiber wurde der Lastgang auf Grundlage der Daten des *Bayernwerks* berechnet. Dazu wurde entweder der aus den Netzstrukturdaten berechnete

Gesamtstromverbrauch von 2018 zugrunde gelegt oder, falls nicht vorliegend, die Einwohnerzahl und der durchschnittliche jährliche Pro-Kopf-Verbrauch im Bayernwerknetz.

Der Gesamtstromverbrauch lässt sich anhand der Netzstrukturdaten nach demselben Schema berechnen, wie Kapitel 7.2:

Höchstentnahmelast auf MS-Ebene (Abs. 2 Nr. 5) + Einspeisungen durch Erzeugung in der MS-/ MS/NS- und NS- Ebene

Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, diesen anhand der Entnahmen durch Letztverbraucher auf allen im Netz vorhandenen Netzebenen zu berechnen:

Entnahme durch Letztverbraucher MS-Ebene + Entnahme MS/NS-Ebene + Entnahme NS-Ebene

Hier besteht jedoch eine Problematik im Begriff Entnahme. In der Regel ist in den Netzstrukturdaten nicht definiert, was in der Entnahme eingeschlossen ist, also ob es sich nur um die Entnahme durch Letztverbraucher handelt oder ob zum Beispiel auch die Abgabe an die nachgelagerte Netzebene miteingeschlossen ist. Daher müssen die Daten in jedem Fall auf Plausibilität überprüft werden. Falls alle Daten für die beiden Verfahren vorhanden sind, ist es ratsam auch die andere Methode überschlägig anzuwenden, um Unstimmigkeiten in den Daten zu erkennen.

Eine andere Methode, um ungewöhnlich hohe oder niedrige Verbrauchswerte zu erkennen, ist den Pro-Kopf-Verbrauch pro Einwohner zu berechnen. Dazu wird der Jahresverbrauch der Ortschaft durch die Anzahl der Einwohner geteilt. Die Einwohnerzahlen der Ortschaften stammen aus der *Grunddatenbank* (Römisch 2017). Dieser kann mit dem deutschen Durchschnittswert verglichen werden, der 7176 KWh pro Kopf im Jahre 2018 betrug (Statista 2020).

In Abbildung 26 sind die Netzbetreiber, ihre Jahresverbräuche, die Einwohnerzahl und der Pro-Kopf-Verbrauch aufgelistet:

1	Netzbetreiber	Jahresverbrauch	Einwohner	Verbrauch/ Kopf
2	Bad Rodach	37.543.903	6.348	5.914
3	Suec Coburg	568.529.000	88378	6.433
4	EW Schirmer (2016)	3.950.000	1.032	3.828
5	Bamberg	587.094.940	86.043	6.823
6	Zeil am Main	17.581.585	2.827	6.220
7	Ebermannstadt	65.790.780	12.719	5.173
8	Eichenmüller	4.608.000	1.500	3.072
9	Hollfeld	8.820.206	2.618	3.370
10	gkU oberes Egertal	7.955.817	2.208	3.603
11	Stadtwerke Schwarzenbach/Saale	0	5.433	0
12	Licht- und Kraftwerke Helmbrechts GmbH	56.139.000	6.869	8.173
13	Stadtwerke Münchberg (2017)	43.008.000	5.274	8.155
14	Stromversorgung Röttenbach	25.004.718	4.563	5.480
15	Gemeinde Heroldsbach	11.672.450	2.463	4.739
16	Stromversorgung Egloffstein	0	997	0
17	Städtisches Kommunalunternehmen Baiersdorf	23.703.777	7.345	3.227
18	Gemeinde Hemhofen	0	5.174	0
19	Stadtwerke Neumarkt i.d.OPf. Energie GmbH (2016)	263.354.000	38.610	6.821
20	Herzogenaurach	175.797.297	22.222	7.911
21	Erlangen	1.196.119.976	113.752	10.515
22	Amberg	256.831.336	44.848	5.727
23	Weiden	461.914.057	45.512	10.149

Abbildung 26: Die Jahres- und Pro-Kopf-Verbräuche der nachgelagerten Netzbetreiber im Bayernwerknetz

Bei drei Netzbetreibern steht im Jahresverbrauch eine null. Das sind die Netzbetreiber, auf deren Homepage keine Verbrauchsdaten vorzufinden waren.

Auffallend hohe Werte haben hier besonders die Städte Erlangen und Weiden. Dies lässt sich vermutlich auf die hohe Industriedichte zurückführen. In Erlangen kommt zudem die Universität mit Kliniken dazu. Einige Ortschaften weisen deutlich niedrigere Werte auf als der Durchschnittsverbrauch und zwar sogar unter 4000 KWh/ Kopf. Dabei handelt es sich jedoch ausschließlich um kleinere Ortschaften mit unter 3000 Einwohnern, die weniger Gewerbe und Industrie vorweisen als Städte.

Bei beiden Varianten sind die Verluste noch nicht mit eingerechnet, dies geschieht dann in der leicht abgewandelten Excel-Datei, die bereits für die Berechnung der gebietsweisen Lastgänge des Bayernwerks verwendet wurde.

Bei den Netzbetreibern, deren Jahresverbrauch nicht bekannt ist, bleibt nur die Möglichkeit diesen mittels der Einwohner und dem Durchschnitts-Pro-Kopf-Verbrauch des *Bayernwerks* zu ermitteln. Dieser beträgt 6066 kWh/ Kopf und ist damit etwas niedriger als der deutsche Durchschnittsverbrauch. Das hängt damit zusammen, dass das Bayernwerk viele ländliche Regionen mit wenig Industrie versorgt.

In Abbildung 27 sind die auf diese Weise errechneten Jahresverbräuche der drei Netzbetreiber ohne Verbrauchsdaten abgebildet:

	Jahresverbrauch
Schwarzenbach/ Saale	32.951.048
Egloffstein	6.044.311
Hemhofen	31.383.105

Abbildung 27: Ermittelte Jahresverbräuche der Netzbetreiber ohne Verbrauchsdaten

In Abbildung 28 ist die modifizierte Arbeitsmappe *Verbrauch Verteilnetz* für die Errechnung der Netzbetreiber im *Bayernwerk*-Gebiet gezeigt:

Bayernwerk	
Verbrauch gesamtes Netzgebiet [kWh]	28.573.249.895
Verbrauch Teilgebiet [kWh]	140.053.865
Anteil Teilgebiet an Gesamtverbrauch	0,49%
Netzverlust	4,46%
Netzbetreiber	Verbrauch [kWh]
gkU oberes Egertal	7.955.817
Stadtwerke Schwarzenbach/Saale	32.951.048
Licht- und Kraftwerke Helmbrechts GmbH	56.139.000
Stadtwerke Münchberg	43.008.000

Abbildung 28: Ermittlung des anteiligen Lastverbrauchs von Gebiet 7 der Netzbetreiber ohne Verbrauchsdaten

Dabei werden im Feld Verbrauch Teilgebiet alle Jahresverbräuche aus dem unteren Kasten aufsummiert. In der nächsten Zeile wird der Anteil des Teilgebiets am Gesamtverbrauch des Netzgebietes berechnet. Anschließend wird der Lastverlauf wie für das Bayernwerk in Kapitel 7.3.2. berechnet.

Hier besteht das bereits bekannte Problem, dass regionale Besonderheiten im Verlauf nicht abgebildet werden.

7.4.3. Die Flächennetzbetreiber *Unterfränkische Überlandzentrale (UEZ)* und *Thüringer Energienetze (TEN)*

Einen Sonderfall stellen die zwei Flächennetzbetreiber *UEZ* und *TEN* dar. Beide Versorgungsgebiete liegen nur zum Teil im EMN Gebiet. Deshalb ist die Ermittlung der Lastgänge mit Schwierigkeiten verbunden. Da es sich um große Verteilnetzbetreiber handelt, ist die vereinfachte Methode aus 7.2. nicht mehr möglich. Ihre Netze umfassen auch die Hochspannungsebene und die Netzstruktur ist aufgrund möglicher nachgelagerter Netzbetreiber deutlich komplexer.

Hierfür sollte zunächst das von Römisch erstellte Excel-Tool zur Ermittlung des Lastgangs aus den Pflichtveröffentlichungen angewandt werden (Römisch 2017). Als dieses Tool mit den Daten des *Bayernwerks* und der *MDN* getestet wurde zeigten sich extreme Abweichungen zu den tatsächlichen Lastgängen. Der Grund des Fehlers ließ sich nicht ermitteln. Eine Vermutung ist, dass trotz der Vorgaben im Leitfaden, die genaue Bedeutung der einzelnen geforderten Zeitreihen von den Netzbetreibern unterschiedlich interpretiert wird. Für die *TEN* und die *UEZ* gibt es auch keine Möglichkeit, die Lastgänge auf Plausibilität zu überprüfen. Da die Anzahl der nachgelagerten Netzbetreiber nicht bekannt ist, kann aus den Strukturdaten der Verbrauch auch nicht als Jahressumme entnommen werden.

