



## **Schlussbericht**

zum Projekt

# **Studie zur CO<sub>2</sub>-Reduktion des Gebäudebestandes unter Berücksichtigung der konkreten sächsischen Bedarfszahlen sowie der wirtschaftlichen Randbedingungen**

Projektdauer: 01.10.2021 bis 30.11.2022

Auftraggeber:

SAENA – Sächsische Energieagentur  
Pirnaische Straße 9  
01069 Dresden

Auftragnehmer:

Technische Universität Dresden

Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeversorgung

Leiter der Professur: Prof. Dr.-Ing. Clemens Felsmann

Telefon: +49 (0) 351/463 32145

E-Mail: [clemens.felsmann@tu-dresden.de](mailto:clemens.felsmann@tu-dresden.de)

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Clemens Felsmann

Bearbeiter:innen: Dipl.-Ing. Andrea Meinzenbach

Dipl.-Ing. Cornelius Zunk

Dipl.-Ing. Martin Altenburger

Dresden, 29.12.2022

# Inhalt

1	Projektübersicht und Motivation .....	6
1.1	Hintergrund .....	6
1.2	Zielstellung.....	7
1.3	Methodik .....	7
2	Datengrundlage .....	8
2.1	Festlegung der örtlichen Auflösung und Bezugszeitpunkt .....	8
2.2	Gebäudestatistik .....	9
2.3	Heizungssysteme .....	10
2.3.1	Kleinfeuerungsanlagen (KFA) .....	11
2.3.2	Fernwärme .....	12
2.3.3	Wärmepumpen.....	15
2.3.4	Direkt-elektrische Systeme.....	16
2.3.5	Solarthermische Anlagen.....	17
2.4	Referenz- und Vergleichswerte .....	17
2.4.1	VSWG.....	17
2.4.2	Energiekennwerte .....	19
2.4.3	Energiebilanz Sachsen .....	20
2.4.4	Wohnflächenbezogene Nennwärmeleistung der Erzeuger .....	20
3	Endenergieverbräuche, Endenergieträger und Heizungsarten .....	24
3.1	Allgemeine Methodik zur Ermittlung der Endenergieverbräuche .....	24
3.2	Kleinfeuerungsanlagen .....	25
3.2.1	Allgemeines .....	25
3.2.2	Bereinigung der Datengrundlage der Kleinfeuerungsanlagen .....	26
3.2.3	Nutzungsgrad.....	31
3.2.4	Vollbenutzungsstunden.....	33
3.2.5	Leerstand.....	34
3.2.6	Datenkorrektur Wärmeerzeugeranzahl.....	37
3.3	Fernwärme.....	38
3.4	Wärmepumpen .....	40
3.5	Direkt-elektrische Systeme .....	40
3.6	Solarthermische Anlagen .....	41
3.7	Trinkwassererwärmung (TWE).....	42
3.8	Plausibilitätsprüfung der Ergebnisse .....	43

3.9	Wohnflächenbezogener Endenergieverbrauch.....	46
3.10	Treibhausgasemissionen .....	50
4	Statistische Fallprüfung (Stichprobe) .....	53
4.1	Vorgehensweise .....	53
4.2	Ergebnisse und Auswertung.....	53
5	Baualtersklassen und Sanierungsstand.....	56
5.1	Zielstellung.....	56
5.2	Vorgehen.....	57
5.3	Endenergieverbrauch nach Baualtersklassen ohne Sanierung.....	58
5.4	Abschätzung zum Sanierungsstand.....	61
5.4.1	Abgleich .....	61
5.4.2	Plausibilitätsprüfung .....	62
5.4.3	Abschätzung Sanierungsstand: Anlagentechnik.....	64
5.4.4	Abschätzung Sanierungsstand Gebäudehülle .....	66
5.5	Energieeffizienzklassen sächsischer Wohngebäude .....	72
5.5.1	Sanierung nach Szenario 1 (Vollsanierungsäquivalente).....	72
5.5.2	Sanierung nach Szenario 2 (Abschätzung der Sanierungstiefe) .....	74
5.6	Ergebnis der Abschätzung des Sanierungsstandes .....	76
6	Bezahlbarkeit von Wohnraum .....	77
6.1.1	Datengrundlage .....	78
6.1.2	Schlussfolgerungen und Thesen.....	81
7	Fehlerbetrachtung.....	83
7.1	Überblick über Ursachen von Unsicherheiten .....	83
7.2	Bewertung der Auswirkung der Fehlerursachen .....	84
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	86
9	Literaturverzeichnis.....	91
10	Anhang.....	95

## Abkürzungsverzeichnis

BDEW	Bundesverband für Energie- und Wasserwirtschaft
BDH	Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie e.V.
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BWP	Bundesverband Wärmepumpe
EEV	Endenergieverbrauch
EFA	Einzelfeuerungsanlage
EFH	Einfamilienhaus
EZFH	Ein- und Zweifamilienhäuser
GHD	Gewerbe-, Handel- und Dienstleistungssektor
KFA	Kleinfeuerungsanlagen
LfULG	Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
MFH	Mehrfamilienhaus
OGD	Oberste Geschosdecke
PLZ	Postleitzahlen
RH	Raumheiz-(aufgabe)
TWE	Trinkwassererwärmung
VSWG	Verband sächsischer Wohnungsgenossenschaften
WP	Wärmepumpe
ZFA	Zentrale Feuerungsanlagen
ZFH	Zweifamilienhaus

## Symbolverzeichnis

### Lateinische / Griechische Buchstaben

$\varphi$	Verhältnis	-
$\sigma$	(Leerstands-) Quote	-
$\delta$	Schichtdicke	m
$\eta$	Nutzungsgrad	-
$\lambda$	Wärmeleitkoeffizient	W/m/K
$A$	Fläche	m <sup>2</sup>
$A$	Wirkungsgradfaktor	-
$B$	Wirkungsgradfaktor	-
$c$	Konstante / Faktor	-
$GTZ$	Gradtagzahl	Kd/a
$P$	Leistung	kW
$Q$	Endenergieverbrauch	kWh/a
$\dot{Q}$	Wärmeleistung	kW
$\dot{q}$	Flächenbezogene Wärmeleistung	kW/m <sup>2</sup>
$f$	Faktor	-
$q$	Flächenbezogener Endenergieverbrauch	kWh/m <sup>2</sup> /a
$t$	Vollbenutzungsstunden	h
$t$	Zeit	h
$n$	Anzahl	-

## Tief- und hochgestellte Zeichen

BHZ	Blockheizung
BA	Baualter
DVA	Direktverdampferanlagen
DE	Direkt-elektrische Systeme
EFA	Einzelfeuerungsanlage
EFH	Einfamilienhaus
EHZ	Etagenheizung
EK	Erdwärme-Kollektoranlagen
ERA	Einzelraumanlage
ES	Erdsonden
EWP	Wärmepumpe mit Erdsonde
F	Feuerung / Feuerungsleistung
FW	Fernwärme
FWG	fernwärmeversorgte Gebäude (~Hausstation)
ges	gesamt
<i>i</i>	Zählvariable
<i>j</i>	Zählvariable
<i>k</i>	Zählvariable
KFA	Kleinf Feuerungsanlage(n)
L	Leerstand
MFH	Mehrfamilienhaus (Gebäude mit mehr als 2 Wohnungen)
N	Nenn-(wärmeleistung)
Nutz	In Nutzung
Q	Quelle
RH	Raumheizung
ST	Solarthermie
SSD	Sonnenscheindauer
THG	Treibhausgas
TWE	Trinkwassererwärmung
TWW	Trinkwarmwasser
VBH	Vollbenutzungsstunden
VSÄ	Vollsanierungsäquivalent
WE	Wärmeerzeuger
WWA	Wasser-Wasser-Anlagen (Wärmepumpen)
WG	Wohngebäude
WHG	Wohnung / Wohneinheit
WP	Wärmepumpe
ZFA	Zentrale Feuerungsanlagen
ZFH	Zweifamilienhaus
ZHZ	Zentralheizung
ZTWE	Zentrale Trinkwassererwärmung
ZWE	Zentrale Wärmeerzeuger

# 1 Projektübersicht und Motivation

## 1.1 Hintergrund

Das Ziel der Novellierung des Bundes-Klimaschutzgesetzes im Mai 2021 ist die Netto-Treibhausgasneutralität Deutschlands bis 2045. Mit der Reduktion der Treibhausgase sollen nationale Klimaschutzziele erfüllt und europäische Zielvorgaben eingehalten werden, um so den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur und die Auswirkungen des weltweiten Klimawandels zu mindern. Die gesetzlichen Rahmenbedingungen für die CO<sub>2</sub>-Reduktionen in den verschiedenen Sektoren (Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Verkehr und Landwirtschaft) wurden deutlich verschärft. Im Gebäudebereich lautet das verbindliche Zwischenziel: Von 118 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>Äqu im Jahr 2020 zu 67 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>Äqu im Jahr 2030. Auch der Freistaat Sachsen bekennt sich zu den sogenannten Pariser Klimazielen und postuliert in seinem Energie- und Klimakonzept verschiedene Ziele zwischen Klimaneutralität und weitgehender Dekarbonisierung des Wirtschafts- und Energiesystems bis 2050.

Um diese Ziele zu erreichen, möchte der Gesetzgeber ein möglichst effektives Maßnahmenpaket zusammenstellen. Neben CO<sub>2</sub>-Umlagen bzw. Emissionszertifikaten auf fossile Energieträger sollen eine Vielzahl von Förderangeboten enthalten sein. Hierfür sind jedoch die auftretenden regionalen Unterschiede in Deutschland zu berücksichtigen. Diese betreffen insbesondere die energetische Ausstattung des Gebäudebestandes sowie den damit einhergehenden Energiebedarf.

Damit die genannten Förderangebote effektiv sowie möglichst kostengünstig die Zielerreichung unterstützen können, ist es von großem Vorteil, beim Erstellen der Förderrichtlinien möglichst genaue Kenntnisse über den aktuellen Stand des Gebäudebestandes zu besitzen und so die wirksamsten Maßnahmen fördern zu können. Eine detaillierte, aktuelle und vollständige Zusammenstellung des sächsischen Gebäudebestandes insbesondere in Bezug auf Sanierungsstand, Wärmeverbrauch und weiterer wichtiger energetischer Kennwerte liegt aktuell jedoch nicht vor. Gesamtdeutsche Betrachtungen sind dabei nur bedingt hilfreich, da sich die energetische Qualität in Deutschland insbesondere durch eine Sanierungswelle Anfang der 1990-iger Jahre in den neuen Bundesländern, regional teils erheblich unterscheidet.

Vor diesem Hintergrund ist das Ziel dieser Studie, für den Freistaat Sachsen eine regional aufgelöste Zuordnung der Gebäudeenergieverbräuche zu erstellen, um daraus abgeleitet, im nächsten Schritt Zielvorgaben formulieren zu können, die die strukturellen,

sozialen, wirtschaftlichen und demographischen Besonderheiten der Regionen berücksichtigen.

## **1.2 Zielstellung**

In einer ersten Stufe soll eine regional aufgelöste sächsische Datenbasis zur energetischen Qualität des Gebäudebestandes erstellt werden. Die Regionalisierung ist nach Energieträger / Versorgungssystem, energetischer Qualität und Treibhausgas (THG)-Belastung der Wärme auf Gemeindeebene durchzuführen.

Es soll hierbei eine Methodik entwickelt werden, die belastbare Aussagen zur energetischen Qualität des sächsischen Wohnungsbestandes auf der Basis von vorhandenen Verbrauchsdaten des Verbandes sächsischer Wohnungsgenossenschaften (VSWG) sowie der Datenerhebung des sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) zulässt und durch die Einbeziehung weiterer Datengrundlagen verbessert werden kann.

Die ermittelten Energieverbräuche je Versorgungs- bzw. Wärmeerzeugertyp sowie die verwendete Brennstoffart inklusive der THG-Emissionen sind nach Gemeinde darzustellen. Des Weiteren soll eine Zuordnung der Gebäudestruktur nach Baualtersklassen sowie dem energetischen Sanierungszustand erfolgen.

## **1.3 Methodik**

Die bekannten Statistiken zum Endenergieverbrauch in Sachsen werden um die für diese Studie nicht relevanten Anteile bereinigt. Nicht relevant im Sinne der Aufgabenstellung sind beispielsweise die Energieverbräuche der Nichtwohngebäude oder energetische Aufwendungen, die im Zusammenhang mit der Trinkwassererwärmung stehen, also keinen Raumheizzwecken dienen. Über eine statistisch unterlegte Zuordnung wird schließlich der für jeden Energieträger bereinigte Endenergieverbrauch in Sachsen auf die einzelnen Gemeinden aufgeteilt. Sind die gemeindebezogenen Energieverbräuche ermittelt, kann unter Verwendung von Emissionsfaktoren die CO<sub>2</sub>-Emission für jede Gemeinde errechnet werden. Eine ausführliche Darstellung der Methodik sowie Erläuterungen der einzelnen Berechnungsschritte finden sich in den folgenden Kapiteln.

## 2 Datengrundlage

### 2.1 Festlegung der örtlichen Auflösung und Bezugszeitpunkt

Der Freistaat Sachsen ist untergliedert in:

- drei kreisfreie Städte (Dresden, Leipzig, Chemnitz) sowie
- zehn Landkreise.

Es existieren 384 PLZ-Bereiche (inkl. der innerstädtischen Untergliederungen) und 420 Gemeinden (Zählung nach Gemeindegeschlüssel). Da für die Untersuchungen der Wohngebäudebestand gegenständlich ist, wird die vom Statistischen Landesamt verwendete Gemeindegeschlüsselstatistik mit den Angaben zu den Gebäude- und Wohnungsbeständen als Grundlage für die Untersuchungen genutzt. Alle anderen Datenquellen wurden, wenn möglich, auf diese Detaillierungsebene abgeglichen. Um für weitere Bearbeitungsschritte und Nachnutzungen eine gute Datengrundlage zu schaffen, wurde ein möglichst aktueller Bezugspunkt aller in dieser Studie verwendeten Datenquellen angestrebt. Die verfügbaren Datenquellen besitzen trotzdem teils sehr unterschiedliche Zeitstempel. Die Fortschreibung der Bilanz zum sächsischen Wohnungsbestand erfolgt i. d. R. mit mindestens zwei Jahren Verzug, daher sind zum Zeitpunkt der Studie die Daten mit dem Stichtag 01.01.2019 die aktuellsten, die vollständig vorliegen.

Eine weitere besonders relevante Datenquelle sind die Daten zu den Kleinf Feuerungsanlagen. Die Erfassung und Meldung erfolgt über die in den Kehrbezirken zuständigen Schornsteinfeger. Die Anzahl der Kehrbezirke beträgt aktuell 320, dabei sind die alle sieben Jahre neu ausgeschrieben Kehrbezirke in den meisten Fällen weder deckungsgleich mit den Gemeinden noch mit Postleitzahlen. Die Daten werden an das sächsische LfULG<sup>1</sup> gemeldet und liegen als anlagenspezifische Daten vor. Für die übermittelten Anlagen innerhalb der Kehrbezirke werden auch die zugehörigen Gemeindegamen und Postleitzahl erfasst. Der letzte Datensatz hat den Stichtag 31.12.2016. Da diese Daten bereits mehr als fünf Jahre alt sind und neue Daten vom LfULG noch nicht veröffentlicht wurden, wird für die weiteren Betrachtungen nicht der Stichtag der LfULG-Daten genutzt, sondern der 01.01.2019. Dies macht eine Prognose der LfULG-Daten und einiger weiterer Datenquellen im weiteren Verlauf der Studie notwendig.

---

<sup>1</sup> Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie <https://lfulg.sachsen.de/>

## 2.2 Gebäudestatistik

Wie bereits beschrieben, werden im Rahmen der Studie die Daten des Statistischen Landesamtes Sachsens zum Wohnungs- und Gebäudebestand [1] verwendet. Hierbei handelt es sich um eine Fortschreibung der Gebäude- und Wohnungszählung aus dem Jahr 2011 basierend auf den Neu- bzw. Rückbauaktivitäten in Sachsen. Insgesamt wird für die Studie von  $n_{WG} = 834.345$  Wohngebäuden verteilt auf 420 Gemeinden ausgegangen. Diese werden untergliedert in Gebäude mit einer und zwei Wohnungen (Ein- und Zweifamilienhäuser EZFH) oder mindestens drei Wohnungen (Mehrfamilienhäuser MFH). Zusätzlich werden die Angaben zu den Wohnflächen berücksichtigt.

Als weitere Datenquelle kann auf Statistiken der VSWG zurückgegriffen werden. Diese umfassen  $n_{WE\ VSWG} \approx 300.000$  Wohnungen. Hierbei handelt es sich um Wohnungen aus sächsischen Wohnungsgenossenschaften, folglich sind hier in erster Linie größere Mehrfamilienhäuser berücksichtigt. Detailliertere Angaben zur Datengrundlage der VSWG können Kapitel 2.4.1 entnommen werden. Zu beheizten Nichtwohngebäuden in Sachsen liegen aktuell keine Statistiken vor.

Abbildung 2-1 dokumentiert die Verteilung der Wohngebäude, Wohnungen und der Wohnfläche in Sachsen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind die Zahlen lediglich den drei Städten und zehn Landkreisen zugeordnet. Zusätzlich sind die Anteile der Wohnungen und Wohnflächen der VSWG enthalten. Tendenziell ist die Anzahl der Wohngebäude innerhalb der Landkreise höher als in den Städten, jedoch gibt es in den kreisfreien Städten deutlich mehr Wohnungen sowie Wohnfläche. Der Anteil der VSWG-Wohnungen liegt laut den vorliegenden Daten zwischen 6% in Nordsachsen und knapp 20% in Dresden. Zu beachten ist dabei, dass die Daten nur bezogen auf das einzelne Wohnungsunternehmen vorliegen und demnach alle Wohnungen eines Unternehmens der Gemeinde des Sitzes des Unternehmens zugeordnet werden.

Die gesamte Wohnfläche in Sachsen wird im Rahmen dieser Studie mit  $A_{WF} = 175.215 \times 10^3 \text{m}^2$  beziffert.

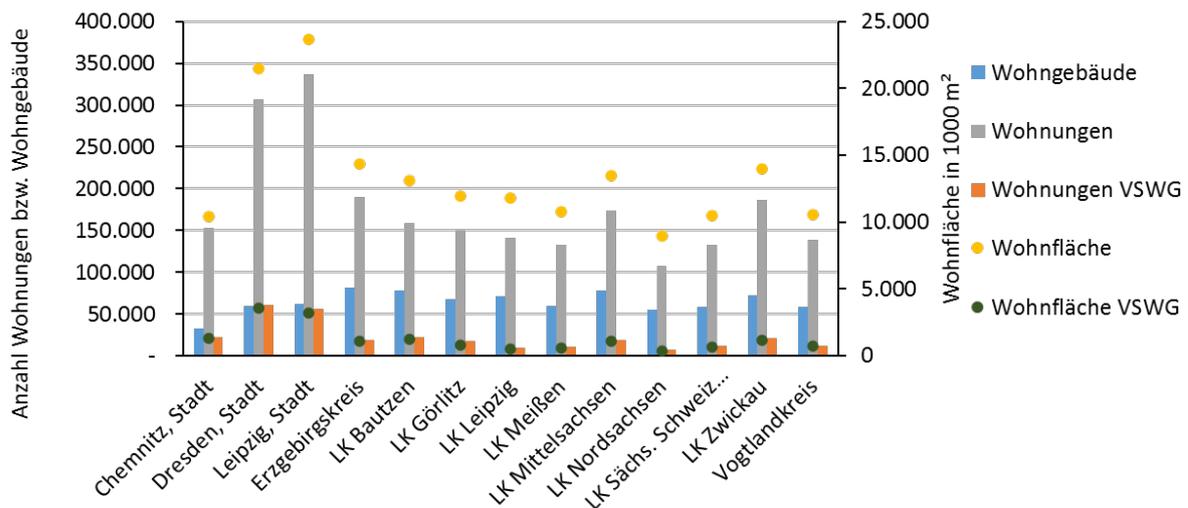


Abbildung 2-1: Gebäude und Wohnungsbestand in Sachsen (inkl. Vergleichsdaten der VSWG) [1]

### 2.3 Heizungssysteme

Die Beheizung der Gebäude und Wohnungen erfolgt über Kleinfeuerungsanlagen (KFA), Fernheizsysteme, welche besonders im Bereich der Mehrfamilienhäuser relevant sind, sowie Wärmepumpen, Stromdirektheizungen und solarthermische Anlagen. Die Daten der Kleinfeuerungsanlagen (KFA) stehen aus den Erfassungen der Schornsteinfeger zur Verfügung. Zu den Fernheizsystemen sowie zur Wärmebereitstellung über Wärmepumpen, direkt elektrische Systeme und solarthermischen Anlagen wurden eigene Recherchen angestellt. Zur Fernwärme in Sachsen lief zeitweise parallel aber unabhängig von dieser Studie eine vom SMEKUL<sup>2</sup> beauftragte Erhebung und Status Quo-Analyse der derzeitigen Situation der Fernwärme in Sachsen, der zugeordneten Wärmeerzeugung sowie zu Vorhaben der Treibhausgassenkung in diesem Bereich. Die Ergebnisse dieser ergänzenden Arbeiten sind soweit möglich berücksichtigt worden.

Eine besondere Herausforderung besteht bei allen Datenquellen darin, die Gebäudestatistik mit der Statistik der Beheizungssysteme in eine konsistente Übereinstimmung zu bringen. Ergebnis des Abgleichs soll eine plausible zahlenmäßige Konsistenz und soweit möglich eine belastbare Bilanz der installierten Heizleistung sein.

<sup>2</sup> Sächsische Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft

### 2.3.1 Kleinfeuerungsanlagen (KFA)

Die aktuelle Datenerhebung im Bereich der Kleinfeuerungsanlagen<sup>3</sup> ist auf den 31.12.2016 datiert [2] und liegt damit zwei Jahre vor dem zuvor definierten Bezugsdatum dieser Studie (01.01.2019). Daher wäre eine Extrapolation der Daten auf den Bezugszeitpunkt erforderlich. Es wird aber aufgrund fehlender Daten angenommen, dass sich Zu- und Rückbau von Anlagen für den Zeitraum ausgleichen und somit die Daten nicht angepasst werden müssen. Im Bereich der KFA handelt es sich üblicherweise um Wärmeerzeuger für die Brennstoffe:

- Heizöl,
- Erdgas oder Flüssiggas,
- sowie die Festbrennstoffe Holz und Kohle (Stein- und Braunkohle).

Für die Kategorie Haushalte sind im Rahmen der sächsischen Energiebilanz (Kapitel 2.4.3) Angaben zum Endenergieverbrauch (EEV) für die Energieträger Heizöl, Erdgas und Kohle mit dem Stichtag 01.01.2019 verfügbar.

Die Datengrundlage bezieht sich auf eine Erhebung aus den Kehrbezirken in Sachsen, wobei diese Erhebung nicht vollständig ist. Aus einigen Kehrbezirken liegen keine Daten vor, aus anderen sind die Daten unvollständig. Laut Poppitz [2] liegen aus 309 der 320 Kehrbezirken Daten vor und insgesamt sind aus 87 % der Kehrbezirke Daten ohne oder mit geringen Mängeln übermittelt worden. Die vorhandenen Mängel zeigen sich bspw. in fehlenden Angaben von Anlagenleistungen oder Baujahren der Wärmeerzeuger. Tabelle 2-1 gibt einen Überblick über die Qualität der Daten hinsichtlich der Angaben von Wärme- oder Feuerungswärmeleistungen zu den KFA.

Tabelle 2-1: Überblick zur Datenqualität der Anzahl von Kleinfeuerungsanlagen in Sachsen

	Einzelraum- feuerung	Zentralfeuerung (Raumheizung)	Raumheizung
Anlagen mit Gemeinde-Zuordnung	455.208	812.032	1.267.240
Anlagen ohne Leistungsangabe	10.828	4	10.832
Anteil ohne Leistungsangabe	2%	0%	1%

<sup>3</sup> Es handelt sich nach 1. BImSchV um Feuerungsanlagen ohne Genehmigungspflicht nach §4 BImSchG, mit Ausnahme von Feuerungsanlagen zur Verbrennung von gasförmigen oder flüssigen Brennstoffen mit einer Feuerungswärmeleistung von 1 MW oder mehr

Neben diesen Datenlücken sind weitere Aspekte bei der Auswertung der KFA-Daten zur Analyse des Endenergieverbrauches für Raumheizung für Wohngebäude zu beachten:

1. Es sind in den Erhebungen der Schornsteinfeger Kleinfeuerungsanlagen ohne Raumheizaufgabe enthalten.
2. Es liegen keine Angaben über die Betriebsweise und das Anwendungsgebiet von Anlagen vor (d.h. es bleibt unklar, ob die Wärmeerzeuger nur für Raumheizung oder zusätzlich auch für die Trinkwassererwärmung genutzt werden).
3. Es wird nicht erfasst, ob eine Feuerungsanlage ein oder mehrere Wohngebäude oder ein oder mehrere Nichtwohngebäude versorgt.
4. Eine Zuordnung von Anlagen zu leerstehenden Wohnungen ist nicht gegeben. Stillgelegte Anlagen werden laut Schornsteinfegerinnung erst aus der Statistik genommen, wenn diese nicht mehr feuerungsbereit sind. Dafür muss eine aktive Außerbetriebnahme erfolgen. Ein Schritt, der bei voraussichtlich nur temporären Leerstand häufig nicht gegangen wird, insbesondere wenn eine Warmhaltung notwendig ist, um eine Beschädigung der Bausubstanz durch Schimmelbildung zu vermeiden.

Aufgrund der genannten Problemstellungen ist ein Filterprozess zum Ausschluss von für die Untersuchung nicht relevanten Anlagen, unplausiblen Datenmeldungen (Gemeinden) und der Anpassung an die Zuordnung von Trinkwarmwasser, Leerstand und Nichtwohngebäuden notwendig, siehe hierzu Kapitel 3.2.

### 2.3.2 Fernwärme

Im Rahmen des Zensus 2011, wurden für alle Gebäude die Heizungsart erfasst<sup>4</sup>. In der Kategorie Fernheizung bzw. Fernwärme wurden in Sachsen 66.707 Gebäude mit 588.140 Wohnungen ermittelt. Allerdings sind die Angaben zum Teil unplausibel. So gibt es bspw. Gemeinden, in denen es mehr fernwärmeversorgte Gebäude als fernwärmeversorgte Wohnungen gibt. Zudem geht aus den Daten des Zensus hervor, dass in fast allen Gemeinden Sachsens eine Fernwärmeversorgung vorhanden ist. Dabei werden aber in vielen Gemeinden geringe Anzahlen fernwärmeversorgter Gebäude (maximal zehn Gebäude) aufgeführt, obwohl Nahwärmenetze in der Kategorie Blockheizung gesondert erfasst wurden.

Im Rahmen einer Internetrecherche und Befragung von Fernwärmeunternehmen wurde versucht, alle Fernwärmeunternehmen und Wärmelieferanten in Sachsen sowie von

---

<sup>4</sup> In den Kategorien: Zentralheizung, Blockheizung, Fernheizung, Etagenheizung, Einzel- oder Mehrraumöfen, keine Heizung



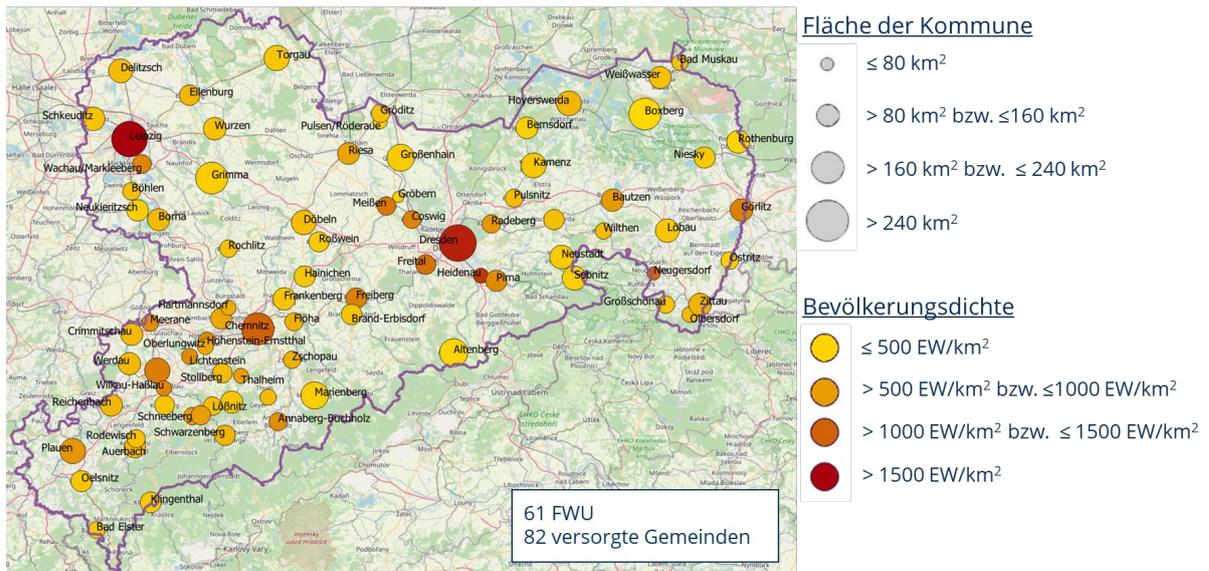


Abbildung 2-3: GIS-Übersicht zum Status FW versorgter Städte und Gemeinden in Sachsen aus [3] Angaben zu den Wärmeverlusten der Fernwärmesysteme sind in Abhängigkeit von der Wärmemengenliniendichte in Abbildung 2-4 dargestellt. Eine Zuordnung der Daten zu bestimmten Wärmeversorgungsunternehmen und Kommunen ist aus Datenschutzgründen hier nicht möglich.

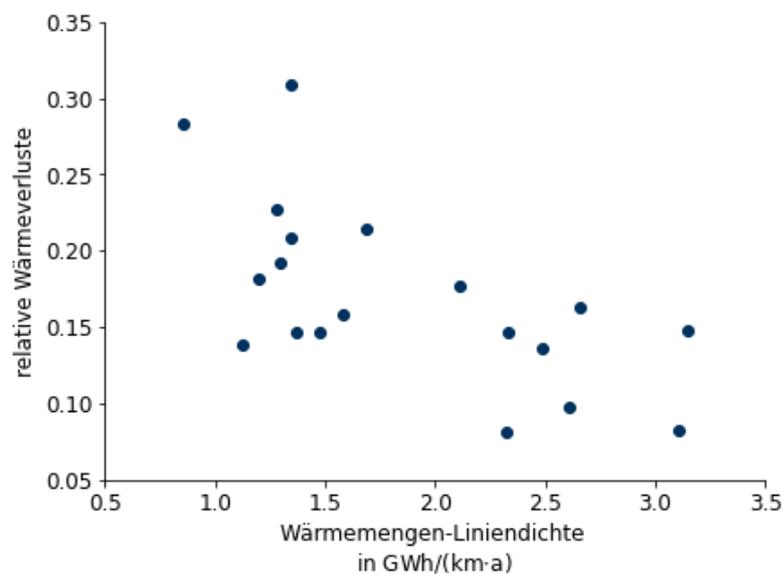


Abbildung 2-4: Relative Wärmeverluste in Abhängigkeit von der Wärmemengenliniendichte der fernwärmeversorgten Städte und Gemeinden in Sachsen (in Anlehnung an [3])

Als zusätzliche Datenquelle liegt für die Kategorie Haushalte eine Statistik des Endenergieverbrauches (EEV) für Fernwärme im Rahmen der sächsischen Energiebilanz (Kapitel 2.4.3) für den 01.01.2019 vor.

### 2.3.3 Wärmepumpen

In Sachsen gibt es zwei Statistiken über die Anzahl der Wärmepumpen. Das Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie stellte auf Nachfrage eine gemeindescharfe Auflösung der installierten meldepflichtigen Wärmepumpenanlagen in Sachsen bereit. Die Erfassung und Meldepflicht stehen im Zusammenhang mit den Festlegungen des Geologiedatengesetzes und des Wasserrechtes. Neben Erdsonden ( $n_{ES} = 14.093$ ) werden demnach auch Erdwärme-Kollektoranlagen ( $n_{EK} = 336$ ) sowie Wasser-Wasser-Anlagen ( $n_{WWA} = 250$ ), Direktverdampferanlagen ( $n_{DVA} = 66$ ) sowie Grubenwassernutzung (6), Thermalwassernutzung (5) und Sonstige erfasst. Nicht erfasst werden Luft-Wärmepumpen.

Mit Stand 01/2019 sind demnach  $n_{EWP} = 14.759$  Erdwärmepumpen-Anlagen dokumentiert. Die Summe der thermischen Leistung aller Anlagen beträgt  $\dot{Q}_{EWP} = 178 \text{ MW}_{th}$ , wobei hier die abgegebene thermische Leistung der Wärmepumpenanlagen angegeben ist.

Als zusätzliche Quelle wird die Statistik des Bundesverbandes Wärmepumpe (aktuelle verfügbare Statistik aus 2018) [4] verwendet. Für den Freistaat Sachsen werden

- 24.000 Erd- und Wasser-Wärmepumpen
- 23.000 Luft-Wärmepumpen

Ausgewiesen. Diese Statistik liegt hier nur auf sächsischer Ebene vor und wird über Absatzzahlen von Wärmepumpen ermittelt. Demnach zählen Anlagen, die zwar im Bundesland gekauft, aber außerhalb errichtet wurden auch in die Statistik. Der Ersatz von Bestandsanlagen wird durch den Bundesverband indirekt berücksichtigt, indem anhand der zu erwartenden Lebensdauer der Rückbau approximiert ist. Die Gesamtanzahl der in Sachsen installierten Wärmepumpen wird schließlich abgeschätzt, indem zu den vom LfULG erfassten Erdwärme-Wärmepumpen eine Anzahl Luft-Wärmepumpen ergänzt werden, wobei Erd- und Luft-Wärmepumpen dem Verhältnis aus den Angaben des BWP entsprechen. Damit ergeben sich für Sachsen die in Tabelle 2-2 zusammengefassten Daten für installierte Wärmepumpen.

Tabelle 2-2: Abschätzung zum Bestand an Wärmepumpen in Sachsen (01.01.2019)

<b>Art der Wärmepumpe</b>	<b>Anzahl</b>
Erd- und Wasser-Wärmepumpen	14.759
Luft-Wärmepumpen	13.741
<b>Wärmepumpen in Sachsen</b>	<b>28.500</b>

Die Anzahl der Wärmepumpen pro Gemeinde werden entsprechend der Anteile an Erdwärmepumpen des LfULG nach Gleichung 20 verteilt.

$$n_{WP i} = \frac{n_{Sonden i}}{14.759} \cdot 28.500 \quad 1$$

Da der anteilige Einsatz von Wärmepumpen im Neubau in den letzten 20 Jahren von unter 1 % auf ca. 50 %<sup>5</sup> gestiegen ist, wächst die Anzahl an Wärmepumpen in den letzten Jahren schnell an. So lag der ermittelte Wert des LfULG im November 2021 bereits bei 17.256 Anlagen (Erd- und Wasser-WP), dies sind ca. 17 % mehr als in der Studie angenommen. Da der Anteil mit Wärmepumpe versorgter Gebäude aktuell noch unter 5 % liegt, wurde an dieser Stelle am definierten Stichtag 01.01.2019 festgehalten. Dies hat zur Folge, dass ca. 5.000 Wärmepumpe, welche erst danach installiert wurden innerhalb der Studie vernachlässigt werden.

### 2.3.4 Direkt-elektrische Systeme

Über direkt elektrische Systeme konnte in Sachsen keine Statistik ermittelt werden. Daher wurden die ausgehend von einer Stichprobe bestimmten Werte aus einer Studie des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) [5] zum Heizungsmarkt verwendet. In Tabelle 2-3 sind die verwendeten Werte zusammengefasst, wobei als Zahl für die Ein-, Zwei- und Mehrfamilienhäuser die Werte aus [1] verwendet wurden (vgl. Kapitel 2.2).

Tabelle 2-3: Verwendete Zahlen der BDEW Studie [5] für direkt elektrische Systeme

<b>Erzeugertyp</b>	<b>Anzahl</b>
<b>Zentraler Wärmeerzeuger</b>	
Nachtstromspeicherheizungen	28.000
<b>zusätzliche Wärmeerzeuger</b>	
MFH mit Stromdirektheizung	6.463
EFH + ZFH mit Stromdirektheizung	35.042
EFH + ZFH mit Nachtstromspeicherofen	45.321

Da keine vollständigen Informationen über eine regionale Verteilung vorliegen, erfolgt eine gleichmäßige Verteilung der Anlagen gewichtet nach der Anzahl der Wohngebäude der jeweiligen Gemeinde. Die Daten der VSWG ermöglichen) an dieser Stelle keinen

<sup>5</sup> Dies bezieht sich nach Angaben des Statistischem Bundesamt auf den Marktanteil für Wärmeerzeuger bemessen an den erteilten Baugenehmigungen für neue Wohngebäude.

belastbaren Ansatz zur Verteilung (vgl. Abbildung 10-1, wobei sich in den Daten bereits zeigt, dass direktelektrische Systeme in allen Landkreisen vertreten sind).

### 2.3.5 Solarthermische Anlagen

Eine konkrete Statistik zur Verwendung von solarthermischen Anlagen in Sachsen und deren Parametern konnte nicht ermittelt werden. Einen Anhaltspunkt gibt die Untersuchung des BDEW [5] zum Heizungsmarkt, in der die Anteile der jeweiligen Heizungsart in Sachsen anhand einer Stichprobe ermittelt wurden. Aus der Untersuchung geht hervor, dass ausschließlich Ein- und Zweifamilienhäuser mit solarthermischen Anlagen ausgestattet sind, sodass weitere Berechnungen nur für diese erfolgen. Solarthermische Anlagen werden hierbei als zweiter Wärmeerzeuger (WE) behandelt. Eine alleinige Beheizung über Solarthermie ist nicht nachweisbar. Tabelle 2-4 gibt einen Überblick über die Angaben aus der Untersuchung.

Tabelle 2-4: Überblick solarthermische Anlagen [5]

Parameter	Ein- und Zweifamilienhäuser	Mehrfamilienhäuser
Anteil Gebäude mit weiterem WE	36,8 %	7,5 %
Anteil Solarthermie an Gebäuden mit mehreren WE	21,4 %	0%
Anteil Gebäude mit Solarthermie	7,88 %	0 %

## 2.4 Referenz- und Vergleichswerte

### 2.4.1 VSWG

Der sächsische Verband der Wohnungsgenossenschaften umfasst  $n_{WE\ VSWG} \approx 300.000$  Wohnungen, dies entspricht ca. 14 % des sächsischen Wohnungsbestandes. Es befinden sich überwiegend Gebäude mit deutlich mehr als zwei Wohnungen im Bestand. Somit ist der Gebäudebestand der VSWG nur bedingt repräsentativ für den Freistaat Sachsen, da Ein- und Zweifamilienhäuser, die in Sachsen den größten Teil des Gebäudebestandes ausmachen, nicht enthalten sind und auch kleinere Mehrfamilienhäuser nicht zum Bestand der VSWG gehören. Der aktuelle Sanierungsstand der VSWG ist laut Angaben der Mitgliedsunternehmen sehr hoch wie in Abbildung 2-4 zu erkennen ist.

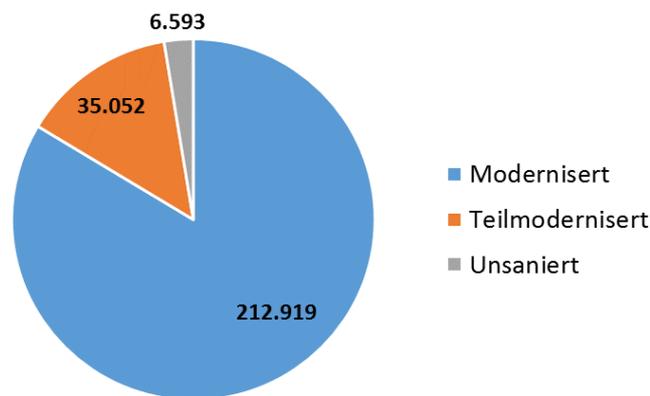


Abbildung 2-5: Anzahl der Wohnungen der VSWG bzgl. der Modernisierungsgrade [6]

Der Großteil der Immobilien der VSWG wurde, wie in Abbildung 2-5 ersichtlich, im Zeitraum zwischen 1960 und 1990 errichtet. Es handelt sich somit um den für diese Zeit typischen sozialen Wohnungsbau. Die üblicherweise 3- bis 16-geschossigen Gebäude besitzen laut VSWG i. d. R. bereits eine Außendämmung mit einer Dicke von ca.  $\delta = 10$  cm und haben überwiegend einen Endenergieverbrauch zwischen 50 und 150 kWh/m<sup>2</sup>/a [6].

