

# **Fortschreibung Emissionskataster Hessen Emittentengruppe „nicht genehmigungsbedürftige Feuerungsanlagen (Gebäudeheizung)“**

**Datengrundlage / Bezugsjahr 2018**

**Schlussbericht**

# **Fortschreibung Emissionskataster Hessen Emittentengruppe „nicht genehmigungsbedürftige Feuerungsanlagen (Gebäudeheizung)“**

**Datengrundlage / Bezugsjahr 2018**

**Schlussbericht**

(hlnug0120)

**Bearbeitung:  
AVISO GmbH**

Christiane Schneider  
Nicola Toenges-Schuller  
Erric Gallus

**Aachen, August 2020**

**Im Auftrag des Hessisches Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie**

**AVISO GmbH**  
Am Hasselholz 15  
52074 Aachen  
Fon: +49 (0) 241 / 470358-0  
Fax: +49 (0) 241 / 470358-9

E-Mail: [info@avisogmbh.de](mailto:info@avisogmbh.de)  
<http://www.avisogmbh.de>



## Inhaltsverzeichnis

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1   | Aufgabenstellung .....   | 6  |
| 2   | Methodik .....   | 7  |
| 3   | Schornstefegerdaten Hessen 2018 .....                                | 9  |
| 4   | Endenergieeinsatz Hessen 2018 auf Basis der Schornstefegerdaten..... | 14 |
| 5   | Heizwärmeverbrauch pro Gemeinde .....                                | 19 |
| 5.1 | Spezifische Heizwärmebedarf-/verbrauchswerte.....                    | 19 |
| 5.2 | Wohngebäude und Wohnflächen pro Gemeinde 2018 .....                  | 20 |
| 5.3 | Ermittlung des Heizwärmeverbrauchs .....                             | 21 |
| 5.4 | Anteile kamingebundener Energieträger pro Gemeinde .....             | 24 |
| 6   | Endenergieeinsatz und Emissionen pro Gemeinde .....                  | 32 |
| 6.1 | Endenergieeinsatz pro Gemeinde .....                                 | 32 |
| 6.2 | Emissionen pro Gemeinde .....  | 34 |
| 6.3 | Emissionen im 1 km x 1 km-Raster .....                               | 41 |
| 7   | Zusammenfassung.....   | 45 |
|     | Literaturverzeichnis .....   | 46 |

## Abbildungsverzeichnis

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Bild 3.1: | Verteilung der installierten nicht genehmigungsbedürftigen Kleinf Feuerungsanlagen Hessen 2018 nach Anlagenart und Brennstoff /LIV HE 2020/.....   | 9  |
| Bild 3.2: | Verteilung der installierten nicht genehmigungsbedürftigen Kleinf Feuerungsanlagen Hessen 2018 /LIV HE 2020/ und Deutschland 2018 /ZIV 2020/ nach Anlagenart und Brennstoff .....                          | 10 |
| Bild 3.3: | Verteilung der installierten nicht genehmigungsbedürftigen Kleinf Feuerungsanlagen Hessen 2018 nach Leistungsklassen /LIV HE 2020/ .....   | 12 |
| Bild 3.4: | Verteilung der Zentralheizungen für Festbrennstoffe nach eingesetztem Brennstoff /LIV HE 2020/.....  | 12 |
| Bild 3.5: | Verteilung der Einzelraumfeuerstätten für Festbrennstoffe nach Anlagenart /LIV HE 2020/ .....  | 13 |
| Bild 4.1: | Anteil der Energieträger Gas, Öl und Festbrennstoffe an der Anzahl der installierten Kleinf Feuerungsanlagen, der installierten Leistung und dem daraus ermittelten Endenergieeinsatz in Hessen 2018 ..... | 17 |
| Bild 5.1: | Wohnfläche pro Gemeinde in m <sup>2</sup> , 2018, Datenquelle: /STATISTIK HE 2019/.....  | 22 |
| Bild 5.2: | mittlerer Klimafaktor pro Gemeinde 2018, Datenquelle: /DWD 2020/ und eigene Berechnungen.....  | 23 |
| Bild 5.3: | Endenergieeinsatz in kamingebundenen Kleinf Feuerungsanlagen in Hessen 2018, auf Basis der Schornsteinfegerdaten, ermittelt über Gebäudedaten und aus der (vorläufigen) Energiebilanz Hessen 2018.....     | 24 |
| Bild 5.4: | Karte der Netzbetreiber Gas; Versorgungsgebiete der Verteilnetzbetreiber, Stand Januar 2020 /ENET GMBH 2020/ .....   | 26 |
| Bild 5.5: | Waldfläche pro Gemeinde /CLC 2020/ .....   | 27 |
| Bild 5.6: | Verteilparameter Gas, Anteil des Endenergieeinsatzes pro Gemeinde am gesamten Endenergieeinsatz Gas für Hessen.....  | 29 |
| Bild 5.7: | Verteilparameter Öl, Anteil des Endenergieeinsatzes pro Gemeinde am gesamten Endenergieeinsatz Öl für Hessen .....   | 30 |
| Bild 5.8: | Verteilparameter Holz, Anteil des Endenergieeinsatzes pro Gemeinde am gesamten Endenergieeinsatz Holz für Hessen.....  | 31 |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Bild 6.1: | Endenergieeinsatz kamingebundener Energieträger (Gas, Öl, Festbrennstoffe) der nicht genehmigungsbedürftigen Kleinf Feuerungsanlagen pro Gemeinde in Hessen 2018.....  | 33 |
| Bild 6.2: | Endenergieeinsatz der kamingebundenen Energieträger (Gas, Öl, Festbrennstoffe), NO <sub>x</sub> - und PM10-Emissionen in Hessen, Analysejahr 2018.....   | 36 |
| Bild 6.3: | CO <sub>2</sub> -Emissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen in Hessen, 2018 .....  | 38 |
| Bild 6.4: | NO <sub>x</sub> -Emissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen in Hessen, 2018 .....  | 39 |
| Bild 6.5: | PM10-Emissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen in Hessen, 2018.....   | 40 |
| Bild 6.6: | NO <sub>x</sub> -Emissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen in Hessen, im 1 km x 1 km-Raster, 2018.....  | 42 |
| Bild 6.7: | PM10-Emissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen in Hessen, im 1 km x 1 km-Raster, 2018.....  | 43 |
| Bild 6.8: | NO <sub>x</sub> -Emissionen (rechtslinks?) und PM10-Emissionen (linksrechts?) aus Kleinf Feuerungsanlagen in zwei Regionen in Hessen (oben: städtische Region Frankfurt/Wiesbaden, unten: ländliche Region Marburg/Bad-Hersfeld), im 1 km x 1 km-Raster, 2018..... | 44 |

## Tabellenverzeichnis

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Tab. 3.1: | Anzahl installierter Kleinfeuerungsanlagen in Hessen 2018 (ZH = Zentralheizung, EFR = Einzelraumfeuerung), Datenquelle: /LIV 2020/ .....   | 11 |
| Tab. 4.1: | Mittlere Nennwärmeleistung und jährliche Volllaststunden für Kleinfeuerungsanlagen nach /Ökopol 2016/ und eigene Berechnungen, Teilssektor private Haushalte .....   | 15 |
| Tab. 4.2: | Mittlere Nennwärmeleistung und jährliche Volllaststunden für Kleinfeuerungsanlagen nach /Ökopol 2016/ und eigene Berechnungen, Teilssektor GDH.....  | 16 |
| Tab. 4.3: | Anzahl installierter Kleinfeuerungsanlagen in Hessen, installierte Leistung, und daraus ermittelter Endenergieeinsatz 2018 (ZH = Zentralheizung, EFR = Einzelraumfeuerung) .....   | 17 |
| Tab. 4.4: | Gegenüberstellung der auf Basis der Schornstiefegerdaten ermittelten Endenergieeinsätze zur (vorläufigen) Energiebilanz Hessen 2018 /HLNUG 2020c/ .....  | 18 |
| Tab. 5.1: | Spezifische Endenergieverbrauchswerte für Raumwärme und Warmwasser in kWh/(m <sup>2</sup> *a) /DENA 2016/, bezogen auf die Wohnfläche, klimabereinigt.....   | 20 |
| Tab. 5.2: | Anteil der Anzahl von Wohnungen mit überwiegender Art der Beheizung für die kamingebundenen Energieträger Gas und Öl differenziert für 10 Regionen und für Holz differenziert nach Regierungsbezirken, Datenquelle: /STATISTIK D 2020, STATISTIK HE 2020b/ ..... | 25 |
| Tab. 6.1: | Endenergieeinsatz in nicht genehmigungsbedürftigen Kleinfeuerungsanlagen (kamingebundene Energieträger) Hessen 2018, ermittelt auf Basis von Schornstiefegerdaten .....  | 32 |
| Tab. 6.2: | Emissionsfaktoren für nicht genehmigungsbedürftige Kleinfeuerungsanlagen, Analysejahr 2018 .....   | 35 |
| Tab. 6.3: | Emissionen nicht genehmigungsbedürftige Kleinfeuerungsanlagen in Hessen, Analysejahr 2018 und Vergleich zu 2012 .....  | 37 |
| Tab. 7.1: | Emissionen nicht genehmigungsbedürftige Kleinfeuerungsanlagen in Hessen, Analysejahr 2018 .....  | 45 |

# 1 Aufgabenstellung

Die landesweite Ermittlung heizungsbedingter Emissionen dient der Feststellung von Luftverunreinigungen, die schädliche Umweltwirkungen hervorrufen können. Die Ermittlung der Emissionen wird in regelmäßigen Abständen aktualisiert. Die letzte Erhebung liegt für Hessen für das Jahr 2012 vor, die aktuelle Erhebung wird für das Analysejahr 2018 durchgeführt.

Betrachtet werden hierbei die emissionsrelevanten Anlagen der privaten und öffentlichen Haushalte (Heizungsanlagen, Anlagen zur Warmwasserbereitung) und nicht genehmigungsbedürftigen Feuerungsanlagen im gewerblichen Bereich (Anlagen zur Gebäudebeheizung und zur Gewinnung von Prozesswärme).

Eine wesentliche Datengrundlage stellen hierbei die Daten der Erhebung 2018 durch das Schornsteinfegerhandwerk dar, die summiert für Hessen vom Landesinnungsverband (LIV) zur Verfügung gestellt wurden.

Um die Emissionen dieser Emittentengruppe zu berechnen, ist es erforderlich, den Endenergieeinsatz für Gebäudeheizung, Warmwasser und Prozesswärme für die Bereiche private Haushalte und sonstige Kleinverbraucher möglichst differenziert zu ermitteln. Durch multiplikative Verknüpfung des Endenergieeinsatzes mit geeigneten Emissionsfaktoren werden letztendlich die Emissionen berechnet.

Es wurden hierzu die folgenden Arbeiten durchgeführt.

1. Aufbereitung der Schornsteinfegerdaten Hessen 2018, differenziert nach Anlagenart, Energieträger, Leistungsklasse und Alter (Kap. 3)
2. Ermittlung des Endenergieeinsatzes in Kleinfeuerungsanlagen auf Basis der Schornsteinfegerdaten für Hessen gesamt (Kap. 4)
3. Berechnung des Heizwärmebedarfs pro Gemeinde auf Basis von spezifischen Wärmebedarfs-/verbrauchswerten und Angaben zu beheizten (Wohn-)Flächen pro Gemeinde zur Ableitung der räumlichen Verteilstruktur des Endenergieeinsatzes (Kap. 5)
4. Berechnung des Endenergieeinsatzes und der Emissionen der Kleinfeuerungsanlagen in Hessen pro Gemeinde, Bezugsjahr 2018 (Kap. 6)

## 2 Methodik

Im Emissionskataster nicht genehmigungsbedürftiger Kleinf Feuerungsanlagen Hessen 2018 werden alle nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen, die der 1. BImSchV unterliegen, erfasst. Zur Bestimmung der Emissionen dieser Quellgruppe wird zunächst der Endenergieeinsatz der verschiedenen kamingebundenen Energieträger (Gas, Öl, Kohle, Holz) bestimmt.