Aus diesem Grund wurde entschieden den Verbrauch ebenfalls prozentual vom Lastverlauf des Bayernwerks zu bestimmen, da beide Netzgebiete an das des Bayernwerks angrenzen und wie dieses einen eher ländlich geprägten Charakter vorweisen.

7.5. Netzbetreiber in 2 Rasterfeldern

Es gibt mehrere Netzbetreiber, deren Gebiet auf der Grenze von zwei *MERRA-2* Planquadraten liegen und daher in beiden Gebieten vertreten sind. Dabei handelt es sich um *SÜC Energie und H2O GmbH Coburg*, die *Stadtwerke Ebermannstadt*, die *Stadtwerke*

Bayreuth Energie und Wasser GmbH, die Stadtwerke Zirndorf, die *infra Fürth* und die *Stadtwerke Stein*. Da für die *SÜC* und die *Stadtwerke Ebermannstadt* keine Zeitreihen vorlagen, wurden diese bereits anteilig nach Einwohnern mit dem Gesamtlastgang des Bayernwerks verrechnet und auf die Planquadrate aufgeteilt. Bei den anderen Netzbetreibern mussten prozentuale Zeitreihen für die beiden jeweiligen Gebiete gebildet werden. Die Aufteilung erfolgte mittels der Einwohner aus der *Grunddatenbank* (Römisch 2017). Dafür wurde noch in der jeweiligen Auswertungsdatei die neue Arbeitsmappe *Rastergebiete* erstellt. Darin wurden zuerst die prozentualen Anteile der Gesamtlast in den einzelnen Rastergebieten ermittelt und dann jeweils mit der Gesamtzeitreihe multipliziert. Daraus entstanden zwei neue Zeitreihen.

In Abbildung 29 ist ein Ausschnitt aus der Arbeitsmappe zu sehen:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	UTC Mitte	Gebiet 10 [kW]	Gebiet 11 [kW]							
2	Mo 01.01.2018 00:30	2.664,67	2.752,34					Gebiet 10	Gebiet 11	Gesamt
3	01.01.2018 01:30	2.362,37	2.440,10				Einwohner	8.262	8.534	16.795
4	01.01.2018 02:30	2.208,11	2.280,77				Prozent	0,49190739	0,50809261	1
5	01.01.2018 03:30	2.144,22	2.214,77							
6	01.01.2018 04:30	2.199,48	2.271,85							

Abbildung 29: Ausschnitt aus der Arbeitsmappe *Rastergebiete* der Verbrauchsaufbereitung der Stadtwerke Zirndorf

7.6 Unschärfen

Wie bereits mehrfach angesprochen, beinhalten die mit den verschiedenen Methoden erstellten Lastgänge Unschärfen.

Bereits beschrieben wurde die Vernachlässigung der regionalen Besonderheiten, da besonders beim *Bayernwerk* keine Daten für einzelne Städte und Ortschaften vorliegen. Damit werden die Lastverläufe der einzelnen Gebiete einheitlicher als tatsächlich der Fall.

Ebenso wurde erläutert, dass die Eigenerzeugung der der *MDN* nachgelagerten Netzbetreiber ohne eigenen Lastverlauf nicht mitberücksichtigt wurden.

Ein weiterer Aspekt, der ebenfalls nicht einkalkuliert werden kann, ist die Eigenbedarfsdeckung durch dezentrale Kleinanlagen, in der Regel Photovoltaikanlagen auf Wohnhäusern. Wenn Strom direkt aus der eigenen Erzeugungsanlage bezogen wird, wird dieser Verbrauch mit den Stromzählern nicht erfasst und der Jahresverbrauch fällt

entsprechend niedriger aus. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass diese Abweichungen im unteren Prozentbereich liegen.

8. Die Lastverläufe der 17 Teilgebiete

Um die Lastgänge der EMN-Teilgebiete zu ermitteln wurden in Excel alle Lastgänge der Netzbetreiber in den einzelnen Rastergebieten aufaddiert.

Dies ist exemplarisch in Abbildung 30 für das Gebiet 6 gezeigt:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	UTC Mitte	Bayernwerk [kW]	BW nachgelagert [kW]	Kulmbach [kW]	Bayreuth (41,5%) [kW]	Ebersdorf [kW]	Gebiet 6 [kW]	EMN6 PzuM
2	Mo 01.01.2018 00:30	98.665,74	13.996,32	20.992,67	15.559,91	1.450,85	150.665,48	67,89%
3	01.01.2018 01:30	91.871,61	13.032,53	18.106,45	15.596,70	1.283,32	139.890,60	63,03%
4	01.01.2018 02:30	82.463,65	11.697,95	15.533,15	15.370,88	1.222,86	126.288,50	56,90%
5	01.01.2018 03:30	76.631,46	10.870,62	13.301,46	15.042,73	1.257,32	117.103,58	52,77%
6	01.01.2018 04:30	75.030,13	10.643,46	12.336,76	15.001,76	1.264,76	114.276,87	51,49%
7	01.01.2018 05:30	80.311,75	11.392,69	11.452,10	13.860,24	1.157,63	118.174,41	53,25%
8	01.01.2018 06:30	85.518,18	12.131,26	12.105,23	14.734,60	1.198,67	125.687,92	56,63%
9	01.01.2018 07:30	108.761,80	15.428,50	12.040,25	15.005,17	1.265,47	152.501,19	68,71%
10	01.01.2018 08:30	136.238,03	19.326,16	12.712,50	15.867,74	1.301,50	185.445,93	83,56%
11	01.01.2018 09:30	148.821,04	21.111,14	13.815,97	16.840,64	1.468,92	202.057,70	91,04%
12	01.01.2018 10:30	160.302,34	22.739,83	14.429,43	18.517,57	1.313,48	217.302,64	97,91%
13	01.01.2018 11:30	161.723,32	22.941,40	14.378,38	18.708,92	1.248,47	219.000,50	98,68%
14	01.01.2018 12:30	148.511,44	21.067,22	13.087,80	17.599,76	1.269,17	201.535,40	90,81%
15	01.01.2018 13:30	124.238,68	17.623,99	13.419,22	17.119,75	1.223,30	173.624,93	78,23%
16	01.01.2018 14:30	109.318,86	15.507,52	14.814,19	17.709,57	1.320,17	158.670,31	71,49%
17	01.01.2018 15:30	96.934,27	13.750,70	16.404,82	19.684,65	1.710,78	148.485,22	66,91%

Abbildung 30: Zusammenaddieren der Einzellastverläufe zu einem Gesamtlastgang von Gebiet 6

Zu beachten ist, dass Bayreuth hier vom Einwohnerverhältnis betrachtet nur zu 41,5% im Teilgebiet 6 liegt. Es handelt sich also nur um einen Teillastgang.

Die Namen der Netzbetreiber, die anteilig an den Lastverläufen des *Bayernwerks* und der *MDN* berechnet wurden, sind in der Arbeitsmappe für Gebiet 6 wie in Abbildung 31 aufgeführt:

	Netzbetreiber
BW nachgelagert ist eine aus dem Lastgang des Bayernwerks generierte Zeitreihe abhängig von der Jahresenergiemenge der nachgelagerten Netzbetreiber, von denen keine Lastgänge zur Verfügung stehen.	Ebermannstadt (Anteil) Eichenmüller Hollfeld SUEC (Anteil)
Der Lastgang der MDN enthält auch die Energiemengen der nachgelagerten Netzbetreiber, von denen kein Lastgang zur Verfügung steht	---

Abbildung 31: Nachgelagerte Netzbetreiber des Bayernwerks in Gebiet 6

Damit liegen nun für jedes der 17 Teilgebiete eine Zeitreihe mit stündlichen Werten vor, die sich in graphische Lastverläufe übersetzen lassen.

In Abbildung 32 sind einige wichtige Kennzahlen zusammengefasst:

	Jahresverbrauch [kWh]	Einwohner	Pro-Kopf- Verbrauch [kWh]	Mittlere Last [kW]	vollständig in EMN
Gebiet 1	64.925.728	10.174	6.382	7.412	nein
Gebiet 2	1.174.484.288	177.395	6.621	134.074	nein
Gebiet 3	857.625.807	100.684	8.518	97.902	nein
Gebiet 4	136.638.723	29.606	4.615	15.598	nein
Gebiet 5	1.908.192.802	286.109	6.669	217.830	nein
Gebiet 6	1.944.135.054	321.730	6.043	221.933	ja
Gebiet 7	1.929.583.767	302.285	6.383	220.272	ja
Gebiet 8	294.327.629	45.446	6.476	33.599	nein
Gebiet 9	360.299.468	80.445	4.479	41.130	nein
Gebiet 10	1.813.336.029	342.240	5.298	207.002	ja
Gebiet 11	7.152.779.479	1.264.893	5.655	816.527	ja
Gebiet 12	1.854.434.018	257.567	7.200	211.693	nein
Gebiet 13	211.368.574	33.361	6.336	24.129	nein
Gebiet 14	126.124.075	19.299	6.535	14.398	nein
Gebiet 15	592.509.453	149.077	3.975	67.638	nein
Gebiet 16	751.696.328	134.026	5.609	85.810	nein
Gebiet 17	159.617.772	25.193	6.336	18.221	nein
Gesamte EMN	21.332.078.994	3.579.527	5.959	2.435.169	

Abbildung 32: Übersicht über die EMN Teilgebiete

Diese Werte sollen nun im Folgenden verglichen und diskutiert werden.