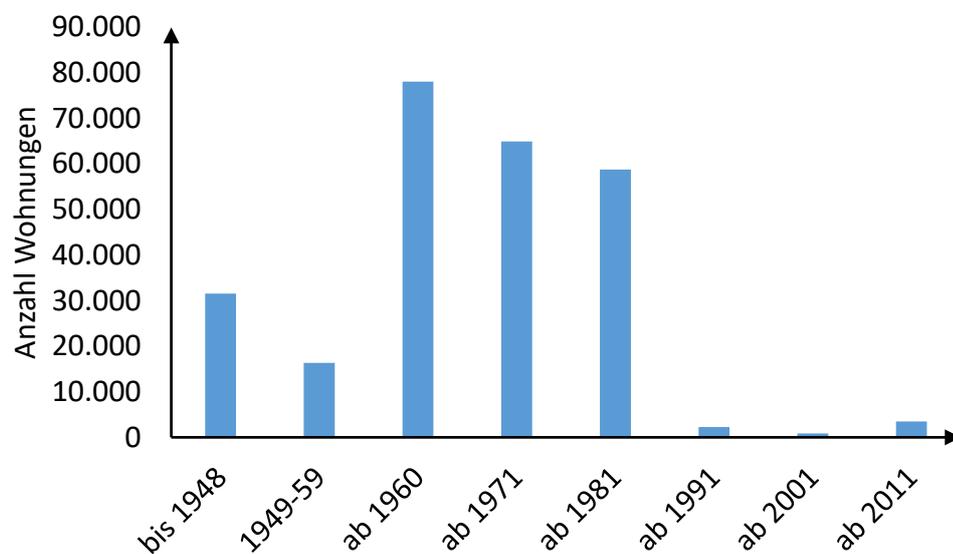


Abbildung 2-6: Baualter des Gebäudebestandes der VSWG [6] (Stand 2021)

79 % der beheizten Wohnfläche des VSWG werden über Fernwärme beheizt, dabei fallen aber nur 75,4 % des Endenergieverbrauchs der VSWG an, wie in Abbildung 2-6 dargestellt. Fernwärmeversorgte Gebäude zeichnen sich also durch eine etwas bessere energetische Qualität im Vergleich zum übrigen Gebäudebestand aus.

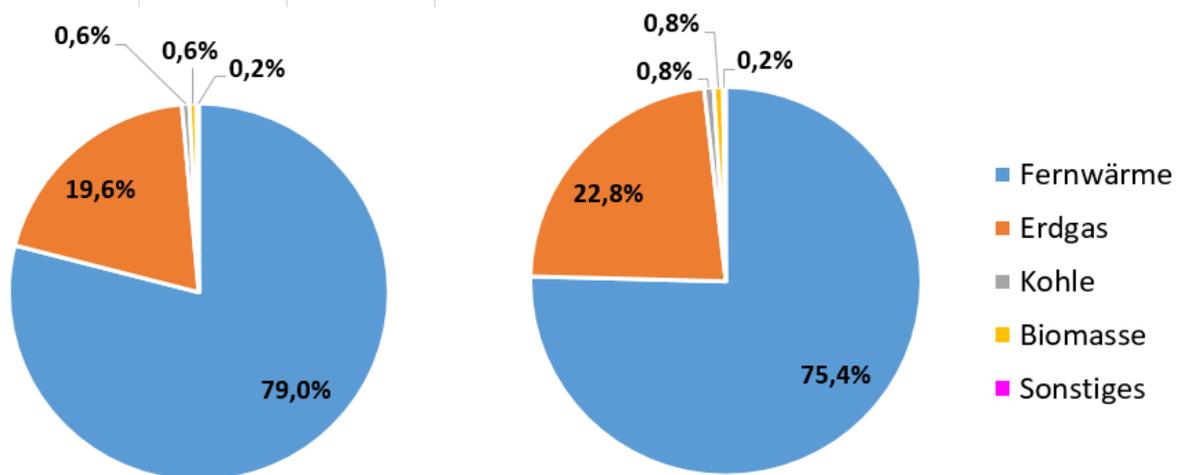


Abbildung 2-7: Anteil der verschiedenen Energieträger an der beheizten Fläche (links) und am Endenergieverbrauch (rechts) der VSWG

Für diese Datenquelle ist festzuhalten, dass nur ca. 72 % der Wohnungsunternehmen der VSWG vollständige Daten geliefert haben.

#### 2.4.2 Energiekennwerte

Eine Möglichkeit, die bislang ermittelten Werte auf Plausibilität zu prüfen, bietet der Vergleich mit anderen bereits veröffentlichten Studien. So sind beispielsweise im Januar 2020 die Energiekennwerte 2019 des Messdienstleisters Techem [7] erschienen. Diese Kennwerte werden aus Verbrauchsdaten von ca. 1,5 Mio. Wohnungen aus ganz Deutschland (basierend auf dem Jahr 2018) gebildet. Die verfügbare Auflösung der Daten ist allerdings grob gehalten. Die ausgewerteten Verbrauchsdaten werden in Postleitzahlbereichen zusammengefasst. Die Abbildung 2-7 dokumentiert den von Techem in den von ihnen bewirtschafteten Gebäuden ermittelten Energieverbrauch in für verschiedene Energieträger in den Postleitzahl-Regionen Dresden, Leipzig, Chemnitz sowie in Deutschland insgesamt.

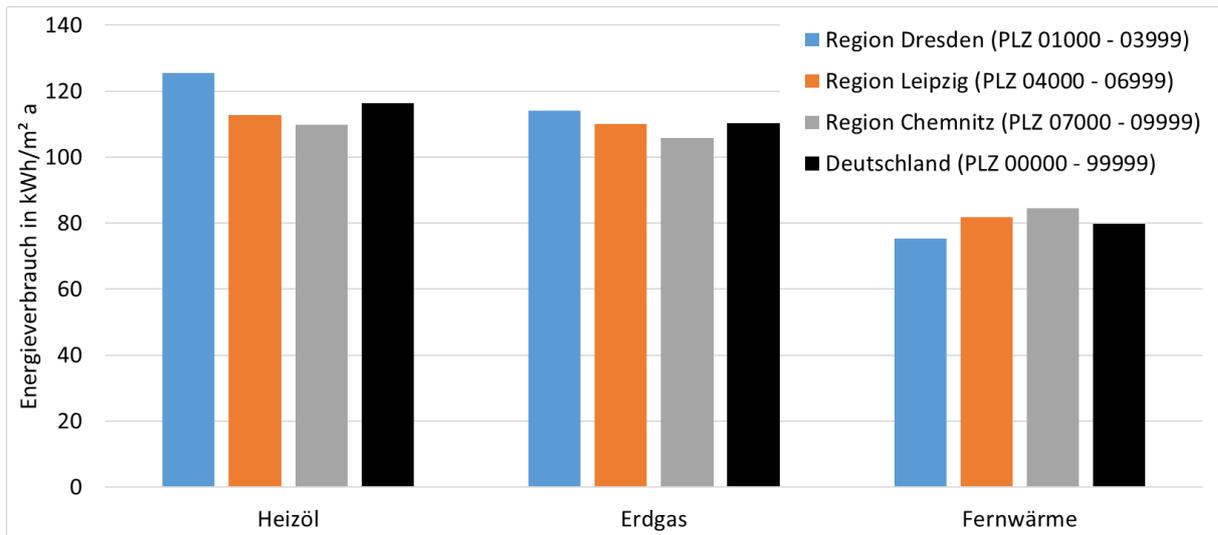


Abbildung 2-8: Energieverbrauchsbereiche über die Gebäudewohnfläche (Kalenderjahr 2018), Daten: Techem [7]

### 2.4.3 Energiebilanz Sachsen

Die zentrale Referenz für die vorliegende Studie ist die sächsische Energiebilanz [8]. Diese wird jährlich auf Basis des Energiestatistikgesetzes erfasst und veröffentlicht. Dabei hat die Kategorie „Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher“ für den Endenergieverbrauch (EEV) die höchste Relevanz für diese Studie. Wie bereits im Namen ersichtlich, werden nicht nur Wohngebäude erfasst, sondern auch Gewerbe, Handel Dienstleistungen und einige weitere Verbraucher. Im Gegensatz zur Statistik der KFA wird allerdings zwischen Wohnung sowie GHD (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und sonstige Verbraucher) unterschieden. Ein Abgleich zu den KFA Daten lässt diese Unterscheidung nicht zu, da seit der Aktualisierung der 1. BImSchV (2003) keine Differenzierung zwischen GHD und Wohnungen mehr erfasst wird. Die neueste Statistik zum Zeitpunkt dieser Studie war aus 2018, im Rahmen der Studie wurde sich dazu entschieden zusätzlich zur Witterungsbereinigung analog zum Vorgehen von Poppitz [9], den Mittelwert über 3 Jahre (2016 – 2018) zu verwenden.

### 2.4.4 Wohnflächenbezogene Nennwärmeleistung der Erzeuger

Eine erste Abschätzung des energetischen Ist-Standes der Gebäude soll über die Ermittlung von wohnflächenbezogenen Nennleistungen für die in den Gemeinden installierten Wärmeerzeuger erfolgen, auch wenn die zugrundeliegende Annahme, dass diese flächenbezogenen Leistungen mit zunehmenden Baualter größer und mit zunehmenden Sanierungsstand kleiner werden, sich in der Realität sicher nicht durchgängig bewahrheitet.

Da die den einzelnen Wärmeerzeugerarten zugeordneten Wohnfläche unbekannt ist, wird die wohnflächenbezogene Nennwärmeleistung mit dem vereinfachten Ansatz nach Gleichung 2 berechnet. Dabei wird die Summe der Nenn-Wärmeleistung aller Wärmeerzeuger abzgl. der für GHD genutzten Erzeuger (siehe Kapitel 3.2.2) in einem Landkreis oder einer Gemeinde  $i$  durch die Gesamtfläche der Wohneinheiten<sup>6</sup>  $A_{\text{WHG } i}$  des Landkreises/der Gemeinde geteilt und es ergibt sich eine mittlere flächenbezogene Nenn-Wärmeleistung aller Wärmeerzeuger in der jeweiligen Gemeinde.

$$\bar{q}_{N,i} = \frac{\dot{Q}_{N \text{ KFA } i} + \dot{Q}_{N \text{ FW } i} + \dot{Q}_{N \text{ WP } i} + \dot{Q}_{N \text{ DE } i} + \dot{Q}_{N \text{ ST } i}}{A_{\text{WHG } i}} \quad 2$$

Die im Zähler aufgeführten Nennwärmeleistungen berechnen sich wie folgt:

- Für die Kleinf Feuerungsanlagen werden die gegebenen (von den Schornsteinfegern erfasste) Nennwärmeleistungen der Einzelanlagen summiert (siehe Gleichung 3).

$$\dot{Q}_{N \text{ KFA } i} = \sum_{j=0}^{n_{\text{KFA RH } i}} \dot{Q}_{N \text{ KFA } j} \quad 3$$

- Die summierte Nennwärmeleistung aller Hausstationen (Annahme: eine HAST je versorgtes Gebäude) einer Gemeinde  $i$   $\dot{Q}_{N \text{ FW } i}$  berechnet sich für angenommene Vollbenutzungsstunden von  $t_{\text{VBH FW}} = 1500 \frac{\text{h}}{\text{a}}$  der Hausstationen nach Gleichung 4.  $Q_{\text{FW } i}$  berechnet sich dabei nach Gleichung 19 (siehe Kapitel 3.3).

$$\dot{Q}_{N \text{ FW } i} = \frac{Q_{\text{FW } i}}{t_{\text{VBH FW } i}} \quad 4$$

- Für die Wärmepumpen ist das Vorgehen ähnlich. Da aber nur für Erdwärmesonden vollständige Zahlen vorliegen, werden die vom LfULG bereitgestellten Nennwärmeleistungen  $\dot{Q}_{\text{Sonden 2015 } i}$  nach Gleichung 5 so skaliert, dass die Summe der sächsischen Anlagen der Schätzung nach Kapitel 2.3.3 entspricht.

$$\dot{Q}_{N \text{ WP } i} = \frac{\dot{Q}_{\text{Sonden 2015 } i}}{14.759} \cdot 28.500 \quad 5$$

Die mittlere Nennwärmeleistung aller Wärmepumpen beträgt  $\bar{Q}_{\text{WP}} = 11,8 \text{ kW}$ .

---

<sup>6</sup> Die verwendeten Flächen der Wohneinheiten basieren auf den Daten der Gebäudestatistik des Statistischen Landesamtes Sachsens (Kap. 2.2)

Für direktelektrische Systeme kann die Anlagenleistung nur geschätzt werden, da keine Statistik vorliegt. Laut [5] befinden sich die ca. 28.000 zentralen Systeme in ca. 64.000 Wohnungen. Die meisten Anlagen werden sich demnach in Ein- und Zweifamilienhäusern befinden und zusätzlich noch einige in Mehrfamilienhäusern, wie auch Anlagen in den Gebäuden der VSWG zeigen. Die mittlere Anlagenleistung wurde aufbauend auf diesen Kenntnissen mit  $\dot{Q}_{DE\text{ zentral}} = 30\text{ kW}$  abgeschätzt und für Einzelraumanlagen mit  $\dot{Q}_{DE\text{ ERA}} = 3\text{ kW}$ , dabei handelt es sich um die max. Wärmeabgabe, wobei der Nutzungsgrad mit 1 angenommen werden kann.

$$\dot{Q}_{N\text{ DE } i} = n_{DE\text{ ZHZ } i} \cdot \dot{Q}_{DE\text{ ZHZ}} + n_{DE\text{ ERA } i} \cdot \dot{Q}_{DE\text{ ERA}} \quad 6$$

- Ähnliches gilt für Solarthermieanlagen, denn deren Leistung ist von der Einstrahlung auf die Kollektorfläche abhängig. Es wurde daher der Ansatz nach Gleichung 7 über die mittlere Sonnenscheindauer für Dresden  $t_{SSD} = 1659 \frac{\text{h}}{\text{a}}$  [10] und die bereitgestellte Endenergie  $Q_{ST\text{ } i}$  nach Gleichung 23 je Gemeinde gewählt. Damit ist nur eine grobe Abschätzung möglich, die aber im Rahmen dieser Studie mit der Größenordnung der durch Solarthermie gedeckten Nutzenergie und als akzeptabel angesehen wird.

$$\dot{Q}_{N\text{ ST } i} = \frac{Q_{ST\text{ } i}}{t_{SSD}} \quad 7$$

Abbildung 2-8 gibt einen Überblick der mittleren wohnflächenbezogenen Nennwärmeleistung für die Gebäudeheizung auf Gemeindeebene. Gemeinden ohne Daten aus Kehrbezirken werden nicht dargestellt, sodass extreme Abweichungen ausgeschlossen werden, aber dennoch Gemeinden mit tendenziell zu geringen Nennwärmeleistungen aufgrund von fehlenden Daten (bspw. Meißen oder Görlitz) mit aufgeführt sind.

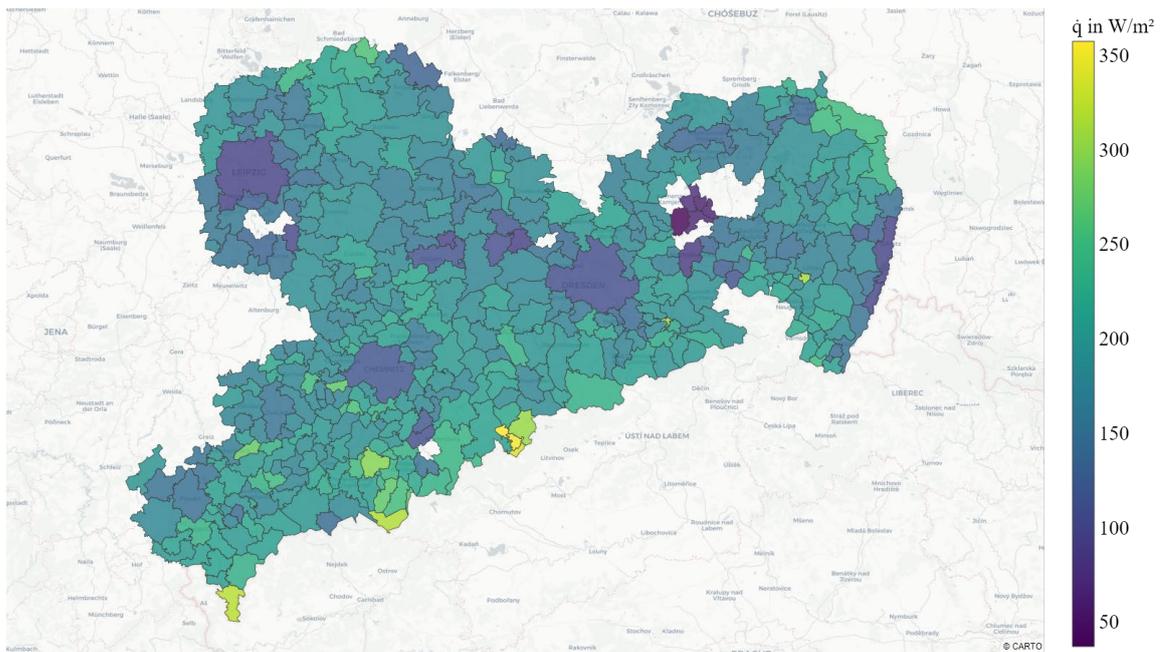


Abbildung 2-9: Mittlere wohnflächenbezogene Nennwärmeleistung für Gebäudeheizung je Gemeinde

Es zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den drei großen Städten und dem ländlichen Raum. Außerdem liegen die Werte erheblich über den zum Bauzeitpunkt üblichen Heizlasten. In Anlehnung an den Nationalen Anhang der DIN EN 15378 nach [11] beträgt die Heizlast für unsanierte Gebäude, die bis 1977 errichtet worden sind, ca.  $\dot{q}_N = 135 \dots 165 \text{ W/m}^2$ . Bei später errichteten oder energetisch sanierten Gebäuden liegen diese Werte i. d. R. niedriger. Tabelle 10-2 im Anhang gibt einen Überblick über die zu erwartende Heizleistung bezogen auf die beheizbare Nutzfläche.

Die mittleren wohnflächenbezogenen Nennleistungen in den Gemeinden sind teilweise um einiges höher als zu erwarten. Hier zeigt sich deutlich, dass der Ausschluss von Anlagen in Nichtwohngebäuden nicht ausreichend ist und ebenfalls redundant betriebene Anlagen sowie weitere Effekte wie Überdimensionierung eine wesentliche Rolle in der aktuellen Datenbasis spielen und für die weiteren Betrachtungen über die Anpassung der Vollbenutzungsstunden (siehe Kapitel 3.2.3 bis 3.2.6) berücksichtigt werden müssen.

### 3 Endenergieverbräuche, Endenergeträger und Heizungsarten

#### 3.1 Allgemeine Methodik zur Ermittlung der Endenergieverbräuche

Wie in Kapitel 2.3 bereits angedeutet, sind die aus verschiedenen Datenquellen verfügbaren Informationen zu Gebäuden, Wohnungen und Beheizungsarten in konsistente Übereinstimmung zu bringen. Ziel ist es, eine gemeindescharfe Aussage zu den Wärmeerzeugerarten, den eingesetzten Energieträgern und deren Zuordnung zu den Gebäuden treffen zu können. Im Fokus steht der für die Raumheizung erforderliche Energieaufwand; Aussagen zur Trinkwassererwärmung sind nicht Ziel dieser Studie. Allgemein wird der in Abbildung 3-1 gewählte Ablauf zur Bestimmung der Endenergieverbräuche genutzt.

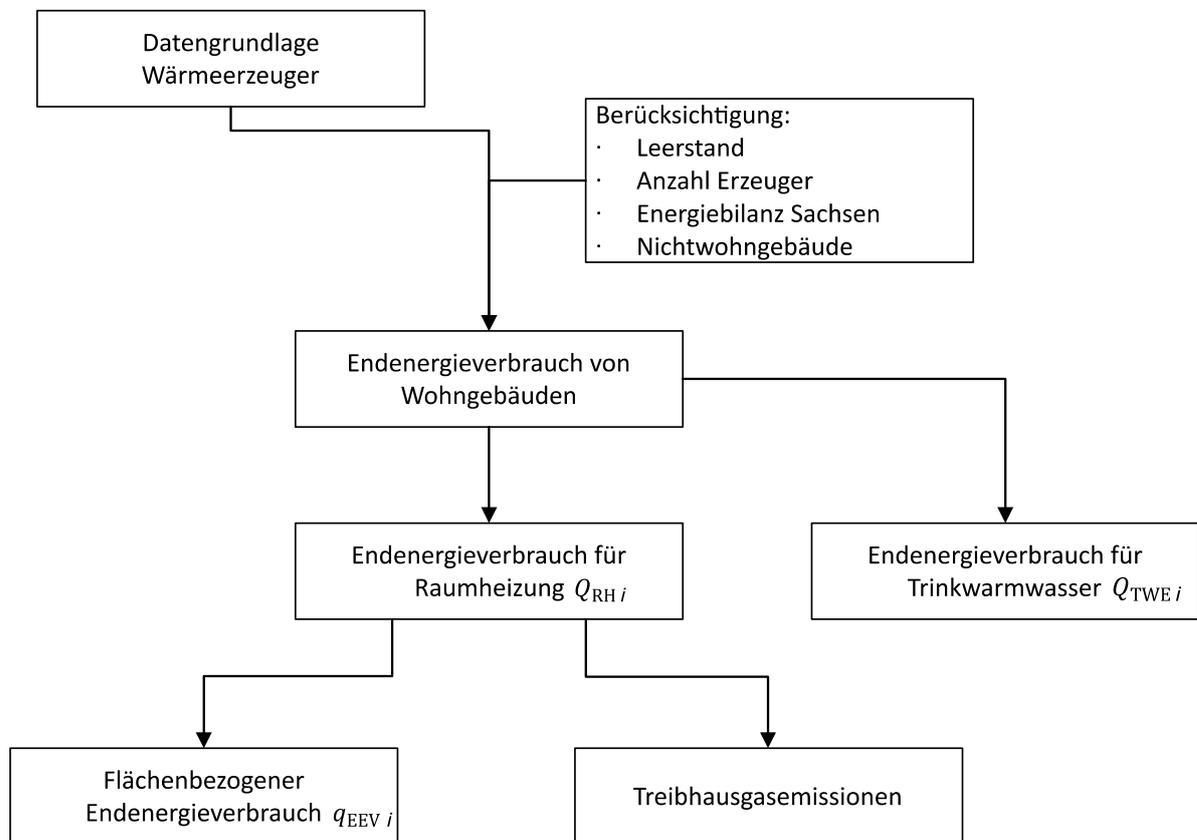


Abbildung 3-1: Schema zur Berechnung des wohnflächenbezogenen Endenergieverbrauchs sowie der Treibhausgasemissionen je Gemeinde

Der in Abbildung 3-1 dargestellte Ablauf fasst die Berechnung der Endenergieverbräuche zusammen, da sich diese für jede Gemeinde aus den Endenergieverbräuchen der einzelnen Energieträger zusammensetzen. Für diese sind jeweils unterschiedliche Datengrundlagen für die Wärmeerzeuger vorhanden und es sind technologiebedingt auch unterschiedliche Ansätze zur Ermittlung der jeweiligen Verbrauchswerte zu nutzen. Der jeweilige Ansatz zur Berechnung des Endenergieverbrauchs für die Raumheizung

wird nachfolgend näher erläutert. Abschließend erfolgt eine Plausibilitätsprüfung der Ergebnisse. Angaben zum gemeindebezogenen Endenergieverbrauch finden sich in Kapitel 3.9

## 3.2 Kleinf Feuerungsanlagen

### 3.2.1 Allgemeines

Es werden nur die in der nachfolgenden Tabelle 3-1 aufgelisteten zur Raumheizung in Wohngebäuden genutzten Anlagentypen berücksichtigt. Andere Anlagen, die nicht ausschließlich der Raumheizung dienen oder in Nichtwohngebäuden eingesetzt werden, sind nicht Gegenstand der Betrachtung, d.h. die verfügbaren Daten sind entsprechend zu bereinigen.

Tabelle 3-1: Relevante Kleinf Feuerungsanlagen für die Raumheizung

Zentralfeuerungsanlagen ZFA	Einzelraumfeuerungsanlagen EFA
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Heizkessel</li> <li>- Umlaufwasserheizer &amp; Kombiwasserheizer</li> <li>- BHKW</li> <li>- Pelletofen</li> <li>- Wärmepumpe</li> <li>- Brennstoffzelle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dauerbrandofen &amp; Raumheizer</li> <li>- Kachelofen &amp; Grundöfen</li> <li>- Kaminofen</li> <li>- Pelletofen</li> <li>- offene Kamine</li> </ul>

Die Anzahl der für die Raumheizung (RH) relevanten Anlagen in einer Gemeinde  $i$  ergibt sich aus der Anzahl zentraler Wärmeerzeuger und der Einzelfeuerstätten:

$$n_{KFA\ RH\ i} = n_{ZFA\ RH\ i} + n_{EFA\ RH\ i} \quad 8$$

In die Gruppe der Kleinf Feuerungsanlagen ohne Raumheizaufgabe fallen bspw. Notstromaggregate, Küchengeräte, etc. Diese werden im Rahmen der Studie nicht berücksichtigt. Eine detaillierte Übersicht dazu ist im Anhang mit Tabelle 10-1 beigefügt.

Die Berechnung des Endenergieverbrauchs für die KFA erfolgt nach Gleichung 9 unter Berücksichtigung der Nennwärmeleistung aller KFA  $\dot{Q}_{N,i}$  in der Gemeinde  $i$ , des Nutzungsgrades  $\eta$  sowie der Vollbenutzungsstunden der Anlage  $t_{VBH}$ . Außerdem werden über den Faktor  $f_L$  der Leerstands und mit dem Faktor  $f_{ZWE}$  der Einfluss der Ausstattung mit mehreren zentralen Wärmeerzeugern auf die Vollbenutzungsstunden abgebildet.

$$Q_{KFA\ i} = \sum_{j,k} \frac{\dot{Q}_N}{\eta_j} \cdot t_{VBH\ k} \cdot f_{L\ i} \cdot f_{ZWE\ i} \quad 9$$

mit  $i$ : Gemeinde

$j$ : Altersklasse & Energieträger

$k$ : Anlagentyp

Die Nennwärmeleistung  $\dot{Q}_N$  der Kleinfeuerungsanlagen kann [9] entnommen werden. Die Abschätzung des Nutzungsgrades wird in Kapitel 3.2.3 erläutert; Kapitel 3.2.4 gibt Hinweise zu den Vollbenutzungsstunden. Weiterführende Erläuterungen zu den Korrekturfaktoren finden sich in den Abschnitten 3.2.5 und 3.2.6.

Abbildung 3-2 zeigt den grundsätzlichen Berechnungsablauf zur Bestimmung des den Kleinfeuerungsanlagen zugeordneten Endenergieverbrauchs. Dabei ist zu beachten, dass wie in Kapitel 2.3.1 beschrieben, in der Statistik der KFA ebenfalls Anlagen enthalten sind, die nicht zur Raumheizung in Wohngebäuden dienen. Die Datengrundlage wird daher über das in Kapitel 3.2.2 beschriebene Verfahren bereinigt.

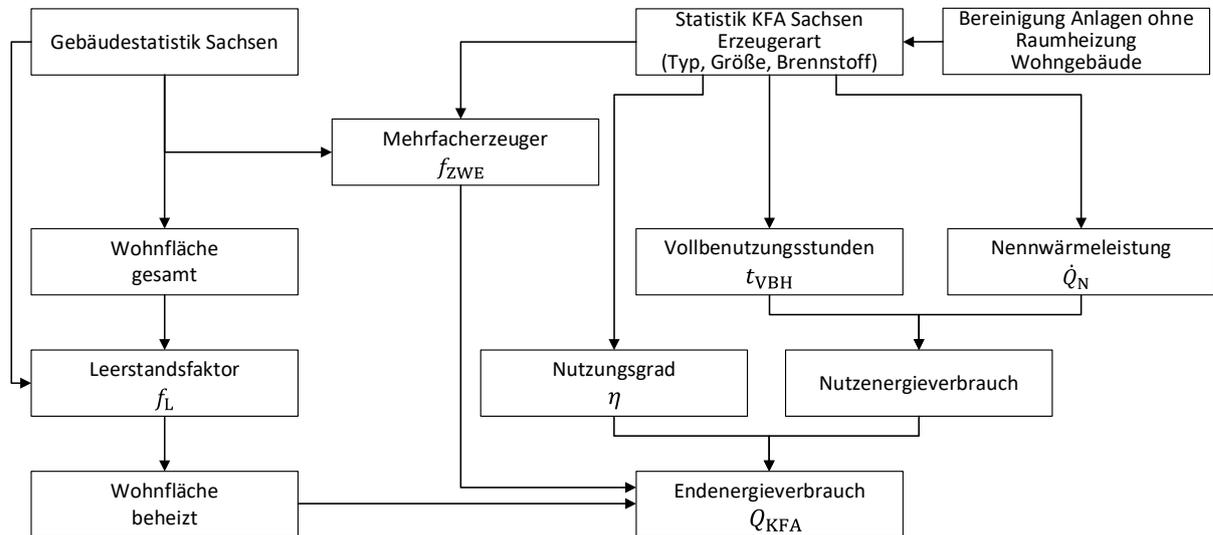


Abbildung 3-2: Berechnungsablauf Endenergie der Kleinfeuerungsanlagen

Ziel der Berechnung in diesem Kapitel ist es, durch Anpassung der anlagenspezifischen Vollbenutzungsstunden in Gleichung 7 bzw. Vorgabe der weiteren Faktoren (Leerstand, mehrfache Wärmeerzeuger und Nutzungsgrad) den endenergieträgerbezogenen Endenergieverbrauch der KFA mit den bekannten EEV für Sachsen abzugleichen. Zur Berechnung der Vollbenutzungsstunden siehe Kapitel 3.2.4.

### 3.2.2 Bereinigung der Datengrundlage der Kleinfeuerungsanlagen

Wie zuvor mehrfach beschrieben, ist die Datengrundlage an mehreren Stellen zu bereinigen. Der Leerstand von Wohnungen und damit die Nicht- oder geringere Nutzung von Anlagen wird in Abschnitt 3.2.3 behandelt. Die Datenbasis ist an dieser Stelle daher nur um die Anlagen in Nichtwohngebäuden sowie die Anlagen ohne Raumheizaufgaben zu bereinigen. Im Folgenden wird zunächst erläutert, wie die Anlagen für die Sektoren Gewerbe, Handel und Dienstleistungen ermittelt worden sind. Diese Anlagen werden aus

der Datenbasis ausgeschlossen ebenso wie die offensichtlich nicht zur Raumheizung gehörenden Anlagen.

### Abschätzung der Anzahl an Nichtwohngebäuden mit Nutzung GHD

Über beheizte Nichtwohngebäude gibt es in Deutschland keine mit den Wohngebäuden vergleichbare Statistik. Die umfangreichste und aktuellste Studie, die dazu ermittelt werden konnte, ist der dena Gebäudereport 2022 [12]. Die Verbrauchsdaten stützen sich dort im Besonderen auf die Erfassungen des BMWi [13]. Es wurde an dieser Stelle die neuste Veröffentlichung gewählt und keine die näher am allgemeinen Stichtag dieser Studie (01.01.2019) liegt, da in älteren Veröffentlichungen keine differenzierte Unterteilung zwischen Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) erfolgte. Zudem bezieht sich die Studie bei den Verbrauchsdaten auf das Jahr 2019.

Laut des Gebäudereports gibt es ca. 1,98 Mio. beheizte Nichtwohngebäude in Deutschland, von denen ca. 102.000 in Sachsen stehen. Dabei entfallen auf die Kategorie Nichtwohngebäude neben Gebäuden des Sektors GHD auch Industrie- und öffentliche Gebäude, wie in Abbildung 3-3 ersichtlich.

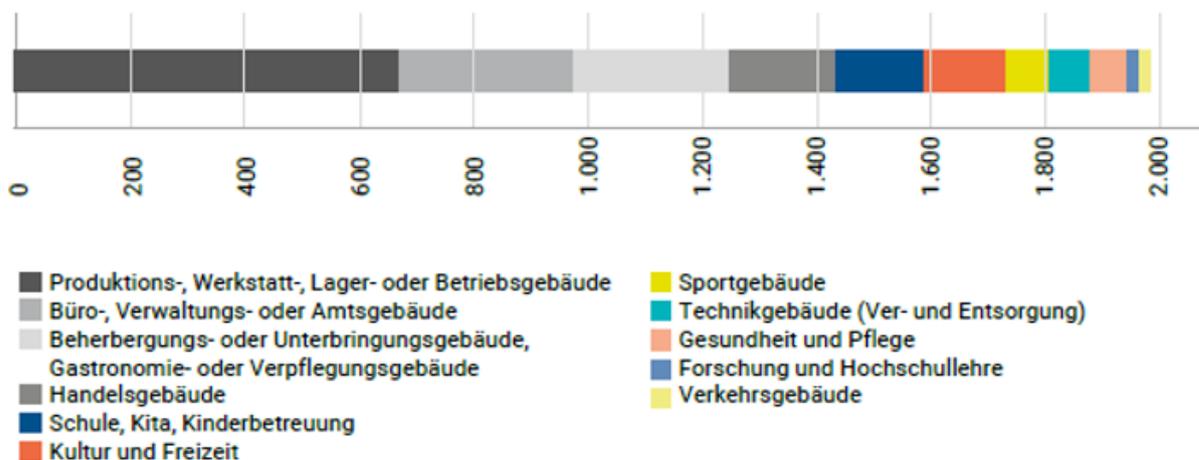


Abbildung 3-3: Nichtwohngebäudebestand in Deutschland nach Nutzungsart (Grafik aus [12])

Für die weitere Betrachtung wird angenommen, dass die Kategorie Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher der Energiebilanz Sachsen alle Nichtwohngebäude abdeckt außer 50 % der Gebäude des Punktes Produktions-, Werkstatt-, Lager- oder Betriebsgebäude. Diese Annahme hat zur Folge, dass ca. 1/6 des beheizten Nichtwohngebäudebestandes der Industrie zuzuordnen sind und der weitere Bestand den Sektoren GHD. Dies liegt in Übereinstimmung mit dem in Abbildung 3-3 dargestellten Endenergieverbrauch für Raumheizung und Trinkwasser in Industrie und GHD. Somit ergeben sich  $n_{\text{GHD}} = 85.000$  beheizte Nichtwohngebäude in Sachsen in den Sektoren GHD.

## Abschätzung der Anzahl Anlagen in NWG je Energieträger

Im nächsten Schritt müssen den Nichtwohngebäuden Kleinfeuerungsanlagen zugeordnet werden, um sie anschließend ausschließen zu können. Da es keine Informationen dazu gibt, welche Kleinfeuerungsanlagen in Nichtwohngebäuden installiert sind, werden den zuvor ermittelten Nichtwohngebäuden bestimmte Energieträger zugeordnet. Die Verteilung der einzelnen Energieträger, auf den Bereich GHD erfolgt entsprechend der Anteile an der sächsischen Energiebilanz. Unterschiede in der Gebäudestruktur zwischen den einzelnen Energieträgerarten werden demnach vernachlässigt. Zudem wird vereinfachend angenommen, dass sich in jedem Nichtwohngebäude genau eine Zentralfeuerungsanlage befindet und es keinen Leerstand in den Nichtwohngebäuden gibt. Es werden demnach 85.000 Anlagen entsprechend der EEV-Anteile den Energieträgern zugeordnet. Ausgehend vom Mittelwert der sächsischen Energiebilanz der Jahre 2016 bis 2018 ergibt sich für GHD die in Tabelle 3-2 dargestellte Verteilung der Endenergieverbräuche und Anzahl der Wärmeerzeuger.

Tabelle 3-2: EEV (witterungsbereinigt) für GHD laut Energiebilanz (2018) und geschätzte Anzahl der Anlagen je Energieträger

	<b>Steinkohle</b>	<b>Braunkohle</b>	<b>Öl</b>	<b>Gas</b>	<b>Biomasse</b>	<b>Fernwärme</b>
<b>EEV in TJ</b>	38,4	642,3	11612,0	20167,0	2200,0	7419,4
<b>Anzahl Anlagen</b>	78	1297	23457	40737	4444	14987

## Zuordnung von Wärmeerzeugern zu Nichtwohngebäuden

Eine direkte Zuordnung von Wärmeerzeugern ist auf Basis der vorliegenden Daten nicht möglich, sodass hier die Zuordnung auf eine andere Weise erfolgen muss. Da die Berechnung der Endenergie für die Fernwärme wie in Kapitel 3.3 erläutert auf einem von GHD bereinigten Ansatz aufsetzt, sind an dieser Stelle nur die Brennstoffe in den KFA zu betrachten. Im Rahmen dieser Studie wird jedem Gebäude der Kategorie GHD genau eine zentrale Erzeugeranlage zugeordnet. Zusätzlich werden Kleinfeuerungsanlagen ohne Raumheizaufgabe mit eindeutiger Zuordnung zum Sektor GHD wie bspw. Räucheröfen o.ä. betrachtet. Um den Endenergieverbrauch zu bestimmen, werden aufbauend auf den Untersuchungen von [14] und [15] nach Gleichung 10, die Vollbenutzungsstunden und die Feuerungswärmeleistung der einzelnen Erzeuger benötigt. In den genannten Veröffentlichungen wird an dieser Stelle die Feuerungswärmeleistung  $\dot{Q}_F$  gleich der Nennwärmeleistung gesetzt, da evtl. Umwandlungsverluste in den Vollbenutzungsstunden berücksichtigt werden.

$$Q_{\text{KFA GHD}} = \sum_i \dot{Q}_{\text{Fi}} \cdot t_{\text{VBH}}$$

10

Da die Anzahl der dem Sektor GHD zugeordneten beheizten Nichtwohngebäuden in Folge der Unsicherheiten der Datengrundlage (dena Gebäudereport [16]) und der Annahmen zur Aufteilung auf GHD eine hohe Unsicherheit besitzt, wird hier ebenfalls dieser vereinfachte Ansatz gewählt. Die Vollbenutzungsstunden werden dabei den Veröffentlichungen von [9], [14] und [17] entnommen.

Der eigentliche Prozess zur Auswahl von zentralen Kleinfeuerungsanlagen für die Wärmeerzeugung in Nichtwohngebäuden ist in Abbildung 3-4 dargestellt. Es wird dabei die Annahme getroffen, dass in Anbetracht des höheren mittleren EEVs pro Gebäude im Sektor GHD, vor allem Wärmeerzeuger mit höheren Leistungen in den GHD-Gebäuden genutzt werden [16].

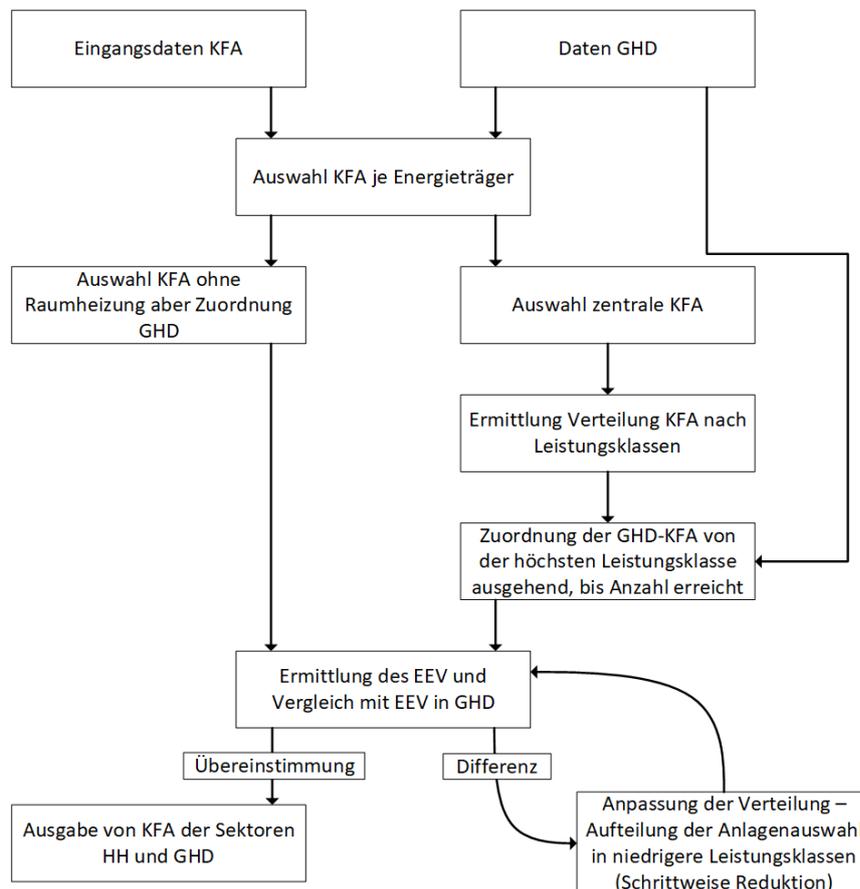


Abbildung 3-4: Ablauf Auswahl KFA für GHD

Begründen lässt sich diese Annahme auch mit Blick auf die Verteilung von Kleinfeuerungsanlagen auf Ein- und Zweifamilienhäusern bzw. Mehrfamilienhäuser. Das statistische Landesamt ermittelt für Sachsen eine Anzahl von  $n_{\text{EFH}} = 502.534$  Ein- und  $n_{\text{ZFH}} = 132.279$  Zweifamilienhäusern (01.01.2019). Mit der Annahme, dass alle

Wärmepumpen ( $n_{WP} = 28.500$ ) sowie alle zentralen Kleinfeuerungsanlagen (Heizkessel, Kombiheizter) mit einer Leistung kleiner  $\dot{Q}_N = 25 \text{ kW}$  ( $n_{KFA \dot{Q}_N < 25 \text{ kW}} = 488.814$  vgl. Statistik KFA) zur Beheizung dieser Wohngebäude genutzt werden, zeigt sich zum einen, dass zusätzlich Einzelraumfeuerungen in Ein- und Zweifamilienhäusern zur Beheizung genutzt werden und zum anderen, dass Anlagen mit höheren Wärmeleistungen tendenziell in Mehrfamilienhäusern und Nichtwohngebäuden angesiedelt sind.