### Endenergieeinsatz – Heizwärmebedarf

Im vorliegenden Bericht wird an einigen Stellen der Ausdruck „Endenergieeinsatz“, an anderen Stellen der Ausdruck „Heizwärmebedarf“ verwendet. Dies folgt aus der jeweiligen Betrachtungsrichtung:

- Der Heizwärmebedarf bezeichnet die Energiemenge, die zum Heizen einer Wohnung oder eines Hauses bei mittleren klimatischen Bedingungen und mittlerem Heizverhalten erforderlich ist. Welcher Energieträger zum Heizen verwendet wird, ist dabei unerheblich.
- Der Endenergieeinsatz bezeichnet die zur Deckung des Heizwärmebedarfs erforderliche Endenergie. Für die kamingebundenen Energieträger entspricht dies der im Brennstoff enthaltenen Energie, die in der Feuerungsanlage freigesetzt wird. Dies ist die zur Berechnung der Emissionen relevante Größe.
- Die Summe aller Endenergieeinsätze in einem Gebiet (kamingebunden und nicht-kamingebunden) entspricht dem Heizwärmebedarf in diesem Gebiet.

### Bestimmung des Endenergieeinsatzes in Kleinf Feuerungsanlagen

Die Berechnung der Emissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen basiert im Wesentlichen auf Daten zum Endenergieeinsatz, differenziert nach Brennstoffen. Dieser kann nach unterschiedlichen Ansätzen bestimmt werden. Es werden dabei zwei methodische Herangehensweisen unterschieden, die „top-down“-Methode und die „bottom-up“-Methode.

Ausgangspunkt für eine „**top-down**“-Betrachtung ist z.B. die Energiebilanz eines Landes. Dabei werden für alle Primärenergieträger (Gas, Öl, Kohle, Kernenergie, erneuerbare Energien) die Förderung im Land sowie die Exporte und Importe betrachtet. Die Salden werden aufgeteilt in einen nicht-energetisch genutzten Anteil (z. B. von der chemischen Industrie), den im Energiesektor selbst verbrauchten Anteil sowie den Endenergieverbrauch. Letzterer wird weiter aufgeteilt auf verschiedene Verbrauchergruppen (Haushalte, Gewerbe, Industrie, Verkehr, ...) und für Haushalte weiter differenziert in Stromverbrauch und Wärmeeinsatz. Nach diesem Ansatz wird die Energiebilanz Hessen erstellt.

Leitungsgebundene Energieträger wie Strom oder Gas können genau erfasst werden. Für Flüssiggas, Öl oder Festbrennstoffe sind die Unsicherheiten höher. Zur Erstellung eines räumlich differenzierten Katasters muss für jeden Energieträger die landesweite ermittelte Summe anhand geeigneter Parameter räumlich verteilt werden. Dies führt zu Unschärfen bei der Ermittlung des Endenergieeinsatzes für kleinräumige Betrachtungen.

Bei einer „**bottom-up**“-**Betrachtung** ist das Vorgehen genau umgekehrt. Ausgangspunkt ist hier der Wärmebedarf einzelner Haushalte (Basis: Gebäudeeigenschaften) bzw. der Endenergieeinsatz in einzelnen Feuerungsanlagen (Basis: Schornsteinfegerdaten). Typischerweise liegen entsprechende Daten z.B. auf Gemeindeebene vor.

Wird der Wärmebedarf über Gebäudeeigenschaften ermittelt, werden Informationen zu Wohnfläche, Gebäudetyp und -alter benötigt. Unter Benutzung spezifischer Heizwärmebedarfswerte bezogen auf die Wohnfläche kann dann der Heizwärmebedarf in Wohnungen bestimmt werden. Zusätzlich muss der Anteil des Sektors GHD (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen) am Wärmebedarf abgeschätzt werden.

Schornsteinfegerdaten können Informationen zur Anzahl der Feuerungsanlagen sowie zu Leistungsklasse oder Nennwärmeleistung, Anlagenart und dem eingesetzten Brennstoff enthalten. Wenn flächendeckend Schornsteinfegerdaten vorliegen, kann daraus unter Benutzung von Informationen zu den jährlichen Volllaststunden der Endenergieeinsatz in allen nicht genehmigungsbedürftigen Feuerungsanlagen, differenziert nach Brennstoffen, bestimmt werden.

Je mehr Informationen auf lokaler Ebene vorhanden sind, desto genauer ist die Methode.

### **Gewählte Methodik für Hessen**

Für das Emissionskataster Kleinfeuerungsanlagen Hessen 2018 wird der Endenergieeinsatz kamingebundener Energieträger auf Basis der Schornsteinfegerdaten bestimmt. Diese Daten enthalten Angaben zu den installierten Anlagen pro Energieträger und Leistungsklasse. Da die Daten für Hessen summiert vorliegen, entspricht dieses Vorgehen einer Mischung aus „top-down“ und „bottom-up“.

Unabhängig von den Schornsteinfegerdaten wird der Heizwärmebedarf Hessen zusätzlich „bottom-up“ mittels Daten zur Gebäudestatistik und charakteristischen Wärmebedarfswerten bestimmt. Die Summe dieser Abschätzung für Hessen wird zum einen ebenso wie der Endenergieeinsatz kamingebundener Energieträger nach der Energiebilanz Hessen 2018 als Vergleichswert zu dem aus den Schornsteinfegerdaten ermittelten Endenergieeinsatz herangezogen. Zum anderen dient der pro Gemeinde ermittelte Heizwärmebedarf zur Ableitung der räumlichen Verteilung des aus den Schornsteinfegerdaten für Hessen gesamt ermittelten Endenergieeinsatzes. Wo vorhanden, werden zur räumlichen Verteilung zusätzliche regionale Informationen verwendet, insbesondere die Aufteilung des Endenergieeinsatzes nach Energieträgern betreffend.

Im Ergebnis liegen die Endenergieeinsätze der kamingebundenen Energieträger Gas, Öl und Festbrennstoffe (Holz, Kohle) auf Gemeindeebene vor. Durch Multiplizieren des Endenergieeinsatzes mit den entsprechenden Emissionsfaktoren werden die Emissionen der bei der Verbrennung entstehenden Luftschadstoffe berechnet. Die Emissionen werden für Hessen auf Gemeindeebene und im 1 km x 1 km - Raster ausgewiesen.

### 3 Schornsteinfegerdaten Hessen 2018

Die folgenden Daten liegen aus der Schornsteinfegererhebung 2018 summiert für Hessen vor /LIV HE 2020/:

- Anzahl, Alter und Anlagenart von Öl-, Gas- und Festbrennstofffeuerungsanlagen
- CO-Messungen an Gasfeuerungen
- Messungen nach der 1. BImSchV an Öl- und Gasfeuerungsanlagen
- Emissionsmessungen an Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe
- Anzahl der Einzelraumfeuerungsanlagen
- Mängel an Feuerungsanlagen
- Mängel an Lüftungsanlagen.

Die Schornsteinfegerdaten geben Auskunft über alle der 1.BImSchV unterliegenden (kamingebundenen) Feuerungsanlagen. Aus den Daten wurde die Aufteilung der Feuerungsanlagen nach Einzelraumfeuerstätten und Zentralheizungen und die Anlagenstruktur nach Anlagenart, eingesetzten Energieträgern, Leistungsklassen und Alter ermittelt.

Die Aufteilung der Anzahl der nicht genehmigungsbedürftigen Feuerungsanlagen nach Energieträger und Anlagenart zeigt Bild 3.1. Insgesamt sind knapp 2,5 Mio. Anlagen erfasst, davon sind 21% Ölfeuerungen, 46% Gasfeuerungen und 33% Festbrennstofffeuerungen.

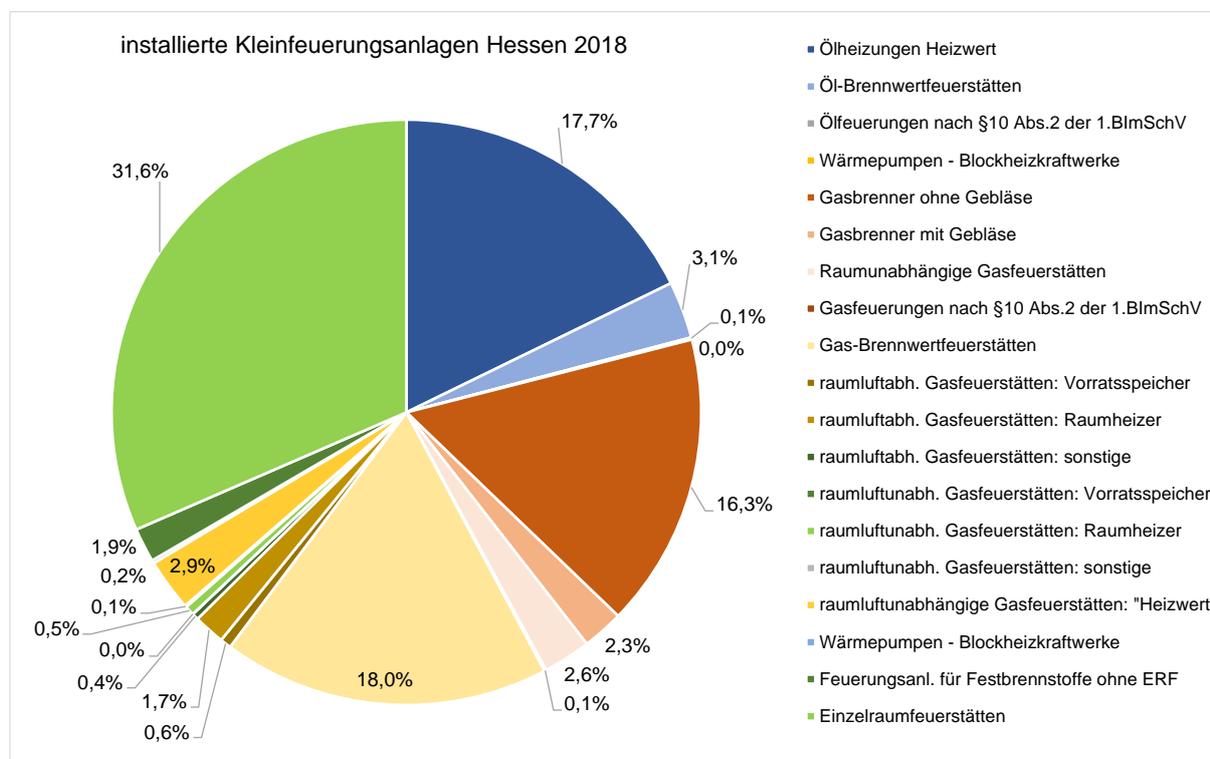
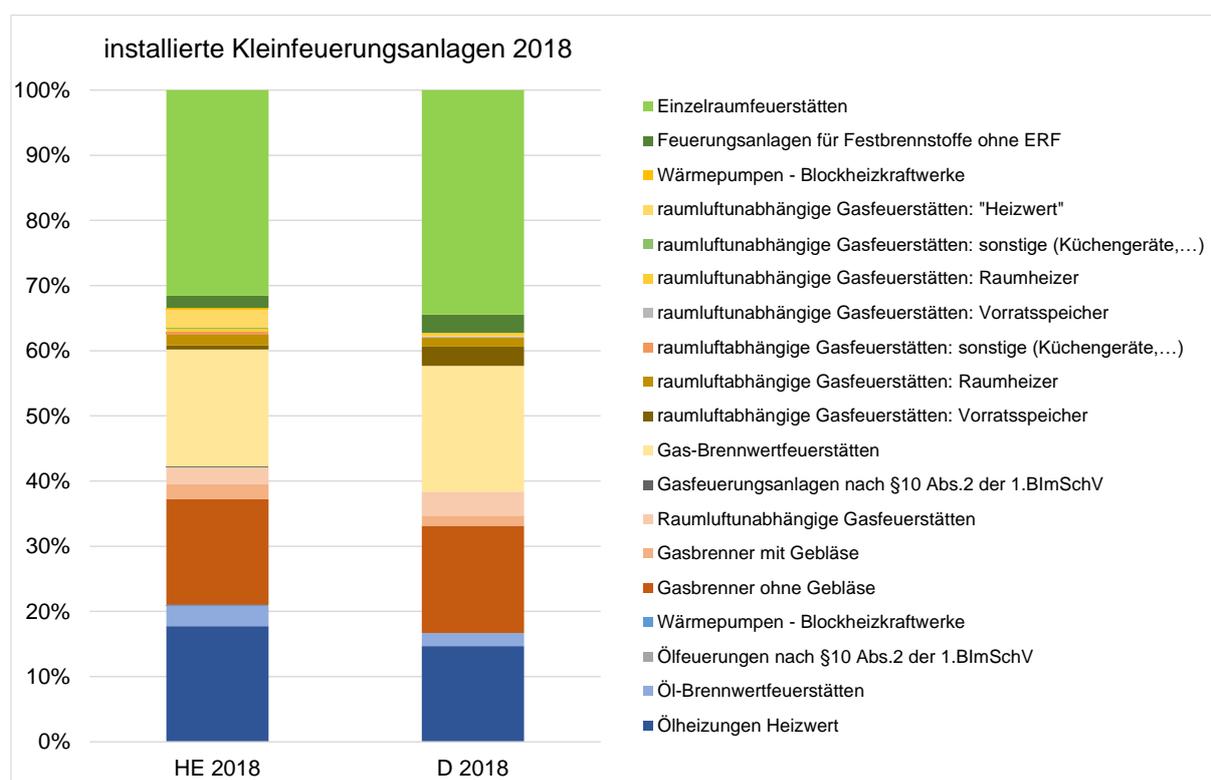