Eine sehr wichtige Kennzahl ist der Jahresverbrauch eines jeden Gebietes. Dabei handelt es sich um die Energiemenge, die sich durch die Aufsummierung der stündlichen Werte des Lastgangs ergibt. Diese ist natürlich abhängig von der Einwohnerzahl in den einzelnen Gebieten. Da viele Teilgebiete nur anteilig in der Metropolregion Nürnberg liegen und entsprechend weniger Einwohner haben, können nur absolute Aussagen anhand dieser Werte getroffen werden.

In Abbildung 33 sind die Jahresverbräuche der Teilgebiete dargestellt:

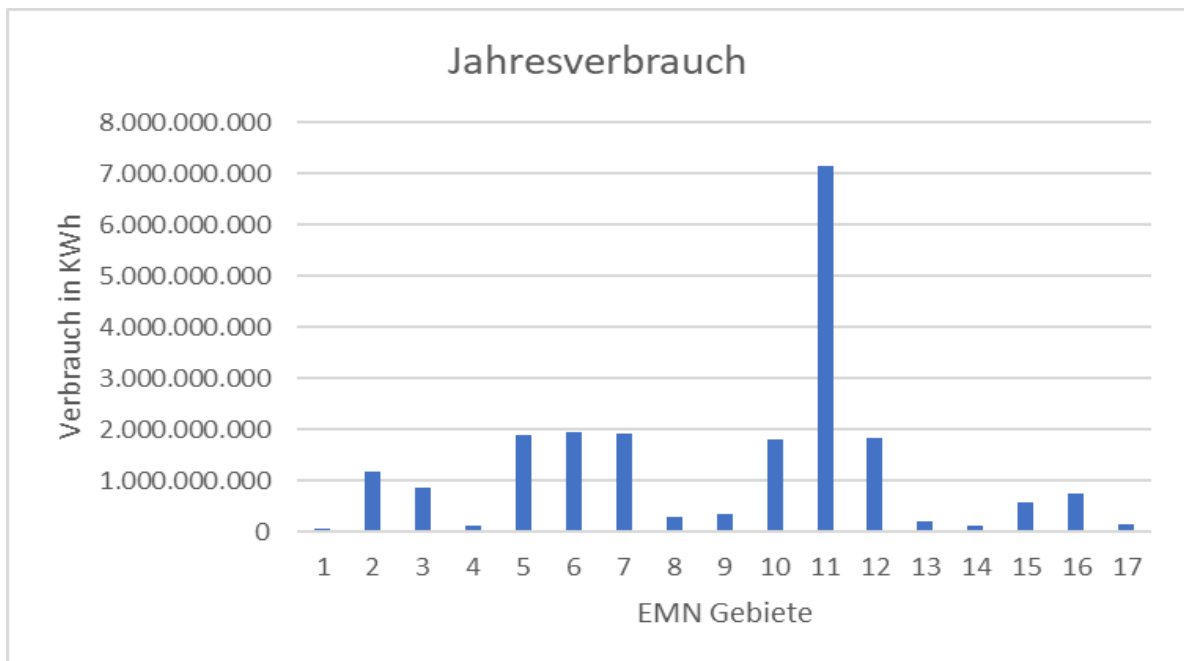


Abbildung 33: Jahresverbrauch der EMN Teilgebiete

Es ist deutlich zu erkennen, dass das Gebiet 11, in dem die Städte Nürnberg, Erlangen und Fürth liegen, den mit 7,152 TWh mit Abstand höchsten Jahresverbrauch hat. Alle anderen Gebiete liegen bei unterhalb von 2 TWh. Im Gebiet 11 leben aber auch mit über 1,26 Millionen Einwohnern die meisten Menschen in der Metropolregion. Die anderen Gebiete weisen Einwohnerzahlen von unter 350.000 auf.

Direkt mit dem Jahresverbrauch korreliert die mittlere Last der Gebiete. Diese beschreibt die durchschnittlich konstante Abnahme über ein Jahr. Auch dieser Wert ist direkt mit der Einwohnerzahl verknüpft.

In Abbildung 34 sind die mittleren Verbräuche der Gebiete abgebildet:

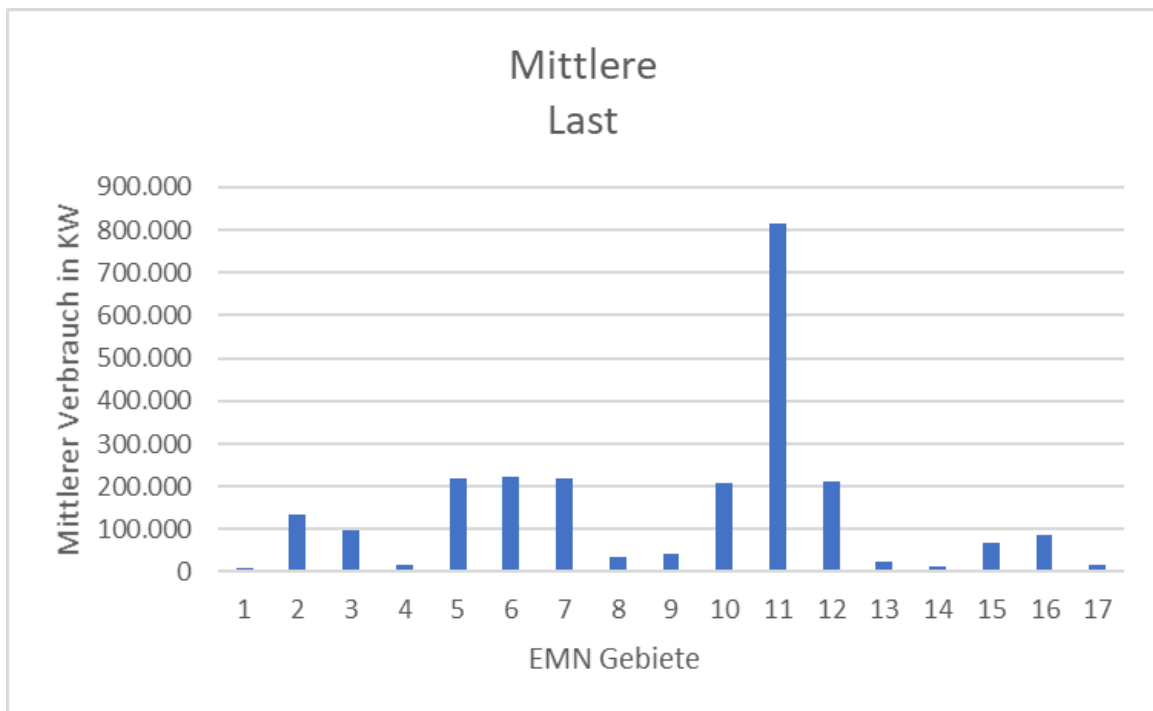


Abbildung 34: Mittlerer Verbrauch der EMN Teilgebiete

Das Verhältnis der Säulen zueinander ist identisch mit denen des Gesamtverbrauchs. Entsprechend liegt auch hier bei Gebiet 11 der deutlich höchste Wert vor.

Als nächstes soll ein Wert betrachtet werden, in dem die Gebiete unabhängig von der Einwohnerzahl miteinander verglichen werden können, nämlich der jährliche Pro-Kopf-Verbrauch.