Der beschriebene Prozess ist aufgrund des iterativen Verfahrens nicht ohne Abweichungen umzusetzen. Es zeigt sich, dass für die Energieträger Biomasse und Braunkohle mit den getätigten Annahmen und der daraus resultierenden Anlagenanzahl der EEV für die Sektoren GHD nicht erreicht werden kann. Da hier aber die Abweichungen im Vergleich zum gesamten EEV Sachsens sehr gering sind und die Annahmen zur Verteilung der KFA auf die Sektoren ohnehin hohe Unsicherheiten enthält, werden die Abweichungen toleriert. In Tabelle 3-3 ist eine Übersicht, über die dem Sektor GHD zugeordneten Anlagen dokumentiert.

Tabelle 3-3: Übersicht KFA in Sektoren GHD

Energie-träger	EEV laut Energie-bilanz	EEV gewählter Anlagen	Anzahl KFA GHD ohne RH	Anzahl KFA-GHD gesamt	$\dot{Q}_N$ mittel KFA GHD ohne RH	$\dot{Q}_N$ mittel KFA GHD gesamt
	[TJ]	[TJ]	-	-	[kW]	[kW]
Steinkohle	38,4	37,9	515	593	9,9	19,7
Braunkohle	642,3	416,7	7.531	8.828	6,9	15,2
Öl	11.612	11.633,8	2.324	25.781	107,8	107,4
Gas	20.167	20.182,9	11.450	52.187	70,7	109,4
Biomasse	2.200	1.586,6	4.640	9.084	10,3	48,4

Die regionale Verteilung wird in der nachfolgenden Abbildung 3-5 dargestellt.

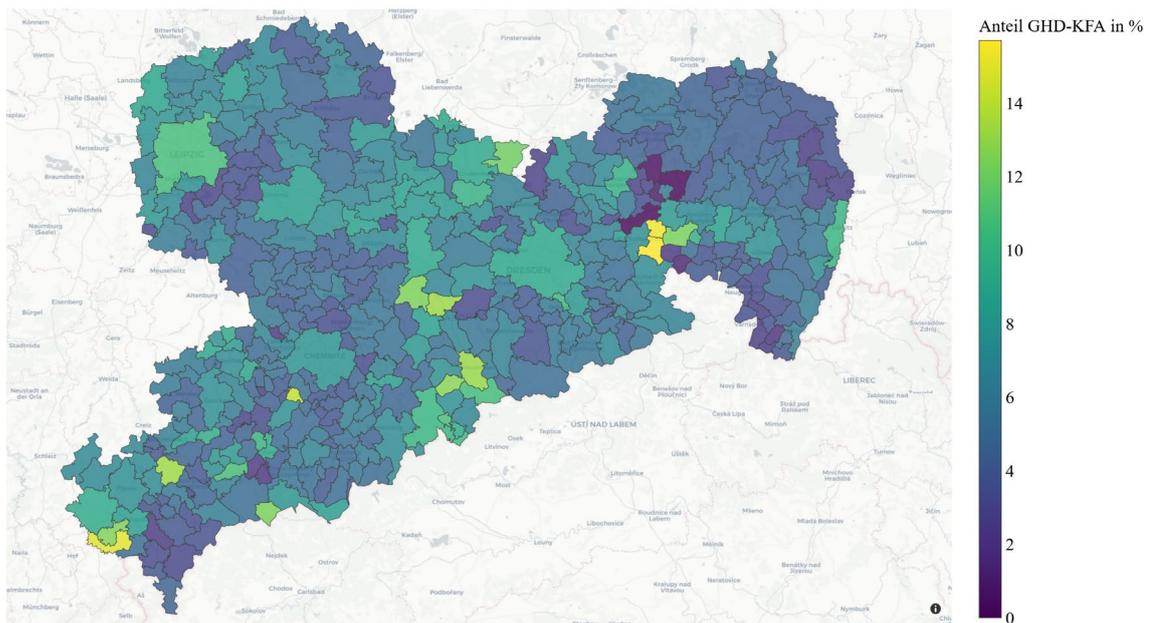


Abbildung 3-5: Regionale Anteil der KfA in den Sektoren GHD an der Gesamtanzahl der KfA

### 3.2.3 Nutzungsgrad

Der Nutzungsgrad ist alle Betriebszustände berücksichtigendes Maß für die Effizienz der Kleinfeuerungsanlage und berechnet sich aus dem Quotienten von Nutzwärmeabgabe der KfA und dem Endenergieaufwand. Da zu den KfA nur Informationen zur installierten Nutzwärmeleistung vorliegen, der Abgleich im Rahmen der Konsistenzprüfung aber auf Grundlage der Endenergieverbräuche erfolgt, müssen Nutzungsgrade der KfA beachtet werden. Um die verschiedenen Baualter der KfA und die daraus folgenden Effizienzunterschiede in der Studie zu berücksichtigen, wird ein alters- und anlagentypabhängiger Nutzungsgrad  $\eta$  eingeführt, der in Anlehnung an DIN V 18599-5 [18] angesetzt wird. DIN V 18599-5 [18] gibt für die Berechnungen der (altersabhängigen) Kesselwirkungsgrade bei Nennleistung Gleichung 11 an.

$$\eta_{j P_n} = (A + B \cdot \log_{10}(P_n))/100 \quad 11$$

- mit  $\eta_{j P_n}$  Wirkungsgrad des Kessels bei Nennlast  
 $P_n$  Nennleistung des Kessels  
 A, B Wirkungsgradfaktoren

Für die Verwendung innerhalb der Studie wurde mangels Alternativen für die Berücksichtigung der Altersstruktur der KfA-Daten der Wirkungsgrad gleich dem

Nutzungsgrad gesetzt.<sup>7</sup> Somit ist zumindest eine altersabhängige Komponente zur Effizienzbewertung der KFA Bestandteil der Methode. Die verwendeten Wirkungsgradfaktoren können der Tabelle 3-4 entnommen werden. Da in der verwendeten Datenbasis der KFA für flüssige und gasförmige Brennstoffe keine Unterscheidung nach Niedertemperatur (NT)- bzw. Brennwertkessel (BW) erfolgt, wurde dies über die Abbildung der Absatzzahlen der Geräte innerhalb des betrachteten Zeitraumes berücksichtigt. Folglich gilt für gasförmige bzw. flüssige Brennstoffe die Gleichung 12 zur Bestimmung des Wirkungsgrades.

$$\eta_{j\text{ Pn}} = (A_{\text{NT}} \cdot f_{\text{NT}i} + A_{\text{BW}} \cdot (1 - f_{\text{NT}i})) + (B_{\text{NT}} \cdot f_{\text{NT}i} + B_{\text{BW}} \cdot (1 - f_{\text{NT}i}) \cdot \log_{10}(P_n)) / 100 \quad 12$$

Dabei ist jeweils abhängig von der Altersklasse des Wärmeerzeugers (Baujahr  $i$ ):

- der Faktor  $f_{\text{NT}i}$  zur Beschreibung des Anteils verkaufter Niedertemperaturgeräte bzw.
- der Faktor  $f_{\text{BW}i}$  zur Beschreibung des Anteils der Brennwertgeräte einzubinden.

Es wird folglich innerhalb der Studie ein Verhältnis der Absatzzahlen des entsprechenden Baujahres zugrunde gelegt. Darüber soll die Entwicklung der Kesseltechnologie von den NT-Kesseln zur Brennwerttechnik und den damit verbundenen Effizienzverbesserungen der Heizungskessel der KFA-Daten berücksichtigt werden.

Tabelle 3-4: verwendete Wirkungsgradfaktoren nach DIN V 18599-5

Energieträger / Anlagentyp	Baujahr	A	B
Festbrennstoffe	Vor 1978	78	2
	1978 - 1994	80	2
	Nach 1994	81	2
Flüssige / gasförmige Brennstoffe NT - Kessel	vor 1987	84	1,5
	1987 bis 1994	86	1,5
	nach 1994	88,5	1,5
Flüssige / gasförmige Brennstoffe BW - Kessel	vor 1987	89	1
	1987 bis 1994	91	1
	nach 1994	92	1
	ab 1999	94	1

<sup>7</sup> Den Autoren ist bewusst, dass diese Annahme zu einem (systematischen) Fehler hinsichtlich einer Überschätzung des Nutzungsgrades führt, da an dieser Stelle das Teillastverhalten der Wärmeerzeuger nicht berücksichtigt werden kann.

Die vollständige Tabelle der Wirkungsgradfaktoren der einzelnen Wärmeerzeuger sowie die zugrunde gelegten Absatzzahlen können dem Anhang (Tabelle 10-4 und Tabelle 10-7) entnommen werden.

### 3.2.4 Vollbenutzungsstunden

Die Vollbenutzungsstundenzahl  $t_{VBH}$  ist eine fiktive, anlagenspezifische Größe, die die theoretische Einsatzzeit der Anlagen unter Volllastbedingungen beschreibt. Struschka et al. [14] hat eine sehr detaillierte Analyse der Vollbenutzungsstunden durchgeführt. Messwerte und Erfahrungen aus der Praxis wurden in seiner Arbeit genutzt, um die Energiebilanz des Jahres 2005 möglichst durch eine plausible Wahl von Vollbenutzungsstunden auf die bekannten Kleinfeuerungsanlagen zu verteilen. Tabelle 10-3 gibt einen Überblick über die Ausgangsdaten für die Vollbenutzungsstunden  $t_{VBH Q k}$ . Der Ansatz aus [14] wird hier aufgegriffen und fehlende Daten über Werte von Poppitz et al. [9] und Tebert et al. [17] sowie eigene Annahmen (Hackschnitzelkessel) ergänzt. Außerdem werden die Vollbenutzungsstunden  $t_{VBH Q j}$  unter Beachtung der gemeindespezifischen Parameter so angepasst, dass unter Nutzung aller sächsischen KFA mit der Nutzung in der Beheizung von Wohngebäuden die Energiebilanz von Sachsen getroffen wird. Mit Verweis auf Gleichung 9 werden die Vollbenutzungsstunden  $t_{VBH k}$  für jeden Anlagentyp und Energieträger  $k$  ermittelt, so dass gilt:

$$\sum_{i,k} Q_{KFA i} = Q_{k,Sachsen}$$

Es ergeben sich schließlich die in Tabelle 10-3 beigefügten Vollbenutzungsstunden für die einzelnen Feuerstätten und Endenergieträger. Die Vollbenutzungsstunden weisen außer bei der Biomasse nochmals kleinere Werte auf als von Struschka et al. [14] angenommen. Tabelle 3-5 enthält die auf die Energieträger bezogenen Verhältnisse bzw. Anpassungsfaktoren.

$$f_{VBH k} = \frac{t_{VBH k}}{t_{VBH Q k}} \quad 13$$

Tabelle 3-5: Anpassungsfaktoren  $f_{VBH k}$  Vollbenutzungsstunden

Brennstoff	Anpassungsfaktor $f_{VBH k}$
Biomasse	1,0353
Gas	0,7906
Öl	0,8669
Steinkohle	0,4072

Braunkohle	0,5309
------------	--------

Die kleinen Vollbenutzungsstunden lassen die Vermutung von überdimensionierten oder nicht betriebenen Kleinfeuerungsanlagen im Bestand aufkommen. Die hier angenommene Gleichverteilung der Vollbenutzungsstunden über alle Gemeinden wird vermutlich auch Verzerrungen in der Berechnung hervorrufen, welche jedoch ohne umfangreichere Datenerfassung nicht zu beheben sind.

Abbildung 3-6 gibt einen abschließenden Überblick über das Vorgehen, wobei die Informationen über die KFA zur Beheizung von Wohngebäuden aus dem in Kapitel 3.2.2 beschriebenen Ansatz stammen.



Abbildung 3-6: Ablauf zur Anpassung Vollbenutzungsstunden

### 3.2.5 Leerstand

Der Leerstand von Wohnungen verteilt sich auf Sachsen den Angaben des Mikrozensus zufolge sehr heterogen. Die gegebenen Leerstandsquoten  $\sigma_L$  schwanken zwischen 1,4 % und 22,8 %. Sie werden hier über den Leerstandsfaktor  $f_{L,i}$  (nach Gleichung 13 berechnet) auf den Ebenen der Gemeinden berücksichtigt.

$$f_{L,i} = 1 - \sigma_L$$

Die Leerstandsquote ist definiert als der Anteil leerstehender Wohnungen an der Gesamtzahl der Wohnungen (reine Wohnungen in Wohngebäuden) [19].

Für nicht genutzte Wohnungen reduziert sich der Endenergieverbrauch, da hier in der Regel nur ein Frostschutz sichergestellt werden muss. Um diesen Effekt in der Studie abzubilden, wird die Annahme getroffen, dass sich der der Gemeinde zugeordnete Wärmeverbrauch proportional zum Leerstand verringert. Damit lässt sich der Wärmeverbrauch wie folgt abbilden:

$$Q_{KFA\ i} = Q_{WHG\ Nutz\ i} = Q_{WHG\ ges\ i} \cdot f_{L\ i} \quad 15$$

Dabei stellt  $Q_{WHG\ ges\ i}$  den theoretischen Wärmeverbrauch aus KFA im Falle ohne Leerstand dar, der sich ohne Beachtung des Leerstands in Gleichung 9 ergeben würde. Einen Überblick über die Verteilung des Leerstands gibt Abbildung 3-7.

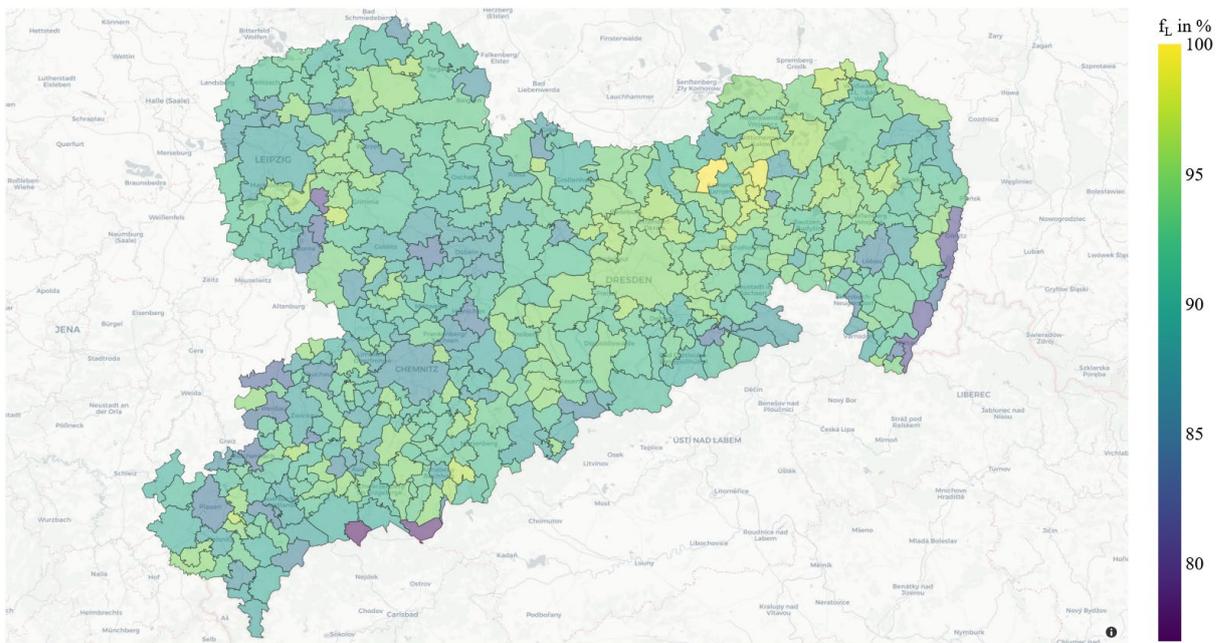


Abbildung 3-7: Leerstandsfaktor  $f_{L\ i}$  auf Gemeindeebene (Anmerkung: hoher Leerstandsfaktor entspricht geringem Leerstand)

Es wurde außerdem versucht, aus den Angaben der Schornsteinfeger zu den Kehrungen auf den Leerstand zu schließen, um die Informationen aus dem Mikrozensus zu plausibilisieren. In der Datengrundlage der KFA sind Angaben zur Anzahl der Kehrungen vermerkt. Diese Angaben sind sehr heterogen verteilt und vorrangig für Anlagen mit Festbrennstoffen in der Einzelraumfeuerung vorhanden. Tabelle 3-6 gibt einen Überblick über die Anteile der jeweiligen Angaben für Anlagen mit Raumheizaufgabe.

Tabelle 3-6: Anteile Kehrungsangaben Kleinfeuerungsanlagen mit Raumheizung

Energieträger / Anlagentyp	Gas	Öl	Braunkohle	Steinkohle	Biomasse	Zentralheizung	Einzelraumheizung
Anlagen mit Kehrung	13%	17%	94%	97%	97%	22%	88%
Anlagen ohne Kehrung	1%	2%	3%	2%	2%	2%	2%
Anlagen ohne Angabe	86%	81%	4%	1%	1%	76%	10%

Abbildung 3-8 zeigt den Anteil der Anlagen ohne Kehrung, wobei auffällt, dass in einigen Gemeinden dieser Anteil deutlich über den Durchschnitt liegt und bspw. in der Gemeinde „Königsbrück, Stadt“ mit einem Anteil von über 50 % Anlagen eine unplausible Aussage entsteht, da in dieser Gemeinde keine überdurchschnittliche Anzahl von Wärmeerzeugern zu verzeichnen ist, sodass sich eine erheblich kleinere Anzahl Wärmeerzeuger als Gebäude ergeben würde.

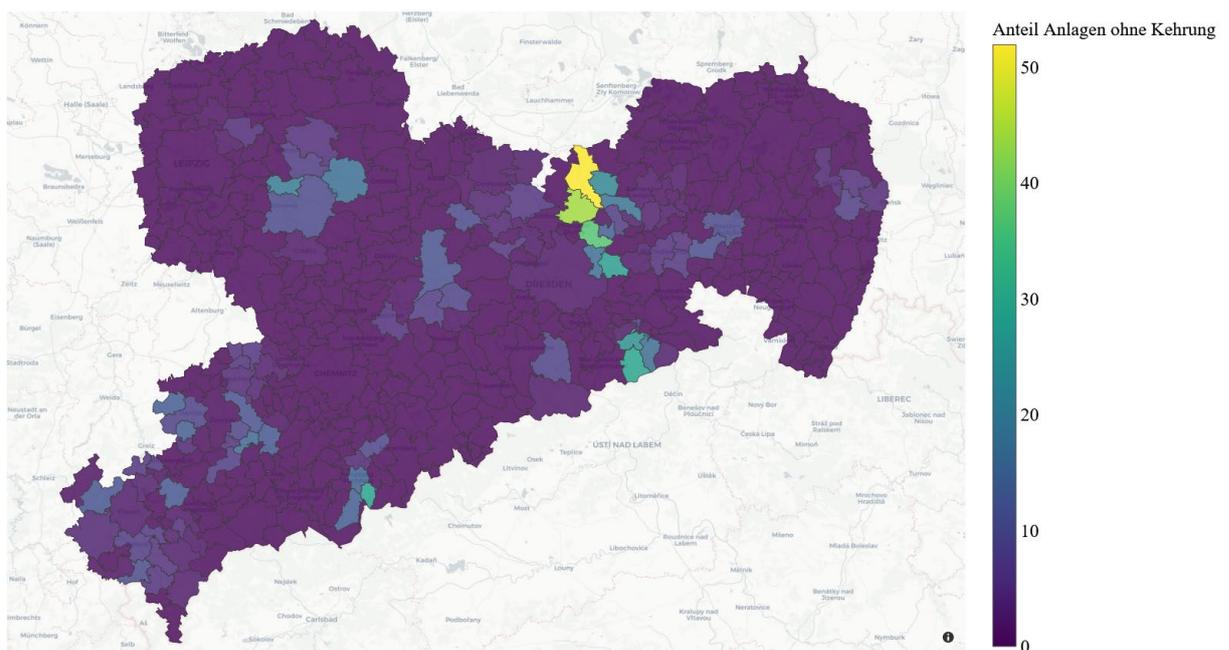


Abbildung 3-8: Anteil KFA ohne Kehrung

Als Ergebnis wird daher die Angabe über die Anzahl der Kehrungen in dieser Studie nicht weiterverwendet, sodass über diese Angabe auch keine Aussage zur Nichtnutzung von Anlagen getroffen werden kann. Diese Einschätzung teilen auch Poppitz et al. [9]. Der Leerstand orientiert sich damit ausschließlich am Mikrozensus.

### 3.2.6 Datenkorrektur Wärmeerzeugeranzahl

Sind mehrere Wärmeerzeuger in einem Gebäude installiert, führt das zu geringeren Vollbenutzungsstunden auf Anlagen- bzw. Gemeindeebene. Um diesen Umstand zu beachten, wird über den Abgleich der Anzahl der Wärmeerzeuger in der Datenbasis mit der Anzahl der beheizten Gebäude aus den Zensusdaten der gemeindespezifische Faktor  $f_{ZWE i}$  ermittelt, mit dem der Endenergieverbrauch angepasst wird.

Das Verhältnis  $\varphi_{ZWE Zensus}$  der zentralen Wärmeerzeuger zur Anzahl der Wohngebäude ergibt sich aus den Daten des Zensus 2011 [19] über die Anzahl der zentral beheizten Gebäude zur Gesamtanzahl der Gebäude:

$$\varphi_{ZWE Zensus} = \frac{n_{FW} + n_{ZHZ} + n_{BHZ} \cdot c_{BHZ} + n_{EHZ} \cdot c_{EHZ}}{n_{WG}} \quad 16$$

Dabei wird davon ausgegangen, dass zur Zentralheizung Gebäude mit Fernwärme-, Etagen-, Block- und Zentralheizung zählen, wobei die Anzahl der Erzeuger je Gebäude mit Etagenheizung mit  $n_{WE} = 3$  ( $c_{EHZ} = 3$ ) angenommen wird und bei Blockheizung von  $n_{WG} = 6$  ( $c_{BHZ} = \frac{1}{6}$ ) Gebäuden je Heizungsanlage ausgegangen wird.

Im Gegensatz dazu ergibt sich das Verhältnis der hier verwendenden Wärmeerzeuger (in Kapitel 2.3 beschriebene Wärmeerzeugern) zur Anzahl der Wohnungen zu:

$$\varphi_{ZWE} = \frac{n_{FW} + n_{ZFA} + n_{WP} + n_{DE}}{n_{WG}} \quad 17$$

Die beiden Verhältnisse werden zum gemeindespezifischen Anpassungsfaktor (in Bezug auf die Vollbenutzungsstunden) des Endenergieverbrauchs zusammengefasst. Dieser berechnet sich nach Gleichung 17 aus dem Verhältnis der zentralen Wärmeerzeuger  $\varphi_{ZWE}$  nach den der Studie zugrundeliegenden Daten zur Anzahl der zentralen Wärmeerzeuger im Zensus 2011  $\varphi_{ZWE Zensus}$ . Eine Nutzung der Angaben über die Kehrungshäufigkeit ist aus bereits genannten Gründen nicht möglich.

$$f_{ZWE} = 1 - \left( \frac{\varphi_{ZWE}}{\varphi_{ZWE Zensus}} - 1 \right) \cdot c \quad 18$$

Die Konstante  $c = 0,5$  wird eingeführt, um die Möglichkeiten mehrere Wärmeerzeuger aufgrund doppelter Anlagen aber auch von Grund- und Spitzenlast zu berücksichtigen. Der Wert der Konstanten ist aufgrund mangelnder Datenbasis eine Annahme, um die beiden zuvor beschriebenen Möglichkeiten zu berücksichtigen.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> Getroffene Annahme, da unklare Datenlage über Anteil nicht genutzte Wärmeerzeuger und Anlagen zur Spitzenlastdeckung

### 3.3 Fernwärme

Im Rahmen einer eigenen Recherche konnte für Chemnitz, Dresden und Leipzig der durch Fernwärme gedeckte Endenergieverbrauch von Haushalten (Fernwärmeabsatz)  $Q_{FW}$  ermittelt werden.

- Chemnitz:  $Q_{FW} = 385,7 \text{ GWh/a}$  ( $Q_{FW \text{ ges}} = 720 \text{ GWh/a}$ ; Klimafaktor 2019: 1,1; Anteil privater Haushalte 48,7 %<sup>9</sup>)
- Dresden:  $Q_{FW} = 1244 \text{ GWh/a}$  ( $Q_{FW \text{ ges}} = 1886 \text{ GWh/a}$ <sup>10</sup>; Klimafaktor 2019: 1,2; Anteil privater Haushalte: 55 % (eigene Schätzung))
- Leipzig:  $Q_{FW} = 1065 \text{ GWh/a}$  ( $Q_{FW \text{ ges}} = 1364 \text{ GWh/a}$ <sup>11</sup>, Klimafaktor 2019: 1,2, Anteil privater Haushalte mit 65 % angenommen<sup>12</sup>)

Für weitere Gemeinden wurde aufgrund der begrenzten zeitlichen Kapazitäten auf eine weiterführende Recherche verzichtet, da, wie bereits erwähnt, eine parallellaufende Untersuchung des SMEKUL hier eine umfangreiche Datenbestandserfassung der Fernwärmesysteme zum Gegenstand hatte.

Für die weiteren Gemeinden wurde der Fernwärmeverbrauch über den wohnflächenbezogenen Ansatz nach Gleichung 19 abgeschätzt. Genauere und verlässliche Ergebnisse einer parallellaufenden Studie des SMEKUL zur Fernwärmeversorgung in Sachsen durften aus Datenschutzgründen nicht ohne Weiteres verwendet werden. Der mittlere wohnflächenbezogene Endenergieverbrauch für Fernwärme in Sachsen beträgt  $q_{FW} = 132 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  und kann berechnet werden, indem der aus der Endenergieverbrauchsstatistik für Sachsen bekannte Fernwärmeabsatz für 2019 auf alle fernwärmeversorgten Gebäude gleichmäßig aufgeteilt wird:

$$\bar{q}_{FW} = \frac{Q_{FW}}{\sum_i n_{FW \text{ WHG } i} \cdot \bar{A}_{\text{WHG}} \cdot f_{L,i}} \quad 19$$

Im Nachgang kann der Fernwärmeverbrauch für jede Gemeinde ermittelt werden.

---

<sup>9</sup> [https://www.chemnitz.de/chemnitz/media/unsere-stadt/umwelt/klimaschutzbericht\\_2018.pdf](https://www.chemnitz.de/chemnitz/media/unsere-stadt/umwelt/klimaschutzbericht_2018.pdf) und <https://www.statistikportal.de/de/energieverbrauch-karte> (05.01.2022)

<sup>10</sup> Fernwärmeabsatz 2019; Quelle: Geschäftsbericht SachsenEnergie und Drewag 2020; [www.drewag.de](http://www.drewag.de)

<sup>11</sup> <https://www.l.de/gruppe/das-sind-wir/kennzahlen-und-berichte/> (25.11.2022)

<sup>12</sup> <https://statistik.leipzig.de/statcity/table.aspx?cat=13&rub=4> (05.01.2022)

$$Q_{FW i} = n_{FW WHG i} \cdot \bar{A}_{WHG} \cdot \bar{q}_{FW} \cdot f_L$$

20

Dabei ist  $n_{FW WHG i}$ , die Anzahl der laut Zensus mit Fernwärme versorgten Wohnungen in einer Gemeinde  $i$ . Die mittlere Wohnfläche wird entsprechend des sächsischen Durchschnitts der Mehrfamilienhäuser zu  $\bar{A}_{WHG} = 63,8 \text{ m}^2$  gewählt [1]. Zur Berücksichtigung des Leerstandes wird der in Kapitel 3.2.3 eingeführte Leerstandsfaktor genutzt. Der in den acht Jahren (Daten Zensus von 2011 und Energiebilanz von 2019) stattgefundene Ausbau und Rückbau von Fernwärmenetzen wird demnach nur durch die Wahl des aktuelleren EEVs berücksichtigt.

Um die unterschiedlichen flächenspezifischen Verbräuche innerhalb der Gemeinden zu berücksichtigen, wurden die Daten der VSWG betrachtet. Die Abbildung 3-9 stellt die Gemeinden mit Fernwärmeversorgung mit vorhandenen Angaben der VSWG dar. Dabei wurden die konkreten Daten der VSWG-Bestände verwendet. Es zeigt sich, dass die Bestände der VSWG im Mittel einen niedrigeren Verbrauch haben als der sächsische Durchschnitt mit  $\bar{q}_{FW} = 132 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}}$ . Dabei lässt sich jedoch kein regionaler Zusammenhang erkennen, da es u.a. auch in einigen Gemeinden mit Fernwärmenetzen keine fernwärmeversorgten Objekte der VSWG gibt. Da die VSWG Objekte in jeder Gemeinde nur einen Teil der fernwärmeversorgten Gebäude repräsentieren, wurde von einer Einbeziehung der Daten des VSWG, für eine regionale Anpassung des Verbrauchs abgesehen.

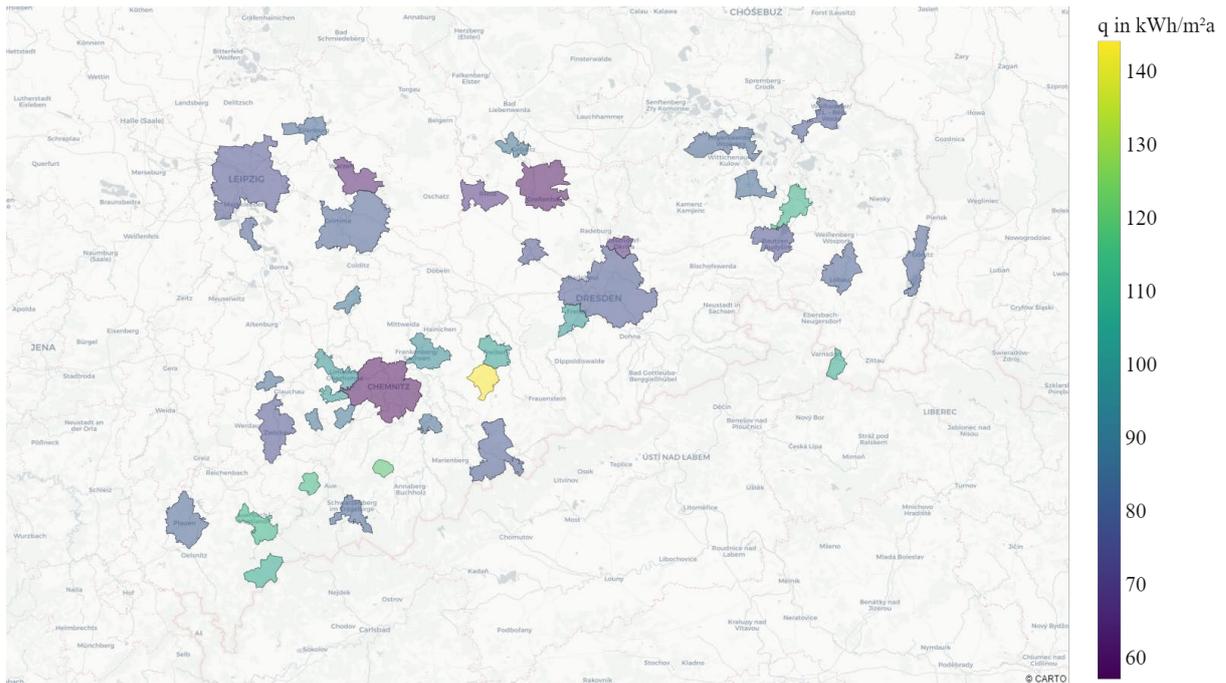


Abbildung 3-9: Vergleich der wohnflächenbezogenen Endenergieverbräuche der VSWG

### 3.4 Wärmepumpen

Um Heizleistungen der Wärmepumpen pro Gemeinde zu bestimmen wird die gemeindebezogene kumulierte Heizleistung der 14.479 in Sachsen insgesamt verbauten Erdwärmepumpen  $\dot{Q}_{\text{Sonden } i}$  (Daten des LfULG) nach Gleichung 20 skaliert. Es wird dabei mangels Alternative angenommen, dass die Heizleistungen der Luft- und Wasserwärmepumpen gleich denen der Erdwärmepumpen sind und die angenommen 28.500 Wärmepumpen in Sachsen analog zu den Erdwärmepumpen auf die Gemeinden verteilt sind.

$$\dot{Q}_{\text{WP } i} = \frac{\dot{Q}_{\text{Sonden } i}}{14759} \cdot 28.500 \quad 21$$

Zum Ermitteln des Endenergieverbrauchs der Wärmepumpen wurden die Vollbenutzungsstunden mit  $t_{\text{VBH,WP}} = 1800 \text{ h}$  und die mittlere Jahresarbeitszahl mit  $\text{JAZ} = 3,5$  angenommen entsprechend der aktuellen Branchenstudie des BWP [4].

$$Q_{\text{WP } i} = \frac{\dot{Q}_{\text{WP } i} \cdot t_{\text{VBH,WP}}}{\text{JAZ}} \quad 22$$

### 3.5 Direkt-elektrische Systeme

Für direktelektrische Systeme wie (Nacht-)Stromspeicheröfen, konnte die Anlagenleistung nur geschätzt werden, da keine Statistik vorliegt. Laut [5] befinden sich die ca. 28.000

zentralen Systeme in ca. 64.000 Wohnungen. Die meisten Anlagen werden sich demnach in Ein- und Zweifamilienhäusern befinden und zusätzlich noch einige in Mehrfamilienhäusern, wie auch einzelne Anlagen in Mehrfamilienhäusern der VSWG zeigen. Die mittlere Anlagenleistung wurde aufbauend auf diesen Kenntnissen mit  $\dot{Q}_{DE\ zentral} = 30\text{ kW}$  abgeschätzt<sup>13</sup> und für Einzelraumanlagen mit  $\dot{Q}_{DE\ ERA} = 3\text{ kW}$ , dabei handelt es sich um die max. Wärmeabgabe, wobei der Nutzungsgrad mit näherungsweise 1 angenommen werden kann. Die Vollbenutzungsstunden wurden sowohl für Einzelraumanlagen als auch die zentralen Systeme mit einem typischen Wert  $t_{VBH,DE} = 1500\text{ h}$  angenommen. Der Endenergieverbrauch der direkt-elektrischen Systeme berechnet sich dann nachfolgender Gleichung.

$$Q_{DE\ i} = (n_{DE\ zentral\ i} \cdot \dot{Q}_{DE\ zentral} + n_{DE\ ERA\ i} \cdot \dot{Q}_{DE\ ERA}) \cdot t_{VBH,DE}$$

### 3.6 Solarthermische Anlagen

Die BDEW-Studie [5] enthält Angaben zu den Anteilen von solaren Wärmeerzeugern ( $\varphi_{ST}$ ). Der Anteil an Wohnungen mit Solarthermie zur Heizungsunterstützung beträgt für Sachsen ca. 2,5 %. Damit ist es möglich, eine mit Solarthermie beheizte Wohnfläche ausgehend von den Wohnflächendaten ( $A_{WHG\ i}$ ) der Gebäudestatistik von Sachsen [1] zu ermitteln.

Trifft man die Annahme, dass bei der Installation von Solarthermieanlagen in der Regel die Mindestanforderungen des GEG §35 Absatz 2 für Ein- und Zweifamilienhäuser mit  $f_{STA} = 0,04$  Quadratmetern Aperturfläche je Quadratmeter Wohnfläche getroffen werden, lässt sich nach Gleichung 22 eine Aperturfläche ermitteln ausgehend von der Wohnfläche  $A_{WHG\ i}$  und  $\varphi_{ST}$  ermitteln.

$$A_{Apertur} = A_{WHG\ i} \cdot \varphi_{ST} \cdot f_{STA} \tag{23}$$

Nach VDI 6002 [20] ist mit einem jährlichen Nutzenergieertrag, d. h. abzüglich der Anlagenverluste, von ca.  $q_{ST} = 350\text{ kWh/m}^2$  zu rechnen. Setzt man diesen spezifischen Ertragsfaktor an und nutzt die zuvor bestimmte Aperturfläche, kann über Gleichung 23 die durch Solarthermie gedeckte Nutzenergie für die einzelnen Gemeinden bzw. die Summe über Sachsen ermittelt werden.

$$Q_{Nutz\ ST\ i} = A_{Apertur} \cdot q_{ST} \tag{24}$$

---

<sup>13</sup> Die Leistung von 30 kW bildet an dieser Stelle keine konkrete Anlage ab, sondern einen Mittelwert über viele Anlagen, wobei laut [5] und dem verwendeten Ansatz eine Anlage ca. 2,3 Wohnungen beheizt.

Dieser Beitrag mindert den Endenergieverbrauch und ist daher im Weiteren bei der Abschätzung der Sanierungsstände korrekte Raumwärmebedarfe zu berücksichtigen. Tabelle 3-7 gibt einen Überblick über die in der Studie verwendeten Parameter zur Berechnung solarthermischer Anlagen.

Tabelle 3-7: Berechnungsparameter solarthermische Anlagen

Parameter	Wert
Anteil E-&ZFH mit Solarthermie	$\varphi_{ST} = 7,88 \%$
Verhältnis Apertur- zu Wohnfläche nach GEG	$f_{STA} = 0,04$
Nutzenergieertrag nach VDI 6002	$q_{ST} = 350 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

### 3.7 Trinkwassererwärmung (TWE)

Der Endenergieverbrauch für die Trinkwassererwärmung ist im Rahmen der Studie nur zu ermitteln, um diesen vom gesamten Endenergieverbrauch für Wohngebäude abzutrennen und die notwendige Endenergie für die Gebäudeheizung berechnen zu können. Zu beachten ist dabei, dass Kleinfeuerungsanlagen, welche ausschließlich zur Trinkwassererwärmung eingesetzt werden, bereits durch die Datenbereinigung in Kapitel 3.2.2 bei der Ermittlung der Endenergieverbräuche ausgeschlossen worden sind. Es muss also noch der Anteil der Endenergie für die TWE abgeschätzt werden, welcher aus allen Kombi-Anlagen mit Nutzung in der TWE und der Gebäudeheizung resultiert. Ein praktikabler Ansatz zur Berechnung des Energiebedarfs für die Trinkwassererwärmung ist die Nutzung eines flächenbezogenen Wärmeverbrauchs. Für diesen Verbrauchswert wird ausgehend von den Untersuchungen der Techem Energy Services GmbH [7] sowie von Felsmann und Schmidt [21] ein Wert von  $q_{TWW} = 30 \text{ kWh/m}^2$  angenommen. Die Detailbetrachtung ausgewählter Vergleichsgebäude der VSWG zeigte im Übrigen geringfügig kleinere Werte, siehe Abbildung 4-2. Der Endenergieverbrauch für die zentrale TWE je Gemeinde wird nach Gleichung 24 ermittelt.

$$Q_{ZTWE} = \sum_i A_{WHG\ i} \cdot \varphi_{ZTWE} \cdot q_{TWW} \quad 25$$

Wie erläutert ist an dieser Stelle nicht die gesamte Wohnfläche (einer Gemeinde) als Bezugsgröße anzusetzen, sondern nur der mit zentraler TWE versorgte Teil, da bei separater Trinkwassererzeugung, die Anlagen bereits ausgeschlossen sind. Für diesen Anteil an der Wohnfläche  $A_{WHG\ i}$  gibt es verschiedene Angaben. Das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) gibt einen Anteil von Gebäuden mit zentralen Erzeugern zur TWE von  $\varphi_{ZTWE} = 74 \%$  bei einer Datenlücke von 4 % an [22]. Das IWU-

Institut geht von einem Anteil von  $\varphi_{ZTWE} = 76,9\%$  aus [23]. Im Rahmen dieser Studie wird ein Anteil von  $\varphi_{ZTWE} = 75\%$  angesetzt.