Bild 3.1: Verteilung der installierten nicht genehmigungsbedürftigen Kleinf Feuerungsanlagen Hessen 2018 nach Anlagenart und Brennstoff /LIV HE 2020/

Vom Zentralinnungsverband der Schornsteinfeger liegen aus /ZIV 2020/ entsprechende Daten zu den nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen für Deutschland vor (Bild 3.2). Es zeigt sich eine recht ähnliche Anlagenstruktur für Deutschland 2018 wie für Hessen 2018. In Hessen liegt der Anteil der Ölfeuerungen etwas höher als in Deutschland und der Anteil der Festbrennstofffeuerungen etwas niedriger.



*Bild 3.2: Verteilung der installierten nicht genehmigungsbedürftigen Kleinfeuerungsanlagen Hessen 2018 /LIV HE 2020/ und Deutschland 2018 /ZIV 2020/ nach Anlagenart und Brennstoff*

Die in Hessen im Erhebungsjahr 2018 installierten nicht genehmigungsbedürftigen Kleinfeuerungsanlagen sind in Tab. 3.1 differenziert nach Brennstoff, Anlagenart und zusätzlich nach Leistungsklasse ausgewiesen. Es werden dabei drei Leistungsklassen unterschieden. Wie auch in Bild 3.3 dargestellt, zeigt sich, dass bei den Gasfeuerungen und den Einzelraumfeuerstätten (ERF) für Festbrennstoffe die meisten Anlagen in der untersten Leistungsklasse 4-25 kW bzw. 4-30 kW vorhanden sind. Zentralheizungen (ZH) für Festbrennstoffe haben nur einen geringen Anteil, auch dort überwiegt die Leistungsklasse 4-30 kW. Nur bei den Ölfeuerungen ist ein etwas höherer Anteil auch in der mittleren Leistungsklasse 25-50 kW vorhanden.

Tab. 3.1: Anzahl installierter Kleinf Feuerungsanlagen in Hessen 2018 (ZH = Zentralheizung, EFR = Einzelraumfeuerung), Datenquelle: /LIV 2020/

|                  |   |  | Leistungs-<br>klasse | Anzahl<br>2018   | Anteil an<br>Anzahl<br>Eträger | Anteil an Anzahl<br>gesamt |              |
|------------------|---|--|----------------------|------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------|
| <b>Gas</b>       | ZH  | Gasbrenner ohne Gebläse                                | 4 - 25               | 327.581          | 29,0%                          | 13,2%                      | <b>16,2%</b> |
|                  |   |  | >25 - 50             | 58.700           | 5,2%                           | 2,4%                       |              |
|                  |   |  | >50                  | 16.448           | 1,5%                           | 0,7%                       |              |
|                  | ZH  | Gasbrenner mit Gebläse                                 | 4 - 25               | 14.243           | 1,3%                           | 0,6%                       | <b>2,3%</b>  |
|                  |   |  | >25 - 50             | 19.937           | 1,8%                           | 0,8%                       |              |
|                  |   |  | >50                  | 22.118           | 2,0%                           | 0,9%                       |              |
|                  | ZH  | Raumluftunabhängige Gasfeuerstätte                     | 4 - 25               | 61.192           | 5,4%                           | 2,5%                       | <b>2,6%</b>  |
|                  |   |  | >25 - 50             | 2.980            | 0,3%                           | 0,1%                       |              |
|                  |   |  | >50                  | 963              | 0,1%                           | 0,0%                       |              |
|                  | ZH  | Gasfeuerungsanlagen nach § 10 Abs. 2 der 1. BImSchV    | 4 - 25               | 342              | 0,0%                           | 0,0%                       | <b>0,1%</b>  |
|                  |   |  | >25 - 50             | 481              | 0,0%                           | 0,0%                       |              |
|                  |   |  | >50                  | 1.543            | 0,1%                           | 0,1%                       |              |
|                  | ZH  | Brennwert  | 4 - 25               | 373.023          | 33,0%                          | 15,1%                      | <b>18,0%</b> |
|                  |   |  | >25 - 50             | 39.336           | 3,5%                           | 1,6%                       |              |
|                  |   |  | >50                  | 32.583           | 2,9%                           | 1,3%                       |              |
| ZH               | raumluftunabhängige Gasfeuerstätte : "Heizwert" | 4 - 25   | 71.235               | 6,3%             | 2,9%                           | <b>2,9%</b>                |              |
|                  |   | >25 - 50   | 0                    | 0,0%             | 0,0%                           |                            |              |
|                  |   | >50  | 0                    | 0,0%             | 0,0%                           |                            |              |
| ZH               | Raumheizer, Vorratswasserheizer, sonstige       | 4 - 25   | 82.442               | 7,3%             | 3,3%                           | <b>3,3%</b>                |              |
|                  |   | >25 - 50   | 0                    | 0,0%             | 0,0%                           |                            |              |
|                  |   | >50  | 0                    | 0,0%             | 0,0%                           |                            |              |
| ZH               | Wärmepumpen, Blockheizkraftwerke                | 4 - 25   | 2.550                | 0,2%             | 0,1%                           | <b>0,2%</b>                |              |
|                  |   | >25 - 50   | 561                  | 0,0%             | 0,0%                           |                            |              |
|                  |   | >50  | 1.121                | 0,1%             | 0,0%                           |                            |              |
| <b>1.129.379</b> |   |  |                      |                  |                                |                            |              |
| <b>Öl</b>        | ZH  | Heizöl-Verdampfungsbrenner ohne Brennwert              | 4 - 25               | 1.595            | 0,3%                           | 0,1%                       | <b>0,1%</b>  |
|                  |   |  | >25 - 50             | 419              | 0,1%                           | 0,0%                       |              |
|                  |   |  | >50                  | 0                | 0,0%                           | 0,0%                       |              |
|                  | ZH  | Heizöl-Zerstäubungsbrenner ohne Brennwert              | 4 - 25               | 206.586          | 39,7%                          | 8,3%                       | <b>17,6%</b> |
|                  |   |  | >25 - 50             | 202.450          | 38,9%                          | 8,2%                       |              |
|                  |   |  | >50                  | 28.276           | 5,4%                           | 1,1%                       |              |
|                  | ZH  | Öl-Brennwertfeuerstätten                               | 4 - 25               | 70.812           | 13,6%                          | 2,9%                       | <b>3,1%</b>  |
|                  |   |  | >25 - 50             | 5.323            | 1,0%                           | 0,2%                       |              |
|                  |   |  | >50                  | 1.858            | 0,4%                           | 0,1%                       |              |
|                  | ZH  | Ölfeuerungsanlagen nach § 10 Abs. 2 der 1. BImSchV     | 4 - 25               | 430              | 0,1%                           | 0,0%                       | <b>0,1%</b>  |
|                  |   |  | >25 - 50             | 593              | 0,1%                           | 0,0%                       |              |
|                  |   |  | >50                  | 1.202            | 0,2%                           | 0,0%                       |              |
|                  | ZH  | Wärmepumpen bis Blockheizkraftwerke                    | 4 - 25               | 281              | 0,1%                           | 0,0%                       | <b>0,0%</b>  |
|                  |   |  | >25 - 50             | 37               | 0,0%                           | 0,0%                       |              |
|                  |   |  | >50                  | 420              | 0,1%                           | 0,0%                       |              |
| <b>520.282</b>   |   |  |                      |                  |                                |                            |              |
| <b>Holz</b>      | ZH  | Feuerungsanl. für feste Brennst. (mech. u. handbesch.) | < 4                  | 103              | 0,0%                           | 0,0%                       | <b>1,1%</b>  |
|                  |   |  | 4 - 30               | 20.971           | 2,5%                           | 0,8%                       |              |
|                  |   |  | 30 - 50              | 4.538            | 0,5%                           | 0,2%                       |              |
|                  |   |  | > 50                 | 1.536            | 0,2%                           | 0,1%                       |              |
| <b>Pellets</b>   | ZH  | Feuerungsanl. für feste Brennst. (mech. u. handbesch.) | < 4                  | 39               | 0,0%                           | 0,0%                       | <b>0,8%</b>  |
|                  |   |  | 4 - 30               | 16.587           | 2,0%                           | 0,7%                       |              |
|                  |   |  | 30 - 50              | 1.445            | 0,2%                           | 0,1%                       |              |
|                  |   |  | > 50                 | 1.184            | 0,1%                           | 0,0%                       |              |
| <b>Kohle</b>     | ZH  | Feuerungsanl. für feste Brennst. (mech. u. handbesch.) | < 4                  | 3                | 0,0%                           | 0,0%                       | <b>0,01%</b> |
|                  |   |  | 4 - 30               | 250              | 0,0%                           | 0,0%                       |              |
|                  |   |  | 30 - 50              | 60               | 0,0%                           | 0,0%                       |              |
|                  |   |  | > 50                 | 13               | 0,0%                           | 0,0%                       |              |
| <b>Festbr.</b>   | ERF   | Feuerungsanl. für feste Brennstoffe (Einzelraumf.)     | < 4                  | 34.247           | 4,1%                           | 1,4%                       | <b>31,6%</b> |
|                  |   |  | 4 - 30               | 747.738          | 90,2%                          | 30,2%                      |              |
|                  |   |  | 30 - 50              | 0                | 0,0%                           | 0,0%                       |              |
|                  |   |  | > 50                 | 0                | 0,0%                           | 0,0%                       |              |
| <b>828.714</b>   |   |  |                      |                  |                                |                            |              |
| <b>Summe</b>     |   |  |                      | <b>2.478.375</b> |                                |                            |              |