Dieser wird berechnet aus dem Gesamtverbrauch dividiert durch die Einwohnerzahl und ist für die einzelnen Gebiete in Abbildung 35 dargestellt:

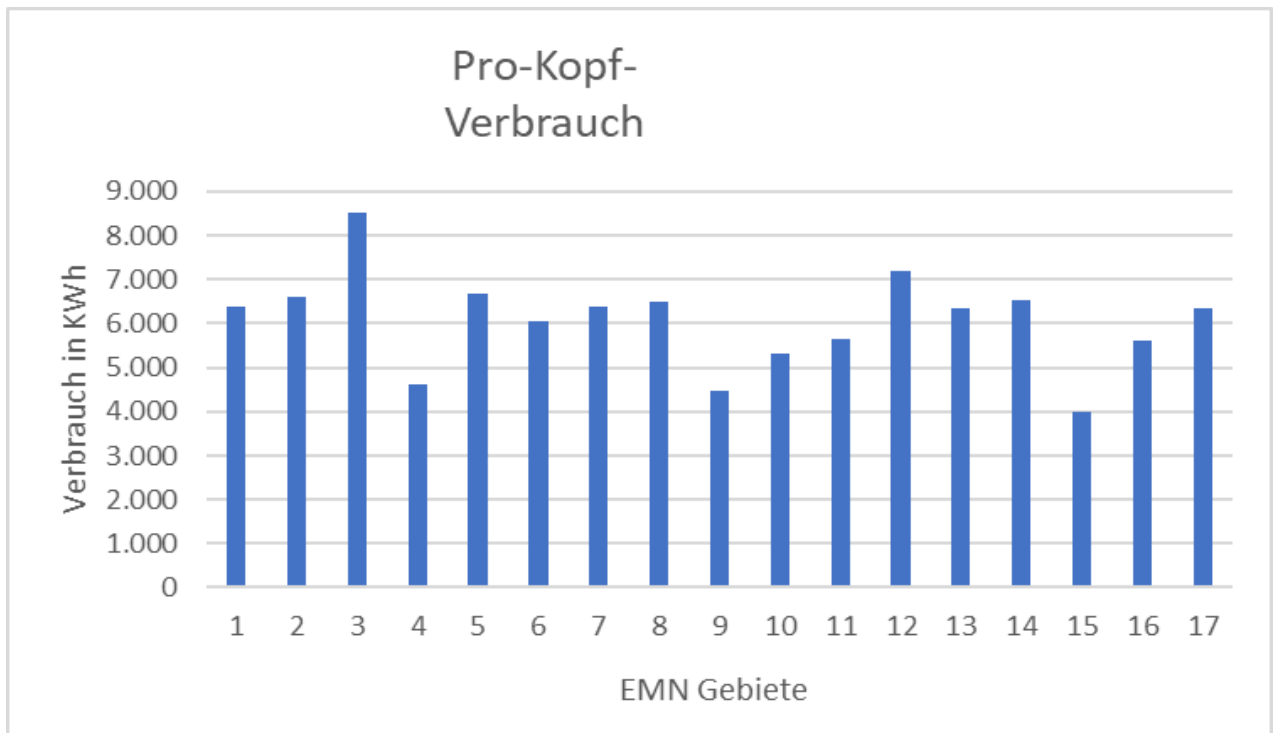


Abbildung 35: Pro-Kopf-Verbrauch der EMN Teilgebiete

Die Werte bewegen sich alle in einem Bereich von 4000-9000 kWh/Person und Jahr. Den niedrigsten Wert weist Gebiet 15 mit 3.975 kWh/ Person auf. Es handelt sich um ein überwiegend ländliches Gebiet ohne größere Städte in den Landkreisen Ansbach, Weißenburg-Gunzenhausen und Roth. Das Gebiet 11 liegt hier mit 5.655 kWh/ Person im mittleren Bereich. In diesem Gebiet gibt es zwar viel Industrie mit hohem Stromverbrauch, dieser wird jedoch anteilig auf viele Einwohner umgerechnet. Den höchsten Pro-Kopf-Verbrauch hat Gebiet 3 mit 8.518 kWh/ Einwohner. Dieses Gebiet beinhaltet außer der Stadt Hof wenig große Ortschaften. Da dort nur 100.684 Einwohner leben, wird der Verbrauch stromintensiver Industrie nur auf wenige Einwohner verteilt.

Ein weiterer wichtiger Faktor für die Planung der Energieversorgung und möglicher Speichersysteme sind die im Jahr maximalen und minimalen Entnahmen. Dabei ist vor allem interessant, wie stark diese Werte von der mittleren Entnahme abweichen. Um die Gebiete besser miteinander vergleichen zu können, werden diese als prozentuale Werte bezogen auf den Mittelwert dargestellt.

Diese sind in Abbildung 36 zu sehen:

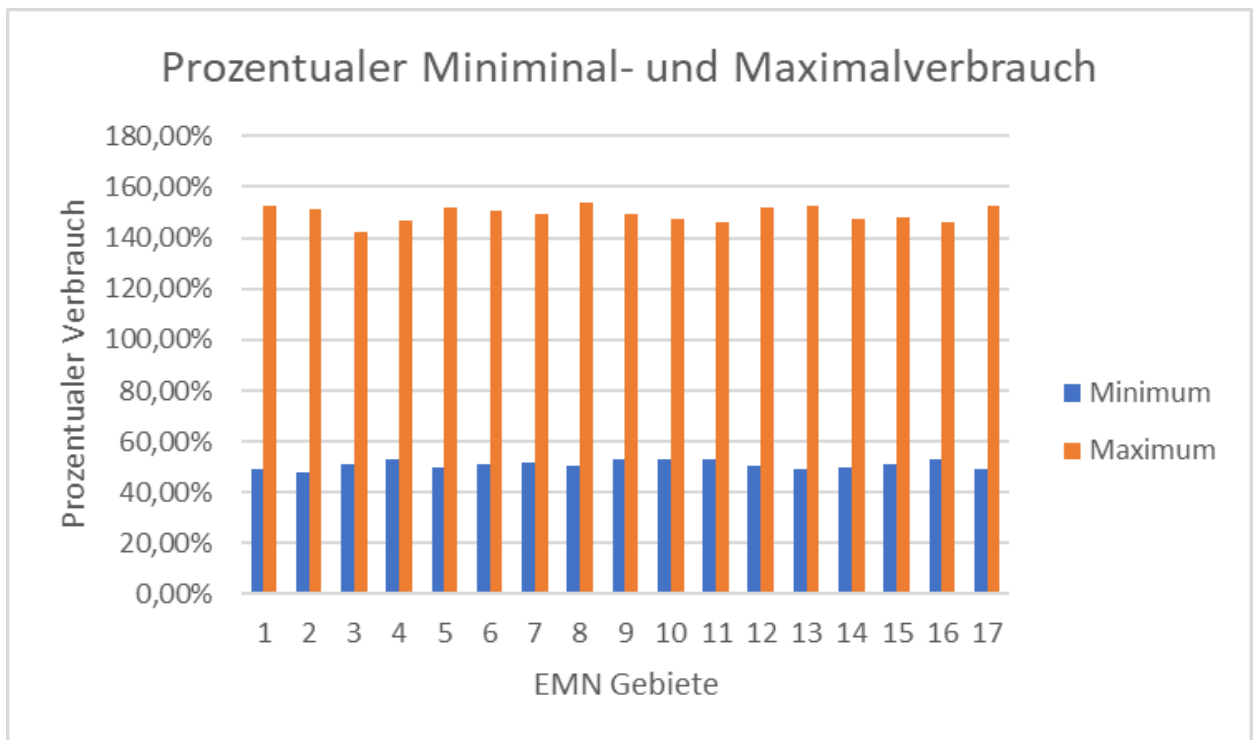


Abbildung 36: Prozentualer Minimal- und Maximalverbrauch der EMN-Teilgebiete

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass die Werte der einzelnen Teilgebiete in einem ähnlichen Rahmen liegen. Die Maximalwerte bewegen sich um 150%, die Minimalwerte um 50% vom Mittelwert. Den höchsten Maximalwert weist Gebiet 8 mit 153,87% auf, den niedrigsten Gebiet 3 mit 142,55%. Bei den Minimalwerten tritt der höchste Wert in Gebiet 16 auf mit 53,52%, der niedrigste in Gebiet 2 mit 47,97% vom Mittelwert.

In Abbildung 37 sind die exakten Werte für jedes Teilgebiet aufgeführt:

	Minimum	Mittelwert	Maximum
Gebiet 1	49,33%	100,00%	152,45%
Gebiet 2	47,97%	100,00%	151,43%
Gebiet 3	50,75%	100,00%	142,55%
Gebiet 4	53,12%	100,00%	146,59%
Gebiet 5	49,76%	100,00%	152,03%
Gebiet 6	50,93%	100,00%	150,93%
Gebiet 7	51,98%	100,00%	149,50%
Gebiet 8	50,34%	100,00%	153,87%
Gebiet 9	52,81%	100,00%	149,20%
Gebiet 10	52,71%	100,00%	147,31%
Gebiet 11	52,91%	100,00%	146,21%
Gebiet 12	50,22%	100,00%	151,88%
Gebiet 13	49,33%	100,00%	152,45%
Gebiet 14	49,63%	100,00%	147,13%
Gebiet 15	51,11%	100,00%	147,84%
Gebiet 16	53,25%	100,00%	146,15%
Gebiet 17	49,33%	100,00%	152,45%
Gesamte EMN	52,54%	100,00%	148,20%

Abbildung 37: Prozentuale Minimal- und Maximalverbräuche

In Abbildung 38 sollen der Gesamtlastgang der EMN, die Summe der 17 Teillastgänge betrachtet werden:

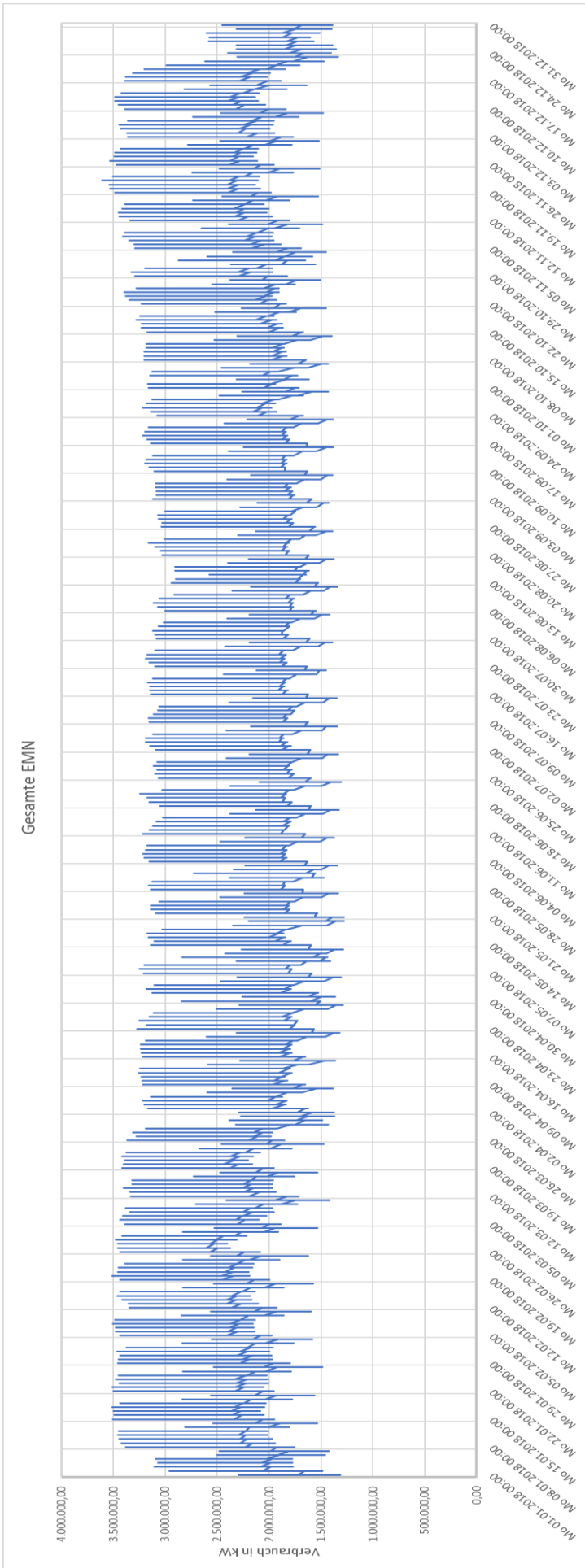


Abbildung 38: Gesamtlastverlauf der EMN

Deutlich zu erkennen sind die charakteristischen Leistungseinbrüche an den Wochenenden insbesondere an Sonn- und Feiertagen. Ebenso lässt sich ein Rückgang des Verbrauchs in den Sommermonaten und über die Weihnachtsferien erkennen.

Als nächstes sollen die Lastgänge zweier Teilgebiete miteinander verglichen werden. Dafür werden zwei Gebiete ausgewählt, die vollständig in der EMN liegen, nämlich Gebiet 6 und Gebiet 11. Gebiet 6 ist eher ländlich geprägt, hat aber mehrere Kleinstädte wie Kulmbach, Lichtenfels und Kronach. Die Einwohnerzahl beträgt 321.730, also in etwa ein Viertel von Gebiet 11.

Diese beiden Verläufe sind in Abbildung 39 dargestellt:

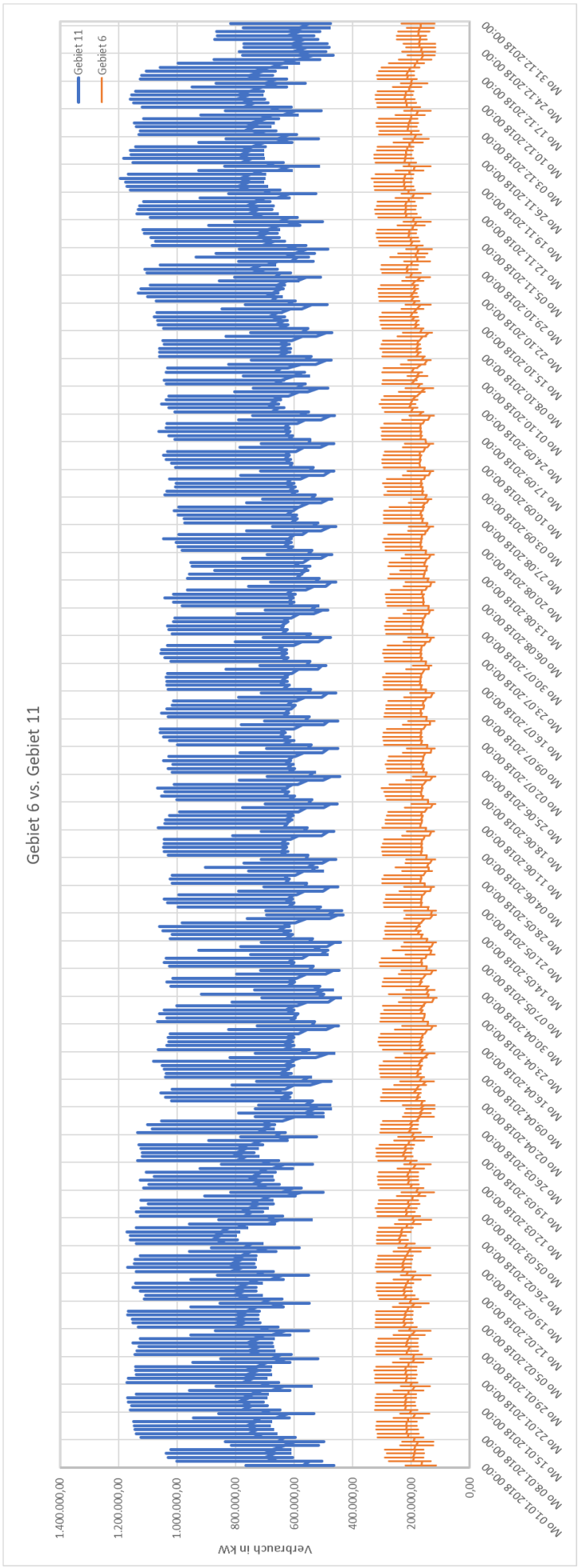


Abbildung 39: Lastverläufe von Gebiet 6 und 11

Wie zu erwarten liegt der Verlauf von Gebiet 11 deutlich über dem von Gebiet 6, und zwar tatsächlich ungefähr viermal so hoch. Durch die höheren Leistungswerte sind die absoluten Ausschläge größer, daher wirkt der Lastverlauf unregelmäßiger. Betrachtet man jedoch die prozentualen Lastverläufe bezogen auf den Mittelwert, sind diese nahezu deckungsgleich. Tatsächlich weist Gebiet 6 etwas stärkere Ausschläge auf, was auf die niedrige Einwohnerzahl und den relativ höheren Industrieanteil zurückzuführen ist. Dies ist in Abbildung 40 dargestellt:

Prozentualer Verlauf von Gebiet 6 vs. Gebiet 11

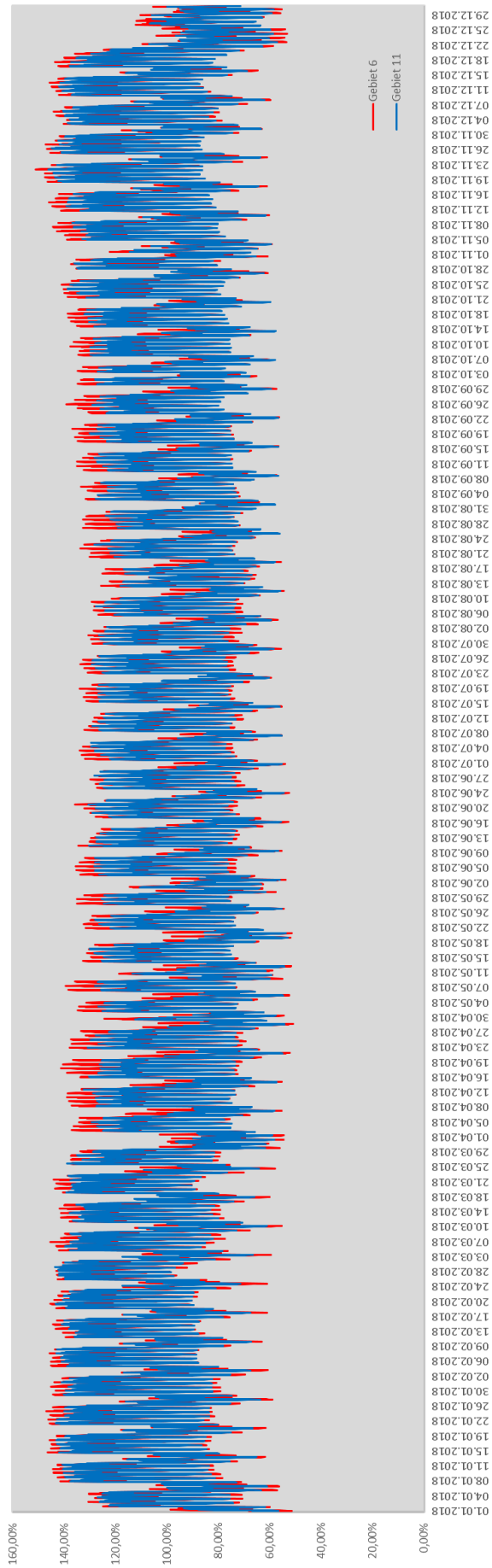


Abbildung 40: Prozentuale Lastverläufe von Gebiet 6 und 11

9. Ausblick

Diese Arbeit soll die Grundlage für spätere Arbeiten liefern, wie die Metropolregion Nürnberg rein regenerativ mit Strom versorgt werden kann. Die Lastverläufe für die einzelnen Teilgebiete lassen dafür genauere Rückschlüsse auf lokale Gegebenheiten zu.