Die Bereinigung des gesamten Endenergieverbrauches wird für jeden Endenergieträger einzeln durchgeführt, um Energieträgerbezogene Endenergieverbräuche und Emissionen ermitteln zu können. Hier wird vereinfachend die Annahme getroffen, dass sich der Endenergieverbrauch für die TWE analog zur Raumheizung auf die verschiedenen Energieträger zum Endenergieverbrauch verteilt. Ausgeschlossen aus dieser Betrachtung werden dabei Endenergieverbräuche, die durch Einzelfeuerungsanlagen und andere Wärmeerzeuger gedeckt werden, die sich nicht für eine kombinierte Nutzung für TWE und Gebäudeheizung eignen.

### 3.8 Plausibilitätsprüfung der Ergebnisse

Die verwendeten Datenquellen weisen an einigen Stellen Ungenauigkeiten auf. So wurden bspw. durch Poppitz et al. [2] fehlende Kehrbezirksdaten durch benachbarte Kehrbezirke ersetzt. Damit werden die fehlenden Daten auf Landkreisebene bzw. auf der Ebene des Freistaates Sachsen ausgeglichen. Ein Ausgleich auf Gemeindeebene ist aber damit nicht möglich. Um daraus entstehende nicht plausible Werte und Fehler in der regionalen Auswertung auszuschließen, werden betroffene Gemeinden identifiziert und von der weiteren Auswertung ausgenommen. Eine einfache Plausibilitätsprüfung besteht darin, das Verhältnis  $\varphi_{WEi}$  der Anzahl Wärmeerzeuger zur Anzahl der Wohngebäude nach Gleichung 25 zu prüfen.

$$\varphi_{WEi} = \frac{n_{WEi}}{n_{WGi}} \quad 26$$

mit 
$$n_{WEi} = n_{KFA RH i} + n_{WP i} + n_{FW i} + n_{DE i} \quad 27$$

Dabei setzt sich die Anzahl der Wärmeerzeuger nach Gleichung 27 aus der Anzahl der für die Raumheizung relevanten KFA, Wärmepumpen, Fernwärmestationen und direktelektrischen Heizsystemen zusammen. Solarthermische Systeme werden hier nicht betrachtet, da sie nur als zweiter Wärmeerzeuger in Kombination mit einem der zuvor genannten Systeme eingesetzt werden. Werden nur zentrale Wärmeerzeuger in der Plausibilitätsprüfung berücksichtigt ergibt sich das Verhältnis  $\varphi_{ZWEi}$  als Quotient der für die Raumheizung relevanten zentralen Wärmeerzeuger zu den Wohngebäuden. Diese Anzahl ist im Vergleich zur Gesamtzahl der Wärmeerzeuger um die Anzahl der raumheizrelevanten Einzelraumfeuerungsanlagen reduziert.

Die so ermittelten Kennzahlen sind der Größe nach sortiert in Abbildung 3-10 für jede Gemeinde aufgetragen.

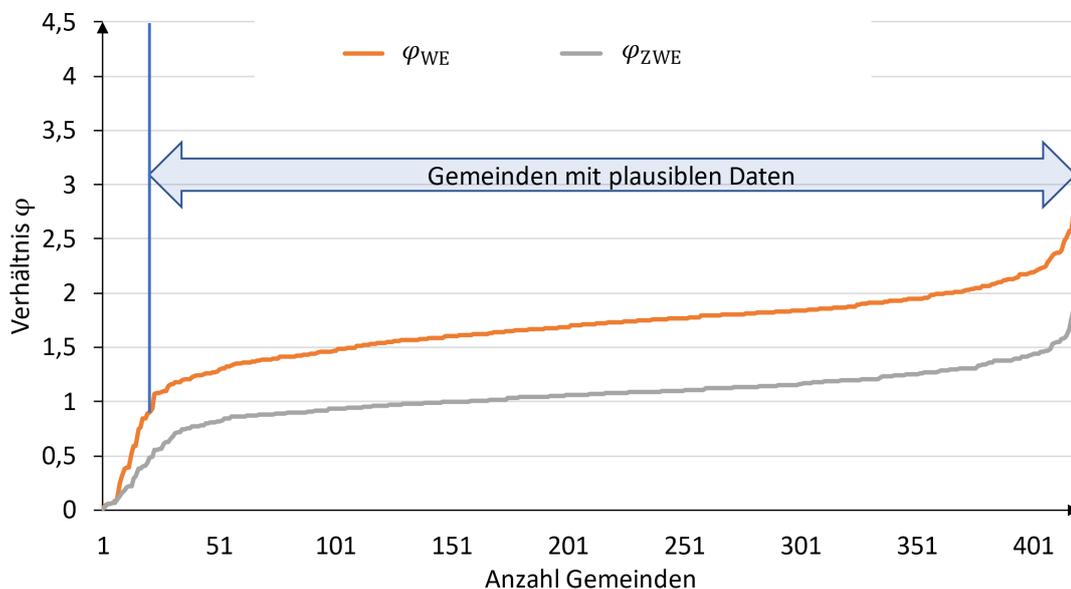


Abbildung 3-10: Verhältnisse der Anzahlen von Wärmeerzeugern zu Wohngebäuden (Plausibilitätsprüfung)

Die Evaluation wird nun am Verhältnis der Anzahl der Wärmeerzeuger zu der Anzahl der Wohngebäude  $\varphi_{WE i}$  ausgerichtet, sodass eine Unplausibilität der Datenlage bei einem sehr niedrigen oder hohen Quotienten festgestellt wird. Als sehr niedrig wird ein Verhältnis  $\varphi_{WE i} < 1$  angenommen, d.h. dass es in diesen Gemeinden mehr Wohngebäude als Wärmeerzeuger gibt. Zurückzuführen ist dies auf fehlende Angaben zum Anlagenbestand innerhalb der Datenbasis. Im umgekehrten Fall werden Gemeinden mit Werten  $\varphi_{WE i} > 3$  ausgeschlossen. Gründe dafür können doppelte oder stillgelegte Anlagen sein, welche aber noch in der Statistik auftauchen oder aber zu geringe und damit fehlerhafte Angabe zu den Wohngebäuden. Mit dieser Zuordnung werden insgesamt 15 von 420 Gemeinden mit ca. 18.120 Wohngebäuden (Sachsen 834.345 Wohngebäude) für die weitere regionale Analyse ausgeschlossen. In Abbildung 3-10 ist der verbleibende Bereich der plausiblen Gemeinden über die Markierung gekennzeichnet.

In Abbildung 3-11 ist die regionale Zuordnung der Gemeinden mit nicht plausiblen Daten gekennzeichnet, wobei die im Weiteren nicht mehr betrachteten Anlagen über den Legendeneintrag „unplausible Daten“ gekennzeichnet sind.

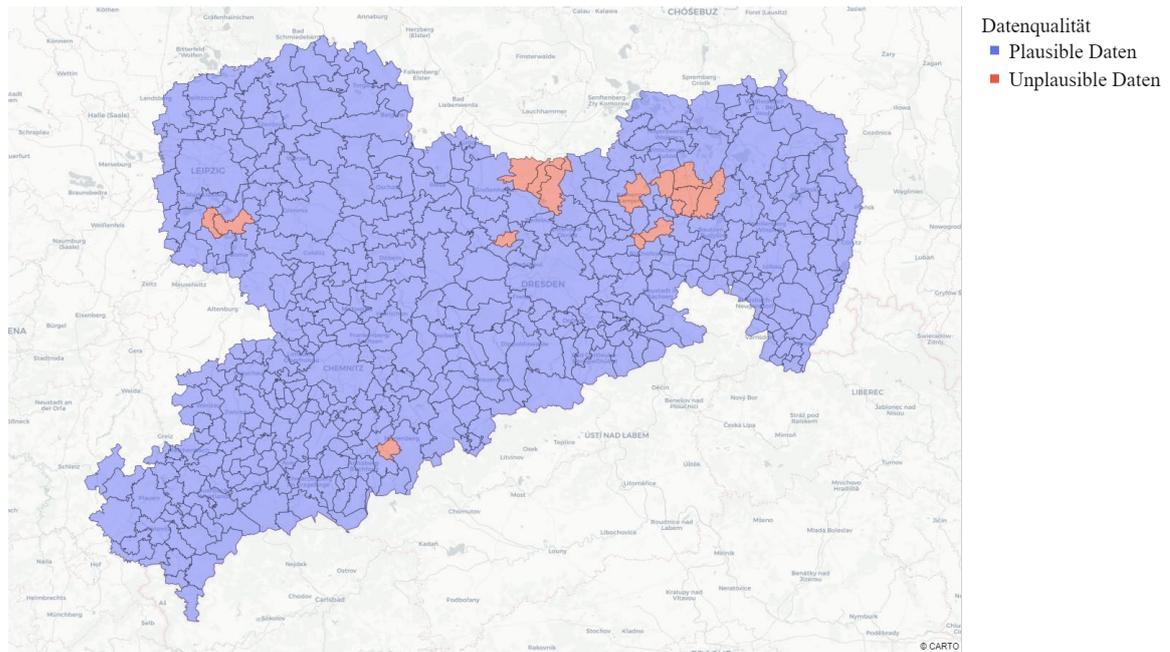


Abbildung 3-11: Regionale Zuordnung der ausgeschlossenen Gemeinden

Neben dieser Analyse ist ein Abgleich der Kehrbezirke und Gemeinden zielführend, für welche entweder keine oder nur unvollständige Daten vorliegen. Abbildung 3-12 zeigt diese Gemeinden, in denen Kleinfeuerungsanlagen nicht oder nicht vollständig erfasst wurden, da hier aus Kehrbezirken keine Daten gemeldet worden sind. Diese Problematik wird im Kapitel 7 zur Fehlerbetrachtung aufgegriffen. Hier zeigt sich auch eine Übereinstimmung mit den zuvor ermittelten Gemeinden mit unplausiblen Daten aufgrund des Verhältnisses der Wärmeerzeuger  $\varphi_{WE}$ . Es zeigt sich jedoch auch, dass auch für weitere Gemeinden potenziell fehlerhafte und zu niedrig angesetzte Ergebnisse zu erwarten sind, da bspw. auch für Chemnitz die Daten eines Kehrbezirks fehlen.

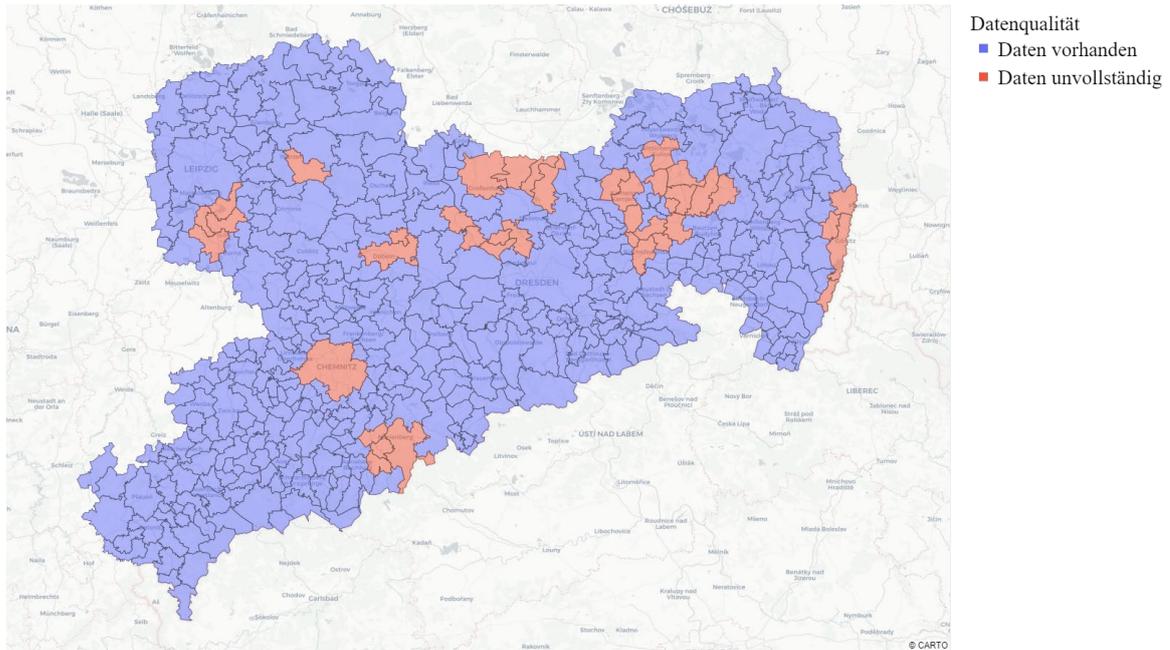


Abbildung 3-12: Vollständigkeit der Daten aus Kehrbezirken auf Gemeindeebene

### 3.9 Wohnflächenbezogener Endenergieverbrauch

Auf Grundlage des Konzepts aus Abbildung 3-1 und der in den vorherigen Abschnitten beschriebenen Berechnungen wurden die Endenergieverbräuche (EEV) der KFA, der Fernwärme, für Wärmepumpen, für direkt-elektrischen Systeme sowie Energieeintrag aus solarthermischen Anlagen und Endenergieaufwendungen für die TWE berechnet. Aus diesen kann für jede Gemeinde der gesamte Endenergieverbrauch für Raumheizung  $Q_i$  berechnet werden. Gleichung 27 zeigt den Berechnungsansatz auf.

$$Q_i = Q_{KFA\ i} + Q_{FW\ i} + Q_{WP\ i} + Q_{DE\ i} + Q_{Nutz\ ST\ i} - Q_{ZTWE} \quad 28$$

Der wohnflächenbezogene Endenergieverbrauch  $q_i$  ist aus der Raumheizung  $Q_i$  und der Wohnfläche je Gemeinde  $A_{WHG\ i}$  nach Gleichung 28 berechnet.

$$q_i = \frac{Q_i}{A_{WHG\ i}} \quad 29$$

Die ermittelten Endenergieverbräuche jeder Gemeinde werden nachfolgend dargestellt. Gemeinden, die bereits bei der Plausibilitäts- und Vollständigkeitsprüfung auf ein hohes Fehlerpotenzial schließen lassen (siehe Kapitel 3.8) sind aus den folgenden Darstellungen von Ergebnissen ausgenommen.

Abbildung 3-13 gibt zunächst einen Überblick über den wohnflächenbezogener EEV  $q_i$  je Gemeinde für alle Endenergieträger. Rückschlüsse auf die Art des Endenergieträgers sind also nicht möglich, da hier keine Kopplung zwischen Wohnfläche und Endenergieträger möglich ist. Es zeigt sich, dass der flächenbezogenen EEV in den größeren und dichter

bebauten Gemeinden, wie Dresden, Chemnitz oder Leipzig, geringer ist als in den ländlicher geprägten Gemeinden Sachsens. Dies lässt den Schluss zu, dass hier ein höherer Sanierungsstand vorhanden ist. Eine nähere Betrachtung liefert Kapitel 5. Zu beachten ist, dass beim EEV an Fernwärme keine leitungsgebundenen Verluste inbegriffen sind, welche signifikanten Einfluss haben können aber bei Erstellung der Studie keine spezifischen Informationen vorlagen. Weiterhin ist ein minimal höherer wohnflächenbezogener EEV in den Bergregionen und im Nordosten von Sachsen zu erkennen, welcher einen klimatischen Einfluss vermuten lässt. Ein klarer Zusammenhang zwischen klimatischen Bedingungen und Energieverbrauch zeigt sich jedoch anhand der Ergebnisse nicht (vgl. Abbildung 5-4). Dies deutet auf einen heterogenen Sanierungsstand hin, wie in Kapitel 5 näher betrachtet.

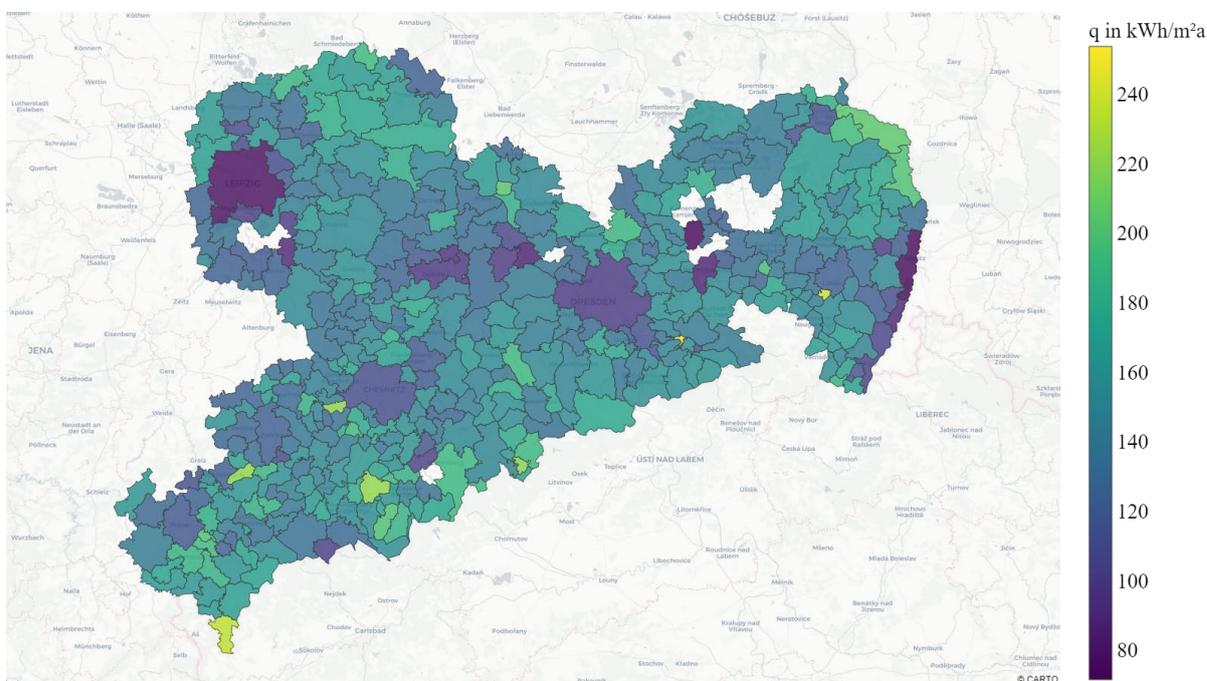


Abbildung 3-13: wohnflächenbezogener EEV je Gemeinde in kWh/m<sup>2</sup>

Der für Sachsen gemittelte flächenbezogene Endenergieverbrauch für die Beheizung der Wohngebäude beträgt  $q=123 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ .

Ein Vergleich zu den in Kapitel 2.4 genannten Referenzwerten zeigt, dass die ermittelten Endenergieverbräuche in der Tendenz etwas über den Vergleichswerten der Techem-Studie [7] liegen. Gleiches gilt für die Ergebnisse aus der Datenerhebung der VSWG. Ein Grund für dieses Ergebnis liegt in der Art, der in diesen Referenzstudien, untersuchten Gebäude. Es wurden jeweils größere Mehrfamilienhäuser erfasst, die häufig bereits höhere Sanierungsquoten (vgl. dazu Angaben zu Sanierungen der VSWG in Abbildung 2-4) und damit tendenziell geringere Endenergieverbräuche aufweisen. Mögliche weitere Ursachen werden in Kapitel 7 diskutiert.

In Abbildung 3-14 bis Abbildung 3-17 wird jeweils der Anteil der einzelnen Endenergieträger am gesamten EEV in den Gemeinden dargestellt.

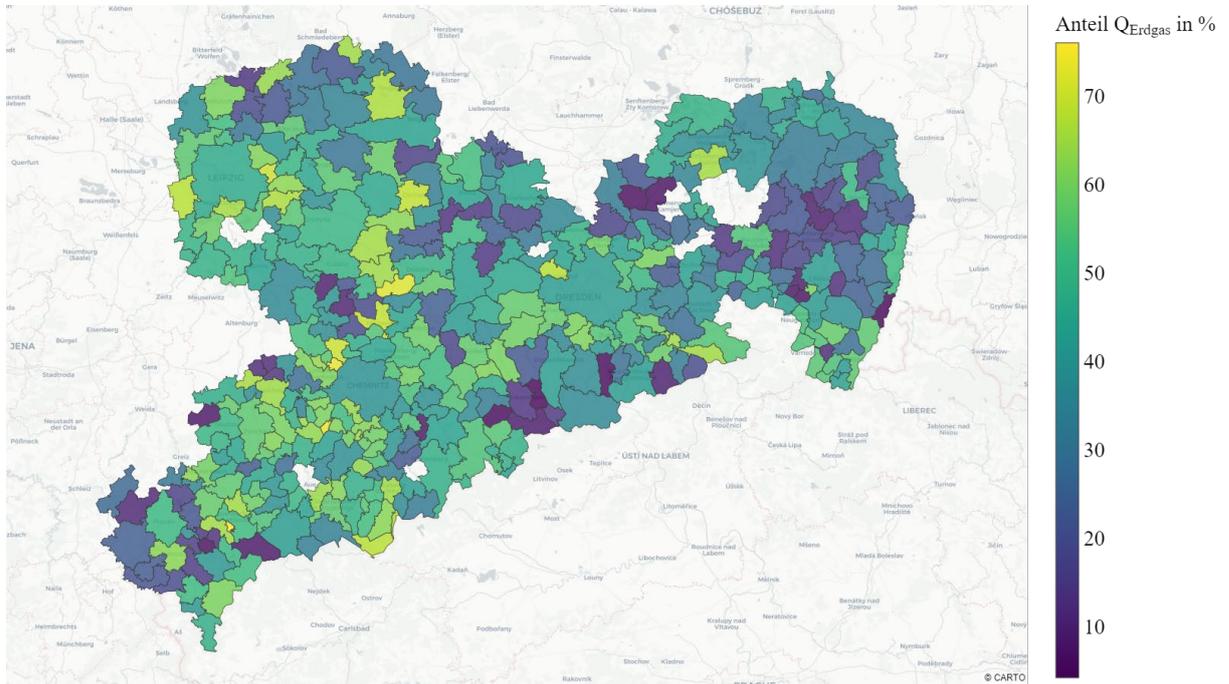


Abbildung 3-14: Anteil des Endenergieträgers Erdgas am EEV je Gemeinde

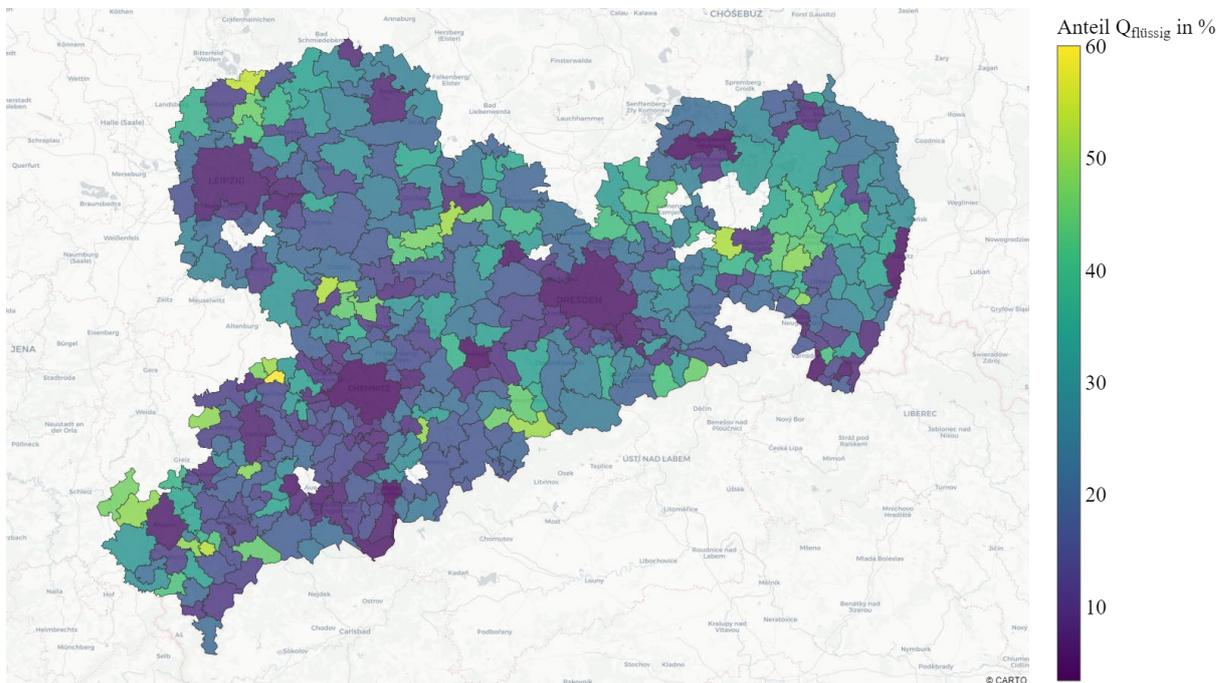


Abbildung 3-15: Anteil flüssiger Brennstoffe am EEV je Gemeinde

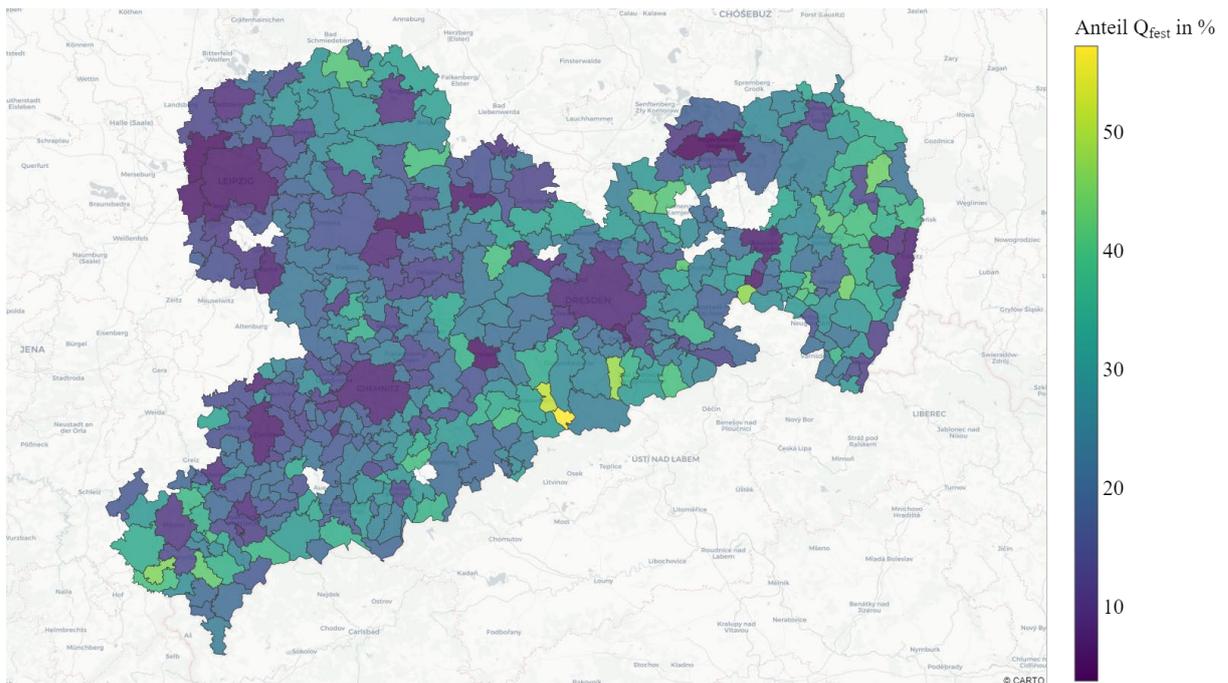


Abbildung 3-16: Anteil der Festbrennstoffe am EEV je Gemeinde

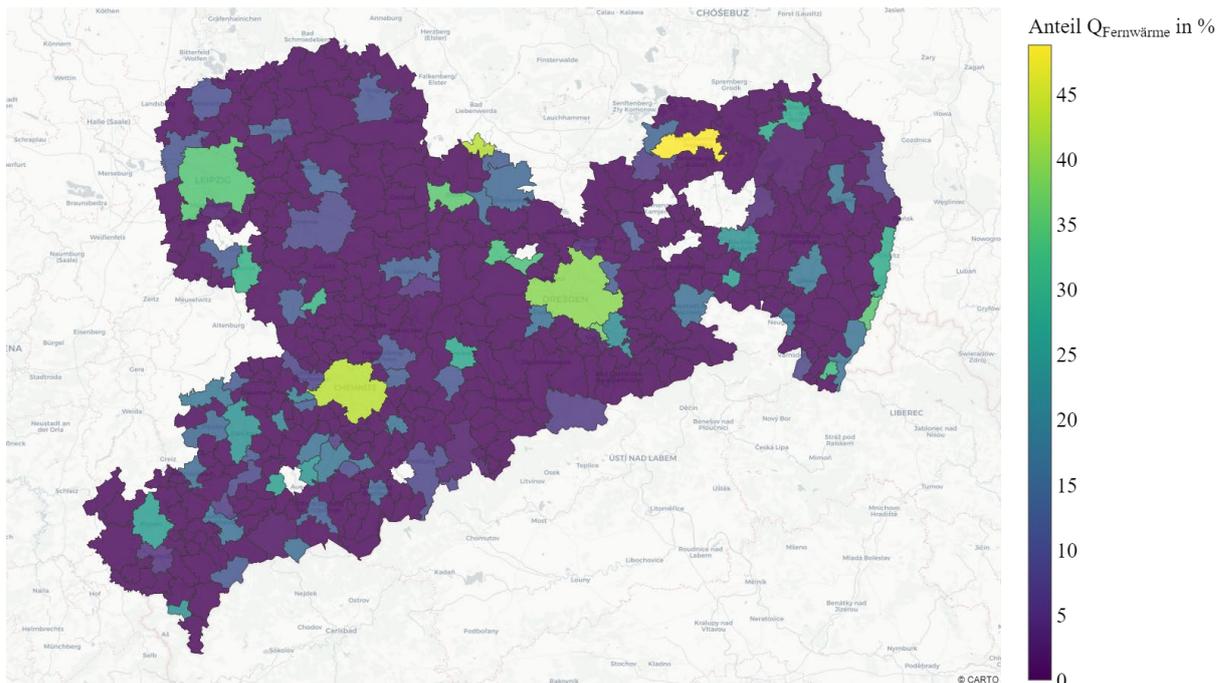


Abbildung 3-17: Anteil des Endenergieträgers Fernwärme am EEV je Gemeinde

In den Abbildungen zeigt sich ein Unterschied zwischen den Gemeinden in Bezug auf die verwendeten Energieträger. Die Nutzung von Festbrennstoffen (Braunkohle, Steinkohle oder Biomasse) oder von Öl überwiegt vor allem in den ländlich geprägten Gemeinden. In den größeren Gemeinden (bspw. Leipzig oder Dresden) dominiert hingegen die leitungsgebundene Versorgung über die Endenergieträger Gas und Fernwärme. Diese Erscheinung ist auf die vorteilhaften Infrastrukturellen Bedingungen und höheren

Wärmeabsatz in den Ballungsgebieten zurückzuführen, die es erlauben, die höheren Aufwendungen zur Installation von Gas- oder Fernwärmenetzen zu kompensieren. Die Anteile für Strom (Wärmepumpen und direktelektrische Systeme) sowie für Solarthermie sind in Sachsen momentan eher gering und daher hier nicht gesondert darstellt.

### 3.10 Treibhausgasemissionen

Neben den wohnflächenbezogenen Endenergieverbräuchen sind die Treibhausgasemissionen durch Raumheizung zu ermitteln. Sie werden im Rahmen dieser Studie in Form von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten nach Gleichung 29 inkl. Vorketten ermittelt.

$$E_{\text{THG}} = \sum_{i,k} Q_{i,k} \cdot e_{\text{THG } k} \quad 30$$

Die Altersstruktur der Anlagen ist bereits in der Berechnung der Endenergieverbräuche über die Nutzungsgrade abgebildet. Des Weiteren wird eine Betrachtung je Energieträger und Gemeinde durchgeführt, wobei die Emissionskoeffizienten  $e_{\text{THG } k}$  aus der aktuellen GEMIS-Datenbank „GEMIS 5.0“ [24] entnommen wurden. Tabelle 3-8 gibt einen Überblick über die verwendeten Emissionskoeffizienten.

Tabelle 3-8: THG-Emissionskoeffizienten nach GEMIS 5.0

Energieträger	CO <sub>2</sub> -Äquivalent in g/kWh
Erdgas	247
Erdöl	373
Braunkohle	585
Steinkohle	623
Holz	25-28
Fernwärme	254
Strom	560
Solarthermie	24

Der durch Elektroenergie („Strom“) gedeckte Wärmeanteil liegt im sächsischen Schnitt bei 7 %, sodass eine alleinige Reduktion des THG-Ausstoßes im Stromsektor mit dem aktuellen Anlagenbestand zur Wärmeerzeugung nur einen geringen Effekt hat.

Es lassen sich mit der Methodik und dem Wissen um den gemeindebezogenen Endenergieverbrauch natürlich auch gemeindebezogene Emissionen ermitteln. In Abbildung 3-18 wird die regionale Verteilung der THG-Emissionen auf Sachsens Gemeinden dargestellt.

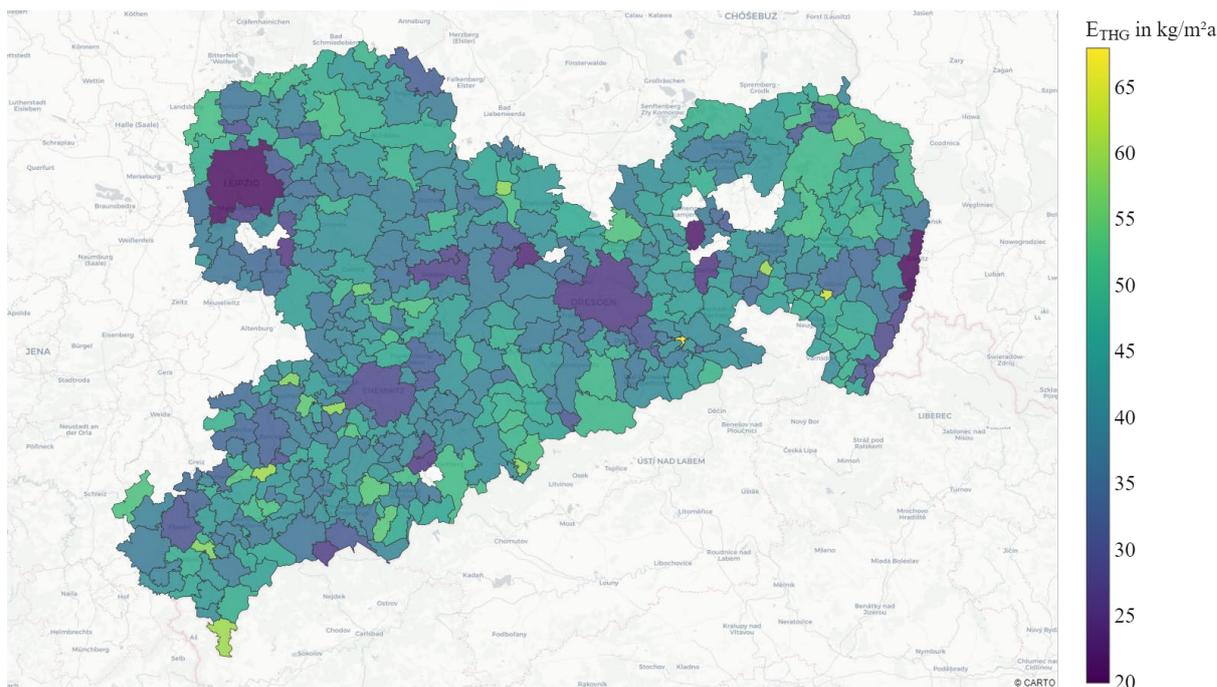


Abbildung 3-18: wohnflächenbezogene THG-Emissionen je Gemeinde

Tabelle 3-9 gibt einen Überblick über die Emissionen nach Berechnung mit Gleichung 30 als Emissionsbilanz Sachsens für die einzelnen Endenergieträger. Die Gesamtbilanz wird hierbei durch die Datenlücken und den Ausschluss einzelner Gemeinden reduziert. Es lässt sich zumindest erkennen, dass Gemeinden mit einem hohen Fernwärmeanteil tendenziell geringere Emissionen aus Raumheizung verursachen.

Tabelle 3-9: Überblick über energieträgerbezogene Treibhausgasemissionen für Raumheizung in Sachsen

Energieträger	CO <sub>2</sub> -Äquivalent in kt/a
Erdgas	2522,1
Erdöl	1143,9
Braunkohle	415,2
Steinkohle	6,9
Holz / Biomasse	65,0
Fernwärme	866,6
Strom	880,0
Solarthermie	1,7
<b>Summe</b>	<b>5901,5</b>

Poppitz et al. [2] ermitteln für alle KFA (inkl. Anlagen in GHD und für Aufgaben neben der Raumheizung) einen Wert von  $m_{\text{THG, Poppitz}} = 7,97 \frac{\text{Mt}}{\text{a}}$ . Daten des SMEKUL zeigen einen

THG-Ausstoß der KFA von  $m_{\text{THG,SMEKUL}} = 6,90 \frac{\text{Mt}}{\text{a}}$  [25]. Der hier ermittelte Wert von  $m_{\text{THG}} = 5,90 \frac{\text{Mt}}{\text{a}}$  wird daher als plausibel angesehen. Mit Bezug auf die gesamte Wohnfläche in Sachsen ergibt sich damit ein mittlerer Emissionswert von etwa  $\bar{m}_{\text{THG,Wfl}} = 33,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{a}}$ .

Kritisch anzumerken ist, dass der reale THG-Ausstoß der Fernwärme in den einzelnen Gemeinden aufgrund von technologischen Unterschieden in der Wärmebereitstellung von dem in Tabelle 3-8 angegebenen Emissionsfaktor abweichen kann. Gleiches gilt für den Strombezug von Wärmepumpen und direkt-elektrischen Systemen.

## 4 Statistische Fallprüfung (Stichprobe)

Zielstellung der statistischen Fallprüfung ist die Erhebung detaillierter Daten von konkreten Gebäuden sowie das Schließen von Plausibilitätslücken

### 4.1 Vorgehensweise

Im Rahmen der Studie wurde in Abstimmung mit der VSWG auf eine Begehung der entsprechenden Gebäude vor Ort verzichtet. Es wurde jedoch ein Fragebogen entwickelt, welcher ausgewählten Wohnungsunternehmen über die VSWG übermittelt wurde (siehe Anhang Tabelle 10-5). Hierbei erfolgt:

- eine gebäudescharfe Erfassung der Wärmeerzeuger (inklusive Erzeugerleistung und Verbrauch unterteilt in Raumheizung und Trinkwassererwärmung);
- Aussagen über das Baualter sowie dem Sanierungsstand, außerdem werden durchgeführte Sanierungen abgefragt;
- des Weiteren erfolgt eine Abfrage der Anzahl der Wohnungen und des eventuell vorhandenen Leerstandes

Insgesamt wurden über die VSWG 16 Wohnungsgenossenschaften angefragt mit der Bitte den erstellten Fragebogen für je 2 bis 5 Wohngebäude auszufüllen. Für die Auswertung der Stichprobe liegen Antworten für 27 Wohngebäude aus 5 Wohnungsgesellschaften vor.

Darüber hinaus wurde im Zusammenhang mit der Fehleranalyse (siehe Kapitel 7.2) die Gemeinde Rathen für eine Detailanalyse ausgewählt. Die Detailanalyse umfasste auch die Vor-Ort-Begehung und Bestandserfassung bzw. den Abgleich mit den bekannten Datenquellen in Hinblick auf Gebäudeart, Gebäudenutzung und Einsatz von Energieträgern. Durch die Vor-Ort-Begehung konnten unplausible Ergebnisse der Berechnungen zumindest für diese eine Gemeinde korrigiert werden. Weiterführende ausführliche Darstellungen hierzu finden sich in [26] oder als Hinweise in Kurzform in Kapitel 7.2. Die folgende Darstellung der Ergebnisse und Auswertungen beschränkt sich allein auf die Datenquellen der VSWG.