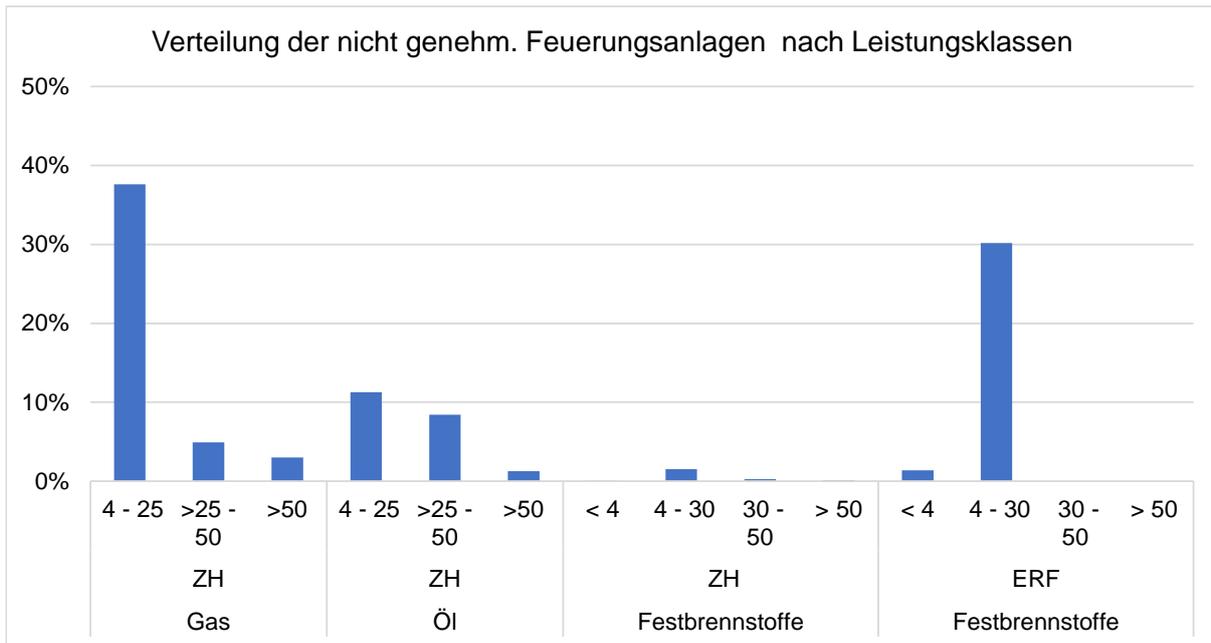


Bild 3.3: Verteilung der installierten nicht genehmigungsbedürftigen Kleinf Feuerungsanlagen Hessen 2018 nach Leistungsklassen /LIV HE 2020/

Bei den Festbrennstofffeuerungen wird nach Zentralheizungen (ZH) und Einzelraumfeuerstätten (ERF) unterschieden. Für die Zentralheizungen liegen außerdem noch Informationen zu der Verteilung auf die eingesetzten Brennstoffe vor (Bild 3.4). Kohle wird nur zu einem sehr geringen Anteil in diesen Anlagen verbrannt (1%). Überwiegend werden naturbelassenes Holz (58%) und Holzbriketts und Pellets (41%) verwendet.

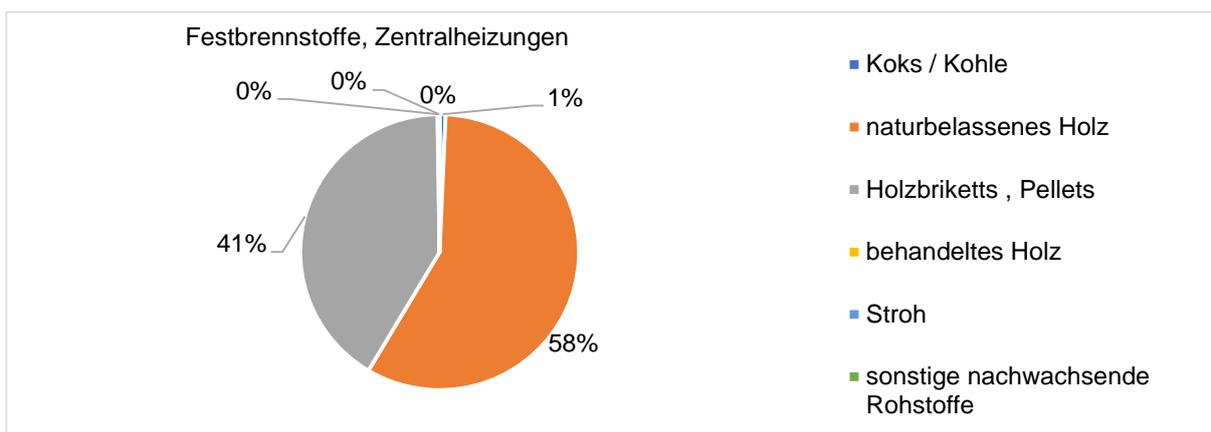


Bild 3.4: Verteilung der Zentralheizungen für Festbrennstoffe nach eingesetztem Brennstoff /LIV HE 2020/

Für die Einzelraumfeuerstätten wird in den Schornsteinfegerdaten keine Differenzierung nach Brennstoffen ausgewiesen, dafür liegen aber Informationen zu den unterschiedlichen

Anlagenarten vor (Bild 3.5). Bei 47% der Einzelraumfeuerstätten handelt es sich um Kaminöfen, den zweitgrößten Anteil haben mit 17% die Kamineinsätze (geschlossen) und Kachelofeneinsätze. Im Bereich von 8% bis 10% liegen die Raumheizer nach DIN EN 13240, Herde und Heizungsherde, offene Kamine und sonstige nicht weiter spezifizierte Feuerstätten.

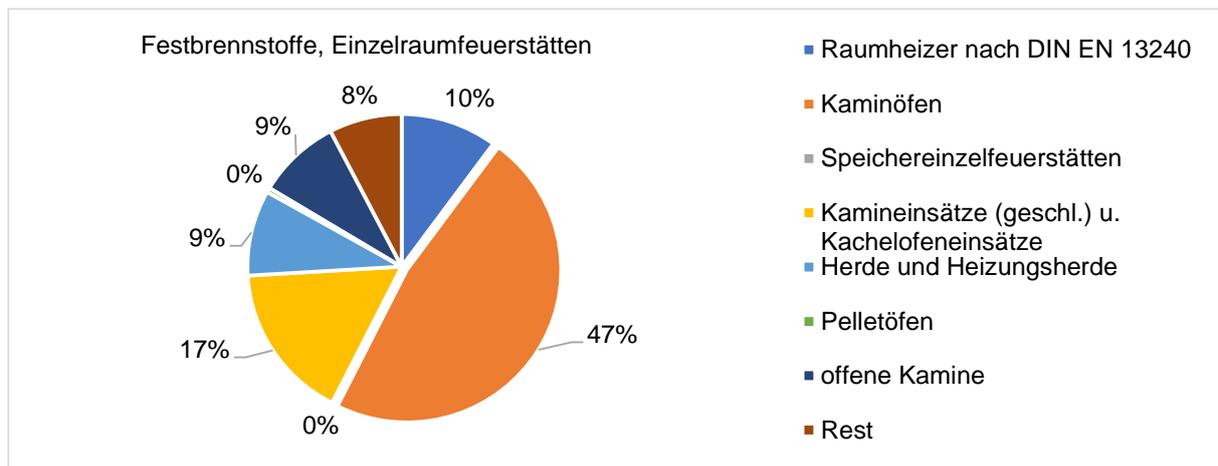


Bild 3.5: Verteilung der Einzelraumfeuerstätten für Festbrennstoffe nach Anlagenart /LIV HE 2020/

## 4 Endenergieeinsatz Hessen 2018 auf Basis der Schornsteinfegerdaten

Zur Berechnung des Endenergieeinsatzes in Kleinfeuerungsanlagen sind neben den Schornsteinfegerdaten zur Anlagenstruktur (Kap. 3) weitere Daten erforderlich. Es werden Angaben zur typischen mittleren Nennwärmeleistung und typischen Volllaststunden differenziert nach Energieträger, Anlagenart und Leistungsklasse benötigt. Diese Daten werden der Literatur entnommen. Eine wesentliche Datenbasis stellt dabei /STRUSCHKA 2008/ dar, die in /ÖKOPOL 2016/ auf die Jahre 2010 und 2015 aktualisiert und bis 2030 fortgeschrieben wurde.

Die Volllaststunden geben die Betriebsdauer der Feuerungsanlage pro Jahr bei Nennwärmeleistung wieder. Dabei werden Teillast- und Volllaststunden gemäß ihrer anteiligen Wärmeleistung berücksichtigt.

Die mittlere Anzahl Volllaststunden liefert damit eine Proportionalität zwischen installierter Leistung und Endenergieeinsatz. Sie hängt von den Eigenschaften der Feuerungsanlage wie dem Energieträger oder der Einsatzart (z. B. Einzelraumfeuerstätte oder Zentralheizung), aber auch von externen Parametern wie der Meteorologie, der vorherrschenden Bauweise (Wärmedämmung), der Bebauungsdichte und den Heizgewohnheiten ab.

In Tab. 4.1 und Tab. 4.2 sind die Volllaststunden aus /ÖKOPOL 2016/ aufgeführt. Prinzipiell ist für jede Region und jedes Jahr eine Anpassung an die aktuellen Verhältnisse möglich, um die individuellen Randbedingungen, z.B. die klimatischen Verhältnisse im betrachteten Jahr, zu berücksichtigen. Hier wurden zunächst die Angaben zur mittleren Nennwärmeleistung und Volllaststunden aus /ÖKOPOL 2016/ unverändert auch für Hessen 2018 angesetzt und im weiteren Verlauf überprüft, ob eine weitere Anpassung notwendig ist.

Es wurde den Anlagen in Hessen aus Tab. 3.1 pro Energieträger, Anlagenart und Leistungsklasse jeweils eine mittlere Nennwärmeleistung und Anzahl von Volllaststunden zugeordnet. Wo notwendig wurden gewichtete Mittelwerte verwendet (z.B. bei den Einzelraumfeuerstätten). Da für die Feuerungsanlagen in Hessen nicht bekannt ist, wie sich diese auf die beiden Teilspektoren private Haushalte und GHD aufteilen, wurde hierfür soweit relevant das Verhältnis aus /ÖKOPOL 2016/ für Deutschland übernommen.

Tab. 4.1: Mittlere Nennwärmeleistung und jährliche Volllaststunden für Kleinfeuerungsanlagen nach /Ökopol 2016/ und eigene Berechnungen, Teilsektor private Haushalte

| Feuerungsanlagen  | Leistungsklasse | mittl. Nennwärmeleistung [kW] | jährliche Volllaststunden [h/a] |
|---|-----------------|-------------------------------|---------------------------------|
| <b>Gasfeuerungen in Haushalten</b>                        |                 |                               |                                 |
| Gasbrenner mit Gebläse (Heizkessel)                       | 4 - 25          | 21                            | 1000                            |
|   | >25 - 50        | 37                            | 950                             |
|   | > 50            | 200                           | 950                             |
| Gasbrenner ohne Gebläse (Heizkessel)                      | 4 - 25          | 19                            | 1000                            |
|   | >25 - 50        | 35                            | 950                             |
|   | > 50            | 85                            | 950                             |
| Raumluftunabhängige Heizkessel                            | 4 - 25          | 21                            | 1000                            |
|   | >25 - 50        | 37                            | 950                             |
|   | > 50            | 200                           | 950                             |
| Kombiwasserheizer   | >= 4            | 19                            | 980                             |
| Durchlaufwasserheizer                                     | >= 4            | 19                            | 300                             |
| Vorratswasserheizer                                       | >= 4            | 13                            | 300                             |
| Raumheizer  | >= 4            | 8                             | 407                             |
| Brennwertgeräte   | >= 4            | 24                            | 970                             |
| <b>Ölfeuerungen in Haushalten</b>                         |                 |                               |                                 |
| Ölfeuerungen und Ölkessel mit Verdampfungsbrenner         | 4 - 25          | 10                            | 442                             |
|   | >25 - 50        | 32                            | 442                             |
|   | > 50            | 118                           | 442                             |
| Heizkessel mit Gebläsebrenner                             | 4 - 25          | 20                            | 1010                            |
|   | >25 - 50        | 32                            | 1025                            |
|   | > 50            | 118                           | 1040                            |
| Ölbrennwertgeräte   | >= 4            | 20                            | 1040                            |
| <b>Feuerungen für Festbrennstoffe in Haushalten</b>       |                 |                               |                                 |
| Heizkessel - handbeschickt für Holz- und Kohlenbrennstoff | 4 - 25          | 22                            | 1326                            |
|   | >25 - 50        | 39                            | 1206                            |
|   | > 50            | 100                           | 1209                            |
| Heizkessel für Pellets                                    | 4 - 25          | 20                            | 1274                            |
|   | >25 - 50        | 35                            | 1196                            |
|   | > 50            | 88                            | 1196                            |
|   |                 |                               |                                 |
| Dauerbrandöfen  | < 15            | 6,9                           | 800                             |
| Kachelöfen (mit Heizeinsatz oder als Grundofen)           | < 15            | 8,3                           | 900                             |
| Kaminöfen   | < 15            | 8,1                           | 715                             |
| Pelletöfen  | < 15            | 14,2                          | 811                             |
| Kamine (mit offenem oder geschlossenem Feuerraum)         | < 15            | 6,5                           | 420                             |
| Badeöfen  | < 15            | 8                             | 133                             |
| Herde (und Heizungsherde)                                 | < 15            | 7                             | 185                             |