Mit diesen Lastverläufen können nun mit Hilfe der Wetterdaten aus *MERRA-2* Versorgungsanalysen für alle Gebiete durchgeführt und so der Bedarf an Erzeugungsanlagen und Speicherkapazitäten bestimmt werden.

Ein sehr offensichtliches Problem ist, dass die Gebiete mit dem höchsten Verbrauch, auch die am dichtesten besiedelten sind und es entsprechend schwierig ist, dort ausreichend Erzeugungsanlagen und Speichersysteme zu errichten. Besonders betroffen ist Gebiet 11. Die Akzeptanzprobleme im Besonderen bei Windkraftanlagen verschlimmern diese Schwierigkeit. Damit wird es notwendig, dass die dicht besiedelten Regionen von den umliegenden Gebieten versorgt werden, was eine entsprechende Verteilungsinfrastruktur erfordert.

Was selbstverständlich ebenfalls berücksichtigt werden muss, ist der Anstieg der Elektrofahrzeuge und die Zunahme von Wärmepumpen für Heizzwecke, durch die der Strombedarf in den kommenden Jahren noch deutlich ansteigen wird.

Die unvollständig zur Verfügung stehenden Daten und die deshalb nötigen Annahmen führen zu Unschärfen und zu einer sehr aufwendigen Auswertung. Gerade deshalb ist es in Zukunft wichtig, auf vollständige und einheitliche Datensätze bei allen Verteilnetzbetreibern hinzuarbeiten.

Bei der momentanen Situation muss Jahr für Jahr wieder der extrem zeitintensive Prozess der Datenakquise und Aufbereitung durchgeführt werden. Die Uneinheitlichkeit der Daten macht eine automatisierte Aufbereitung und Auswertung, wie sie bereits Römisch 2017 angestrebt hat, unmöglich. Würden die Daten in der von der Bundesnetzagentur geforderten Form von allen Verteilnetzbetreibern veröffentlicht, könnte Forschung und Politik auf jährliche Veränderungen des Verbrauchsverhaltens, anhand exakter Daten schnell reagieren. Dies ist nach momentanem Stand aufgrund der zeitaufwendigen Analyse und der immanenten Unschärfen nicht möglich.

Die Tatsache, dass Transparenz nicht nur gesetzlich vorgeschrieben ist, sondern auch eine unabdingbare Grundlage für die Realisierung der Energiewende ist, muss ins Bewusstsein gerufen werden.

10. Quellen

Bayernwerk (2020). *Netzinformation Strom*. Abgerufen am 19. Februar 2020:

<https://www.bayernwerk-netz.de/de/bayernwerk-netz-gmbh/netzinformation/veroeffentlichungspflichten/strom.html>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2020). *Kohleausstieg und Strukturwandel*. Abgerufen am 06. Februar 2020 von:

<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Wirtschaft/kohleausstieg-und-strukturwandel.html>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020). *Netze und Netzausbau*. Abgerufen am 18. Februar 2020 von: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/netze-und-netzausbau.html>

Bundesnetzagentur (2008). *Leitfaden für die Internet-Veröffentlichungspflichten der Stromnetzbetreiber. Version 1.1*.

Bundesnetzagentur (2020). *Aufgaben und Struktur*. Abgerufen am 02. März 2020 von:

<https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Allgemeines/DieBundesnetzagentur/UeberdieAgentur/Aufgaben/aufgaben-node.html>

Konstantin, Panos (2009). *Praxisbuch Energiewirtschaft. Energieumwandlung, -transport und -beschaffung im liberalisierten Markt* (2. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer.

MERRA-2 (2020). *Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications*,

Version 2. Abgerufen am 02. März 2020 von: <https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA-2/>

Metropolregion Nürnberg (2019). *Daten & Fakten*. Abgerufen am 23. September 2019 von:

<https://www.metropolregionnuernberg.de/daten-fakten/daten-fakten.html>

N-ERGIE Netz GmbH (2020). *Versorgungsnetz Strom*. Abgerufen am 19. Februar 2020 von:

<https://www.n-ergie-netz.de/startseite/ueber-uns/versorgungsnetz-strom>

Römisch, Bernhard. (2017). *Aufbereitung der regionalen Lastverläufe im Stromnetz*.

Nürnberg, Deutschland: Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, Fakultät

Maschinenbau und Versorgungstechnik. Abgerufen am 06. März 2020 von:

<https://opus4.kobv.de/opus4-ohm/frontdoor/index/index/docId/585>

Statista (2020). *Pro-Kopf-Stromverbrauch in Deutschland in den Jahren 1995 bis 2018 (in Kilowattstunden)*. Abgerufen am 20. Februar 2020 von:

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/240696/umfrage/pro-kopf-stromverbrauch-in-deutschland/>

TenneT (2020). *EEG-Anlagenstammdaten*. Abgerufen am 20. Februar 2020 von:

<https://www.netztransparenz.de/EEG/Anlagenstammdaten>

Umwelt Bundesamt. (2020). *Klima | Energie*. Abgerufen am 06. Februar 2020 von:

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie#strap1>

Umwelt Bundesamt. (2020). *Klima / Energie. Energie aus Wasserkraft*. Abgerufen am 06. Februar 2020 von: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/energie-aus-wasserkraft#vom-wasser-zum-strom>

VSE. (2020). Stromnetze. Abgerufen am 18. Februar 2020 von: <https://www.strom.ch/de/energiewissen/stromnetze>

11. Anhang

Im Folgenden sind alle Verteilnetzbetreiber der EMN und deren Homepages tabellarisch aufgeführt.

Netzbetreiber	Webseite
Stadtwerke Bad Rodach	https://www.bad-rodach.de/de/stadtwerke.html
SÜC Energie und H2O GmbH	https://www.suec.de/startseite
Bayernwerk Netz GmbH	https://www.bayernwerk.de/de.html
TEN Thüringer Energienetze GmbH & Co. KG	https://www.thueringer-energienetze.com/Default
SWR Energie GmbH & Co. KG	https://www.stadtwerke-roedental.de/
Licht- und Kraftwerke Sonneberg GmbH	https://likra.de/
SWN Stadtwerke Neustadt GmbH	https://swn-nec.de/
Elektrizitätsgenossenschaft Nordhalben und Umgebung eG	http://www.eg-nordhalben.de/
HEW HofEnergie+Wasser GmbH	https://www.stadtwerke-hof.de/unternehmen/impressum.html
Elektrizitätswerk Heinrich Schirmer	https://www.ew-schirmer.de/
Unterfränkische Überlandzentrale eG	https://www.uez.de/startseite.html
Stadtwerke Dettelbach	https://www.dettelbach.de/seite/de/main/0810:621/-/Stadtwerke.html
Stadtwerke Bamberg Energie- und Wasserversorgungs GmbH	https://www.stadtwerke-bamberg.de/
Stadtwerk Haßfurt GmbH	https://www.stwhas.de/
Stadtwerke Zeil a. Main	https://stadtwerke-zeil.de/home/
MDN Main-Donau Netzgesellschaft mbH	https://www.main-donau-netz.de/startseite/
Stadtwerke Ebermannstadt Versorgungsbetriebe GmbH	https://www.stadtwerke-ebermannstadt.de/startseite
Eichenmüller GmbH & Co. KG	http://www.ew-eichenmueller.de/index.html
Stadtwerke Bayreuth Energie und Wasser GmbH	https://www.stadtwerke-bayreuth.de/
Stromnetz Kulmbach	https://www.stromnetz-kulmbach.de/das-stromnetz-kulmbach.html
Stadtwerke Hollfeld	https://www.stadtwerke-hollfeld.de/
Gemeindewerke Ebersdorf	https://www.ebersdorf.net/
Energieversorgung Selb-Marktredwitz GmbH	https://www.esm-selb.de/
Stadtwerke Schwarzenbach/Saale	https://www.stadtwerke-schwarzenbach.de/
gemeinsames Kommunalunternehmen	http://www.g-ku.de/