### 4.2 Ergebnisse und Auswertung

Die Auswertung der Stichprobe erfolgt ausschließlich für Mehrfamilienhäuser. Die Anzahl der Wohneinheiten liegt zwischen 6 und 80. Gebaut wurden die Häuser zwischen 1958 und 2020. Mit Ausnahme des Neubaus aus dem Jahr 2020 wurden alle Gebäude saniert, zum Teil erfolgte bereits eine 2. Sanierung. Die Modernisierungen wurden zwischen 1992 und 2016 realisiert. Die verbauten Dämmstärken der Außenfassaden wurden mit  $\delta = 6 - 12$  mm angegeben, des Weiteren sind zweifachverglaste Fensterflächen verbaut, mit

Ausnahme des erst 2020 errichteten Mehrfamilienhauses<sup>14</sup>. Als Energieträger wird in 16 der 27 Gebäude Fernwärme genutzt. In acht Mehrfamilienhäusern erfolgt die Trinkwassererwärmung und Raumheizung mit einem Erdgas-Kessel und in einem Fall kommt ein Öl-Kessel zum Einsatz. Alle Anlagen werden mit einem kombinierten Betrieb von Raumheizung und Trinkwassererwärmung betrieben. Zusätzliche Anlagentechnik (z.B. Solarthermie, PV, Kamine, etc.) wurde nicht angezeigt. Die Abbildung 4-1 dokumentiert den Endenergieverbrauch der konkreten Liegenschaften im Vergleich zu dem berechneten durchschnittlichen Endenergieverbrauch der entsprechenden Gemeinde. Die einzelnen Gemeinde wurden dabei anonymisiert mit A bis E bezeichnet, die entsprechenden Liegenschaften nummeriert. Mit Ausnahme der Gemeinde D liegen die konkreten Werte der Liegenschaften der VSWG immer deutlich unterhalb der berechneten Werte der Gemeinde. Die Stichprobe bestätigt folglich die Ergebnisse des Kapitels 2.4.1, dass die Energiekennwerte der Mehrfamilienhäuser der sächsischen Wohnungsgenossenschaften niedrigere ausfallen als der Durchschnittswert der entsprechenden Gemeinde. Dies ist in erster Linie mit dem hohen Sanierungsstand der Liegenschaften und dem günstigeren Hüllflächen / Grundflächen Verhältnis von Mehrfamilienhäusern zu begründen. Wie bereits oben beschrieben wurden alle Liegenschaften der Stichprobe bereits mindestens einmal saniert und verfügen über eine Außendämmung. Der Endenergieverbrauch des Balkens C1 fällt mit dem deutlich geringsten Endenergieverbrauch innerhalb der Grafik auf, hier ist darauf hinzuweisen, dass es sich um einen Neubau aus dem Jahr 2020 handelt<sup>15</sup>. Abbildung 4-2 zeigt analog zu den Ergebnissen des EEV für Raumheizung die Werte der Stichprobe der 27 Liegenschaften für die Trinkwassererwärmung. Wie bereits beschrieben erfolgt in allen Objekten eine kombinierte Betriebsweise. Die Werte schwanken zwischen  $Q_{EEV,TWE,min} = 14,09$  kWh und  $Q_{EEV,TWE,max} = 39,31$  kWh und weisen damit eine hohe Schwankungsbreite auf. Der Mittelwert über alle Liegenschaften beträgt  $\bar{Q}_{EEV,TWE} = 25,94$  kWh und folglich ein wenig geringer als unser angenommener Pauschalwert von  $Q_{EEV,TWE} = 30$  kWh über alle Liegenschaften innerhalb der Gemeinden.

---

<sup>14</sup> Für das neugebaute Mehrfamilienhaus (Baujahr 2020) wurde eine Dämmstärke von 18 mm angegeben, außerdem sind dreifachverglaste Fensterflächen vorhanden.

<sup>15</sup> Außerdem liegen die Verbrauchsdaten der Liegenschaft C1 nur für den Zeitraum: 1.04. – 31.12.2021 vor. Die Daten können folglich nur eingeschränkt für einen energetischen Vergleich herangezogen werden.

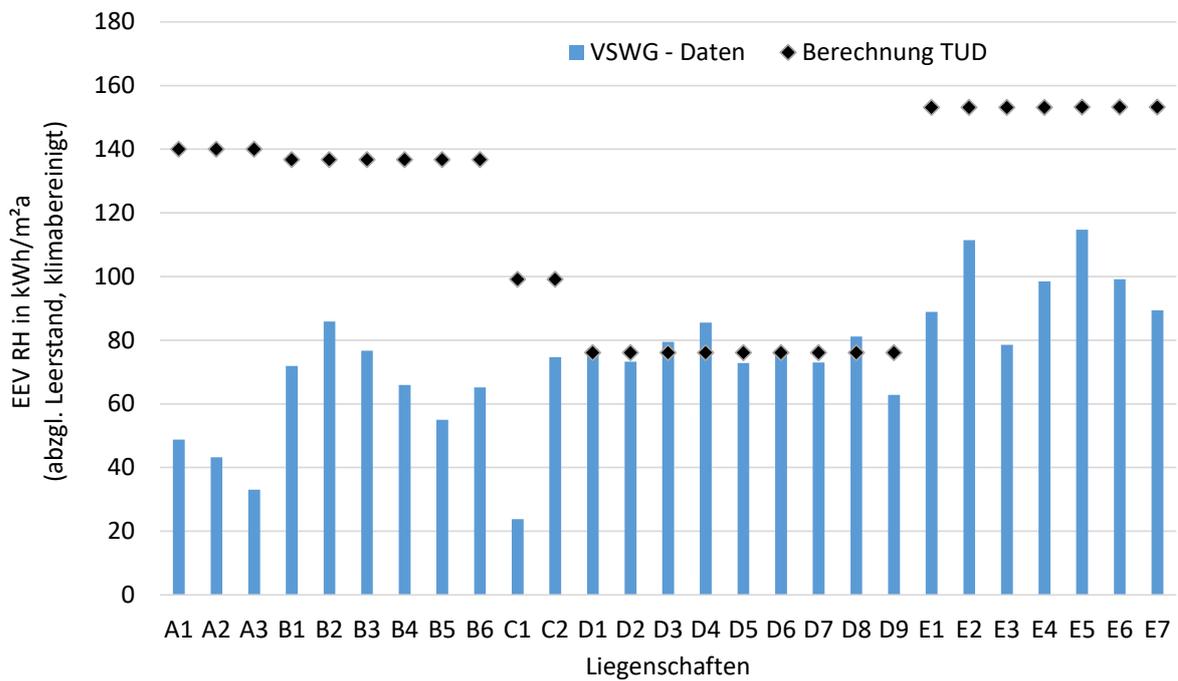


Abbildung 4-1: Endenergieverbrauch für Raumheizung, Vergleich der Ergebnisse der Stichprobe (Gemeinde A - E) mit den berechneten, gemeindespezifischen EEV

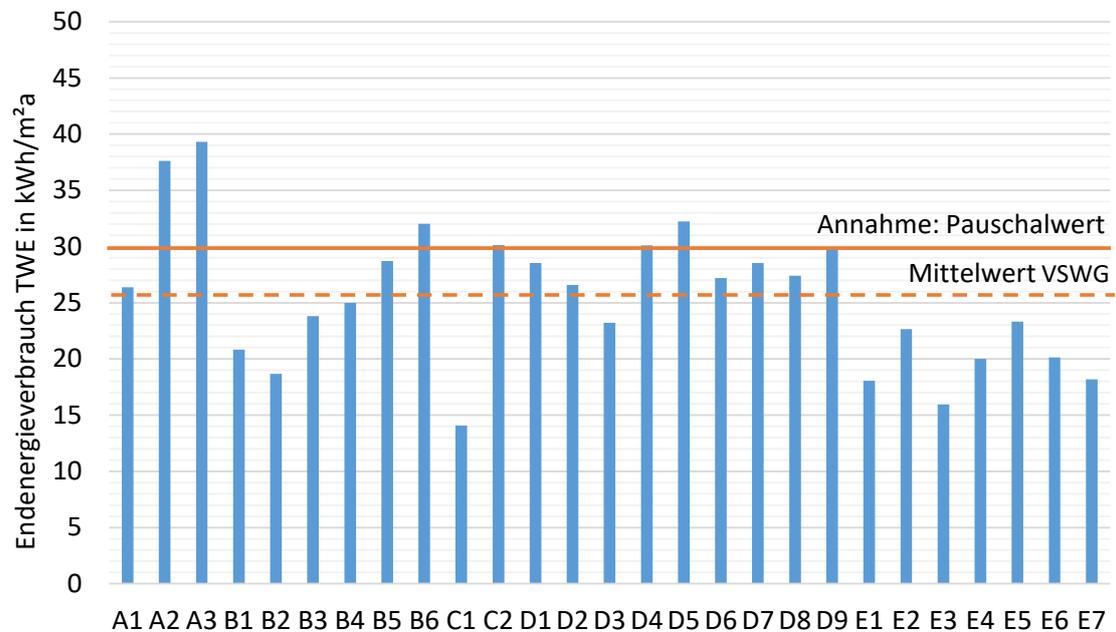


Abbildung 4-2: EEV für Trinkwassererwärmung, Ergebnisse der Stichprobe (Gemeinde A bis E)

## 5 Baualtersklassen und Sanierungsstand

### 5.1 Zielstellung

Übergeordnetes Ziel dieses Kapitels ist die gemeindescharfe Einordnung der Wohngebäude in Baualters- und Energieeffizienzklassen inklusive der Angaben der flächenspezifischen Endenergieverbräuche wobei der aktuell erreichte Sanierungsstand der Gebäude zu berücksichtigen ist.

Die Studie „Wärmeversorgung für Sachsen“ [27] aus dem Jahr 2014 wird als Orientierung für die methodische Vorgehensweise herangezogen. Hier wurden die Wohnflächenverteilung in Sachsen für das Jahr 2011 sowie verschiedene Zukunftsszenarien für das Jahr 2050 untersucht. Ein Ergebnis dokumentiert Abbildung 5-1. Das Zukunftsszenario 2050 berücksichtigt die Wohnflächenentwicklung (Rückgang auf 96%) sowie definierte Sanierungsquoten. Es zeigt sich, dass aufgrund der durchgeführten Sanierungen sowie der Ersatz- bzw. Neubautätigkeiten eine Verschiebung zu geringeren Energieverbräuchen eintritt. Die niedrigsten Energieverbräuche werden jedoch nur durch Neubauten erzielt, wohingegen sanierte Gebäude unter den definierten Randbedingungen und Annahmen in der Regel die Verbrauchsklasse  $q = 50 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  nicht unterschreiten.

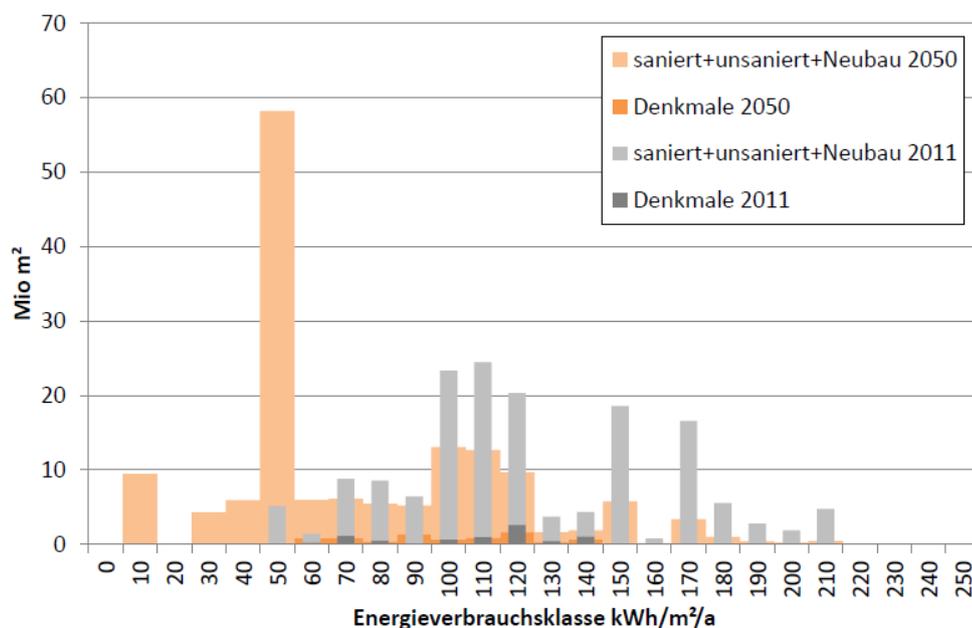


Abbildung 5-1: TREND Wohnflächenverteilung 2011 und 2050 in Sachsen auf Endenergieverbrauchsklassen (Grafik aus [27])

## 5.2 Vorgehen

Auf den Sanierungsstand der Wohngebäude in Sachsen lässt sich schließen, indem ein fiktiver Energieverbrauchswert  $q_{BA}$ , der ausschließlich anhand der für das Baujahr typischen bauphysikalischen Eigenschaften des Gebäudes unter Vernachlässigung jeglicher Sanierungen ermittelt wird, mit den zuvor berechneten und anhand der Energiestatistik Sachsen validierten realitätsnahen Endenergieverbrauchswerten  $q$  verglichen wird. Die Ermittlung der Endenergieverbräuche nach Baualtersklassen erfolgt nun entsprechend dem Schema in Abbildung 5-2. Es ist zu erwarten, dass der fiktive Energieverbrauchskennwert größer ist als der aktuelle Energieverbrauch, da zwischenzeitlich gebäude- und anlagenseitige Sanierungen erfolgt sind. Der Endenergieverbrauchskennwert erlaubt auch die Einordnung in die vorgegebenen Energieeffizienzklassen.

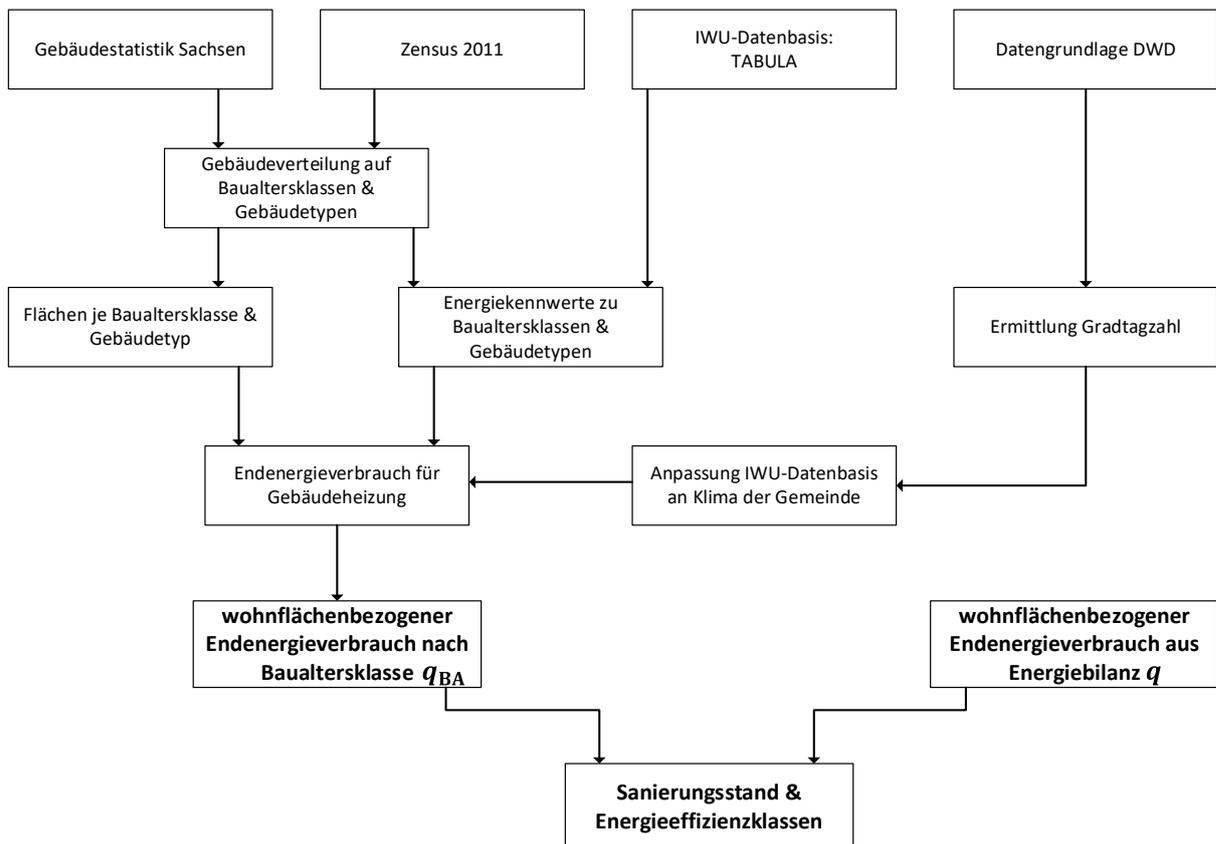


Abbildung 5-2: Ablauf zur Ermittlung der Energiekennwerte und des Sanierungsstandes je Gemeinde basierend auf den Baualtersklassen

Auf Basis der Gebäudestatistik sowie des Zensus erfolgte die Gebäudeverteilung auf Baualtersklassen (siehe Anhang mit Tabelle 10-6) und Gebäudetypen. Aufgrund nicht vorhandener detaillierter Informationen bezüglich der Aufteilung der einzelnen Gebäudetypen zu den Baualtersklassen wurde die Annahme getroffen, dass von einer

Gleichverteilung der Gebäudetypen in den einzelnen Baualtersklassen ausgegangen wird. Die Gebäudetypen sind der IWU-Datenbank TABULA [28] entnommen und es wird unterschieden in:

- EFH: Einfamilienhaus
- RH: Reihenhaus
- kMFH: kleines Mehrfamilienhaus (3 – 6 Wohnungen)
- MFH: Mehrfamilienhaus (7 – 12 Wohnungen)
- gMFH: großes Mehrfamilienhaus (mehr als 12 Wohnungen)

Innerhalb der verwendeten Gebäudetypen weist die IWU-Datenbank für einzelne Baualtersklassen Mehrfamilienhäuser mit dem regionalen Bezug der Neuen Bundesländer aus. Diese wurden entsprechend verwendet.

Abbildung 5-3 gibt einen Überblick über die regionale Verteilung des mittleren Baujahrs. Das mittlere Baujahr entspricht dem Mittelwert der Baujahre aller Wohngebäude innerhalb der jeweiligen Gemeinde. Es zeigt sich ein regionales Nord-Süd-Gefälle des Baualters.

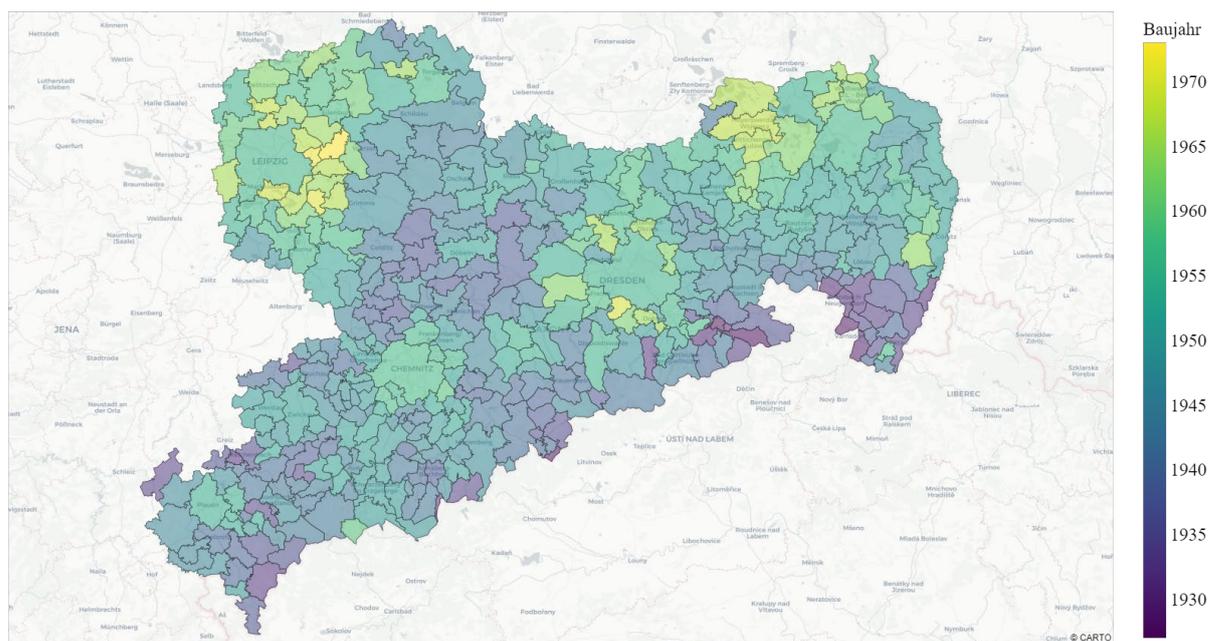


Abbildung 5-3: Mittleres Baujahr der Wohngebäude je Gemeinde

### 5.3 Endenergieverbrauch nach Baualtersklassen ohne Sanierung

Die fiktiven Endenergieverbräuche  $q_{BA}$  für die Gebäudebeheizung wurden anhand der in TABULA enthaltenen Gebäudetypen für die jeweiligen Baualtersklassen ausgehend von den Kennwerten nach TABULA und den vorhandenen Gebäudedaten übernommen und gewichtet. Die verwendeten Endenergieverbräuche je Baualter und Gebäudetyp sind in

Tabelle 10-8 dokumentiert. Als Anlagentechnik wird basierend auf den IWU-Daten von Gas-Zentralheizungen ausgegangen. Hierbei steigt die Effizienz in Abhängigkeit der Baualtersklasse, d.h. je jünger Gebäude und Anlage, desto höher ist die Effizienz der Anlagentechnik. Da es sich bei den IWU-Daten um mittlere Werte für ganz Deutschland handelt, erfolgte mit Hilfe der Klimafaktoren des Deutschen Wetterdienstes für Sachsen zusätzlich eine Anpassung der energetischen Kennwerte an die klimatischen Bedingungen in Sachsen. Die Ermittlung des gemeindespezifischen, wohnflächenbezogenen und klimabereinigten Endenergieverbrauches  $q_{BA\ i}$  nach Baualtersklassen zeigt Gleichung 30 :

$$q_{BA\ i} = q_{TABULA} \cdot \frac{GTZ_i}{GTZ_{Ref}} \quad 31$$

Verwendete Größen:

- $q_{TABULA}$ : flächenbezogener, baualterstypischer EEV nach TABULA
- $GTZ_i$ : Gradtagzahl der Gemeinde nach DWD (Jahr: 2019)
- $GTZ_{Ref}$ : Gradtagzahl der Gemeinde Würzburg  $GTZ_{Ref} = 3883$  [29]

Die gemeindebezogenen Gradtagzahlen dokumentiert Abbildung 5-4.

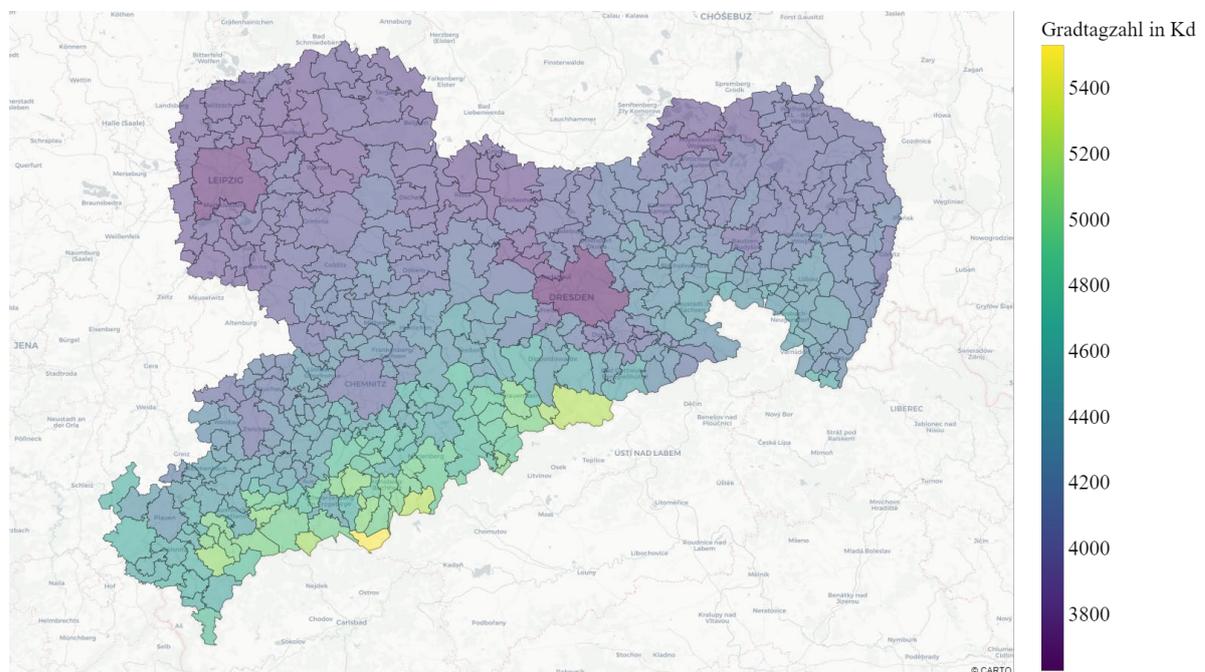


Abbildung 5-4: Gradtagzahl je Gemeinde in Kd

Abbildung 5-5 dokumentiert die gemeindespezifische Auflösung der fiktiven wohnflächenbezogene Energiekennwerte  $q_{BA,i}$  ohne jegliche Sanierung. Es zeigt sich, dass innerhalb der Städte eher geringere Werte ermittelt werden, während im Erzgebirge teilweise Werte um  $q_{BA,i} = 280 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  berechnet werden. Höhere Energieverbräuche korrelieren dabei sowohl mit dem Baualter der Gebäude (Abbildung 5-3) als auch mit klimatischen Einflüssen (Abbildung 5-4).

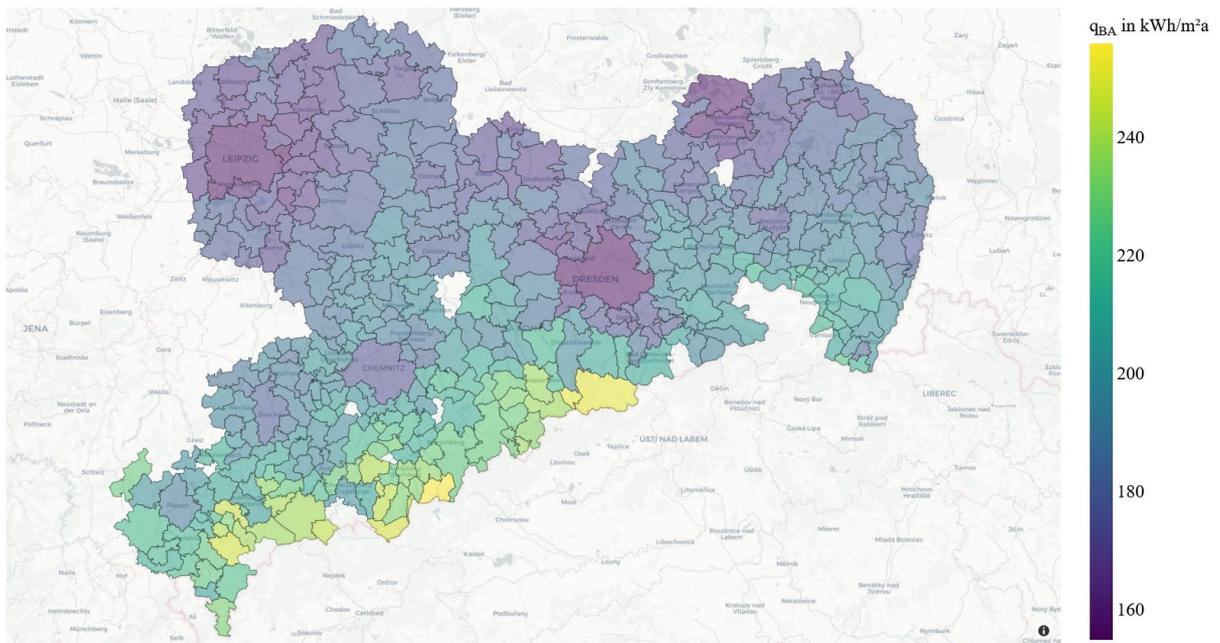


Abbildung 5-5: (fiktive) wohnflächenbezogene Energiekennwerte  $q_{BA,i}$  je Gemeinde nach Baualtersklasse (unsaniert)

Der für Sachsen gemittelte fiktive Endenergieverbrauch beträgt  $q_{BA} = 177 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Die Aufteilung der Gebäude für ganz Sachsen nach Endenergieeffizienzklassen zeigt Abbildung 5-6. Auch hierbei handelt es sich um die wohnflächenbezogenen fiktiven EEV nach Baualtersklassen, also ohne Berücksichtigung der Sanierung. Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass je älter die Gebäude desto höher sind die Endenergieverbräuche. Allerdings finden sich in vielen Effizienzklassen auch mehrere Baualtersklassen, was auf die unterschiedlichen Gebäudetypologien und die variierenden klimatischen Bedingungen innerhalb Sachsens zurückzuführen ist.

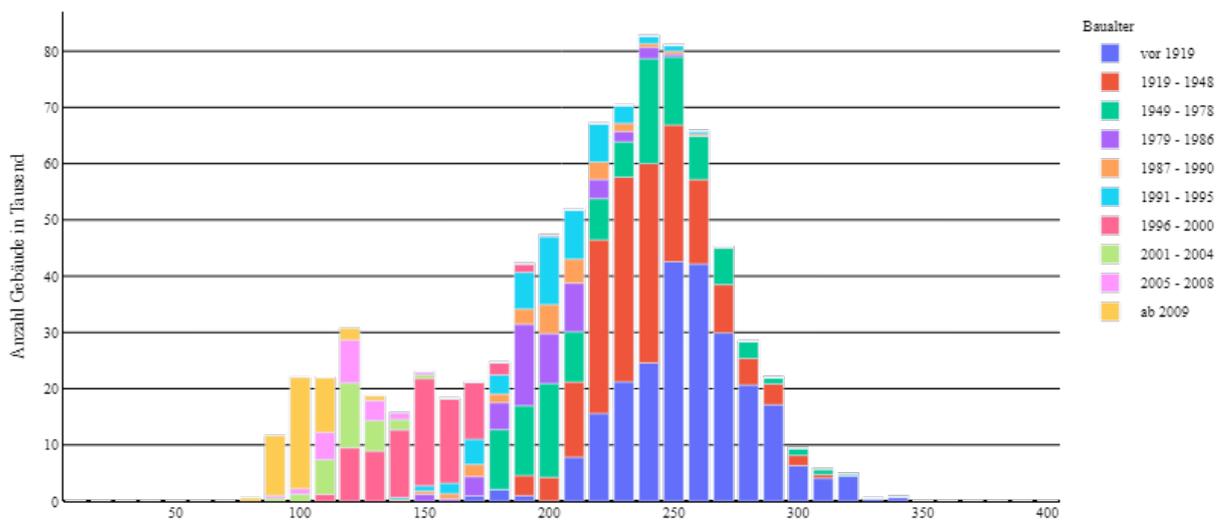


Abbildung 5-6: Anzahl Gebäude je Endenergieeffizienzklasse ohne Sanierung nach Baualter

## 5.4 Abschätzung zum Sanierungsstand

Die im vorhergehenden Abschnitt ermittelten Kennwerte werden nun den wohnflächenbezogenen Endenergieverbräuchen (siehe Kapitel 3.9) gegenübergestellt, womit der aktuelle Sanierungsstand der Wohngebäude für jede einzelne sächsische Gemeinde abgeschätzt werden kann.

### 5.4.1 Abgleich

Aus dem in den Kapiteln 3.9 und 5.3 beschriebenen Ansätzen ergeben sich für Sachsen die in Tabelle 5-1 festgehaltenen Werte. Es zeigt sich, dass die in Sachsen erfolgten energetischen Sanierungen der Wohngebäude bislang eine jährliche Verbrauchsminderung von aktuell 54 kWh/m<sup>2</sup> ( $\Delta q_{\text{Sachsen}} = 43,9\%$ ) bewirkt haben.

Tabelle 5-1: wohnflächenbezogener EEV ohne Sanierung und nach eigenen auf Energiebilanz basierenden Berechnungen

ohne Sanierung /gemäß Baualter (Ansatz aufbauend auf IWU [23]) $q_{\text{BA}}$	aktueller Sanierungsstand (Eigene Berechnung aufbauend auf Energiebilanz Sachsen) $q$
177 kWh/m <sup>2</sup> a	123 kWh/m <sup>2</sup>

Die ermittelte jährliche Verbrauchsminderung verteilt sich auf die sächsischen Gemeinden regional sehr unterschiedlich. Abbildung 5-7 zeigt die Abweichungen

zwischen dem nach Baualter und nach der Energiebilanz Sachsen berechneten Endenergieverbräuchen nach Gleichung 31 in verschiedenen Größenordnungen.

$$\Delta q = \frac{q_{BA} - q}{q} \quad 32$$

Es fällt auf, dass in den drei großen Städten Sachsens hohe Sanierungseffekte quantifiziert werden und der aktuelle EEV für die Beheizung der Wohngebäude deutlich niedriger ist als die nach den Baualtersklassen ermittelten Werte. Aber auch in einigen Gemeinden vor allem im Norden und Osten Sachsens sind die nach der aktuellen sächsischen Energiebilanz und den darauf aufbauenden Berechnungen aus Kapitel 3 ermittelten EEV größer als nach Baualter ( $q > q_{BA}$ ), womit die Abweichung negativ wird.

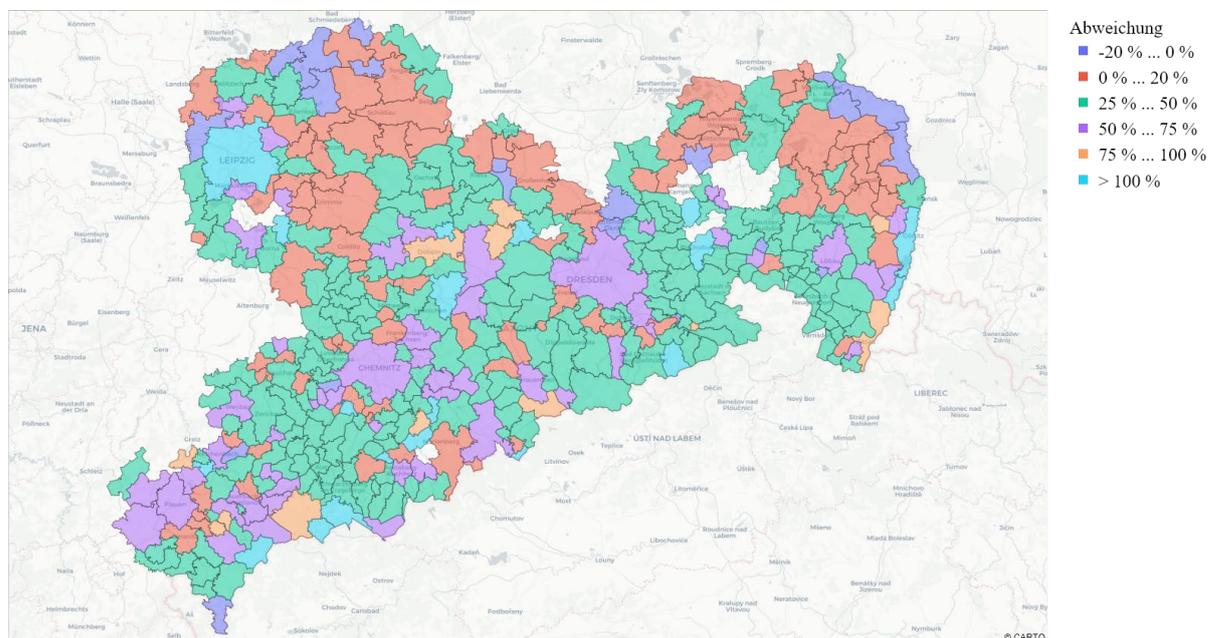


Abbildung 5-7: Relative Abweichungen im EEV nach Baualter und eigenen Berechnungen nach der Energiebilanz Sachsens

### 5.4.2 Plausibilitätsprüfung

Die verwendeten Ansätze sind mit einer Vielzahl von Annahmen und Unsicherheiten behaftet, wie in Kapitel 7 zusammengefasst. Die Unsicherheiten führen in 5,2 % der Gemeinden zu unplausiblen Ergebnissen. Der Abgleich der Energieverbrauchskennwerte und der ermittelte Sanierungsstand sind dann als unplausibel eingestuft, wenn der auf Baualtersklassen basierende Ansatz für unsanierte Gebäude zu einem geringeren Endenergieverbrauch führt als der auf den Wärmeerzeugern und der aktuellen Energiebilanz Sachsens basierenden Ansatz (vgl. Abbildung 5-7). Dies würde bedeuten, dass seit Errichtung der Gebäude keine Sanierung in den betreffenden Gemeinden

stattgefunden hätte, sondern vielmehr eine Verbrauchsteigerung eingetreten wäre. Auch dass der Endenergieverbrauch nach einer energetischen Sanierung steigt ist eindeutig als unplausibel einzuordnen, da Reboundeffekte im Nutzerverhalten in den verwendeten Ansätzen nicht abgebildet werden. Die beobachteten Effekte der Verbrauchserhöhung werden als sehr unwahrscheinlich eingestuft.. Die räumliche Verteilung der Gemeinden mit unplausiblen Ergebnissen ist in Abbildung 5-8 dargestellt, wobei die ausgeschlossenen Gemeinden (grün) aufgrund der zuvor in Kapitel 3.8 beschriebenen Plausibilitätsanalyse nicht untersucht werden.

Die Unplausibilität ist insbesondere auf die Unsicherheiten bei der regionalen Zuordnung sowie auf regionale Sondereffekte zurückzuführen. Diese Unsicherheiten resultieren aus Unschärfen bei der Entwicklung der gemeindeschaffen Endenergiebilanz in Kapitel 3.1 sowie der Ermittlung des Endenergieverbrauchs nach Baualterklassen in Kapitel 5.2.

Unschärfen hinsichtlich der Zuordnung von Endenergieverbräuchen auf die Gemeinde resultieren vor allem aus Problemen bei der Zuordnung von Wärmeerzeugern in die Sektoren Haushalte sowie GHD und die Klassifikation von doppelten Erzeugern als Backup oder Spitzenlastgeräten.

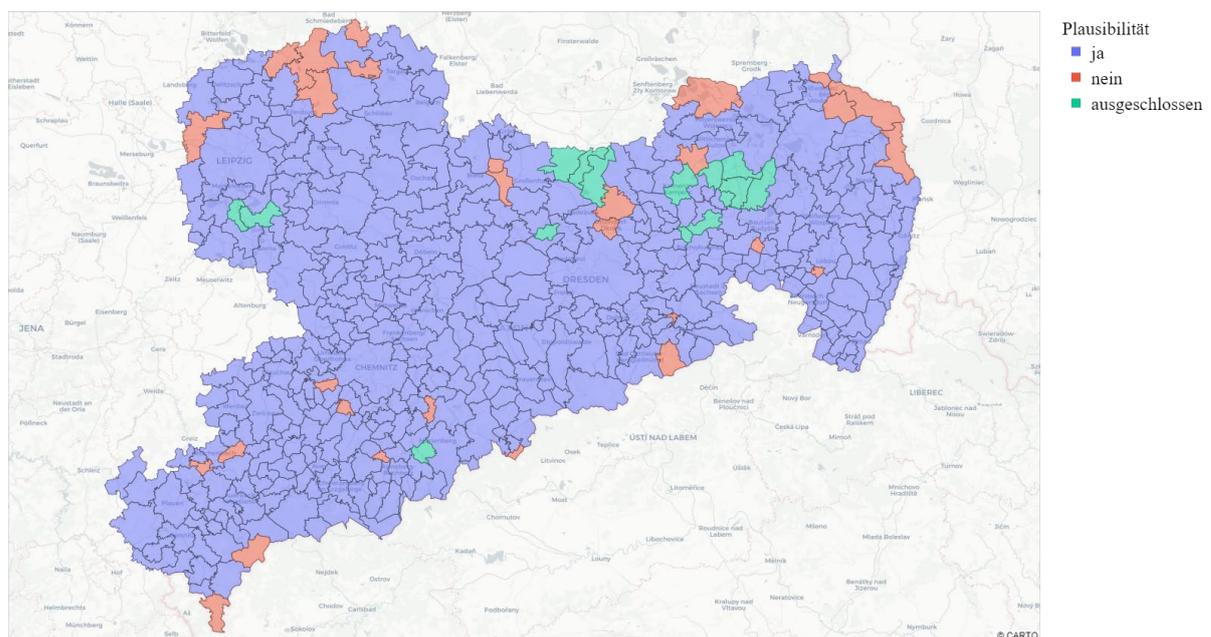


Abbildung 5-8: Plausibilität im Vergleich zu den ermittelten Endenergieverbräuchen

Unsicherheiten bei der Berechnung des EEV nach Baualter resultieren aus der Annahme der Baualterverteilung je Gebäudekategorie sowie aus der Nutzung der Datenbasis des IWU [28]. Die hier entwickelten Gebäude stellen Beispielgebäude für Deutschland dar und müssen daher nicht den Gegebenheiten in den sächsischen Gemeinden entsprechen. Besonders zeigt sich dies an der Nutzung eines Anpassungsfaktors zur Korrelation von

theoretischem Endenergiebedarf und Verbrauch durch das IWU. Es werden Mittelwerte für Deutschland genutzt, sodass Abweichungen in einzelnen Gemeinden aufgrund der lokalen Besonderheiten bspw. im Nutzerverhalten als wahrscheinlich erscheinen.