Tab. 4.2: Mittlere Nennwärmeleistung und jährliche Volllaststunden für Kleinfeuerungsanlagen nach /Ökopol 2016/ und eigene Berechnungen, Teilsektor GDH

| Feuerungsanlagen                                      | Leistungsklasse | mittl. Nennwärmeleistung [kW] | jährliche Volllaststunden [h/a] |
|---|-----------------|-------------------------------|---------------------------------|
| <b>Gasfeuerungen in GHD</b>                           |                 |                               |                                 |
| Gasbrenner mit Gebläse (Heizkessel)                   | 4 - 25          | 21                            | 980                             |
|   | >25 - 50        | 37                            | 980                             |
|   | > 50            | 200                           | 1000                            |
| Gasbrenner ohne Gebläse (Heizkessel)                  | 4 - 25          | 19                            | 1140                            |
|   | >25 - 50        | 35                            | 1200                            |
|   | > 50            | 85                            | 1241                            |
| Raumluftunabhängige Heizkessel                        | 4 - 25          | 21                            | 980                             |
|   | >25 - 50        | 37                            | 980                             |
|   | > 50            | 234                           | 1000                            |
| Kombiwasserheizer                                     | >= 4            | 19                            | 800                             |
| Durchlaufwasserheizer                                 | >= 4            | 19                            | 300                             |
| Vorratswasserheizer                                   | >= 4            | 13                            | 300                             |
| Raumheizer  | >= 4            | 8                             | 400                             |
| Brennwertgeräte                                       | >= 4            | 35                            | 970                             |
| <b>Ölfeuerungen in GHD</b>                            |                 |                               |                                 |
| Ölfeuerungen und Ölkessel mit Verdampfungsbrenner     | 4 - 25          | 10                            | 442                             |
|   | >25 - 50        | 32                            | 442                             |
|   | > 50            | 118                           | 442                             |
| Heizkessel mit Gebläsebrenner                         | 4 - 25          | 20                            | 1170                            |
|   | >25 - 50        | 32                            | 1460                            |
|   | > 50            | 118                           | 1580                            |
| Ölbrennwertgeräte                                     | >= 4            | 20                            | 1040                            |
| <b>Feuerungen für Festbrennstoffe in GHD</b>          |                 |                               |                                 |
| Heizkessel - handbeschickt für Holz- und Kohlenbrenns | 4 - 25          | 24                            | 1346                            |
|   | >25 - 50        | 43                            | 1183                            |
|   | > 50            | 109                           | 1209                            |
| Heizkessel für Pellets                                | 4 - 25          | 22                            | 1625                            |
|   | >25 - 50        | 39                            | 1950                            |
|   | > 50            | 96                            | 2145                            |
| Heizkessel für Hackschnitzel                          | 4 - 25          | 26                            | 1313                            |
|   | >25 - 50        | 49                            | 1170                            |
|   | > 50            | 190                           | 1209                            |
| Dauerbrandöfen  | < 15            | 7,5                           | 762                             |
| Kachelöfen (mit Heizeinsatz oder als Grundofen)       | < 15            | 9,1                           | 688                             |
| Kaminöfen   | < 15            | 8,8                           | 473                             |
| Pelletöfen  | < 15            | 15,5                          | 816                             |
| Kamine (mit offenem oder geschlossenem Feuerraum)     | < 15            | 7,1                           | 300                             |
| Badeöfen  | < 15            | 8                             | 132                             |
| Herde (und Heizungsherde)                             | < 15            | 8                             | 156                             |
| <b>gewerbliche Holzfeuerungen (Resthölzer)</b>        |                 |                               |                                 |
| Heizkessel handbeschickt                              | >= 50           | 93                            | 2363                            |
| Unterschubfeuerungen                                  | >= 50           | 179                           | 2535                            |
| Vorofenfeuerungen                                     | >= 50           | 1130                          | 2535                            |
| Einblasfeuerungen                                     | >= 50           | 247                           | 2535                            |

Der Endenergieeinsatz pro Energieträger ergibt sich als Produkt der Anzahl der Anlagen pro Anlagenart und Leistungsklasse (vgl. Tab. 3.1) mit der entsprechenden mittleren Nennwärmeleistung und der mittleren Anzahl Volllaststunden pro Jahr.

Für Hessen gesamt liegt der ermittelte Endenergieeinsatz für die kamingebundenen Energieträger Gas, Öl und Festbrennstoffe bei 52.180 GWh/a (Tab. 4.3 und Bild 4.1). Der Anteil der Festbrennstoffeuerungen liegt bei 11,2% und ist damit deutlich niedriger als bei der Anzahl der installierten Anlagen (33,4%). Ursache hierfür ist in der hohen Anzahl von Einzelraumfeuerungen mit Festbrennstoffen zu sehen, die häufig nur als Ergänzungsheizung oder Komfortheizung betrieben werden.

Tab. 4.3: Anzahl installierter Kleinfeuerungsanlagen in Hessen, installierte Leistung, und daraus ermittelter Endenergieeinsatz 2018 (ZH = Zentralheizung, EFR = Einzelraumfeuerung)

| Anlagenart | Energieträger     | Anzahl Anlagen |        | installierte Leistung |        | Endenergieeinsatz |        |
|------------|-------------------|----------------|--------|-----------------------|--------|-------------------|--------|
|            |                   |                |        | WM                    |        | GWh/a             |        |
| ZH         | Gas               | 1.129.379      | 45,6%  | 31.264,2              | 56,5%  | 29.988,0          | 57,5%  |
|            | Öl                | 520.282        | 21,0%  | 16.007,6              | 28,9%  | 16.363,5          | 31,4%  |
|            | Holz ohne Pellets | 27.148         | 1,1%   | 713,8                 | 1,3%   | 886,5             | 1,7%   |
|            | Pellets           | 19.255         | 0,8%   | 486,7                 | 0,9%   | 607,9             | 1,2%   |
|            | Kohle             | 326            | 0,0%   | 8,3                   | 0,0%   | 10,3              | 0,0%   |
| ERF        |                   | 781.985        | 31,6%  | 6.818,6               | 12,3%  | 4.323,7           | 8,3%   |
| Gesamt     |                   | 2.478.375      | 100,0% | 55.299                | 100,0% | 52.180            | 100,0% |

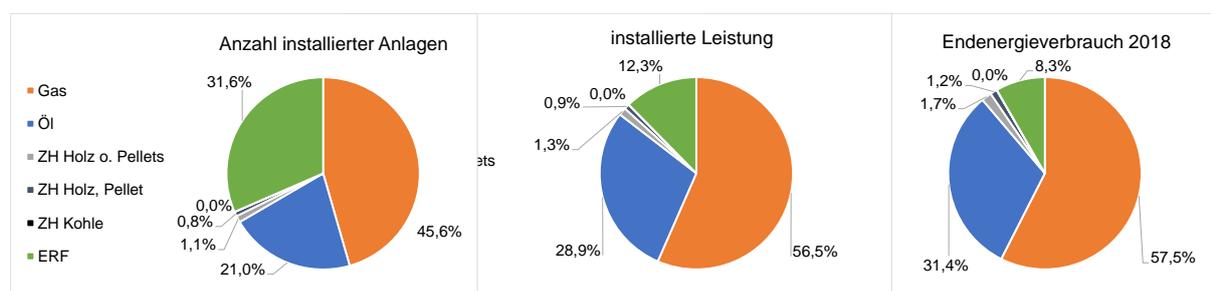


Bild 4.1: Anteil der Energieträger Gas, Öl und Festbrennstoffe an der Anzahl der installierten Kleinfeuerungsanlagen, der installierten Leistung und dem daraus ermittelten Endenergieeinsatz in Hessen 2018

Der auf Basis der Schornsteinfegerdaten ermittelte Endenergieeinsatz pro Energieträger wurde den entsprechenden Werten aus der (vorläufigen) Energiebilanz Hessen 2018 /HLNUG 2020c/ gegenübergestellt (vgl. Tab. 4.4).

Tab. 4.4: Gegenüberstellung der auf Basis der Schornsteinfegerdaten ermittelten Endenergieeinsätze zur (vorläufigen) Energiebilanz Hessen 2018 /HLNUG 2020c/

|   |                             | Gas          | Flüssiggas    | Öl         | Festbrennstoffe | Gesamt       |               |
|---|-----------------------------|--------------|---------------|------------|-----------------|--------------|---------------|
| <b>Ebilanz Hessen 2018 (vorläufig)</b>    | HH                          | TJ           | 72689         |            | 46756           | 18705        | 138.150       |
|   | GHD                         | TJ           | 35716         | 2719       | 8492            | 4239         | 48.447        |
|   | Summe                       | TJ           | 108405        | 2719       | 55248           | 22944        | 186.597       |
|   | <b>Summe</b>                | <b>GWh/a</b> | <b>30.113</b> | <b>755</b> | <b>15.347</b>   | <b>6.373</b> | <b>51.833</b> |
| davon Wärmeerzeugung                      | HH                          |              | 100,0%        | 100,0%     | 99,1%           | 100,0%       |               |
|   | GHD                         |              | 99,1%         | 99,1%      | 61,1%           | 100,0%       |               |
|   | <b>Summe Wärmeerzeugung</b> | <b>GWh/a</b> | <b>30.772</b> | (zu Gas)   | <b>14.312</b>   | <b>6.373</b> | <b>51.457</b> |
| <b>EEE aus Schornsteinfegerdaten 2018</b> |                             | <b>GWh/a</b> | <b>29.988</b> |            | <b>16.363</b>   | <b>5.828</b> | <b>52.180</b> |
| <b>Diff zu Ebilanz Wärmeerzeugung</b>     |                             | <b>GWh/a</b> | <b>-2,5%</b>  |            | <b>14,3%</b>    | <b>-8,5%</b> | <b>1,4%</b>   |

Es ist davon auszugehen, dass für das leitungsgebundene Gas die Werte aus der Energiebilanz die geringsten Unsicherheiten aufweisen. Der über die Schornsteinfegerdaten ermittelte Endenergieeinsatz liegt nur 2,5% niedriger als der in der Energiebilanz ausgewiesene Endenergieverbrauch (wobei hier nur der zur Wärmeerzeugung relevante Teil betrachtet wird, abgeleitet aus Angaben aus den Anwendungsbilanzen für Deutschland /AGEB 2019/), d.h. die beiden Werte aus zwei unabhängigen Berechnungsmethoden weisen eine sehr gute Übereinstimmung auf. Es wurde daher festgelegt, dass keine weitere Anpassung der über die Schornsteinfegerdaten ermittelten Endenergieeinsätze notwendig ist. Dies bedeutet, dass die implizit über die verwendeten Volllaststunden berücksichtigten Parameter die Verhältnisse für Hessen für das Jahr 2018 plausibel abbilden.

Für Öl liegt der über die Schornsteinfegerdaten ermittelten Endenergieeinsatz um 14,2% über dem entsprechenden Wert aus der Energiebilanz. Da aber das Jahr 2018 relativ trocken und z.B. im Sommer die Befahrbarkeit des Rheines teilweise eingeschränkt war und die Energiebilanz grundsätzlich auf Absatzzahlen basiert, kann es sein, dass der Absatz im Jahr 2018 tendenziell etwas unterdurchschnittlich war und den Verbrauch im Jahr 2018 nicht vollständig abbildet.