Oberes Egertal	
Licht- und Kraftwerke Helmrechts GmbH	https://www.luk-helmrechts.de/
Stadtwerke Münchberg	https://www.stadtwerke-muenchberg.de/
Gemeindewerke Stambach Kommunalunternehmen AdöR	https://www.gemeindewerke-stambach.de/Home.htm
SWW Wunsiedel GmbH	https://www.s-w-w.com/startseite.html
Stadtwerke Tirschenreuth	https://www.stadtwerke-tir.de/startseite.html
Elektrizitätswerk Mainbernheim GmbH	http://www.ewerk-mainbernheim.de/index.php/ewerk-mainbernheim-start.html
Licht-, Kraft- und Wasserwerke Kitzingen GmbH	https://www.lkw-kitzingen.de/startseite.html?no_cache=1
Stadtwerke Uffenheim	https://www.stadtwerke-uffenheim.de/navigation-meta/impressum/
Stadtwerke Rothenburg o. d. T. GmbH	https://www.stadtwerke-rothenburg.de/
Stadtwerke Zirndorf GmbH	https://www.stadtwerke-zirndorf.de/
Gemeindewerke Cadolzburg	https://www.werke-cadolzburg.de/
Stadtwerke Bad Windsheim	https://www.sw-bw.de/startseite/
Stadtwerke Langenzenn	https://www.stadtwerke-langenzenn.de/startseite/
Herzo Werke GmbH	https://www.herzowerke.de/
Stromversorgung Röttenbach	https://www.roettenbach-erh.de/stromversorgung/
Stadtwerke Burgbernheim	http://stadtwerke.burgbernheim.de/
Stadtwerke Scheinfeld	https://www.stw-scheinfeld.de/startseite-stadtwerke
Stadtwerke Neustadt a.d. Aisch GmbH	https://www.neustadtwerke.de/index.html
Markt Wilhermsdorf Gemeindewerke	https://www.markt-wilhermsdorf.de/wirtschaft-gemeindewerke/gemeindewerke/stromvertrieb/
Stadtwerke Ansbach GmbH	https://www.stwan.de/startseite
Stadtwerke Heilsbronn	https://www.heilsbronn-stadtwerke.de/
Gemeindewerke Neuendettelsau	https://www.gw-neuendettelsau.de/showpage.php?SiteID=1
Stadtwerke Windsbach	https://www.stadtwerke-windsbach.de/index.php?id=326
Kommunalunternehmen Leutershausen	https://www.leutershausen.de/verwaltung/einheiten/7595/kommunalunternehmen.html?browser=1
Gemeindewerke Markt Lichtenau	https://gemeindewerke.markt-lichtenau.de/gw/gw
Stadtwerke Altdorf GmbH	https://www.stadtwerke-altdorf.de/
infra Fürth	https://www.infra-fuerth.de/privatkunden/
Feuchter Gemeindewerke GmbH	https://www.feucht-gw.de/index.php?id=8
Stadtwerke Stein GmbH & Co. KG	https://www.stst.de/startseite
Stadtwerke Röthenbach a.d. Pegnitz GmbH	https://www.stadtwerke-roethenbach.de//index.html
Gemeindewerke Rückersdorf	https://gemeindewerke.rueckersdorf.de/index.php?id=3
Erlanger Stadtwerke AG	https://www.estw.de/

Gemeindewerke Schwarzenbruck	https://www.feucht-gw.de/index.php?id=496
Stadtwerke Schwabach GmbH	https://www.stadtwerke-schwabach.de/Home/Startseite/
Gemeinde Heroldsbach	https://www.heroldsbach.de/
Stromversorgung Egloffstein	https://www.egloffstein.de/seite/de/markt/028/-/Kontakt_und_Impressum.html
Elektra Genossenschaft Pinzberg e.G.	https://www.elektra-pinzberg.de/
Gewerbepark Nürnberg- Feucht Versorgungs- und Abwasserentsorgungs GmbH	https://www.feucht-gw.de/index.php?id=48
Gemeindewerke Wendelstein	https://www.gemeindewerke-wendelstein.de/E1086.htm
StWL Städtische Werke Lauf a.d. Pegnitz GmbH	http://www.stwl.lauf.de/de/Home/Home/
HEWA Hersbrucker Energie- und Wasserversorgung GmbH	https://www.hewagmbh.de/
Städtisches Kommunalunternehmen Baiersdorf	http://www.sk-baiersdorf.de/stadtwerke/aktuelles/index.html
Elektra-Genossenschaft Effeltrich e.G.	https://elektra-effeltrich.de/
Stromversorgung Neunkirchen GmbH	http://www.stwl.lauf.de/de/Netze/Das-Stromnetz-der-Stromversorgung-Neunkirchen/Kontakt.html
Stadtwerke Forchheim GmbH	https://www.stadtwerke-forchheim.de/
Gemeinde Hemhofen	https://www.hemhofen.de/buergerservice-und-politik/ver-und-entsorgung/stromversorgung/
Stadtwerke Neumarkt i.d.OPf. Energie GmbH	https://www.swneumarkt.de/
Stromnetz Weiden i.d.OPf. GmbH & Co. KG	http://www.stromnetz-weiden.de/
Stadtwerke Amberg Versorgungs GmbH	https://www.stadtwerke-amberg.de/home.html
SWD Stadtwerke Dinkelsbühl	https://www.sw-dinkelsbuehl.de/de.html
Stadtwerke Treuchtlingen	https://www.sw-trl.de/
Stadtwerke Gunzenhausen GmbH	https://www.swg-gun.de/index.php
Stadtwerke Feuchtwangen	https://stadtwerke-feuchtwangen.de/startseite.html
Stadtwerke Roth	https://stadtwerke-roth.de/hp1/Startseite.htm
Gemeindewerke Georgensgmünd	https://www.gemeindewerke-georgensgmuend.de/index.php?id=338&L=0
Raiffeisenbank Greding- Thalmässing e.G.	https://www.raiba-gretha.de/stromversorgung_greding.html
Stadtwerke Weißenburg GmbH	https://www.sw-wug.de/
Gemeindewerke Pleinfeld	https://www.gw-pleinfeld.de/index.php
Stadtwerke Pappenheim GmbH	https://stadtwerke.pappenheim.eu/

Die anschließende Tabelle beinhaltet den direkten Link zu den Pflichtveröffentlichungen der Netzbetreiber:

Netzbetreiber	Pflichtveröffentlichungen
Stadtwerke Bad Rodach	https://www.bad-rodach.de/de/stadtwerke/strom-netz/veroeffentlichungen.html
SÜC Energie und H2O GmbH	https://www.suec-netze.de/de/Strom/Netzstrukturdaten.html
Bayernwerk Netz GmbH	https://www.bayernwerk-netz.de/de/bayernwerk-netz-gmbh/netzinformation/veroeffentlichungspflichten/strom/netzrelevante-daten.html
TEN Thüringer Energienetze GmbH & Co. KG	https://www.thueringer-energienetze.com/Ueber_uns/Veroeffentlichungspflichten/Netzdaten
SWR Energie GmbH & Co. KG	https://www.stadtwerke-roedental.de/strom/informationen-rund-um-den-swr-strom.html
Licht- und Kraftwerke Sonneberg GmbH	https://likra.de/netz/strom/netzdaten/
SWN Stadtwerke Neustadt GmbH	http://www.swn-netze.de/index.php?option=com_content&view=article&id=51&Itemid=53
Elektrizitätsgenossenschaft Nordhalben und Umgebung eG	http://www.eg-nordhalben.de/veroeffentlichungen.html
HEW HofEnergie+Wasser GmbH	https://www.stadtwerke-hof.de/energie/netznutzung/strom.html
Elektrizitätswerk Heinrich Schirmer	https://www.ew-schirmer.de/stromversorgung/
Unterfränkische Überlandzentrale eG	https://www.uez.de/ver-oeffent-lichungs-pflichten_Veroeffentlichungspflichten_476_kkmenue.html
Stadtwerke Dettelbach	https://www.dettelbach.de/seite/de/main/0810:621:4307/-/Stromnetz.html
Stadtwerke Bamberg Energie- und Wasserversorgungs GmbH	https://www.stadtwerke-bamberg.de/netz/stromnetz/
Stadtwerk Haßfurt GmbH	https://www.stwhas.de/stadtwerk/netze/strom/
Stadtwerke Zeil a. Main	https://stadtwerke-zeil.de/downloads-veroeffentlichungen/veroeffentlichungspflichten/
MDN Main-Donau Netzgesellschaft mbH	https://www.n-ergie-netz.de/startseite/infothek/veroeffentlichungen/
Stadtwerke Ebermannstadt Versorgungsbetriebe GmbH	https://www.stadtwerke-ebermannstadt.de/de/Kopfnavigation/Netze1/Stromnetz/Netzstrukturdaten.html
Eichenmüller GmbH & Co. KG	http://www.netz.ew-eichenmueller.de/Infos/infos.html
Stadtwerke Bayreuth Energie und Wasser GmbH	https://www.stadtwerke-bayreuth.de/ueber-uns/netz/netzinformationen/
Stromnetz Kulmbach	https://www.stromnetz-kulmbach.de/netzzugang.html
Stadtwerke Hollfeld	https://www.stadtwerke-hollfeld.de/index.php/stromnetz
Gemeindewerke Ebersdorf	https://www.ebersdorf.net/netzbetrieb/netzinformationen/netzrelevante-daten/
Energieversorgung Selb-Marktredwitz GmbH	https://www.esm-selb.de/netze/stromnetz/
Stadtwerke Schwarzenbach/Saale gemeinsames Kommunalunternehmen Oberes Egertal	https://www.g-ku.de/index.php?id=stromNEU
Licht- und Kraftwerke Helmbrechts GmbH	https://www.luk-helmbrechts.de/web_LuK/Netzdaten_Strom_S_4.html
Stadtwerke Münchberg	https://www.stadtwerke-muenchberg.de/pflichtangaben-und-downloads/pflichtangaben-stromnetz
Gemeindewerke Stammbach Kommunalunternehmen AdöR	https://www.gemeindewerke-stammbach.de/Veroeffentlichungen.htm
SWW Wunsiedel GmbH	https://www.s-w-w.com/strom/netz/veroeffentlichungen-nach-enwg.html
Stadtwerke Tirschenreuth	https://www.stadtwerke-tir.de/strom/veroeffentlichungen
Elektrizitätswerk Mainbernheim GmbH	http://www.ewerk-mainbernheim.de/files/pdf/Ortsnetz%20Strom%202018.pdf
Licht-, Kraft- und Wasserwerke Kitzingen GmbH	http://netz.lkw-kitzingen.com/strom/pflichtveroeffentlichungen.html
Stadtwerke Uffenheim	https://www.stadtwerke-uffenheim.de/netze/strom/veroeffentlichungen/