Diese Unplausibilitäten sind für einzelne Gemeinden mit den verfügbaren Daten nicht aufzulösen, sodass die Ergebnisse hier akzeptiert werden müssen. Damit ist in diesen Gemeinden im Rahmen der Studie von einer Sanierungsquote von 0 % auszugehen, was aufgrund von unkorrekt verteilten EEVs auf die Gemeinden zu einer Überschätzung der Sanierungsquote in anderen Gemeinden führen kann. Eine ausführliche Datenaufnahme in den unplausiblen Gemeinde kann die Datenqualität verbessern, was die Arbeit von Tadic [26] zeigt, sodass hier in zukünftigen Untersuchungen angesetzt werden kann.

Die Problematik der Plausibilität und entstehenden Fehler wird in Kapitel 7 nochmals zusammenfassend aufgegriffen und quantifiziert.

#### **5.4.3 Abschätzung Sanierungsstand: Anlagentechnik**

Durch die Daten aus den Kehrbezirken sind aktuelle Daten über das Alter der Anlagentechnik vorhanden. Anhand des Baujahres lässt sich über die Absatzzahlen wie in Kapitel 3.2.4 betrachtet, der Nutzungsgrad und die Bauart der Anlagen abschätzen. Somit können die energetische Qualität bzw. der aktuelle Sanierungsstand des Anlagenbestandes abgeschätzt werden. In

Abbildung 5-9 ist die Baualtersstruktur der Kleinfeuerungsanlagen dargestellt. Es wird im Folgenden angenommen, dass vor 1987 ausschließlich Niedertemperatur-Kessel zum Einsatz kamen. Wird angenommen, dass die meisten Kessel aufgrund von Alterserscheinungen und Schäden ausgetauscht werden, ergibt sich ein sächsischer Anlagenbestand in Tabelle 5-2. Durch erfolgte Anreizprogramme, bei denen der Austausch eines Kessels durch ein effizienteres Gerät gefördert wurde, ist davon auszugehen, dass es real noch mehr Brennwertkessel und weniger Niedertemperaturkessel gibt. Für Festbrennstoffe wird an dieser Stelle aufgrund der geringfügigen Verbesserungen in der Effizienz der Geräte, keine Sanierung betrachtet.

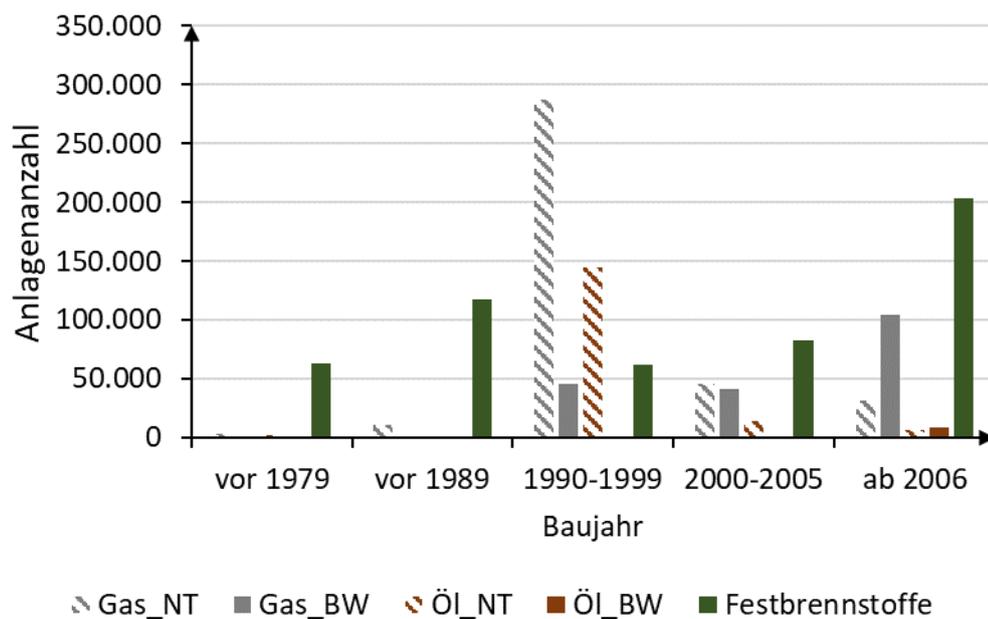


Abbildung 5-9: Altersstruktur (Baujahr) der Kleinfeuerungsanlagen [2] in Sachsen unterteilt nach Energieträger und über Absatzzahlen geschätzten Kesseltyp

Tabelle 5-2: geschätzter Anlagenbestand 2019 von Kleinfeuerungsanlagen in Sachsen (Schätzung basierend auf Absatzzahlen)

Kesseltyp	Anzahl
Festbrennstoffkessel	~ 550.000
Niedertemperatur Kessel Gas	~ 330.000
Niedertemperaturkessel Öl	~ 160.000
Brennwertkessel Gas	~ 240.000
Brennwertkessel Öl	~ 15.000

Anhand des Anlagenbestandes kann zum einen abgeschätzt werden, bei wie vielen Anlagen beim Ersetzen noch mit signifikanten Effizienzsteigerungen zu rechnen ist. Laut Tabelle 5-2 sind nach ca. 50 % der Gaskessel und bis zu 90 % der Öl-Kessel Niedertemperaturkessel mit Effizienzsteigerungspotential, wobei Ölkessel laut GEG nur in Ausnahmefällen durch einen Ölkessel ersetzt werden können. Zum anderen lassen sich auch die bereits erfolgten Einsparungen gegenüber dem unsanierten Referenzfall nach [28] ermitteln. Von einer ausführlichen Betrachtung wird aber in dieser Studie abgesehen und die Anlagensanierung als eine Teilsanierungsmaßnahme in Szenario 2 betrachtet, wie in Kapitel 5.4.4 ausgeführt.

#### 5.4.4 Abschätzung Sanierungsstand Gebäudehülle

Da für Sachsen keine konkreten Sanierungsquoten vorliegen und auch die deutschlandweiten Zahlen mit Unsicherheit behaftet sind, ist die genaue Zuordnung, wie viele Gebäude in welcher Gemeinde wie stark saniert wurden nicht eindeutig ableitbar. Im Folgenden werden daher zwei Szenarien zur Quantifikation der Sanierungen beschrieben, um die bauliche Realität in den verschiedenen Gemeinden abschätzen zu können. Zunächst trifft Szenario 1 die Annahme, dass die Gebäude nur vollständig und konventionell saniert (entsprechend des Anforderungsniveau EnEV 2009)<sup>16</sup> wurden. Ziel ist es abzuschätzen, wie hoch in etwa der Anteil noch unsanierter Gebäude ist und damit einen Vergleich auf sächsischer Ebene zu liefern. Darauf aufbauend wird in Szenario 2 zusätzliche die Möglichkeit von Teilsanierungen betrachtet, sodass eine realistische Verteilung auf die Energieverbrauchsklassen abgeschätzt werden kann.

##### **Szenario 1: Nur konventionelle vollständige Sanierung von Gebäuden**

Die konventionelle vollständige Sanierung orientiert sich an den bislang üblichen Standards und entspricht etwa den Vorgaben zur energetischen Qualität der Gebäudehülle der EnEV 2009 (auch in den ab 2014 und 2016 geltenden Fassungen unverändert). Im Zuge von Modernisierungen eines Dachgeschosses wird ein U-Wert zwischen 0,18 und 0,24 z.B. durch eine vollständige Dämmung Sparrenzwischenraums erreicht. Die Außenwände werden i. d. R. mit einem 12 cm starken Wärmedämmverbundsystem gedämmt. Die Wärmeleitfähigkeit des Dämmmaterials ist dabei jeweils  $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ . Die alten Fenster werden gegen neue mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung im Holzrahmen ausgetauscht dies entspricht i. d. R. einem U-Wert von  $U = 1,3 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ . Unter der Kellerdecke werden Dämmplatten mit 6 bis 8 cm Stärke verlegt. Nach einer vollständigen Sanierung werden die Endenergieverbräuche im Folgenden nach [28] angenommen (siehe Tabelle 10-9).

Die Werte sind für das Referenzklima National 2009 (Würzburg) gewählt. Für die Übertragbarkeit auf eine konkrete Gemeinde werden diese Werte demnach nach Gleichung 31 angepasst.

Das Bestimmen der konkreten Quote an Vollsanierungs-Äquivalenten innerhalb des Szenarios ergibt sich im nächsten Schritt iterativ. Der Startwert wieviel Gebäude bereits saniert wurden, wird entsprechend Abbildung 5-10 gewählt. Sanierungen von Gebäuden mit einem Baujahr ab 2000 wurden wie in der Abbildung zu erkennen ausgeschlossen.

---

<sup>16</sup> Eine Stichprobe bei der VSWG hat gezeigt, dass die realisierten Maßnahmen der energetischen Sanierungen nicht über dem EnEV 2009 Standard liegen.

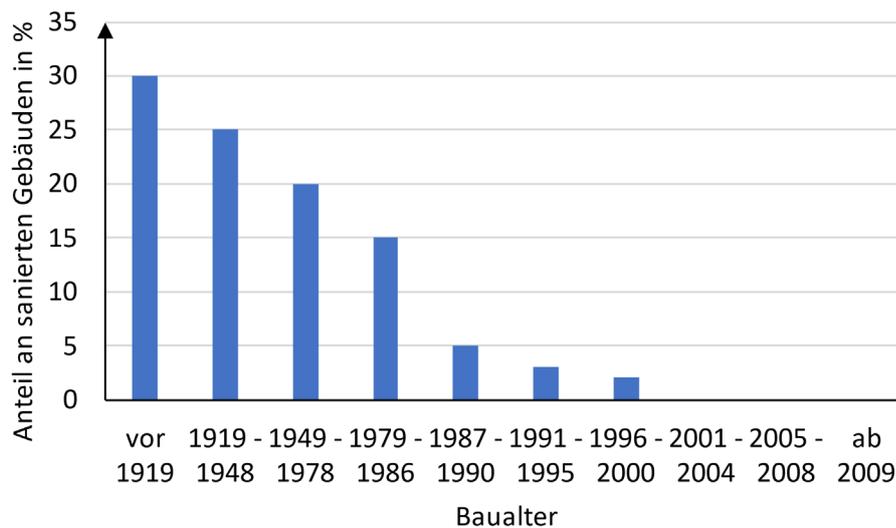


Abbildung 5-10: Beispielverteilung Anteil sanierter Gebäude je Baualtersklasse

Der Anteil sanierter Gebäude wird dann so skaliert, dass der berechnete Endenergieverbrauch der Gemeinde getroffen wird. Die Skalierung erfolgt so, dass die in Abbildung 5-10 aufgeführten Raten für alle Baualter in gleichem Maße verändert, also gestreckt oder gestaucht werden. Abbildung 5-11 gibt einen Überblick über den Berechnungsablauf. Es ist zu erkennen, dass einige Annahmen getroffen werden, die Einfluss auf das Ergebnis haben. Dazu zählen:

- die Verteilung der Sanierungen auf die Baualtersklassen,
- die Verteilung der Sanierungen auf die Gebäudetypen und
- die hier bereits beschriebene Annahme der Vollsanierungen.

Aufgrund dieser Annahmen bilden die ermittelnden Quoten nur eine Abschätzung der realen Sanierungszustände in den Gemeinden ab und können mit Fehlern behaftet sein.

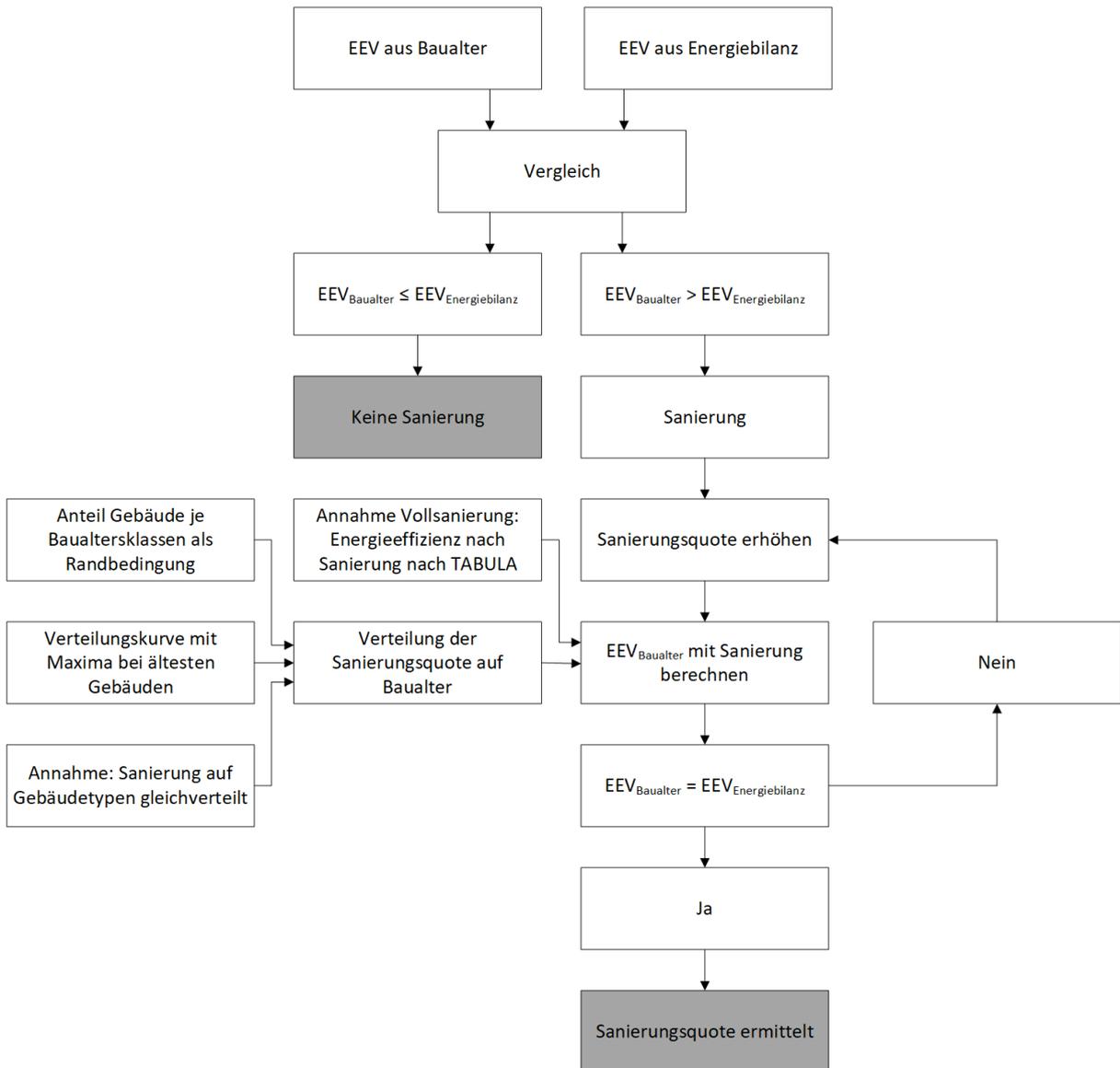


Abbildung 5-11: Berechnungsanlauf Sanierungsquote nach Szenario 1

## Szenario 2: Abschätzung reale/r Sanierungsstand/-tiefe

Es ist davon auszugehen, dass der reale Anteil sanierter Gebäude in den Gemeinden sich zwischen Szenario 1 und alle Gebäude sind teilsaniert liegt. Es gibt i. d. R. eine Mischung aus unsanierten, teil- und vollsanierten Gebäuden. Eine mögliche Ausnahme bilden Gebäude, die eine Vollsanierung erfahren haben, die einem höheren energetischen Standard als EnEV 2009 entsprechen, der für die konventionelle Vollsanierung im Rahmen dieser Studie angesetzt ist. Ausgehend von den Daten des VSWG wird angenommen, dass im Bestand nicht von der konventionellen Sanierung abgewichen wurde.

Somit ist die entscheidende Fragestellung, welches Gebäude wie stark energetisch saniert wurde. Dabei wird bei Teilsanierungen zwischen Sanierung der Gebäudehülle und der

Anlagentechnik unterschieden. Für Sanierung der Anlagentechnik wird nach Kapitel 5.4.3 angenommen, das in ca. 50 % der Gebäude vor 2000 bereits der zentrale Wärmeerzeuger und die Heizungsanlage erneuert wurden und dabei im Schnitt der Endenergieverbrauch um ca. 20 % reduziert werden konnten [30].

Einen Anhaltspunkt für die Sanierung der Gebäudehülle bieten dabei die Sanierungsquoten der einzelnen Bauteile in Abbildung 5-12.

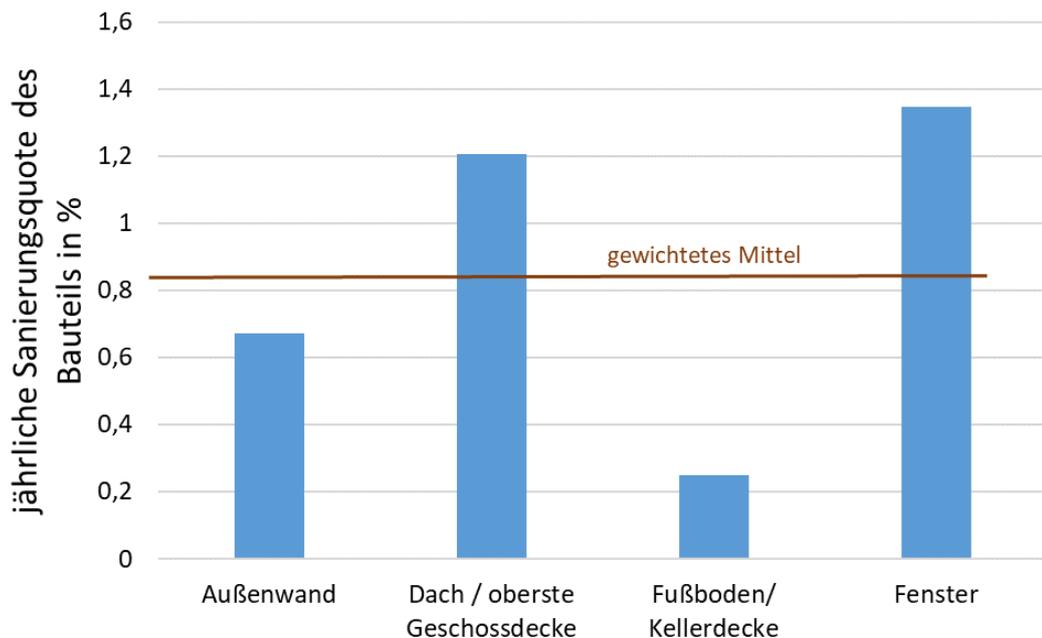


Abbildung 5-12: Sanierungsquoten für verschiedene Bauteile zwischen 2005 und 2008; Daten aus [27]

Zieht man den Zeitraum von 2005 bis 2008 heran, zeigt sich das die Sanierungsquote der einzelnen Bauteile erheblich schwankt. In diesem Zeitraum kann die Vollsanierungsquote dabei nicht den Wert der Fußboden-/Kellersanierung überstiegen haben, da eine Fußboden-/Kellersanierung Bestandteil einer Vollsanierung ist. Die meisten Maßnahmen sind demnach Teilsanierungen und im Zeitraum 2005 – 2008 sind nur max. 20 % der in diesem Zeitraum sanierten Gebäude vollsaniert worden. Da Gebäude regelmäßig saniert werden, ist bei vielen Altbauten davon auszugehen, dass bereits mindestens zwei Sanierungszyklen durchgeführt wurden. Somit ist zu erwarten, dass der Anteil an Vollsanierungen höher liegt als es nach einer Sanierungswelle zu erwarten wäre. Gleichzeitig ist zu beachten, dass die Wirksamkeit einer vollständigen Sanierung mit geringerem energetischem Standard als EnEV 2009 für die weiteren Betrachtungen einer Teilmodernisierung entspricht. Zusätzlich wurde berücksichtigt, das im Rahmen der Neurungen der EnEV 2014 Besitzer von Mehrfamilienhäusern dazu verpflichtet sind, die oberste Geschossdecke oder das Dach zu dämmen. Daher wird davon ausgegangen, dass bei Mehrfamilienhäusern i. d. R. mindestens das Dach gedämmt ist und dies mit

Einsparungen von ca. 20 % im Vergleich zu einer vollständigen Sanierung nach EnEV 2009 (bzw. 2014) einhergeht<sup>17</sup>. Für Ein- und Zweifamilienhäuser gilt diese Pflicht nicht, wenn der Besitzer am 1. Februar 2002 selbst in (einer) der Wohnung/en gewohnt hat.

Ausgehend von Abbildung 5-12, den festgehaltenen Annahmen sowie der in Szenario 1 ermittelten Quote von Vollsanierungs-Äquivalenten für Sachsen von 50,5 % wurde die eine Verteilung der Wirksamkeit realisierter Modernisierungsmaßnahmen im Vergleich zu einer vollständigen Sanierung nach EnEV 2009 entsprechend Tabelle 5-3 und Tabelle 5-4 angenommen. Bei der Annahme zur Verteilung der Sanierungsmaßnahmen bei MFH wird aufgrund der Regelung zur Dachrenovierung von einem höheren Anteil mit minimaler Teilsanierung ausgegangen. Es kann jedoch nicht mit absoluter Sicherheit angenommen werden, dass alle Gebäude mindestens eine Teilsanierung erhalten haben. Bei EFH wird hingegen dieser Aspekt nicht betrachtet, sodass sich der Anteil an unsanierten EFH und ZFH analog zu Szenario 1 ergibt.

Tabelle 5-3: angenommene Häufigkeit der Wirksamkeit der realisierten Sanierungsmaßnahmen im Vergleich zu einer vollständigen Sanierung nach EnEV 2009 für MFH

Wirksamkeit der Sanierungsmaßnahme gegenüber EnEV 2009	Häufigkeit der Sanierungsmaßnahme
100 %	35 %
80 %	35 %
60 %	5 %
40 %	5 %
20 %	20 %

---

<sup>17</sup> Eine tatsächliche flächendeckende Durchsetzung, wurde nicht geprüft.

Tabelle 5-4: angenommene Häufigkeit der Wirksamkeit der realisierten Sanierungsmaßnahmen im Vergleich zu einer vollständigen Sanierung nach EnEV 2009 für EFH

Wirksamkeit der Sanierungsmaßnahme gegenüber EnEV 2009	Häufigkeit der Sanierungsmaßnahme
100 %	35 %
80 %	40 %
60 %	15 %
40 %	5 %
20 %	5 %

Beide Tabellen zeigen dabei eine mögliche Verteilung mit dem Ziel der Abschätzung der Sanierungsaktivitäten in den einzelnen sächsischen Gemeinden. Eine Aussage über die exakten Sanierungsanteile ist ohne weitergehende Datenerhebung nicht möglich und nicht Anspruch dieser Untersuchung.

Für Mehrfamilienhäuser stellen sich die mittleren erzielten Einsparungen in Abhängigkeit des EEV im unsanierten Zustand für die 2 Szenarien demnach wie in Abbildung 5-13 dar. Die meisten realisierten Maßnahmen sollten sich im gelbmarkierten Bereich befinden. Ausnahmen können einzelne Gebäude bilden, die bereits in Richtung Zukunftsweisend saniert wurden oder bei denen trotz gesetzlicher Verpflichtung das Dach/ die oberste Geschossdecke (OGD) noch nicht gedämmt wurde. Die gelbe Kurve gibt die mittlere Einsparung pro Maßnahme an. Eine spezielle Berücksichtigung von Denkmälern erfolgt an dieser Stelle nicht, da die Realisierung einer Einzelmaßnahme wie Dachdämmung oder Austausch der Fenster i. d. R. auch in denkmalgeschützten Gebäuden möglich ist. Ebenso wird nicht von energetischen Sanierungen von Gebäuden ab dem Baujahr 2000 ausgegangen. Eine Sanierungsquote von 100 % zeigt daher, dass alle Gebäude bis zu diesem Baujahr zumindest teilweise saniert worden sind.

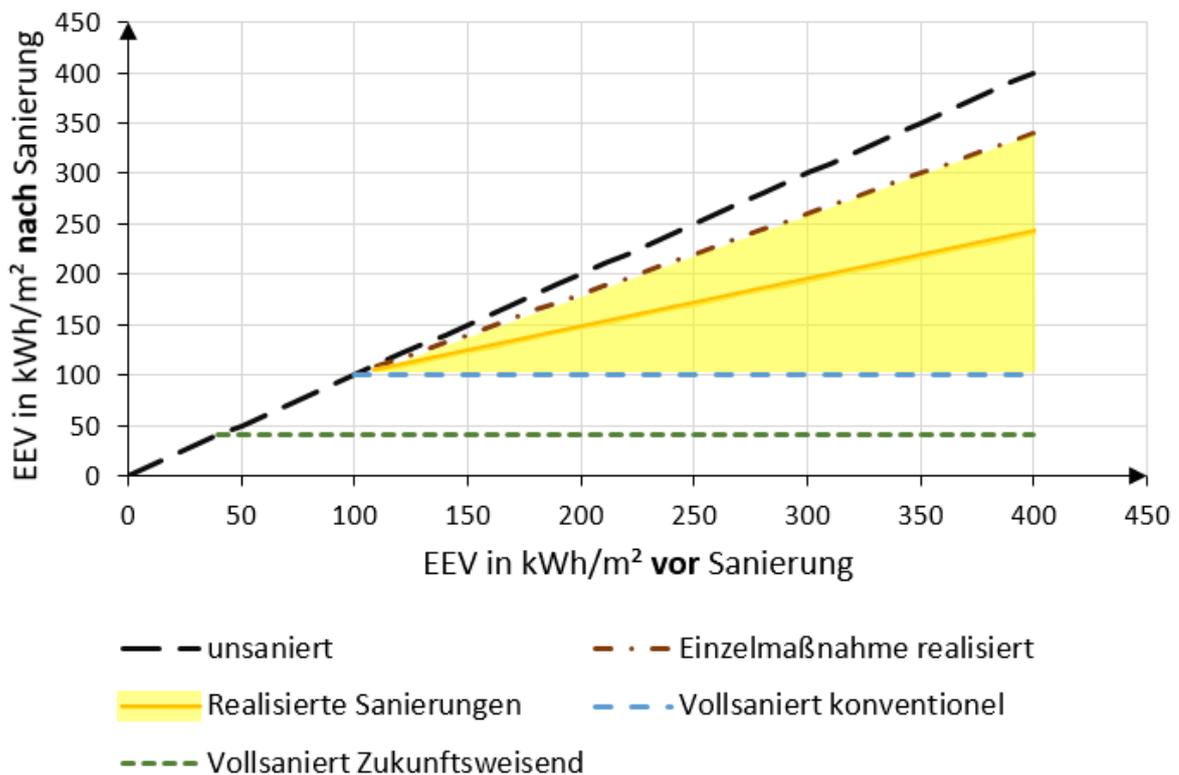


Abbildung 5-13: Verringerung des EEV für die erfolgten Sanierungen im Rahmen der 2 Szenarien sowie die möglichen Einsparungen bei einer zukunftsweisenden Sanierung (für MFH 1949-1957)

## 5.5 Energieeffizienzklassen sächsischer Wohngebäude

Im Rahmen der Studie wurden die zuvor aufgeführten Szenarien zur Sanierung in einer Simulation umgesetzt. Nachfolgend werden die Ergebnisse anhand der Sanierungsquote und der Einordnung der Wohngebäude in Energieeffizienzklassen dargestellt.

### 5.5.1 Sanierung nach Szenario 1 (Vollsanierungsäquivalente)

In Szenario 1 erfolgt entweder eine vollständige energetische Sanierung nach EnEV 2009 oder keine Sanierung. Die dabei ermittelte Sanierungsquote ist demnach eine Quote der Vollsanierungsäquivalente (VSÄ). Abbildung 5-14 zeigt die regionale Verteilung der Quote. Es zeigt sich, dass die hier ermittelten Vollsanierungsäquivalente zum einen von Unschärfen in den zugrundeliegenden Berechnungen des EEV nach Energiebilanz als auch nach Baualtersklassen abhängig ist und zum anderen die Vollsanierungsäquivalente der einzelnen Gemeinden sehr heterogen ist.

Gemeinden im Norden Sachsen weisen die niedrigsten Vollsanierungsäquivalente auf, was teilweise über die jüngeren Baualter und die damit einhergehende geringeren Sanierungstätigkeiten der Gebäude (vgl. Abbildung 5-3) zu erklären ist.

Ebenfalls auffällig sind die höheren Sanierungsraten der drei größten Städte wobei die Sanierungsquote von bspw. Leipzig kritisch zu betrachten ist, da diese deutlich über zu erwartenden Werten liegt und für Leipzig zuvor geringere Endenergieverbräuche als in anderen Gemeinden ermittelt wurden.

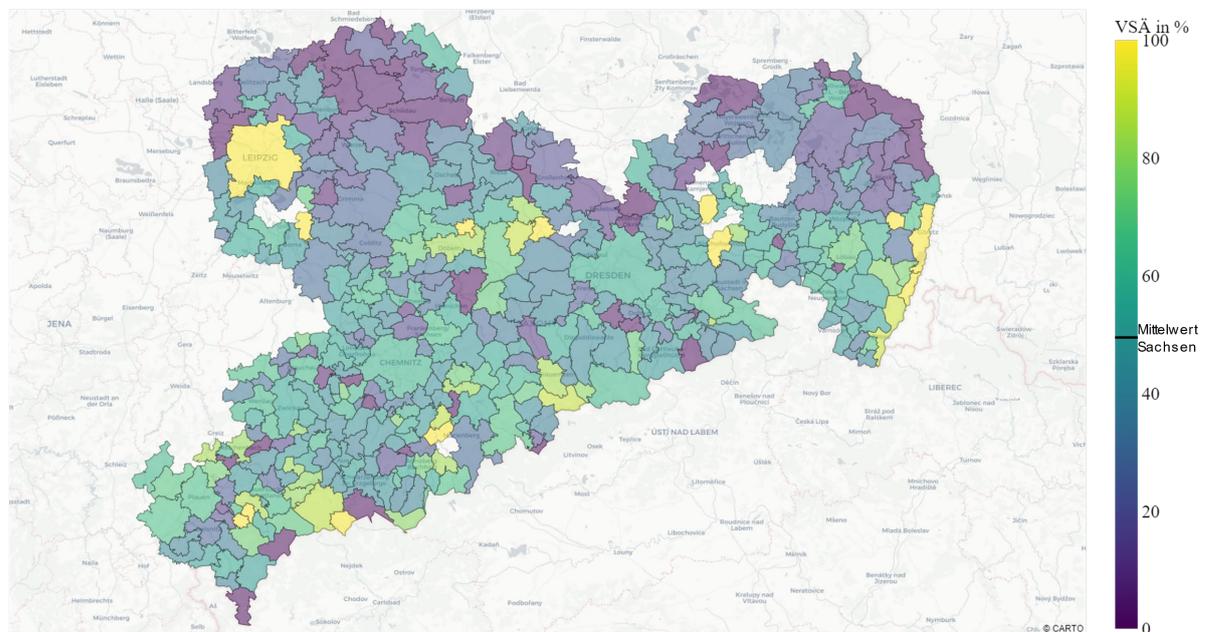


Abbildung 5-14: Quote der Vollsanierungsäquivalente je Gemeinde nach Szenario 1

Die folgende Abbildung 5-15 stellt die Anzahl der Gebäude in den verschiedenen Energieeffizienzklassen für den Endenergieverbrauch für die Heizung dar.

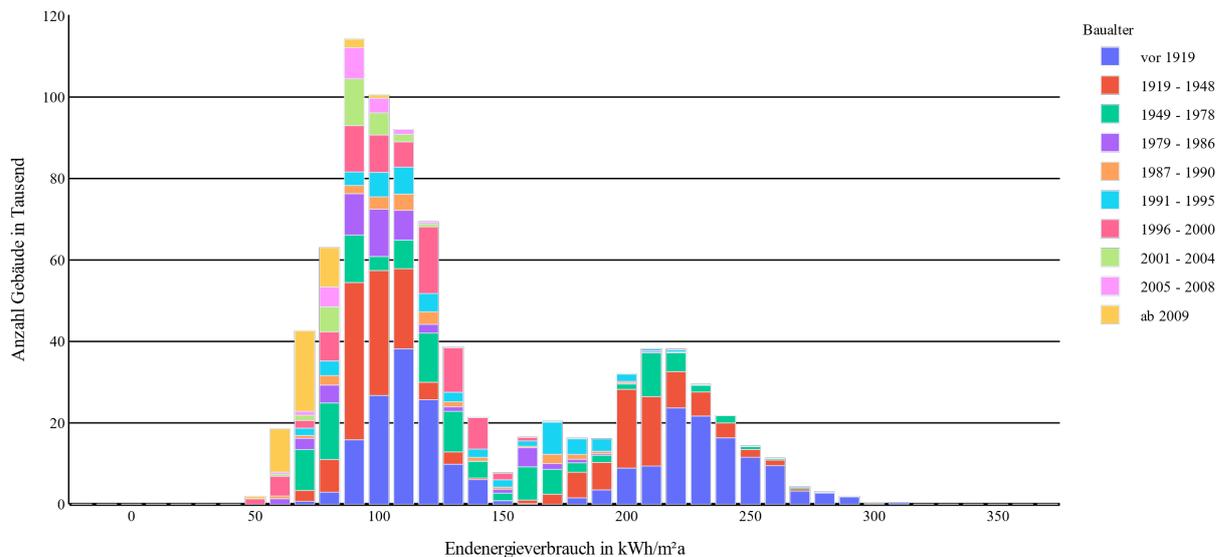


Abbildung 5-15: Einteilung der Gebäude in Energieeffizienzklassen nach Szenario 1

Es zeigt sich, wie zu erwarten war, dass eine Konzentration um die Energieeffizienzklassen mit  $q = 70 \dots 130 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}}$  und eine weitere bei  $q = 200 \dots 250 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}}$  existiert. Dies resultiert aus der Annahme der Sanierung nur auf Basis von Vollsanierungen, sodass im Bereich höherer Endenergieverbräuche nur noch unsanierte ältere Gebäude anzutreffen sind<sup>18</sup>. Ebenfalls zeigt sich die deutliche Verschiebung von Bestandsgebäuden in niedrigere Energieeffizienzklassen. Sanierungen und Neubauten mit höherem baulichem Standard als EnEV 2009, sind im aktuellen Stand der Arbeit vernachlässigt. Insgesamt sind in Sachsen nach diesem Szenario ca. 50,5 % aller Gebäude saniert worden, womit sich für Szenario 1 ein mittlerer flächenspezifischer EEV für Sachsen von  $q_{\text{Szenario1}} = 122 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}}$ <sup>19</sup> ergibt.

### 5.5.2 Sanierung nach Szenario 2 (Abschätzung der Sanierungstiefe)

Im Gegensatz zu Szenario 1 sind Sanierungen nach Szenario 2 nur zum Teil als Vollsanierungen zu bewerten und verlaufen im Großteil als Teilsanierungen. Daher ist die Definition der Sanierungsquote über die Anzahl der sanierten Gebäude nicht alleinig aussagekräftig für ein evtl. weiteres Sanierungspotenzial.

<sup>18</sup> Baudenkmäler wurden an dieser Stelle nicht gesondert betrachtet, sondern den unsanierten Gebäuden zugerechnet.

<sup>19</sup> Minimale Abweichung von Tabelle 5-1 durch Vorgehen bei der Zuordnung nicht vermeidbar

Abbildung 5-16 stellt die Sanierungsquote für die sächsischen Gemeinden dar. Es wird deutlich, dass in Folge der geringeren Sanierungstiefe eine deutlich höhere Anzahl an Gemeinden eine Sanierungsquote von 100 % erreicht. Kritisch zu betrachten ist dabei, dass der Abgleich der Endenergieverbräuche nach Baualter und Sanierung mit denen aus Kapitel 3 in einigen Gemeinden mit der gewählten Verteilung der Sanierungseffektivität nicht exakt erreicht werden konnte, da bereits jedes Gebäude eine (Teil-)Sanierung erhalten hat. Da der Fokus auf einem Abbild der realen Verteilung der Sanierungsaktivitäten lag und in weiteren Schritten zusätzliches hohes Fehlerpotential besteht wurde von einer weiteren Anpassung abgesehen. Der mittlere flächenspezifische Endenergieverbrauch Sachsens wird in diesem Szenario daher mit  $q_{\text{Szenario2}} = 126 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}}$  ermittelt, wobei im Schnitt 63 % aller Gebäude saniert, worden sind. Eine Sanierung von Gebäuden mit Baujahr ab 2000 wurde dabei ausgeschlossen. Der Fehler ist mit  $\Delta q = 3 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}}$  aber vertretbar und verschiebt nicht die grundsätzliche Verteilung.

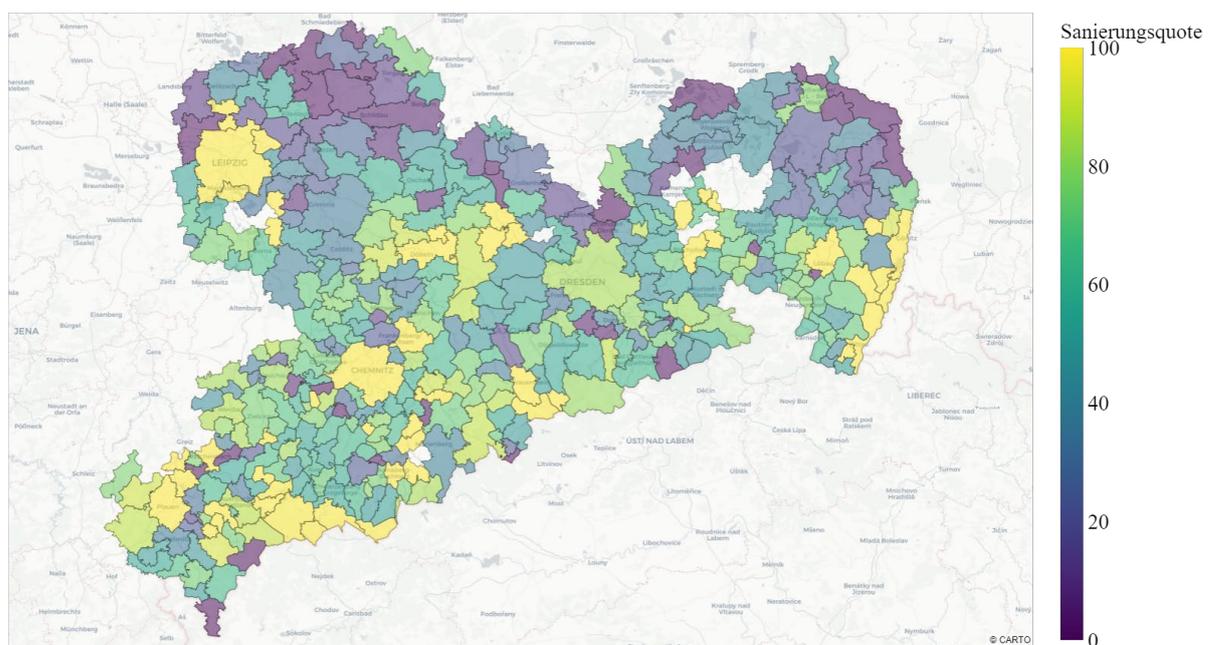


Abbildung 5-16: Sanierungsquote (Anteil mind. Teilsanierter Gebäude) je Gemeinde nach Szenario 2

Neben der Sanierungsquote ist die Verteilung der Gebäude auf die Energieeffizienzklassen von hohem Interesse denn hier zeigt sich ein weiteres Sanierungspotenzial vieler Gebäude die einen Endenergieverbrauch für Heizung größer  $q = 200 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}}$  aufweisen. Aus Abbildung 5-17 ist zu erkennen, dass dies vor allem auf ältere Gebäude zutreffend ist, die anhand der Anzahl der Gebäude knapp die Hälfte des Wohnungsbestandes ausmachen.