Dagegen wird über die Schornsteinfegerdaten ein geringerer Endenergieeinsatz von Festbrennstoffen ermittelt als in der Energiebilanz (-8,3%). Da insgesamt für die Ermittlung des Verbrauchs von Festbrennstoffen in Kleinf Feuerungsanlagen die Unsicherheiten am größten sind, wird dies noch als eine vergleichsweise gute Übereinstimmung bewertet.

Prinzipiell sind die Schornsteinfegerdaten eine sehr wertvolle Datenquelle zur Bestimmung des Endenergieeinsatzes. Hier liegen sie summiert für Hessen gesamt vor. Daher muss die räumliche Verteilung des ermittelten Endenergieeinsatzes mittels zusätzlicher Datenquellen durchgeführt werden, wie im nachfolgenden Kapitel erläutert wird.

## 5 Heizwärmeverbrauch pro Gemeinde

Um ein differenziertes Bild der räumlichen Verteilung des Endenergieeinsatzes in Kleinf Feuerungsanlagen in Hessen zu erhalten, wurde zusätzlich pro Gemeinde eine Berechnung des Heizwärmebedarfs auf Basis von Daten zur beheizten (Wohn-)Fläche und spezifischen Wärmebedarfswerten durchgeführt. Der pro Gemeinde ermittelte Heizwärmebedarf wurde unter Berücksichtigung zusätzlicher regionaler Daten auf die relevanten Energieträger verteilt. Ziel war es, für die kamingebundenen Energieträger jeweils einen sogenannten Verteilparameter abzuleiten, der es erlaubt, den über die Schornsteinfegerdaten (vgl. Kap. 4) ermittelten Endenergieeinsatz für Hessen gesamt auf die Gemeinden zu verteilen.

Neben Angaben zur Wohnfläche pro Gemeinde, differenziert nach Gebäudetypen und Altersstufen, werden Angaben zu spezifischen Heizwärmebedarfswerten und möglichst regionalisierte Angaben zum Anteil der verschiedenen Energieträger daran benötigt. Die verwendeten Datengrundlagen werden im Folgenden erläutert.

### 5.1 Spezifische Heizwärmebedarf-/verbrauchswerte

Die Bestimmung des spezifischen Heizwärmebedarfs kann entweder über die Art der Gebäude und die verwendeten Materialeigenschaften erfolgen oder durch die Auswertung möglichst vieler Heizabrechnungen. Entsprechend wird zwischen spezifischen Heizwärmebedarfswerten und Heizwärmeverbrauchswerten unterschieden. Bedarfswerte werden unter Standardbedingungen ermittelt. Verbrauchswerte werden aus realen Verbrauchswerten abgeleitet und berücksichtigen damit implizit das individuelle Nutzerverhalten und die Witterungsbedingungen der betrachteten Regionen und Jahre. Insbesondere für ältere Gebäude liegt der reale Heizwärmeverbrauch unter dem über Gebäudeeigenschaften berechneten Heizwärmebedarf. Mögliche Gründe hierfür sind, dass in Altbauten häufig nicht alle Räume beheizt werden und sanierte Altbauten einen deutlich reduzierten Bedarf haben.

Vom IWU wurde die deutsche Wohngebäudetypologie entwickelt /IWU 2015/. Dort sind für verschiedene Gebäudetypen differenziert nach Altersstufen spezifische Endenergiebedarfswerte für den Urzustand der Gebäude, einer 1. (konventionellen) Modernisierungsstufe und einer 2. (zukunftsweisenden) Modernisierungsstufe ausgewiesen. Zusätzlich werden auch entsprechende Verbrauchswerte angegeben, die aus den Bedarfswerten abgeleitet wurden.

Spezifische Heizwärmeverbrauchswerte, die durch Auswertung realer Verbrauchsdaten ermittelt wurden, finden sich z.B. in / ISTA-IWH 2010, ISTA-IWH 2013, ARGE 2012, DENA 2016, DIW 2019/.

Es wurden hier die spezifischen Heizwärmeverbrauchswerte aus dem DENA-Gebäudereport 2016 /DENA 2016/ für die Berechnungen ausgewählt (vgl. Tab. 5.1). Diese Werte geben den

Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser an, ursprünglich bezogen auf die Nutzfläche, hier umgerechnet auf die Wohnfläche, und sind klimabereinigt. Gebäude mit einer Wohneinheit (WE) entsprechen Einfamilienhäusern. Für Mehrfamilienhäuser wurden die Werte für Gebäude mit 3-6 bis 13 Wohneinheiten gemittelt.

Tab. 5.1: Spezifische Endenergieverbrauchswerte für Raumwärme und Warmwasser in kWh/(m<sup>2</sup>\*a) /DENA 2016/, bezogen auf die Wohnfläche, klimabereinigt

| spezifischer Endenergieeinsatz für Raumwärme und Warmwasser kWh/(m <sup>2</sup> *a), klimabereinigt |          |             |             |             |             |             |
|---|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Altersstufe   | bis 1918 | 1919 - 1948 | 1949 - 1978 | 1979 - 1990 | 1991 - 2000 | 2001 - 2008 |
| 1 WE  | 200      | 204         | 200         | 174         | 143         | 106         |
| 2 WE  | 190      | 186         | 190         | 165         | 136         | 103         |
| 3-6 WE  | 176      | 170         | 171         | 159         | 141         | 108         |
| 7-12 WE   | 161      | 153         | 169         | 190         | 131         | 108         |
| ab 13 WE  | 143      | 141         | 154         | 136         | 123         | 106         |
| WE = Wohneinheiten pro Wohngebäude  |          |             |             |             |             |             |

Für Gebäude, die nach 2008 gebaut wurden, stehen in /DENA 2016/ keine Daten zur Verfügung. Hierfür wurde auf die Endenergieverbrauchswerte aus /IWU 2015/ zurückgegriffen (67 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) für Einfamilienhäuser und 65 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) für Mehrfamilienhäuser, jeweils konventionelle Modernisierungsstufe, bezogen auf Wohnfläche, klimabereinigt).

## 5.2 Wohngebäude und Wohnflächen pro Gemeinde 2018

Für Hessen liegen Daten zum Bestand an Wohngebäuden und zu Wohnflächen pro Gemeinde vor /STATISTIK HE 2019/. Eine Verteilung der Wohngebäude nach Altersstufen wurde zusätzlich als Sonderauswertung pro Regierungsbezirk zur Verfügung gestellt /STATISTIK HE 2020a/.

Über diese Daten wurde pro Gemeinde die Wohnfläche in Wohngebäuden differenziert nach Gebäudetypen und Altersstufen ermittelt. Die Struktur der räumlichen Verteilung der Wohnflächen in Hessen zeigt Bild 5.1. Der Ballungsraum Frankfurt mit Wiesbaden tritt mit den höchsten Werten deutlich hervor.

Neben Wohngebäuden gibt es auch beheizte Nicht-Wohngebäude, z.B. Gebäude für Wirtschaft und Gewerbe, Gebäude der öffentlichen Verwaltung etc., die bei der Wärmebedarfsberechnung ebenfalls zu berücksichtigen sind. Für Nicht-Wohngebäude stehen keine entsprechenden statistischen Daten zur beheizten Fläche zur Verfügung wie für Wohngebäude.

Daher wurden zur Abschätzung des Wärmebedarfs der beheizten Nicht-Wohngebäude Gebäudedaten (LOD1-Daten) von Hessen herangezogen /HLNUG 2020a/. Es sind darin alle

Gebäude enthalten und jedes Gebäude u.a. mit dem Merkmal „Gebäudfunktion“ belegt. So konnten eindeutig die Wohngebäude von den Nicht-Wohngebäuden getrennt werden und die Nicht-Wohngebäude zusätzlich nach beheizt und nicht beheizt unterschieden werden. Somit war es möglich, pro Gemeinde die Summe der beheizten Gebäudevolumina von Wohngebäuden sowie von beheizten Nicht-Wohngebäuden zu bestimmen.

### 5.3 Ermittlung des Heizwärmeverbrauchs

Pro Gemeinde wurde zunächst der Endenergieeinsatz für Raumwärme und Warmwasser der privaten Haushalte ermittelt unter Verwendung der pro Gemeinde vorliegenden Daten zur Wohnfläche und den spezifischen Wärmeverbrauchswerten aus Tab. 5.1.

Die für die Berechnung verwendeten spezifischen Endenergieverbrauchswerte sind klimabereinigt. Um aber den realen Endenergieeinsatz für eine Gemeinde zu ermitteln, müssen die lokalen Verhältnisse berücksichtigt werden, d.h. ob eine Gemeinde eher in einer klimatisch wärmeren oder kälteren Region liegt. Hierfür steht der Klimafaktor zur Verfügung, der vom DWD für jedes Jahr und jedes Postleitzahlbezirk veröffentlicht wird /DWD 2020/. Referenzort ist Potsdam, Referenzjahr 2011, darauf beziehen sich klimabereinigte Daten stets. Für das Jahr 2018 zeigt Bild 5.2 pro Gemeinde den mittleren Klimafaktor. Rot eingefärbte Gebiete sind Gebiete, die im Vergleich zu Referenzort und Referenzjahr wärmer sind. Mit Berücksichtigung des Klimafaktors wurde der ermittelte Endenergieeinsatz pro Gemeinde auf die lokalen Verhältnisse angepasst.

Um zusätzlich auch den Heizwärmebedarf der beheizten Nicht-Wohngebäude zu berücksichtigen, wurde angenommen, dass Wohngebäude und Nichtwohngebäude innerhalb einer Kommune vergleichsweise homogen sind in Bezug auf Baujahr, Bauweise und Sanierungsstand, wobei der Endenergieeinsatz pro m<sup>2</sup> in beheizten Nicht-Wohngebäuden im Mittel etwas niedriger liegt. Es wurde für die Nicht-Wohngebäude pro Gemeinde der mittlere spezifische Endenergieverbrauchswert der Wohngebäude reduziert um 30% angesetzt. Unter diesen Randbedingungen ergibt sich ein Anteil des Endenergieeinsatzes für beheizte Nicht-Wohngebäude von 34% am gesamten Endenergieeinsatz in Kleinf Feuerungsanlagen.

Zur Einordnung dieses Anteils wurde zusätzlich der Anteil der Kleinverbraucher am Wärmebedarf für Deutschland gesamt aus der UBA-Berichterstattung /UBA 2018/ abgeleitet. Für die Abschätzung werden die jeweiligen CO<sub>2</sub>-Emissionen als Maß für den Wärmebedarf insgesamt angesetzt. Für Deutschland gesamt ergibt sich mit diesen Werten ein Anteil des Sektors GHD inklusive Kleinf Feuerungsanlagen in Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei am Wärmebedarf von 32%.

Nach /Walberg 2016/ liegt der Anteil des Endenergieverbrauchs der beheizten Nicht-Wohngebäude für Deutschland (Analysejahr 2013) bei 34%.

Da der Wärmebedarf der Kleinverbraucher über pauschale Ansätze geschätzt wurde, ist die Unsicherheit höher als für die privaten Haushalte.