Stadtwerke Rothenburg o. d. T. GmbH	https://www.stadtwerke-rothenburg.de/netze-anlagen/strom/netzdaten.html
Stadtwerke Zirndorf GmbH	https://www.stadtwerke-zirndorf.de/netze/strom/enwg.html
Gemeindewerke Cadolzburg	https://werke-cadolzburg.de/strom/netznutzung/
Stadtwerke Bad Windsheim	https://netze.sw-bw.de/strom-netz/veroeffentlichungen/allgemeines/
Stadtwerke Langenzenn	https://www.stadtwerke-langenzenn.de/stadtwerke/veroeffentlichungen-enwg/netzstrukturdaten/
Herzo Werke GmbH	https://www.herzowerke.de/netz/stromnetz/
Stromversorgung Röttenbach	https://www.roettenbach-erh.de/stromversorgung/
Stadtwerke Burgbernheim	http://stadtwerke.burgbernheim.de/stadtwerke.burgbernheim.de/Stromnetz/Hochlast-Zeitfenster/K520.htm
Stadtwerke Scheinfeld	https://www.stw-scheinfeld.de/stromnetze/veroeffentlichungen/veroeffentlichungen
Stadtwerke Neustadt a.d. Aisch GmbH	https://www.neustadtwerke.de/struktur-und-technische-daten2.html
Markt Wilhermsdorf Gemeindewerke	https://www.markt-wilhermsdorf.de/wirtschaft-gemeindewerke/gemeindewerke/stromnetz/?print=108
Stadtwerke Ansbach GmbH	https://www.stwan.de/Kopfnavigation/Netze/
Stadtwerke Heilsbronn	https://www.heilsbronn-stadtwerke.de/strom/veroeffentlichungen/
Gemeindewerke Neuendettelsau	https://www.gw-neuendettelsau.de/showpage.php?SiteID=17&lang=1
Stadtwerke Windsbach	https://www.stadtwerke-windsbach.de/index.php?id=332
Kommunalunternehmen Leutershausen	https://www.leutershausen.de/seite/192494/netz.html
Gemeindewerke Markt Lichtenau	https://gemeindewerke.markt-lichtenau.de/gw/stromnetz/veroeffentlichungen
Stadtwerke Altdorf GmbH	https://www.stadtwerke-aldorf.de/stromnetz/veroeffentlichungen.html
infra Fürth	https://www.infra-fuerth.de/privatkunden/die-infra/netz/pflichtveroeffentlichungen/
Feuchter Gemeindewerke GmbH	https://www.feucht-gw.de/index.php?id=409
Stadtwerke Stein GmbH & Co. KG	https://www.stst.de/de/NETZE/Stromnetz/Netzstrukturdaten.html
Stadtwerke Röthenbach a.d. Pegnitz GmbH	https://www.stadtwerke-roethenbach.de//stromnetz-veroeffentlichungen-nach-enwg.html
Gemeindewerke Rückersdorf	https://gemeindewerke.rueckersdorf.de/de/strom/stromnetz/veroeffentlichungen/
Erlanger Stadtwerke AG	https://netze.estw.de/de/Stromnetz/Netzstrukturdaten/
Gemeindewerke Schwarzenbruck	https://www.feucht-gw.de/index.php?id=415
Stadtwerke Schwabach GmbH	https://www.stadtwerke-schwabach.de/Kopfnavigation/Netze/Stromnetz/
Gemeinde Heroldsbach	https://www.heroldsbach.de/buergerservice-und-politik/stromversorgung/stromnetz/
Stromversorgung Egloffstein	https://www.egloffstein.de/seite/de/markt/666/-/Netzbetrieb.html
Elektra Genossenschaft Pinzberg e.G.	Webseite im Umbau
Gewerbepark Nürnberg-Feucht Versorgungs- und Abwasserentsorgungs GmbH	https://www.feucht-gw.de/index.php?id=420
Gemeindewerke Wendelstein	https://www.gemeindewerke-wendelstein.de/Unternehmen/Downloadcenter/E1077.htm#Downloadcenter_Tab11
StWL Städtische Werke Lauf a.d. Pegnitz GmbH	http://www.stwl.lauf.de/de/Netze/Das-Stromnetz-der-Stromversorgung-Neunkirchen/Netzstrukturdaten.html
HEWA Hersbrucker Energie- und Wasserversorgung GmbH	https://www.hewagmbh.de/netze/stromnetz/netzdaten/
Städtisches Kommunalunternehmen Baiersdorf	http://www.sk-baiersdorf.de/strom/netznutzung/strukturmerkmale/index.html
Elektra-Genossenschaft Effeltrich e.G.	https://elektra-effeltrich.de/stromlieferanten/netz/
Stromversorgung Neunkirchen GmbH	http://www.stwl.lauf.de/de/Netze/Das-Stromnetz-der-Stromversorgung-Neunkirchen/Netzstrukturdaten.html
Stadtwerke Forchheim GmbH	https://www.stadtwerke-forchheim.de/legal/pflichtveroeffentlichungen/
Gemeinde Hemhofen	https://www.hemhofen.de/buergerservice-und-politik/ver-und-entsorgung/stromversorgung/stromversorgung-hemhofen/pflichtangaben/
Stadtwerke Neumarkt i.d.OPf. Energie GmbH	https://www.swneumarkt.de/netze/strom/netzdaten

Stromnetz Weiden i.d.OPf. GmbH & Co. KG	https://www.stromnetz-weiden.de/netzdaten/netzrelev.html
Stadtwerke Amberg Versorgungs GmbH	https://www.stadtwerke-amberg.de/netze-strom.html
SWD Stadtwerke Dinkelsbühl	https://www.sw-dinkelsbuehl.de/de/netze/strom/veroeffentlichungspflichten.html
Stadtwerke Treuchtlingen	https://www.sw-trl.de/netze/stromnetz/
Stadtwerke Gunzenhausen GmbH	https://www.swg-gun.de/index.php/swg/Netze/Strom/Veroeffentlichungen/Veroeffentlichungen-2018
Stadtwerke Feuchtwangen	https://stadtwerke-feuchtwangen.de/strom-netzbetrieb.html
Stadtwerke Roth	https://stadtwerke-roth.de/hp531/Strom.htm
Gemeindewerke Georgensgmünd	https://www.gemeindewerke-georgensgmuend.de/index.php?id=350
Raiffeisenbank Greding-Thalmässing e.G.	https://www.raiba-gretha.de/stromversorgung_greding/netzbetrieb/netzstrukturdaten.html
Stadtwerke Weißenburg GmbH	https://www.sw-wug.de/netze/
Gemeindewerke Pleinfeld	https://www.gw-pleinfeld.de/index.php/strom/strom-veroeffentlichungen
Stadtwerke Pappenheim GmbH	https://stadtwerke.pappenheim.eu/stromnetz/downloads