Kritisch zu bewerten ist dabei, dass in der Implementierung von Szenario 2 die regionalen Besonderheiten im Sanierungsgeschehen nur begrenzt abgebildet werden, da das Verhältnis der einzelnen Maßnahmen in allen Gemeinden gleich gewählt wurde. Ebenso ist die ermittelte und in Abbildung 5-17 dargestellte Einteilung in die Energieeffizienzklassen direkt von der Wahl der Sanierungsverteilung abhängig und zeigt damit nur einen plausiblen Ansatz. Die reale Situation kann davon abweichen.

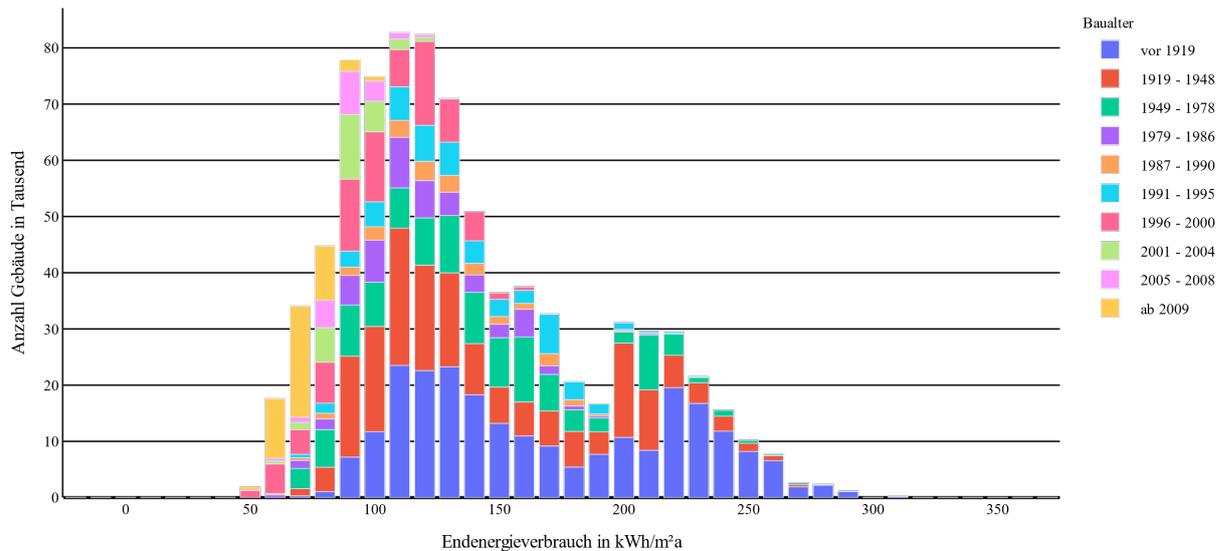


Abbildung 5-17: Einteilung in Energieeffizienzklassen nach Szenario 2

## 5.6 Ergebnis der Abschätzung des Sanierungsstandes

Die zuvor beschriebenen Szenarien zeigen, dass hinsichtlich der Ermittlung von Sanierungsständen wenig konkrete Daten vorhanden sind und daher zur Ermittlung der umgesetzten Sanierungen viele Annahmen getroffen wurden, welche sich vom Nutzerverhalten in Bezug auf den Heizeinsatz bis zur Verteilung der Sanierung und deren Effektivität erstrecken. Dieser Zusammenhang zeigt, dass die ermittelten Ergebnisse hinsichtlich der Sanierungsquoten nur ein Indiz für die Verteilung der Sanierungstätigkeit sind, sodass deutlich wird, in welchen Regionen Sachsen die bisherigen Aktivitäten zur Reduktion des EEV höher als in anderen waren. Umgekehrt kann daher abgeleitet werden, dass in Regionen im Norden Sachsens noch höhere Aktivitäten zur energetischen Sanierung getroffen werden müssen, womit aber gleichzeitig auch Chancen zu einer hochwertigeren Sanierung bestehen. Generell stimmen die Ergebnisse mit Erkenntnissen des Umweltbundesamtes beim Anteil unsanierter Gebäude von ca. 25,1 % überein [30], da hier auch Neubauten zu den sanierten Objekten gezählt wurden.

## 6 Bezahlbarkeit von Wohnraum

Wie die Ergebnisse des vorherigen Kapitels zeigen, gibt es in Sachsen eine Vielzahl von Gebäuden des historischen Gebäudebestandes, die noch keine vollständige energetische Sanierung erfahren haben. Für viele sächsische Gebäude besteht daher noch ein energetischer Sanierungsbedarf.

Hinz (2015) [31] zeigte, dass sich die Kosten für energetische Sanierung von Altbauten (bis 1995) zum Zeitpunkt der Studie in den meisten Fällen zwischen 4 und 20 Jahren amortisieren. Die Baukosten sind im Zeitraum 02/2015 bis 02/2022 um ca. 50 % gestiegen. Zum aktuellen Zeitpunkt sind die Beschaffungskosten für die meisten Energieträger gegenüber den Preisen von 2015 ebenfalls signifikant gestiegen, sodass auch die Endverbraucherpreise deutlich steigen werden. Damit ist auf Basis von Hinz [31] auch unter aktuellen Bedingungen von einer Amortisation auszugehen, wobei diese unter den momentan sehr hohen Preisschwankungen schwer zu quantifizieren ist. Gleichzeitig ist festzuhalten, dass diese Amortisationsbetrachtung voraussetzt, dass die Investitions- und Verbrauchskosten von Eigentümer getragen werden, was auf den Mietwohnbau nicht zutrifft.

Einer Steigerung der Sanierungsquote, soweit, dass jedes Gebäude eine umfassende energetische Ertüchtigung entsprechend dem Szenario konventionelle Sanierung erhält<sup>20</sup>, wäre demnach anzustreben. Dabei stellt sich die Frage, ob sich die Warmmiete bei einer Umlage der Investitionskosten auf den Mieter erhöht oder ob sich die Sanierung auch an dieser Stelle finanziell lohnt. Im Folgenden soll darauf eingegangen werden, welche Kosten für Sanierungen durch die Mieter tragbar sind. Dazu werden zunächst Erkenntnisse aus der Literatur vorgestellt und darauf aufbauend Handlungsthesen zur Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen und deren Finanzierung aufgestellt.

Anzumerken ist, dass durch die Siedlungsstruktur in Sachsen ebenfalls viele Gebäude (Ein- und Zweifamilienhäuser sowie teils auch Mehrfamilienhäuser) durch die Eigentümer bewohnt werden, für die diese Betrachtung nichtzutreffend ist. Hier sind vordergründig die durch Hinz [31] beschriebenen Fragen der Amortisation sowie die Notwendigkeit der Kapitalverfügbarkeit entscheidend.

---

<sup>20</sup> Ausgenommen sind Gebäude, die aufgrund baulicher oder rechtlicher Besonderheiten erheblich höhere Sanierungskosten aufweisen als üblich.

### 6.1.1 Datengrundlage

Die Studie Wohnräume 2.0 der VSWG aus dem Jahr 2018 bietet einen Ausgangspunkt [32] zur Abschätzung der durch die Mieter max. tragbaren Mieterhöhungen infolge von Sanierungen. Eine wesentliche Kernaussage der Studie ist, dass eine Betrachtung von Mittelwerten, nur eine sehr begrenzte Aussagekraft hat, wenn es um sozial verträgliche Maßnahmen geht. Daher wurden im Rahmen der VSWG Studie 30 Fallgruppen eingeführt und getrennt untersucht. Eine wichtige für die 30 Fallgruppen ermittelte Kenngröße ist dabei die finanzierbare Nettokaltmiete, die in Abbildung 6-1 dargestellt ist.

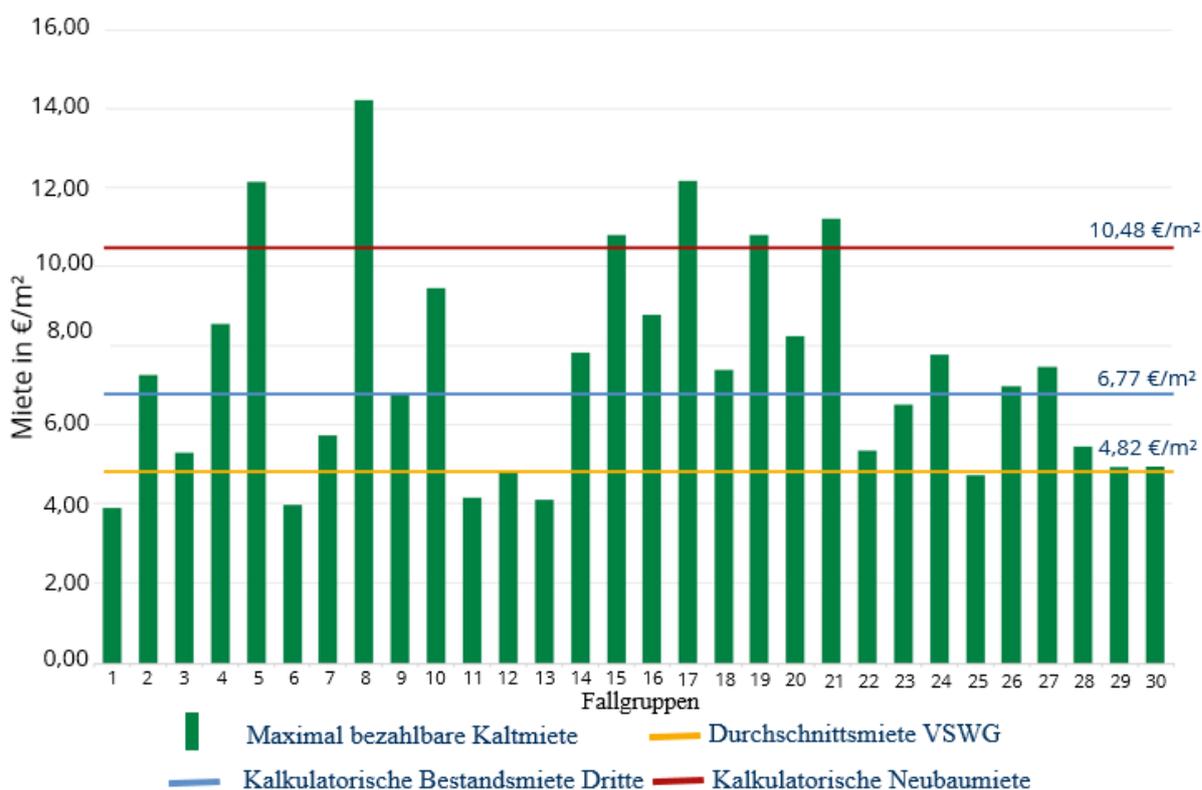


Abbildung 6-1: maximal finanzierbare Nettokaltmiete nach Fallgruppen (Grafik angepasst übernommen aus [32])

Die Ergebnisse zeigen das zum Stand der Studie (2018) ca. 20 % der sächsischen Bevölkerung armutsgefährdet waren. Die maximal finanzierbare Miete einiger Haushalte lag unter der Durchschnittsmiete der VSWG und bei allen Armutsgefährdeten unter der kalkulatorischen Miete nach der vollständige Finanzplan-Methode. Seit dem Zeitpunkt der Studie hat sich die mittlere Kaufkraft um ca. 11,5 % erhöht<sup>21</sup>, jedoch ist auch die Inflationsrate seit der letzten Erhebung des Kaufkraftindex deutlich angestiegen. Sie lag zwischen Mai und August 2022 zwischen 7 und 8 % und damit deutlich über den Werten

<sup>21</sup> Mittlere Kaufkraft je Einwohner in Sachsen in 2018: 19.727 € [39], in 2022: 21.997 € [38]

der Vorjahre [33]. Es ist also davon auszugehen, dass es an der in [32] beschriebenen Situation keine grundlegende Änderung der Aussagen der Studie gab, aber die finanzielle Situation für noch mehr Bürger angespannt ist, als zum Zeitpunkt der Studie.

Unter Beachtung der Problematik der Betrachtung von Mittelwerten für Betrachtung der Kaufkraft soll nachfolgend ein kurzer Vergleich der verfügbaren Einkommen mit den aktuellen Angebotsmieten aufgestellt werden. Detaillierte Informationen über die Verteilung der Gehälter auf die einzelnen Berufszweige/Gehaltsklassen etc. stehen aktuell nicht in der notwendigen räumlichen Auflösung zur Verfügung, sodass auf eine Betrachtung der Mittelwerte zurückgegriffen werden muss<sup>22</sup>.

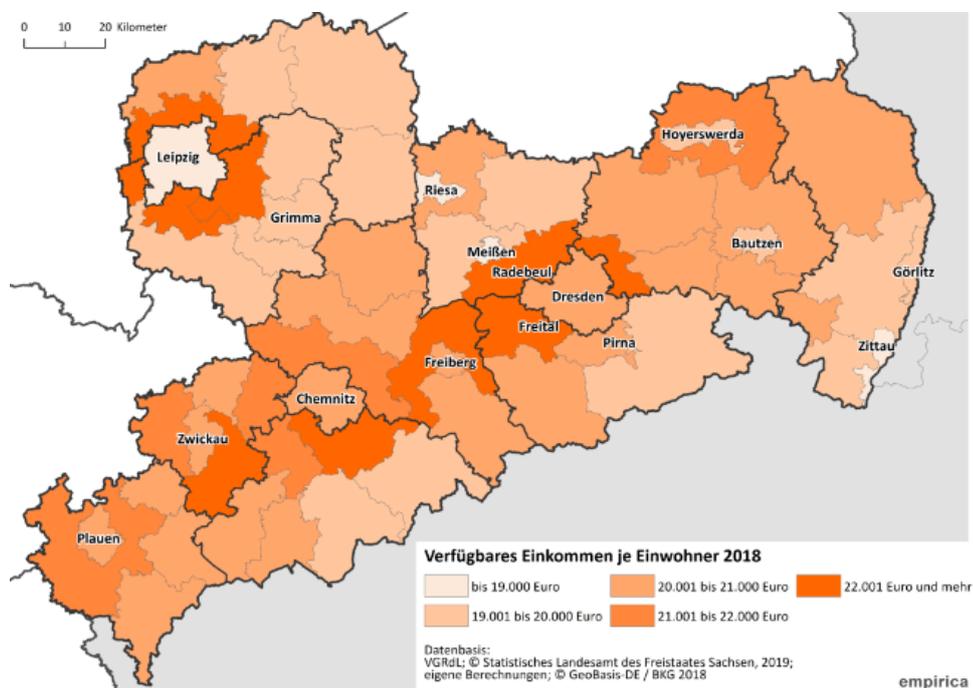


Abbildung 6-2: Darstellung regionaler Unterschiede der Nettolöhne je Arbeitnehmer in den Landkreisen und kreisfreien Städten (2020) Darstellung aus [34]

Abbildung 6-2 stellt dabei das mittlere verfügbare Einkommen je Einwohner da. Es ist zu erkennen, dass die Kaufkraft in den Gemeinden im Umland der größeren Städte Sachsens am höchsten ist. Im Vergleich dazu stellen Abbildung 6-3 und Abbildung 6-4 die mittleren

<sup>22</sup> Auf Nachfrage beim Statistischen Landesamt werden entsprechende Daten evtl. Ende des Jahres 2022 verfügbar sein. Aktuell liegen die Daten auf Landkreisebene nur in der WZ Gliederung A10 vor (Klassifikation der Wirtschaftszweige laut Statistisches Landesamt), die keine realistische Einteilung niedrige, mittlere und hohe Einkommen zulässt.

Mietniveaus auf Basis des Angebots und Bestandsmieten je Quadratmeter dar. Hier zeigt sich, dass der Unterschied zwischen Bestands- und Angebotsmieten i. d. R. in der Größenordnung von 1 €/m<sup>2</sup> liegt. Die Differenz ist im ländlichen Raum fast vollständig auf die real anfallenden Kosten zurückzuführen, da durch die starke Wettbewerbssituation unter Vermietern in Folge der hohen Leerstandsquoten, die nach aktuellen Prognosen weiter steigen werden, seitens Vermieter wenig Spielraum für Rendite vorhanden ist [34]. Um die mittlere Miete je Einwohner zu ermitteln ist eine Information über die mittlere Wohnfläche je Einwohner notwendig. Hier kann auf Statistiken des Statistischen Bundesamtes zurückgegriffen werden. Für Sachsen wird hier eine mittlere Wohnfläche von 45 m<sup>2</sup>/Person für das Jahr 2021 angegeben [35]. Nimmt man diese an, ergibt sich eine mittlere Bestandsmiete je Einwohner im Bereich von ca. 180 €/Monat bis über 250 €/Monat. Vergleich man dieses Mietniveau mit dem mittleren verfügbaren Einkommen fallen die deutlichen regionalen Unterschiede auf, die eine Allgemeine Aussage über den Anteil der Mietzahlungen am verfügbaren Einkommen unmöglich machen, was auch durch die in Abbildung 6-1 dargestellte Problematik der verschiedenen Fallgruppen erschwert wird.

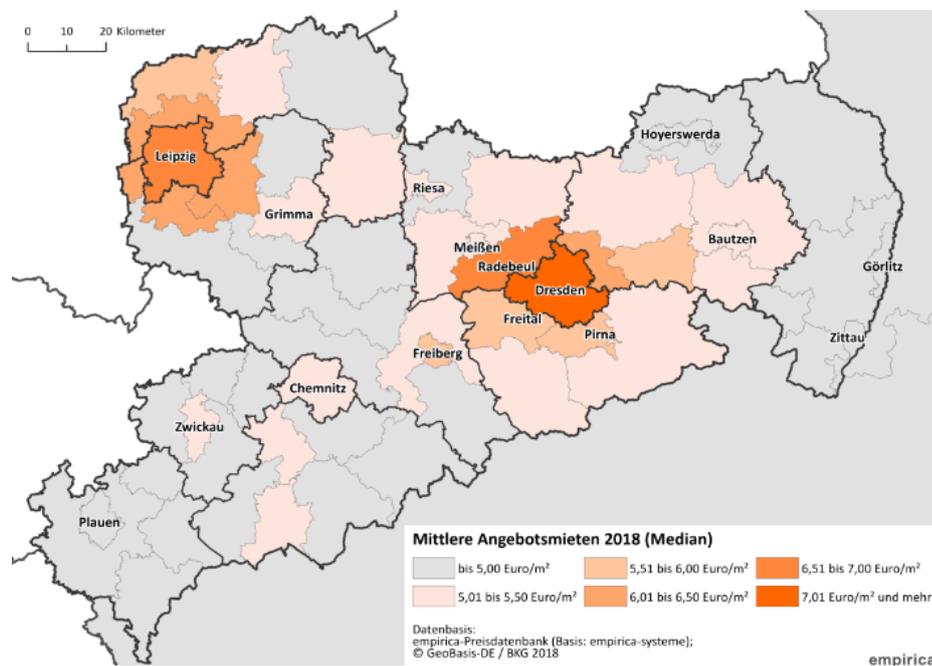


Abbildung 6-3: Mittlere Angebotsmieten (Median) in den sächsischen Wohnungsmarktregionen (Bild aus [34] )

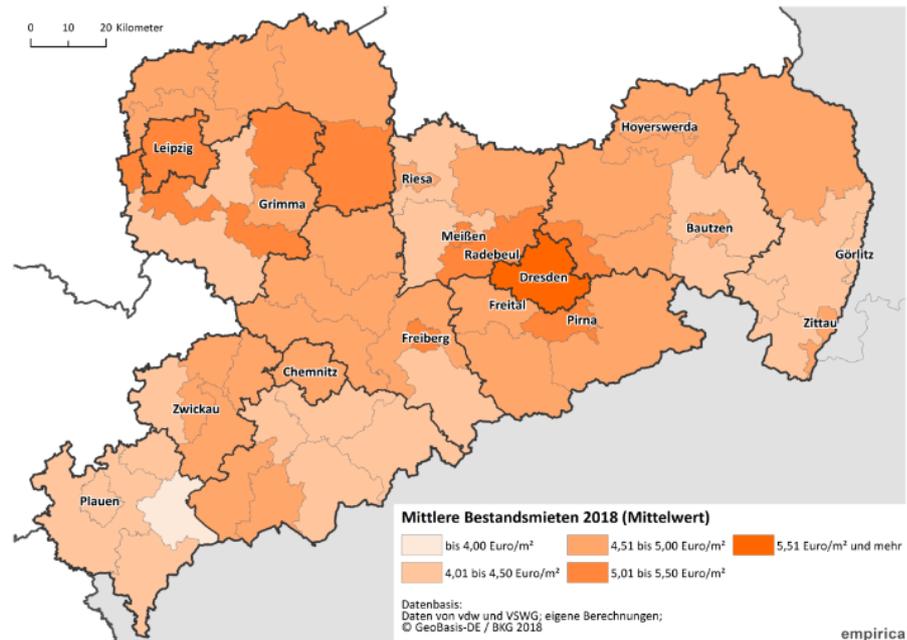


Abbildung 6-4: Mittlere Bestandsmieten (Mittelwert) in den sächsischen Wohnungsmarktregionen (Bild aus [34] )

### 6.1.2 Schlussfolgerungen und Thesen

Die zuvor vorgestellten Daten reichen für eine fundierte Unterteilung in Fallgruppen entsprechend des Vorgehens in [32] auf Landkreisebene nicht aus. Es ist aber erkennbar, dass in allen Landkreisen Personen leben, für die eine nicht warmmietneutrale Erhöhung ihrer Miete mit individuellen Einschränkungen im Lebensstandard einhergehen werden, da diese über der finanzierbaren Nettokaltmiete<sup>23</sup> liegt. Umgekehrt gibt es große Teile der Bevölkerung, für die eine durch energetische Sanierung von Gebäuden hervorgerufene Mietsteigerung finanzierbar ist, für wieviel Prozent aber welche genaue Mieterhöhung verträglich ist, lässt sich anhand der Datenbasis nur mit großer Unsicherheit abschätzen, die neben der Einkommensverteilung noch von einer Vielzahl weiterer Faktoren abhängig ist, wie z.B. ob die aktuellen Lebensumstände den Besitz eines Automobils erforderlich machen etc. Gleichzeitig verringert eine energetische Sanierung die Risiken für Mieter durch stark schwankende Energiepreise, wie sie die aktuelle Debatte bestimmen. Eine Prognose hierzu ist aktuell nicht zuverlässig möglich. In weiteren Arbeiten könnten daher z. B. folgende Thesen untersucht werden:

---

<sup>23</sup> Die finanzierbare Nettokaltmiete ist ein theoretischer Wert, der mit 35 % des Nettoeinkommens in [32] abgeschätzt wird.

These 1:

Weitere nicht warmmietenneutrale Sanierung des Wohngebäudebestandes erhöhen das Risiko finanzieller Einschränkungen oder Problemen bei Mietern insbesondere im ländlichen Raum.

These 2:

Energetische Sanierungen haben das Potential, die durch Energiepreissteigerungen bedingten Armutsrisiken zu mindern. Daher sind die aus den energetischen Sanierungen von Gebäuden resultierenden Mietpreissteigerungen den Risiken stark schwankender oder langfristig deutlich steigender Energiekosten gegenüberzustellen. Gelingt langfristig eine finanzielle Amortisierung der Sanierungskosten durch Energieeinsparungen, ist in der Regel keine oder nur eine moderate und für alle Mieter verträgliche Erhöhung der Warmmieten erforderlich.

These 3:

Ohne einen Sanierungszwang oder zielgenaue Fördermechanismen werden die für die Energiespar- und Klimaschutzziele der Bundesregierung notwendigen Sanierungsquoten im ländlichen Raum aufgrund der geringen Mieten nicht erreicht werden. Förderwürdig sind mindestens die Umrüstungen und der Austausch von Wärmeerzeugern insbesondere zur Erschließung erneuerbarer Energie und Umweltwärme, der Anschluss an Fernwärme sowie Optimierungen der Anlagentechnik im Gebäude.

These 4:

Bauliche und anlagentechnische Sanierungen sind dauerhaft durch flankierende Maßnahmen und Anreizsysteme zum sparsamen Umgang mit Energie zu begleiten. Dazu zählen z. B. das energetische Monitoring und reflektierte Verbrauchsinformationen.

## 7 Fehlerbetrachtung

Ziel der Fehlerbetrachtung ist die Angabe der Größenordnung nicht verifizierbarer Daten mit einer qualitativen und quantitativen Bewertung des Einflusses auf die Gesamtaussage der Studie. In den vorherigen Kapiteln (3.8 und 5.4.2) wurde bereits auf Probleme in der Plausibilität der Ergebnisse eingegangen. In diesem Kapitel sollen die Probleme zusammengestellt und bewertet werden.

### 7.1 Überblick über Ursachen von Unsicherheiten

Die Ursachen teilen sich auf verschiedene Ebenen und Problemstellungen auf. Begründet ist dies in der unterschiedlichen Auflösung und Art der Datenquellen. Zum einen ist eine Aufteilung auf die sächsische und die Ebene der Gemeinden möglich. Zum anderen ist eine Einteilung der möglichen Quellen nach dem Einsatzzweck der Daten, also dem Berechnungsziel möglich. Tabelle 7-1 gibt einen Überblick über die verschiedenen Quellen von Fehlern und Unsicherheiten. Die Unschärfen bei der Bestimmung der gemeindeschaffen Energiebilanz wirken sich dabei auch auf die Bestimmung der Energieeffizienzklassen aus, sodass die Anzahl der potenziellen Fehlerquellen in dieser Betrachtung deutlich ansteigt.

Tabelle 7-1: Übersicht Quellen von Unsicherheiten

	Sächsische Ebene	Gemeindeebene
Bestimmung der gemeindeschaffen Energiebilanz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energiebilanz – Nutzung von Biomasse</li> <li>• Nutzungsgrade der Wärmeerzeuger</li> <li>• Vollbenutzungsstunden der Wärmeerzeuger</li> <li>• Leerstand von Wohnungen und inaktive Anlagen</li> <li>• Zuordnung von Wärmeerzeugern zu Sektoren GHD &amp; Haushalte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lücken in den KFA-Daten aus den Kehrbezirken</li> <li>• Datenlücken für Wärme aus Strom, Fernwärme &amp; Solarthermie</li> <li>• Inkonsistenz im Zeitpunkt der Datenerfassung</li> <li>• Nutzerverhalten</li> <li>• Identifikation nicht genutzter Wärmeerzeuger</li> <li>• Unschärfen in der Datengrundlage zu den Wohngebäuden (Wohngebäude &amp; Gebäude mit Wohnraum)</li> </ul>

Bestimmung der Energieeffizienzklassen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unspezifische Energieeffizienzangaben nach TABULA</li> <li>• Keine Berücksichtigung von realisierten Standards über EnEV 2009</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehlende Informationen über Gebäudebestand (Zuordnung Gebäudetypen zu Baualtersklassen)</li> <li>• Inkonsistenz im Zeitpunkt der Datenerfassung</li> <li>• Unschärfe aufgrund des Nutzerverhalten</li> </ul>
--	---	---

## 7.2 Bewertung der Auswirkung der Fehlerursachen

Die zuvor beschriebenen Fehlerursachen sind im Einzelnen schwer zu quantifizieren, sodass für deren Auswirkungen keine allgemeingültige Aussage getroffen werden kann. Um mögliche Abweichungen resultierend aus den benannten Gründen abzuschätzen, wurden die Auswirkungen anhand einer Gemeinde exemplarisch genauer untersucht. Tadic [26] hat für diese Untersuchung den Kurort Rathen ausgewählt und in Bezug zu den Ergebnissen der Studie durch eine detailliertere Datenerfassung (zusätzliche Anfragen, Recherchen und eine Begehung) sowie angepasste Berechnungsansätze präzisere Kennwerte hinsichtlich des Endenergieverbrauchs und der Sanierungsquoten bestimmt. Zunächst stellte Tadic [26] folgende Unterschiede zwischen den neu erfassten Daten für den Kurort Rathen und den in der Studie verwendeten Daten fest:

- Differenz in der Anzahl der Wohngebäude, da die Begehung eine geringere Anzahl an Wohngebäuden aufzeigte
- Neu ermittelte KFA-Daten von 2021 zeigen, dass die Anzahl Wärmeerzeuger seit 2015 gestiegen ist
- Anzahl der Nichtwohngebäude

Ein weiteres Resultat ist der hohe Anteil an touristisch genutzten Gebäuden (Ferienwohnungen), welche als Nichtwohngebäude eingestuft sind. Diese werden im Allgemeinen mit einer analogen Wärmeversorgung ausgestattet, wie sie für Wohngebäude typisch ist. Die in Kapitel 3.2.2 vorgestellte Methode zur Bereinigung der Wärmeerzeugerdaten hinsichtlich der Nutzung im Sektor GHD erweist sich unter diesen Randbedingung als nicht zielgerichtet, sodass eine fehlerhafte Zuordnung von Wärmeerzeugern zu Wohngebäuden resultiert. Mit den neu gewonnenen Erkenntnissen und der Information über die Anzahl der Nichtwohngebäude ist es möglich, die Wärmeerzeuger entsprechend angepasst auf die Gebäudetypen Wohngebäude und Nichtwohngebäude aufzuteilen und die Berechnungen mit den verbesserten Daten für

die Gemeinde Rathen durchzuführen. Damit ergeben sich die in Tabelle 7-2 dargestellten flächenspezifischen Werten für NWL und EEV.

Tabelle 7-2: Vergleich der Kennwerte für Kurort Rathen

	Wert aus Berechnung nach Kapitel 3	Wert nach Tadic [26]
$\dot{q}_N$ in $\frac{W}{m^2}$	308,6	170,1
$\varphi_{WE}$	1,99	1,51
$q$ in $\frac{kWh}{m^2 a}$	253,6	150,0

Es wird deutlich, dass durch den in Kapitel 3 genutzten Ansatz für die Gemeinde Rathen ein hoher Fehler entsteht. Die neu ermittelten Daten zeigen für den EEV ca.  $\Delta_{EEV} = 41\%$  geringere Werte, was mit der Abweichung in der NWL korreliert ( $\Delta_{NWL} = 45\%$ ).

Die Gemeinde Kurort Rathen weicht aufgrund ihrer Größe (ca. 400 Einwohner, ca. 140 Wohngebäude [1]) und ihrer Ausrichtung auf den Tourismus in erheblichem Maße von anderen sächsischen Gemeinden ab. Sie markiert für die Berechnungsansätze dieser Studie daher sehr wahrscheinlich einen Maximalfall in Bezug auf die Höhe der Abweichungen. Für weitere Gemeinden kann davon auszugehen werden, dass die dort bei der Berechnung von energetischen Kennwerten (EEV und NWL) auftretenden Fehler geringer als im Kurort Rathen (Fehler ca. 40 %) ausfallen. Grundsätzlich ist auch die Ermittlung dieses Fehlers von Annahmen geprägt und unterliegt damit auch der Möglichkeit von Abweichungen.

Im Rahmen seiner Untersuchungen ermittelte Tadic [26] auf Basis des in Kapitel 5 beschriebenen Ansatzes zur Berechnung des Sanierungsstandes ebenfalls Vollsaniierungsäquivalente. Diese Berechnung wird aufgrund des nun geringeren EEV möglich. Aufgrund der Verwendung der Gebäudedaten aus der Vor-Ort-Begehung nutzt Tadic [26] dabei eine geringere Anzahl von Baualtersklassen, sodass sich ein theoretischer EEV (Heizung und TWE) der Gebäude nach der Baualtersklasse von  $q_{BA} = 222 \frac{kWh}{m^2 a}$  ergibt. Um den in Tabelle 7-2 gezeigten tatsächlichen heutigen EEV zu erreichen ist ein VSÄ von 63 % notwendig. Vergleicht man diesen Wert mit Zahlen auf bundes- bzw. sächsischer Ebene (Anteil sanierter Gebäude bei 64,1% bzw. 74,9 %, [30]) und der realen, nicht immer vollständigen Sanierung liegt der ermittelte Wert in einem plausiblen Bereich. Damit sind die von Tadic ermittelten Werte als plausibel zu bewerten und die resultierenden Fehler der Berechnungsmethodik nach Kapitel 3 sind eingegrenzt.

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Um das Ziel der Klimaneutralität Deutschlands bis 2045 im Gebäudebereich zu erreichen, möchte der Gesetzgeber ein möglichst effektives Förderangebot bereitstellen. Vor diesem Hintergrund ist das Ziel dieser Studie, eine regional aufgelöste Zuordnung der Gebäudeenergieverbräuche zu erstellen, um daraus abgeleitet, im nächsten Schritt Zielvorgaben formulieren zu können, die die strukturellen, sozialen, wirtschaftlichen und demographischen Besonderheiten der Regionen berücksichtigen.

Im ersten Schritt wurde die Datengrundlage erstellt und auf den Stichtag 01.01.2019 abgeglichen. Zentrale Datenquellen sind dabei die Sächsische Energiebilanz und Gebäudestatistik, die Daten des Zensus 2011, eine Erhebung des LfULG zu Kleinf Feuerungsanlagen und Daten aus den Beständen der VSWG. Dabei wurden Datenlücken und Unsicherheiten identifiziert und unterschiedliche Bezugsgrößen der Datenquellen wo möglich in Einklang gebracht.

Aufbauend auf der genannten Datenbasis wurde eine Methodik zur Bewertung der Plausibilität der Datenquellen entwickelt und auf deren Grundlage einige Gemeinden mit offensichtlich mangelhafter Datenlage von einer weiteren Betrachtung ausgeschlossen. Insbesondere die nicht über alle Datenquellen konsistente Auflösungen und Allokation statistischer Erhebungen stellten für die Studie eine große Herausforderung dar. So wird z. B. der Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistung (GHD) in der Statistik der Kleinf Feuerungsanlagen (KFA) nicht getrennt von Haushalten erfasst, um die es in dieser Studie aber geht. Um dies zu berücksichtigen, wurde eine allgemeine Methodik zur Ermittlung der Endenergieverbräuche erstellt und für alle Wärmeerzeuger-Typen umgesetzt. Diese beinhaltet für die KFA neben der Zuordnung von einzelnen Anlagen zu Haushalten oder GHD auch die Bereinigung der Daten (Ausschluss von nicht plausiblen Gemeinden), die Berücksichtigung des Leerstandes, die Korrektur der Wärmeerzeugerzahl, die Einbeziehung eines altersabhängigen Nutzungsgrades der Kessel sowie die Anpassung der Vollbenutzungsstunden. Da der Fokus der Studie auf den Berechnungen der Endenergieverbräuche der einzelnen Gemeinden für die Raumheizung liegt, wurde in einem weiteren Bearbeitungsschritt der Endenergieverbrauch der Trinkwassererwärmung ermittelt und von den summierten Endenergieverbräuchen abgezogen. Des Weiteren erfolgten die Berechnungen der gemeindeschaffen, wohnflächenbezogenen Endenergieverbräuche (vgl. Abbildung 8-1) sowie den Treibhausgasemissionen.

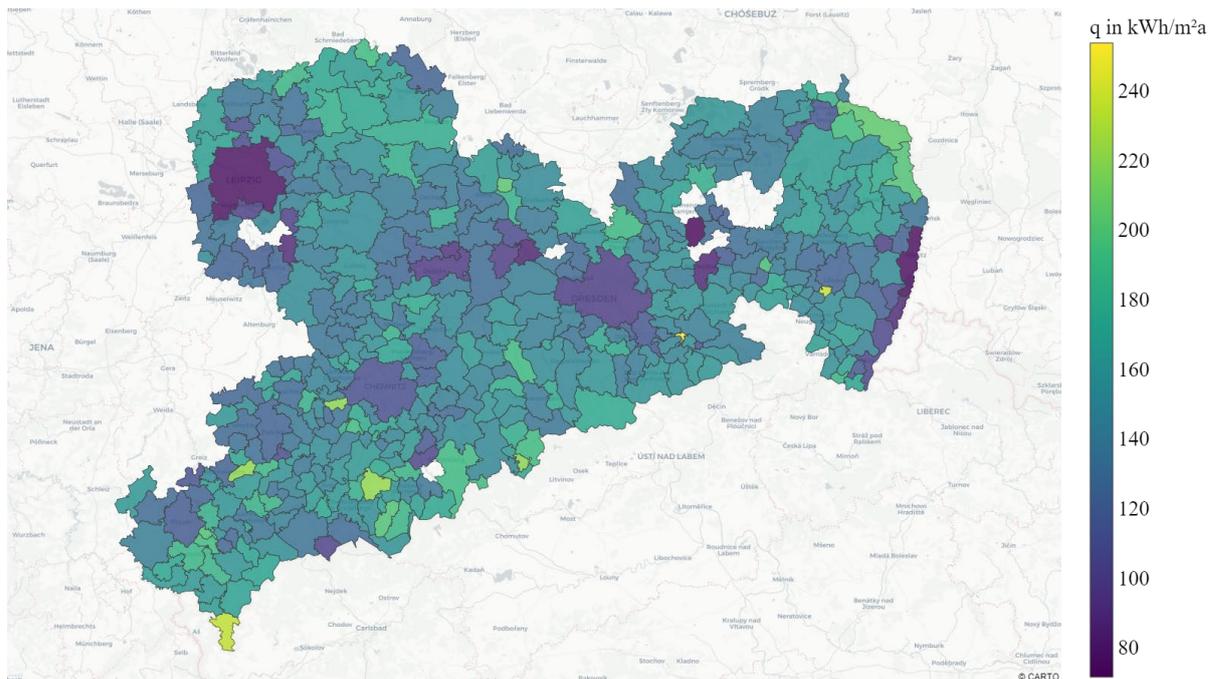


Abbildung 8-1: wohnflächenbezogener EEV je Gemeinde in kWh/m<sup>2</sup>

Die auftretende Schwankungsbreite der ermittelten Daten der einzelnen Gemeinden ist teilweise erheblich. Es zeigt sich, dass insbesondere in Dresden und Leipzig die wohnflächenbezogenen Verbräuche und Emissionen verhältnismäßig gering sind.

Um diese mit Unsicherheiten versehenen Daten zu validieren, wurde gemeinsam mit der VSWG über einen erarbeiteten Fragebogen und der Weiterleitung an mehrere Wohnungsgenossenschaften eine statistische Fallprüfung realisiert. Hierbei wurden die statistisch ermittelten Daten mit konkreten Fallbeispielen gegenübergestellt. Die Auswertung zeigt im Mittel deutlich niedrigere Werte für den Endenergieverbrauch innerhalb der Gemeinden, was zeigt, dass die Sanierungsquoten der Gebäude der VSWG über dem sächsischen Durchschnitt liegen. Ein ebenfalls begünstigender Faktor für den geringen Verbrauch ist die günstigen Wohnflächen zu Hüllflächenverhältnis von den Gebäuden VSWG.

Für das Ziel der CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion im Gebäudesektor ist es entscheidend, neben der regionalen Zuordnung der energetischen Kenngrößen einen Überblick über den sächsischen Gebäudebestand hinsichtlich des Baualters und Sanierungsstandes zu erhalten. Ziel ist es, eine gemeindescharfe Verteilung auf Energieeffizienzklassen über die Berücksichtigung des Sanierungsstandes umzusetzen. Auf Basis der Gebäudestatistik sowie des Zensus erfolgte in Kapitel 5 zunächst die Berechnung des theoretischen Verbrauchs des sächsischen Gebäudebestandes, wenn dieser keine Sanierungen erfahren hätte, entsprechend des unsanierten Ist-Zustandes nach IWU [28]. Aus dem

Vergleich der fiktiven Verbräuche ohne Sanierung und den berechneten Verbräuchen über die sächsische Energiebilanz lässt sich der energetische Sanierungsstand der einzelnen Gemeinden abschätzen. Für die mögliche Verteilung der Sanierungsmaßnahmen wurden zwei Szenarien eingeführt. Als Referenz für energetisch sanierte Gebäude wurde eine übliche Sanierung, die den EnEV 2009 Standard erfüllt angesetzt und angenommen, dass nach 2000 errichtete Gebäude noch nicht wieder saniert wurden. Für diese Randbedingungen ergibt sich in Szenario 1 für Sachsen eine Quote an Vollsanierungs-Äquivalenten von ca. 50 %. Die sich näherungsweise entsprechend Abbildung 8-2 verteilt.