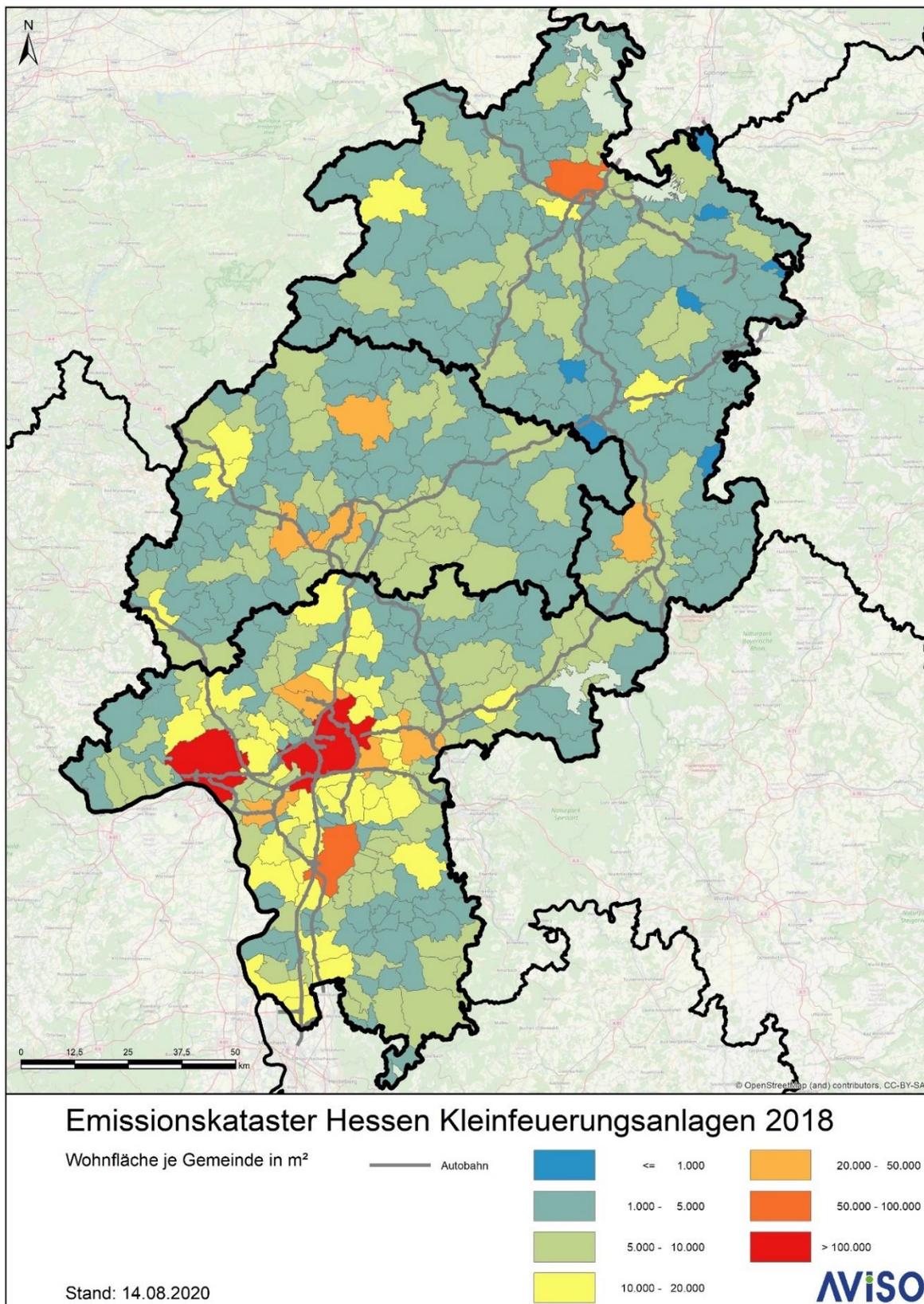


Bild 5.1: Wohnfläche pro Gemeinde in m<sup>2</sup>, 2018, Datenquelle: /STATISTIK HE 2019/

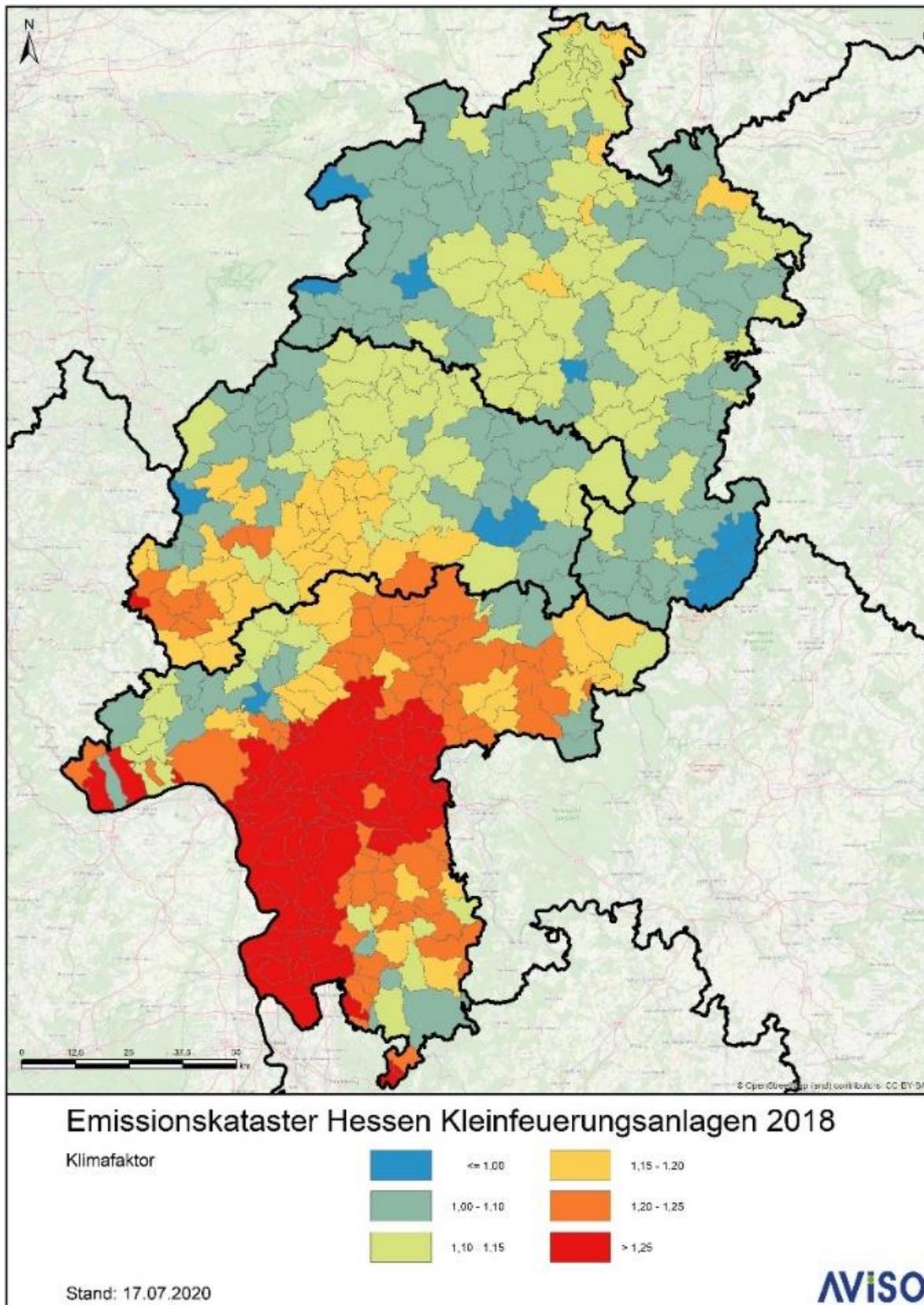
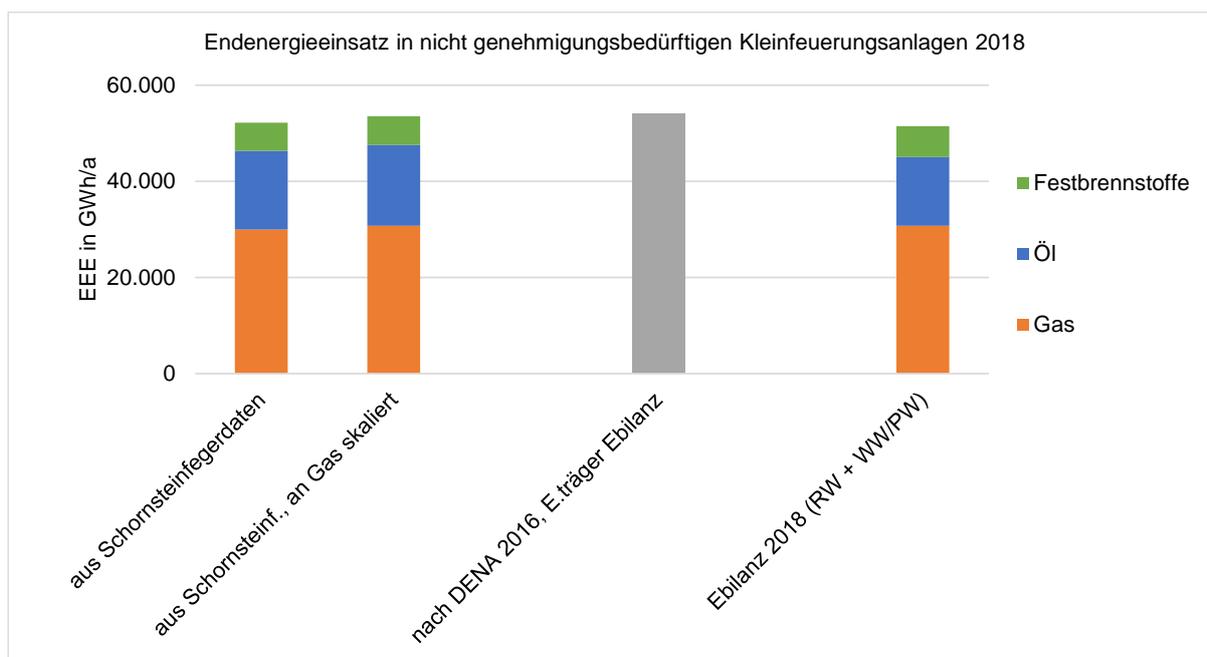


Bild 5.2: mittlerer Klimafaktor pro Gemeinde 2018, Datenquelle: /DWD 2020/ und eigene Berechnungen

Den nach dem „bottom-up“-Ansatz über die Daten zur Wohnfläche pro Gemeinde und spezifischen Endenergieverbrauchswerten nach /DENA 2016/ ermittelten Endenergieeinsatz, ergänzt um den für beheizte Nicht-Wohngebäude abgeschätzten Endenergieeinsatz, aggregiert für Hessen gesamt, zeigt Bild 5.3. Es ist hier nur der Endenergieeinsatz der kamingebundenen Energieträger dargestellt. Es wurde dazu angenommen, dass der Anteil der kamingebundenen Energieträger am Endenergieeinsatz berechnet aus spezifischen Wärmeverbrauchswerten dem aus dem Energiebilanz 2018 entspricht.

Zum Vergleich ist der Endenergieeinsatz, der über die Schornsteinfegerdaten ermittelt wurde, und der aus der Energiebilanz Hessen 2018 mit dargestellt. Insgesamt zeigt sich ein plausibles Bild. Der aus den spezifischen Wärmeverbrauchswerten ermittelte Endenergieeinsatz liegt ca. 4% über dem auf Basis der Schornsteinfegerdaten ermittelten Endenergieeinsatz. Beide Ergebnisse liegen mit +1,4% bzw. +5,3% etwas über der Energiebilanz.



*Bild 5.3: Endenergieeinsatz in kamingebundenen Kleinfeuerungsanlagen in Hessen 2018, auf Basis der Schornsteinfegerdaten, ermittelt über Gebäudedaten und aus der (vorläufigen) Energiebilanz Hessen 2018*

## 5.4 Anteile kamingebundener Energieträger pro Gemeinde

Ziel der Ermittlung des Endenergieeinsatzes über spezifische Wärmeverbrauchswerte war es vorrangig, eine räumliche Verteilung des Endenergieeinsatzes auf Gemeindeebene abzuleiten, die für die Verteilung des Endenergieeinsatzes auf Basis der Schornsteinfegerdaten verwendet werden kann. Diese räumliche Verteilung ist für die verschiedenen Energieträger unterschiedlich, daher wurde zunächst der pro Gemeinde

ermittelte Endenergieeinsatz auf die Energieträger verteilt. Hierzu wurden zusätzliche Daten aus folgenden Datenquellen berücksichtigt:

- Daten aus dem Mikrozensus 2018 zur überwiegend für Beheizung eingesetzten Energieart. Diese liegen sowohl für Hessen gesamt vor als auch in höherer regionaler Tiefe (Sonderauswertung des Statistischen Landesamtes Hessen, vgl. Tab. 5.2 ). Ähnliche Ergebnisse pro Regierungsbezirk finden sich in /IWU 2018/ aus einer Erhebung zum Wohngebäudebestand 2016 in Hessen. Hier werden die Daten aus dem Mikrozensus 2018 verwendet.