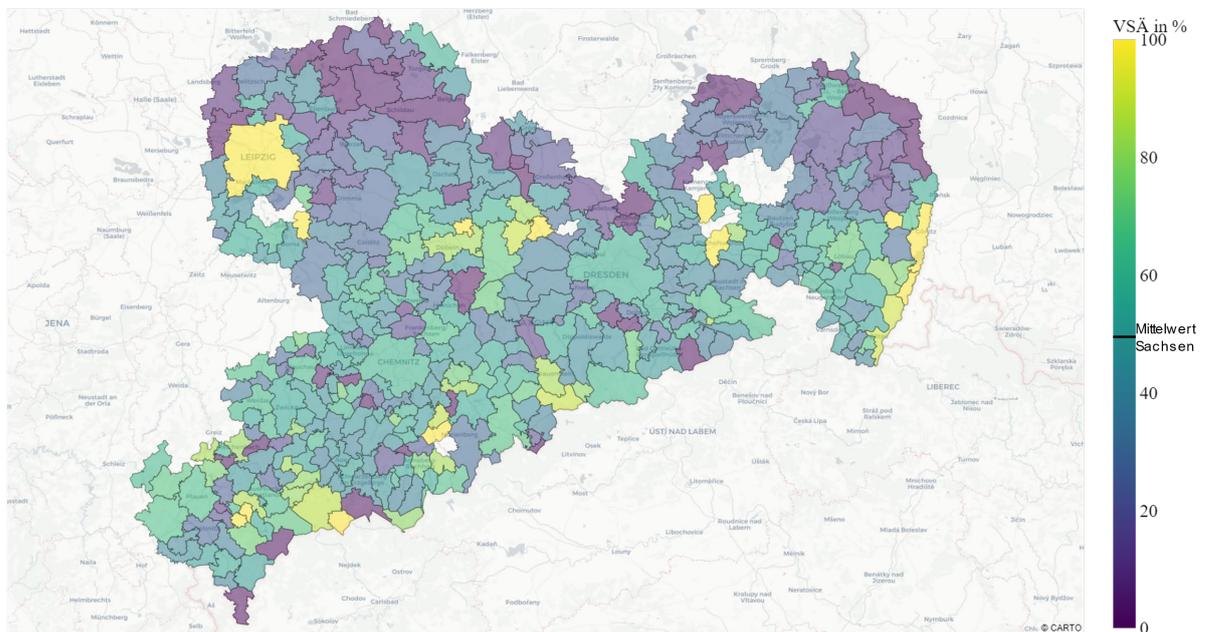


Abbildung 8-2: ermittelte Quote der Vollsanierungsäquivalente je Gemeinde nach Szenario 1

In Szenario 2 wird versucht sich der realen Verteilung weiter anzunähern. Für Sachsen wird der reale Sanierungsstand entsprechend Abbildung 8-3 geschätzt. Die gemeindescharfen Aussagen sind dabei mit einer großen Unsicherheit behaftet, die nur durch weitere Datenerfassungen aufgeklärt werden können. Abschätzen lässt sich jedoch, dass ca. 50 % der Gaskessel im Bestand bereits Brennwerthermen sind. Zudem müssten, unter der Annahme einer konsequenten Umsetzung der EnEV 2014 alle Mehrfamilienhäuser in Sachsen bereits mindestens ein gedämmtes Dach oder obere Geschosdecke mit  $U = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$  besitzen.

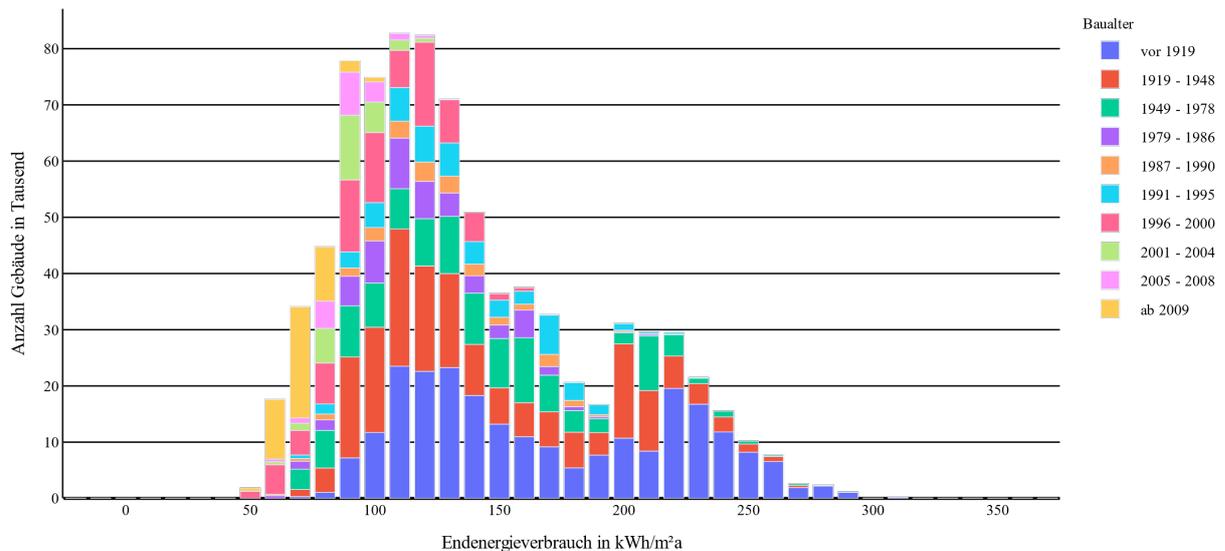


Abbildung 8-3: Einteilung in Energieeffizienzklassen nach Szenario 2

Es wurden ausgehend von einer Literaturrecherche erste Thesen im Spannungsfeld der Bezahlbarkeit von Wohnraum nach energetischen Sanierungen formuliert.

Abschließend fasst die Fehleranalyse in einer Übersicht die einzelnen Fehlerquellen zusammen und setzt sie in Relation zueinander. Ein Gesamtfehlerpotenzial ist nicht direkt ermittelbar, da die Fehlergrößen in den Datenquellen unbekannt sind. In Bezug auf die Ermittlung des EEV ist festzustellen, dass die Berechnungsmethodik eine Übereinstimmung mit der sächsischen Energiebilanz garantiert. Um das Fehlerpotential auf Gemeindeebene abschätzen zu können, wurde mit dem Kurort Rathen eine Gemeinde genauer analysiert, welche ein hohes Fehlerpotential aufwies. Die Auswertung zeigte eine Abweichung von ca. 40 %, wobei auch die Vergleichsbetrachtung Fehler aufgrund von getroffenen Annahmen aufweisen kann. Hinsichtlich der Eigenschaften dieser Gemeinde ist von signifikant geringeren Abweichungen in den meisten anderen Gemeinden auszugehen.

Die Ergebnisse dieser Arbeit geben einen Überblick über die wohnflächenbezogenen Endenergieverbräuche, die zugehörigen CO<sub>2,äqui</sub>-Emissionen sowie über mögliche Sanierungsstände der einzelnen Gemeinden in Sachsen unter den beschriebenen Randbedingungen und zu treffenden Annahmen. Aufgrund der hohen gemeindeschaffen Auflösung sind die Resultate zum Teil mit erheblichen Unsicherheiten belastet. Um perspektivisch die Datenbasis zu verbessern und Förderbedarf zielgerichteter einsetzen zu können, ergeben sich aus der Arbeit folgende Empfehlung zur Optimierung der Datenbasis.

- Zentrale Sammlung von Daten und Abgleich mit dem Gebäudeenergieausweis
- Statistische Erfassung der beheizten Nichtwohngebäude
- Unterscheidung in der Erfassung der KfA-Daten zwischen Wohn-, Nichtwohn-  
Mischnutzungsgebäude
- Kritische Prüfung der erfassten Zensus-Daten, um gröbere Fehler wie z. B.  
fernwärmeversorgte Gebäude in Gemeinden ohne Fernwärme zu erhöhen, um so  
die Verlässlichkeit der Zensus-Daten zu erhöhen.
- Höhere regionale Auflösung der Endenergieverbräuche

## 9 Literaturverzeichnis

- [1] Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen, „Sächsische Gemeindestatistik,“ Kamenz, 2020.
- [2] W. Poppitz, M. Schreyer, U. Schreiber und A. Hausmann, „Anlagenbestand und Emissionen von Kleinfeuerungsanlagen in Sachsen,“ 2019.
- [3] K. Rühling, V. Boß, A. Matthees und J. Schmidt, „Fernwärme in Sachsen – eine Status Quo-Analyse der derzeitigen Erzeugung sowie Gewinnung eines Überblicks zu Vorhaben der Treibhausgassenkung,“ TU Dresden, Dresden, 2022.
- [4] Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V, „Branchenstudie 2021: Marktanalyse - Szenarien - Handlungsempfehlungen,“ 2021. [Online]. Available: <https://www.waermepumpe.de/verband/publikationen/fachpublikationen/>. [Zugriff am 18 2 2022].
- [5] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., „Wie heizt Sachsen?“ - Regionalbericht,“ 09 2019. [Online]. Available: [https://www.bdew.de/media/documents/BDEW\\_Heizungsmarkt\\_Regionalbericht\\_Sachsen.pdf](https://www.bdew.de/media/documents/BDEW_Heizungsmarkt_Regionalbericht_Sachsen.pdf). [Zugriff am 17 01 2022].
- [6] VSWG, „anonymisierte Datensätze aus Mitgliederbefragung,“ 2018 und 2020.
- [7] Techem Energy Services GmbH, „Techem Energiekennwerte 2019: WÄRME Erhebungen und Analysen zum Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser in deutschen Mehrfamilienhäusern,“ Eschborn, 2019.
- [8] Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft, „Daten und Fakten,“ [Online]. Available: <https://www.energie.sachsen.de/zahlen-und-fakten-3971.html>. [Zugriff am 07 01 2022].
- [9] W. Poppitz, M. Schreyer, U. Schreiber und A. Hausmann, „Kleinfeuerungsanlagen in Sachsen,“ Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, 2019.
- [10] Deutscher Wetterdienst, „Sonnenscheindauer: vieljährige Mittelwerte 1981 - 2010,“ 11 02 2021. [Online]. Available: [https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/sonne\\_81\\_10\\_fest\\_html.html?view=nasPublication&nn=16102](https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/sonne_81_10_fest_html.html?view=nasPublication&nn=16102). [Zugriff am 28 03 2022].

- [11] VdZ – Forum für Energieeffizienz in der Gebäudetechnik e.V., „Fachregel Optimierung von Heizungsanlagen im Bestand,“ 20 07 2016. [Online]. Available: [https://files.vdzev.de/pdfs/fachregel/Fachregel\\_Hydraulischer\\_Abgleich.pdf](https://files.vdzev.de/pdfs/fachregel/Fachregel_Hydraulischer_Abgleich.pdf). [Zugriff am 30 03 2022].
- [12] S. Becker, J. Hagen und R. Krüger, „Dena Gebäudereport 2022,“ 10 2021. [Online]. Available: <https://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/dena-gebäudebericht-2022/>. [Zugriff am 02 02 2022].
- [13] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ, „Energiedaten: Gesamtausgabe,“ 2019. [Online]. Available: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html>.
- [14] M. Struschka, D. Kilgus, M. Springmann und G. Baumbach, „Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung,“ Universität Stuttgart Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen (IVD), Dessau-Roßlau, 2008.
- [15] L. Neunhäuserer, V. Diegmann, F. Pfäfflin und M. Struschka, „Ermittlung der gemeindegebietsbezogenen Emissionsstruktur für Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen im Land Brandenburg unter besonderer Beachtung des Einsatzes fester Brennstoffe (Emissionsgutachten 2014-2015),“ Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg, Potsdam, 2015.
- [16] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), „dena-Gebäudereport 2021 – Fokusthemen zum Klimaschutz im Gebäudebereich,“ Berlin, 2021.
- [17] C. Tebert, S. Volz und K. Töfge, „Ermittlung und Aktualisierung von Emissionsfaktoren für das nationale Emissionsinventar bezüglich kleiner und mittlerer Feuerungsanlagen der Haushalte und Kleinverbraucher,“ Ökopool GmbH, Hamburg, 2016.
- [18] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), *DIN V 18599-5 Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 09.2018.

- [19] Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen, „Sonderbericht: Zensus 2011 - Gebäude- und Wohnungszählung im Freistaat Sachsen am 09. Mai 2011 - Teil 1: Gebäude und Wohnungen (Gebietsstand 01. Januar 2013),“ Kamenz, 2013.
- [20] Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik, *VDI 6002 Blatt 1 Solare Trinkwassererwärmung - Allgemeine Grundlagen - Systemtechnik und Anwendung im Wohnungsbau*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 03.2014.
- [21] C. Felsmann und J. Schmidt, „Auswirkungen der verbrauchsabhängigen Abrechnung in Abhängigkeit von der energetischen Gebäudequalität,“ Dresden, 01.2013.
- [22] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), „Nutzenergiebedarf für Warmwasser in Wohngebäuden,“ BBSR-Online-Publikation 17/2017, Bonn, 09.2017.
- [23] D. N. Diefenbach, H. Dr. Cischinsky, M. Rodenfels und K.-D. Dr. Clausnitzer, „Datenbasis Gebäudebestand 2010: Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand“.
- [24] IINAS GmbH – Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien, „Ausgewählte Ergebnisse von GEMIS 5.0,“ [Online]. Available: [iinas.org/tl\\_files/iinas/downloads/GEMIS/2021\\_GEMIS-Ergebnisse-Auszug.xlsx](https://iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/2021_GEMIS-Ergebnisse-Auszug.xlsx).
- [25] Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, „Treibhausgase in Sachsen 2019,“ [Online]. [Zugriff am 30 11 2022].
- [26] M. Tadic, „Bewertung der energetischen Qualität von Wohngebäuden in Sachsen,“ 2022.
- [27] Felsmann, Eckstädt und Rühlung, *Wärmeversorgung für Sachsen aus erneuerbaren Energien - Studie im Auftrag der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN im Sächsischen Landtag*, Dresden, 2014.
- [28] Institut Wohnen und Umwelt, (IWU), „Tabula WebTool,“ [Online]. Available: <https://webtool.building-typology.eu/#bm>. [Zugriff am 23 03 2022].
- [29] VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.; VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik, VDI 3807 Blatt 1 Verbrauchskennwerte für Gebäude - Grundlagen, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 06.2013.
- [30] (UBA), Metzger et al., „Wohnen und Sanieren - Empirische Wohngebäudedaten seit 2002 - Hintergrundbericht,“ 2019. [Online]. Available:

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-05-23\\_cc\\_22-2019\\_wohnenundsaniieren\\_hintergrundbericht.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-05-23_cc_22-2019_wohnenundsaniieren_hintergrundbericht.pdf).

- [31] E. Hinz, „Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Altbauten,“ Darmstadt, 2015.
- [32] VSWG, „Wohnträume 2.0,“ Dresden, 2018.
- [33] Statistisches Bundesamt (Destatis), „Pressemitteilung Nr. 366 vom 30. August 2022,“ 30 08 2022. [Online]. Available: [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/08/PD22\\_366\\_611.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/08/PD22_366_611.html). [Zugriff am 08 09 2022].
- [34] Empirica, „Gutachten Wohnungsmärkte in Sachsen,“ 13.09.2019. [Online]. Available: [https://bauenwohnen.sachsen.de/download/Gutachten\\_Wohnungsmaerkte.pdf](https://bauenwohnen.sachsen.de/download/Gutachten_Wohnungsmaerkte.pdf).
- [35] Statistisches Bundesamt, „Wohnfläche je Einwohner in Sachsen von 1991 bis 2021 (in Quadratmeter),“ 28 07 2022. [Online]. Available: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/263375/umfrage/wohnflaeche-je-einwohner-in-sachsen/>. [Zugriff am 09 09 2022].
- [36] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), „dena-Gebäudereport 2016 – Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand,“ Berlin, 2016.
- [37] Wärmepumpe, Bundesverband, „Aktuelle Daten und Fakten,“ 20 02 2022. [Online]. Available: <https://www.waermepumpe.de/presse/zahlen-daten/>.
- [38] GfK GeoMarketing GmbH, „Pressemitteilung - GfK-Studie zur Kaufkraft Deutschland 2022,“ Bruchsal, 08.12.2021.
- [39] GfK GeoMarketing GmbH, „Pressemitteilung - GfK-Studie zur Kaufkraft Deutschland 2018,“ Bruchsal, 12.12.2017.

## 10 Anhang

Tabelle 10-1: Zuordnung Kleinfeuerungsanlagen

Zuordnung	Abkürzung	Bezeichnung	
Zentralheizung mit Raumheizung	BH	Blockheizkraftwerk	
	FC	Brennstoffzelle	
	HK	Heizkessel	
	KW	Kombiwasserheizer	
	PO	Pelletofen	
	UW	Umlaufwasserheizer	
	WP	Wärmepumpe (Motor)	
Einzelraumheizung mit Raumheizung	GO	Grund-, Kachel-, verputzter, Gestellofen	
	KE	Kamineinsatz, Kaminkassette	
	KH	Kachelofen mit Heizeinsatz	
	KO	Kaminofen	
	LE	Lufterhitzer	
	OK	Offener Kamin	
	RH	Raumheizer	
	GHD	SD	Dunkelstrahler
	GHD	SG	Specksteingrundofen
	GHD	SH	Hellstrahler
Keine Raumheizung	GHD	BA	Backofen, Pizzaofen, Wärme- und Gärraum
	GHD	BO	Brennofen
		DW	Durchlaufwasserheizer
	GHD	GK	Gewerbliche Küchengeräte
	GHD	HE	Herd
	GHD	HD	Herd
	GHD	HO	Hopfendarre
	GHD	KK	Kochkessel, Wurstkessel
	GHD	LT	Luft-Trocknungsanlage
	GHD	NO	Notstromaggregat
	GHD	RA	Räucheranlage
	GHD	RD	Hochdruckreiniger, Dampfreiniger
	GHD	RF	Fischräucheranlage
	GHD	RT	Röstanlage
	GHD	SF	Schmiedefeuer
	GHD	SO	Schmelzofen, Glühofen
	GHD	VM	Verbrennungsmotor
		VW	Vorratswasserheizer, Badeofen
	GHD	WK	Waschkessel
	GHD	WL	Wäschemangel
GHD	WM	Waschmaschine	
GHD	WT	Wäschetrockner	

Tabelle 10-2: Heizlast in Abhängigkeit der beheizbaren Nutzfläche (in Anlehnung an Nationaler Anhang zu DIN EN 15378) [11]

Beheizbare Nutzfläche in m <sup>2</sup>	Heizlast in W/m <sup>2</sup>					
	ab 2009	2002 bis 2008	1995 bis 2001	1984 bis 1994	1978 bis 1983	bis 1977
100	38	45	67	99	115	163
125	38	45	67	98	114	162
150	37	44	66	98	114	161
200	37	44	65	97	113	160
300	36	43	64	95	110	157
500	33	40	60	90	105	150
1000	32	39	59	88	103	148
1500	31	38	58	87	101	145
2000	30	37	56	85	99	143
3000	28	35	54	82	95	138

Tabelle 10-3: Übersicht Ausgangsdaten und genutzte (Studie) Vollbenutzungsstunden

Feuerstättenart	Kurzbezeichnung	Leistungs-kategorie kW	Vollbenutzungsstunden Ausgangsdaten h	Quelle	Vollbenutzungsstunden neu h
<b>Festbrennstoffe, Biomasse</b>					
<b>ZFA</b>					
Stückholzkessel (manuell)	HK	<25	1020	Struschka et al. 2008	1056
		>25 - 50	928	Struschka et al. 2008	961
		>50	930	Struschka et al. 2008	963
Pelletkessel	PO	>10 - 25	980	Struschka et al. 2008	1015
		>25 - 50	920	Struschka et al. 2008	952
		>50	920	Struschka et al. 2008	952
Hackschnitzelkessel (autom.)	HK	10 - 25	1020	Eigene Annahme	1056
		>25 - 50	928	Eigene Annahme	961
		>50	930	Eigene Annahme	963
<b>ERF</b>					

Dauerbrandöfen	RH	>4	667	Struschka et al. 2008	691
Kachelöfen	KH, KE, GO, SG, SP	>4	750	Struschka et al. 2008	776
Kaminöfen	KO	>4	596	Struschka et al. 2008	617
Pelletöfen	PO	≤10	676	Struschka et al. 2008	700
Kamine	OK	>4	350	Struschka et al. 2008	362
Badeöfen	VW	<15	111	Struschka et al. 2008	115
Herde	HD, HE	<15	154	Struschka et al. 2008	159
Räucheranlagen	RA	<15	500	Abschätzung nach Poppitz et. al 2019	518
<b>Festbrennstoffe, Steinkohle</b>					
<b>ZFA</b>					
Heizkessel (man.+autom.)	HK	< 15	1020	Struschka et al. 2008	415
		> 15 - 50	928	Struschka et al. 2008	378
		> 50	930	Struschka et al. 2008	379
<b>ERF</b>					
Dauerbrandöfen	RH	> 4	635	Struschka et al. 2008	259
sonstige		> 4	635	Abschätzung nach Poppitz et. al 2019	259
<b>Festbrennstoffe, Braunkohle</b>					
<b>ZFA</b>					
Heizkessel (man.+autom.)	HK	< 15	1020	Struschka et al. 2008	542
		> 15 - 50	928	Struschka et al. 2008	493
		> 50	930	Struschka et al. 2008	494
<b>ERF</b>					
Dauerbrandöfen	RH	> 4	667	Struschka et al. 2008	354
Kachelöfen	KH, KE, GO, SG, SP	> 4	750	Struschka et al. 2008	398
Kaminöfen	KO	> 4	596	Struschka et al. 2008	316

Kamine	OK	> 4	350	Struschka et al. 2008	186
Badeöfen	VW	> 4	111	Struschka et al. 2008	59
Herde	HD, HE	> 4	154	Struschka et al. 2008	82
sonstige		> 4	596	Abschätzung nach Poppitz et. al 2019	316
<b>flüssige Brennstoffe</b>					
Heizkessel mit Gebläsebrenner (einschl. Verdampfungsbr. und Brennwertkessel)	HK, BW	4 - 25	1040	Struschka et al. 2008	902
		> 25 - 50	980	Struschka et al. 2008	850
		> 50	980	Struschka et al. 2008	850
BHKW	BH		1000	Abschätzung nach Poppitz et. al 2019	867
Verbrennungsmotoren	VM		1000	Abschätzung nach Poppitz et. al 2019	867
Notstromaggregate	NO		50	Abschätzung nach Poppitz et. al 2019	43
Kompressionswärmepumpen	WP, WA, FC		1000	Abschätzung nach Poppitz et. al 2019	867
sonst. EnErzeug/Heiz/Trockner	LE, SD, SH, LT, HO, SO, SF, BO		800	Abschätzung nach Poppitz et. al 2019	693
Küchengeräte	GK, KK, BA, BP, KB, FT, GY, KV, RT, EA, SI, WB, WO		500	Abschätzung nach Poppitz et. al 2019	433
Waschen/Reinigen	RD, WM, WT, WK, WL		700	Abschätzung nach Poppitz et. al 2019	607
<b>gasförmige Brennstoffe</b>					
Heizkessel mit Gebläse	HK	4 - 25	1000	Struschka et al. 2008	791
		> 25 - 50	950	Struschka et al. 2008	751
		> 50	950	Struschka et al. 2008	751
Heizkessel ohne Gebläse	HK	4 - 25	1000	Struschka et al. 2008	791

		> 25 - 50	950	Struschka et al. 2008	751
		> 50	950	Struschka et al. 2008	751
Heizkessel-BW (überwiegend raumluft-	HK	4 - 25	1000	Tebert et al. 2016	791
		> 25 - 50	950	Tebert et al. 2016	751
		> 50	950	Tebert et al. 2016	751
Heizkessel alle (HW+BW)	HK	4 - 25	1000	Eigene Annahme	791
		> 25 - 50	950	Eigene Annahme	751
		> 50	950	Eigene Annahme	751
Durchlaufwasserh eizer	DW		300	Struschka et al. 2008	237
Vorratswasserheiz er	VW		300	Struschka et al. 2008	237
Raumheizer	RH		407	Struschka et al. 2008	322
Uml/KombiwErhi. (BW+HW)	KW		980	Struschka et al. 2008	775
BHKW	BH		1000	Abschätzung nach Poppitz et. al 2019	791
Verbrennungsmoto ren	VM		1000	Abschätzung nach Poppitz et. al 2019	791
Notstromaggreat e	NO		50	Abschätzung nach Poppitz et. al 2019	40
Kompressionswär mepumpen	WP, WA, FC		1000	Abschätzung nach Poppitz et. al 2019	791
Waschen/Reinigen	RD, WM, WT, WK, WL		700	Abschätzung nach Poppitz et. al 2019	553
sonstige	sonstige		407	Abschätzung nach Poppitz et. al 2019	322

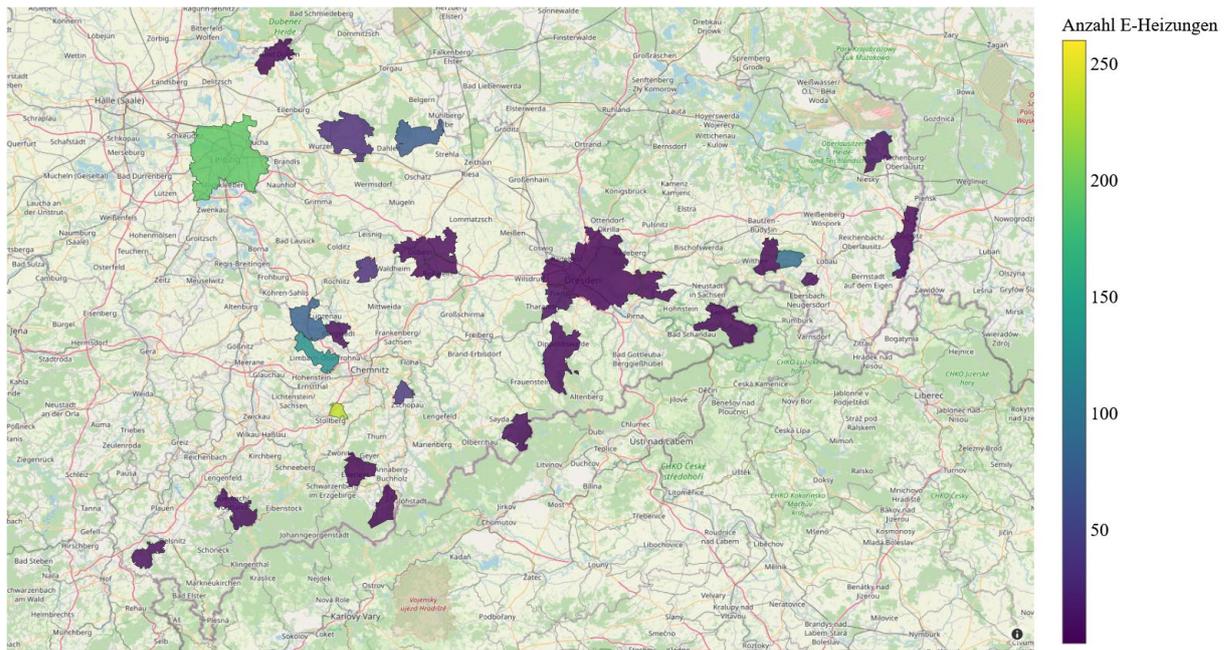


Abbildung 10-1: Geografische Verteilung der direkt elektrischen Heizungssysteme im Bestand der VSWG (Stand 2020) [6]

Tabelle 10-4: Wirkungsgradfaktoren DIN V 18599 - 5

	Heizkesseltyp	Baujahr	Faktor A	Faktor B
Standard-Heizkessel	Umstell- / Wechselbrandkessel	vor 1978	77	2
		1978 -1987	79	2
	Feststoffkessel (fossiler u. biogener Brennstoff)	vor 1978	78	2
		1978 -1994	80	2
		nach 1994	81	2
	Gas-Spezial-Heizkessel	vor 1978	79,5	2
		1978 -1994	82,5	2
		nach 1994	85	2
	Gebläsekessel (fossiler u. biogener Brennstoff)	vor 1978	80	2
		1978 -1986	82	2
1987 -1994		84	2	
nach 1994		85	2	
Pelletkessel <sup>b</sup> , System mit Pufferspeicher	nach 1994	92	0,5	
Hackschnitzelkessel, System mit Pufferspeicher	nach 1994	91,5	0,5	
Brennertausch (nur Gebläsekessel)	vor 1978	82,5	2	
	1978 -1994	84	2	

Niedertemperatur-Kessel	Gas-Spezial-Heizkessel	1978 -1994	85,5	1,5
		nach 1994	88,5	1,5
	Umlaufwasserheizer (11 kW, 18 kW und 24 kW)	vor 1987	84	1,5
		1987 - 1992	86	1,5
	Kombikessel KSp <sup>d</sup> (11 kW, 18 kW und 24 kW)	nach 1994	86	1,5
	Kombikessel DL <sup>c</sup> (11 kW, 18 kW und 24 kW)	nach 1994	86	1,5
	Gebläsekessel	vor 1987	84	1,5
1987 bis 1994		86	1,5	
nach 1994		88,5	1,5	
Brennertausch (nur Gebläsekessel)	vor 1987	86	1,5	
	1987 bis 1994	86	1,5	
Brennwertkessel	Brennwertkessel	vor 1987	89	1
		1987 bis 1994	91	1
		nach 1994	92	1
	Brennwertkessel, verbessert <sup>a</sup>	ab 1999	94	1
Pellet-Brennwertkessel, System mit Pufferspeicher <sup>e</sup>	nach 1994	100	1	
	a	Wenn zur Berechnung Standardwerte für "Brennwertkessel verbessert" eingesetzt werden, muss der Produktwert des eingebauten Heizkessels mindestens den oben angegebenen Wirkungsgrad aufweisen		
	b	Sofern zusätzlich zum Gebläsebrenner ein Abluftgebläse installiert ist, dann erhöhen sich die Werte Paux,x um 40 %.		
	c	DL: Heizkessel mit integrierter TWE nach dem Durchlaufprinzip mit Wärmeaustauscher (V<2l).		
	d	KSp: Heizkessel mit integrierter TWE nach dem Durchlaufprinzip mit Kleinspeicher (2<V<10l).		
	e	Anwendbar für Kessel bis 105 kW.		

Tabelle 10-5: Fragebogen an ausgewählte Wohnungsunternehmen der VSWG

<b>Standort</b>	PLZ - bitte als PLZ formatieren Gemeinde Adresse
<b>Gebäude</b>	Baujahr Gebäudetyp (EFH/ZFH/MFH) Freistehend (1) / Reihenhaus (2) Anzahl Etagen / Eingänge Anzahl Wohneinheiten  Modernisierung / Sanierung (Jahr) Gedämmt (1) oder ungedämmt (2) Dämmmaterial (optional) Dämmung in cm Fenster (Einfach-, Zweifach-, Dreifachverglasung) [Zahl]  Wohnfläche / beheizte Fläche in m <sup>2</sup> Leerstand in m <sup>2</sup>
<b>Anlage</b>	Art des Wärmeerzeugers: Heizkessel / HAST / Wärmepumpe Typ (Hersteller, Typenschild, Name) Energieträger (Fernwärme, Erdgas, Heizöl, etc.) Nennwärmeleistung in kW Baujahr Trinkwassererwärmung (kombiniert (1) / separat (2)) Weitere Anlagentechnik (Solarthermie, PV, Kamin, etc.)
<b>Verbrauch</b>	Thermischer Endenergieverbrauch (gesamt) in kWh Endenergieverbrauch: Raumheizung in kWh Endenergieverbrauch: Trinkwassererwärmung in kWh Energieausweis vorhanden (ja/nein) Art des Energieausweises: Bedarfs- (1) oder Verbrauchsausweis (2)
<b>Sonstiges</b>	Haben Sie sonstige Hinweise zum Gebäude?

Tabelle 10-6: Baualtersklassen nach [28]

Baualtersklasse	Zeitraum
A	vor 1859
B	1860 -1918
C	1919-1948
D	1949-1957
E	1958-1968
F	1969-1978
G	1979-1983
H	1984-1994
I	1995-2001

J	2002-2009
K	2010-2015
L	ab 2016

Tabelle 10-7: Absatzzahlen Wärmeerzeuger Quelle: BDH

Jahr	Insgesamt	Gas-NT	Gas-BW	Öl-NT	Öl-BW	Festbrennstoffkessel	Wärmepumpe	$f_{NT\ Gas}$	$f_{NT\ Öl}$
1978	630.500	250.000	0	373.000	0	7.000	500	1,0000	1,0000
1979	727.500	310.000	0	360.000	0	50.000	7.500	1,0000	1,0000
1980	704.000	290.000	0	290.000	0	98.000	26.000	1,0000	1,0000
1981	607.500	250.000	0	272.000	0	70.000	15.500	1,0000	1,0000
1982	550.000	243.000	0	257.000	0	40.000	10.000	1,0000	1,0000
1983	574.500	272.500	0	265.000	0	30.500	6.500	1,0000	1,0000
1984	564.500	294.000	0	241.000	0	25.000	4.500	1,0000	1,0000
1985	575.000	319.500	500	230.000	0	22.000	3.000	0,9984	1,0000
1986	573.500	311.000	1.000	243.500	0	16.000	2.000	0,9968	1,0000
1987	626.500	343.000	2.000	265.000	0	15.500	1.000	0,9942	1,0000
1988	646.500	367.000	3.000	263.000	0	13.000	500	0,9919	1,0000
1989	679.000	392.000	5.000	270.000	0	12.000	0	0,9874	1,0000
1990	803.000	470.000	8.000	306.500	0	18.500	0	0,9833	1,0000
1991	1.321.000	770.000	25.000	510.000	0	16.000	0	0,9686	1,0000
1992	1.076.000	665.000	30.000	370.000	0	11.000	0	0,9568	1,0000
1993	1.007.500	615.000	40.000	342.000	0	10.000	500	0,9389	1,0000
1994	1.057.500	655.000	50.000	342.000	0	10.000	500	0,9291	1,0000
1995	1.009.500	590.000	85.000	325.000	0	9.000	500	0,8741	1,0000
1996	1.024.500	560.000	120.000	334.000	0	10.000	500	0,8235	1,0000
1997	957.000	510.500	156.000	278.500	0	10.000	2.000	0,7659	1,0000
1998	920.000	464.500	181.500	258.500	0	7.500	8.000	0,7190	1,0000
1999	901.000	435.000	208.000	240.000	3.000	7.000	8.000	0,6765	0,9877
2000	854.000	385.000	229.500	218.000	4.500	7.500	9.500	0,6265	0,9798
2001	809.000	314.000	249.000	216.000	8.000	9.000	13.000	0,5577	0,9643
2002	751.500	271.500	256.500	188.000	11.000	12.000	12.500	0,5142	0,9447
2003	748.000	245.500	276.000	179.500	14.000	19.000	14.000	0,4708	0,9276
2004	794.000	239.000	307.500	187.000	16.500	28.000	16.000	0,4373	0,9189
2005	735.000	211.500	288.000	164.000	21.500	31.000	19.000	0,4234	0,8841
2006	762.000	152.000	350.000	118.000	39.000	54.000	49.000	0,3028	0,7516
2007	550.000	112.000	271.000	65.500	37.000	19.000	45.500	0,2924	0,6390

2008	618.500	106.000	308.500	47.000	58.000	36.500	62.500	0,2557	0,4476
2009	638.000	109.000	330.500	44.000	72.000	27.500	55.000	0,2480	0,3793
2010	612.500	110.000	336.000	37.500	59.000	19.000	51.000	0,2466	0,3886
2011	629.000	106.500	356.500	28.500	54.500	26.000	57.000	0,2300	0,3434
2012	650.500	107.500	384.000	23.500	47.000	29.000	59.500	0,2187	0,3333
2013	686.500	110.000	421.500	21.500	46.000	27.500	60.000	0,2070	0,3185
2014	681.000	107.000	412.500	21.000	46.500	36.000	58.000	0,2060	0,3111
2015	710.000	103.500	439.500	20.500	60.000	29.500	57.000	0,1906	0,2547
2016	693.500	71.000	456.500	4.000	67.000	28.500	66.500	0,1346	0,0563
2017	712.500	72.000	472.500	3.500	60.000	26.500	78.000	0,1322	0,0551
2018	722.500	67.500	486.000	3.500	59.000	23.000	83.500	0,1220	0,0560
2019	748.000	69.500	518.000	3.000	49.000	22.500	86.000	0,1183	0,0577
2020	842.000	70.000	553.500	2.500	42.000	54.000	120.000	0,1123	0,0562

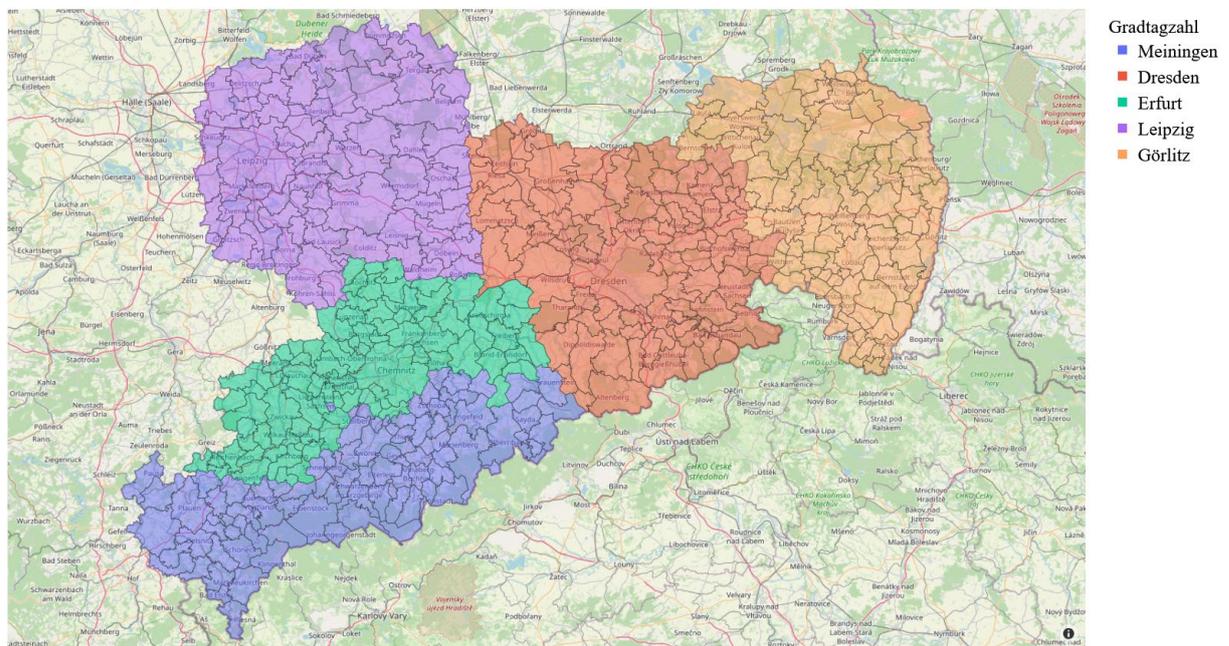


Abbildung 10-2: Wetterstation für Gemeinde nach Bekanntmachung des BMVBS 2007

Tabelle 10-8: verwendete Endenergiebedarf für Heizung und TWE für energetisch unsanierte Gebäude nach [28]

		EFH = SH	RH = TH	MFH	MFH (ost)	gMFH = AP	gMFH (ost)
A	vor 1859	245,3		243,5			
B	1860 -1918	242,5	217,3	202,1		181,8	
C	1919-1948	226,0	197,0	222,7		199,9	
D	1949-1957	243,3	214,4		190,5	198,3	
E	1958-1968	241,4	165,4		177,6	187,1	
F	1969-1978	215,4	186,1	189,7			163,2
G	1979-1983	182,0	186,6	174,2			155,8
H	1984-1994	194,7	156,5	177,8			147,7
I	1995-2001	145,8	113,8	124,5			
J	2002-2009	113,7	105,1	91,2			
K	2010-2015	94,5	82,2	90,4			
L	ab 2016	82,1	71,1	62,1			

Tabelle 10-9: verwendete Endenergieverbrauch für Heizung und TWE für energetisch konventionell sanierte Gebäude nach [23]

		EFH = SH	RH = TH	MFH	MFH (ost)	gMFH = AP	gMFH (ost)
A	vor 1859	128,2		131,7			
B	1860 -1918	131,1	128,1	113,9		105,5	
C	1919-1948	118,7	105,1	115,9		104,4	
D	1949-1957	146,9	116,6		100,3	103,4	
E	1958-1968	152,8	96,7		99,5	98,7	
F	1969-1978	125,5	108,3	107,4			91,3
G	1979-1983	109,8	121,6	102,8			90,4
H	1984-1994	129,6	106,7	106			89
I	1995-2001	110,5	81,5	85,5			
J	2002-2009						
K	2010-2015						
L	ab 2016						