Tab. 5.2: Anteil der Anzahl von Wohnungen mit überwiegender Art der Beheizung für die kamingebundenen Energieträger Gas und Öl differenziert für 10 Regionen und für Holz differenziert nach Regierungsbezirken, Datenquelle: /STATISTIK D 2020, STATISTIK HE 2020b/

| Anteil an Anzahl von Wohnungen mit überwiegender Art der Beheizung  | Gas          | Öl           | Rest         | davon:<br>Holz |
|---|--------------|--------------|--------------|----------------|
| Deutschland   | 52,1%        | 23,5%        | 24,4%        | 3,7%           |
| Hessen  | 54,5%        | 29,3%        | 16,2%        | 3,1%           |
| <b>Regbezirk Darmstadt</b>  | <b>60,5%</b> | <b>23,6%</b> | <b>15,9%</b> | <b>1,9%</b>    |
| Hochtaunuskreis, Main-Taunus-Kreis, Rheingau-Taunus-Kreis           | 62,4%        | 25,2%        | 12,4%        |                |
| Wetteraukreis, Main-Kinzig-Kreis                                    | 49,0%        | 39,7%        | 11,3%        |                |
| SK Frankfurt am Main  | 69,1%        | 11,3%        | 19,6%        |                |
| Darmstadt-Dieburg, Bergstraße, Odenwaldkreis                        | 45,3%        | 38,0%        | 16,7%        |                |
| Offenbach am Main, Darmstadt, Wiesbaden                             | 70,0%        | 8,5%         | 21,5%        |                |
| Groß-Gerau, LK Offenbach  | 67,6%        | 19,1%        | 13,3%        |                |
| <b>Regbezirk Gießen</b>   | <b>45,4%</b> | <b>37,2%</b> | <b>17,4%</b> | <b>6,0%</b>    |
| LK Gießen, Marburg-Biedenkopf                                       | 43,9%        | 36,4%        | 19,7%        |                |
| Lahn-Dill-Kreis, Limburg-Weilburg, Vogelsbergkreis                  | 47,3%        | 37,9%        | 14,8%        |                |
| <b>Regbezirk Kassel</b>   | <b>42,1%</b> | <b>41,4%</b> | <b>16,5%</b> | <b>4,6%</b>    |
| Kassel, LK Kassel, Waldeck-Frankenberg                              | 46,6%        | 35,6%        | 17,8%        |                |
| LK Fulda, Hersfeld-Rotenburg, Schwalm-Eder-Kreis, Werra-Meißner-Kr. | 38,0%        | 47,1%        | 14,9%        |                |

Rest = Festbrennstoffe, Fernwärme, Solarenergie, sonstige Regenerative , Heizstrom,...

- Auf Gemeindeebene Angaben dazu, ob ein Anschluss an das Gasnetz vorhanden ist (vgl. Bild 5.4).
- Zusätzliche Daten zur Abschätzung des Holzverbrauchs in Feuerungsanlagen. Diese basieren auf Angaben aus /DÖRING 2016/ zum Anteil Haushalte mit Festbrennstoffeuerungen und deren durchschnittlichem Holzverbrauch pro Jahr differenziert nach Ortsgrößenklassen. Zusätzlich wurden Gewichtungsfaktoren zur Berücksichtigung des Anteils von Waldflächen an den Gemeindeflächen (incl. Nachbargemeinden), vgl. Bild 5.5, und des Verhältnisses Ein- und Zweifamilienhäuser an den Wohngebäuden pro Gemeinde berücksichtigt.
- Pro Regierungsbezirk eine Abschätzung zur energetischen Derbholzverwendung nach /DÖRING 2017/.
- Der Anteil von Kohle am Endenergieeinsatz wurde landesweit einheitlich auf 0,1% gesetzt, da keine Angaben dazu vorliegen, ob es für den Einsatz von Kohle regionale Unterschiede gibt.

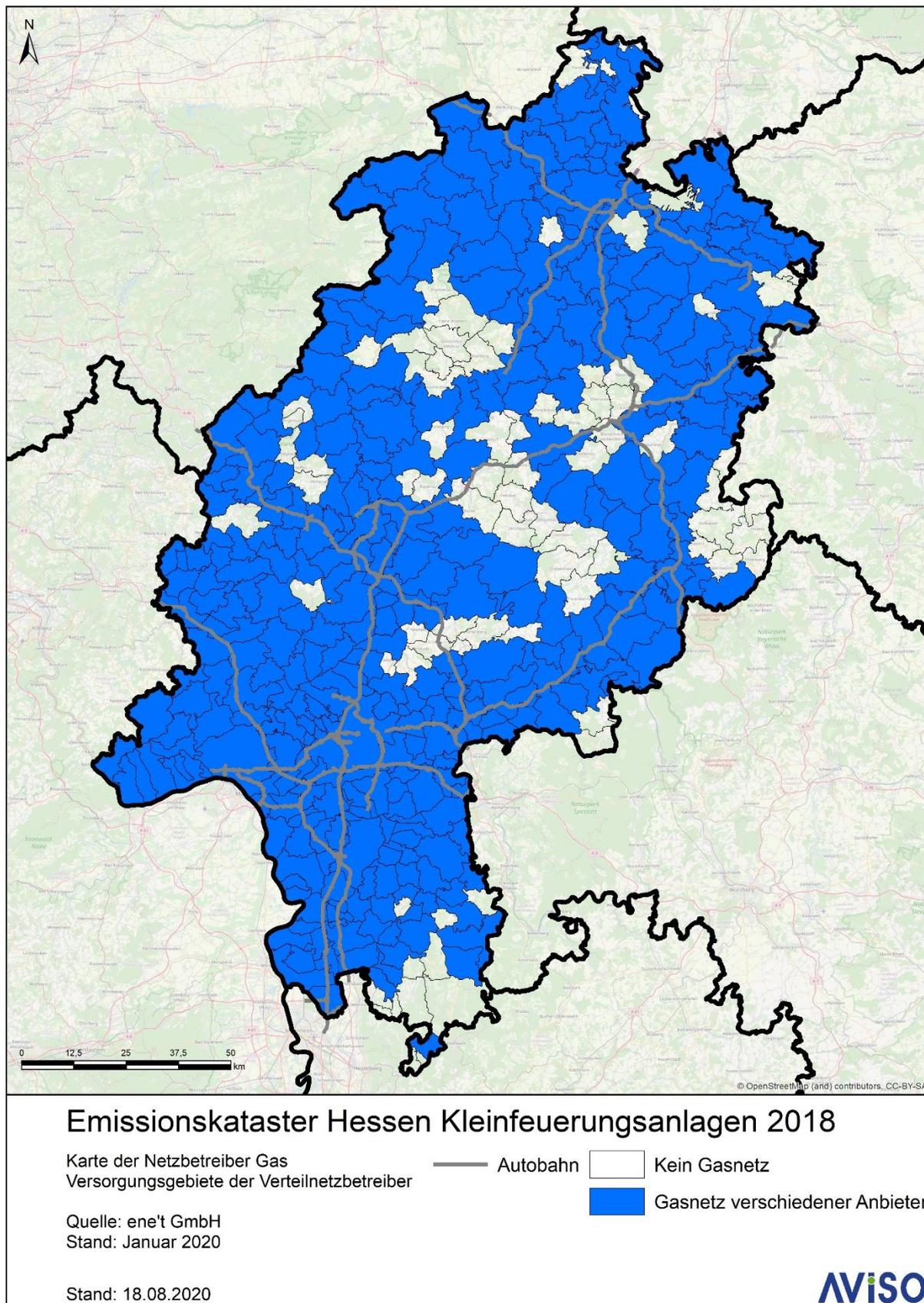


Bild 5.4: Karte der Netzbetreiber Gas; Versorgungsgebiete der Verteilnetzbetreiber, Stand Januar 2020 /ENET GMBH 2020/

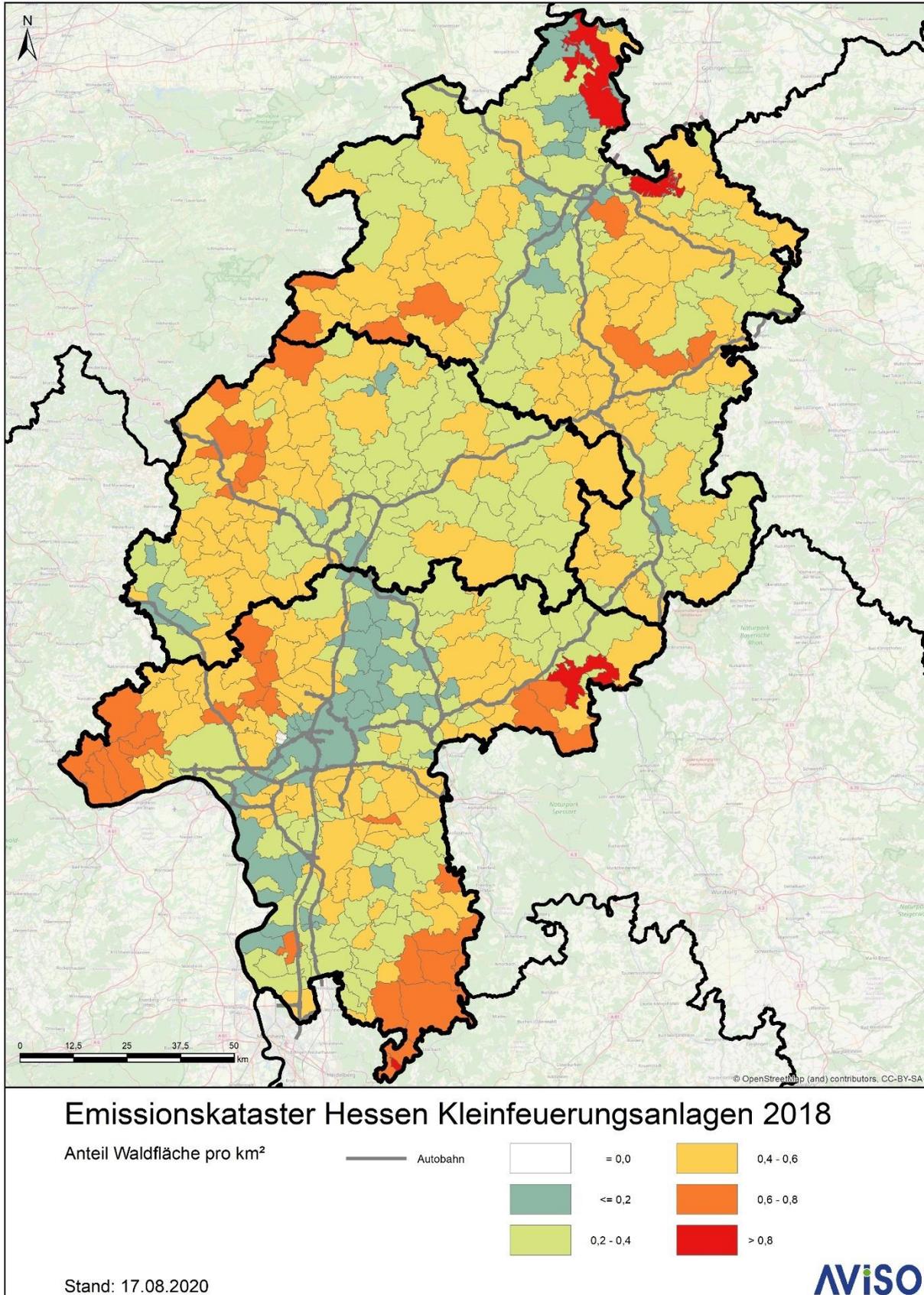


Bild 5.5: Waldfläche pro Gemeinde /CLC 2020/

Der pro Gemeinde berechnete Endenergieeinsatz wurde zunächst auf die Energieträger Gas, Öl und Rest, gemäß der Ergebnisse des Mikrozensus 2018, verteilt. Es wurden dabei pro Gemeinde die Anteilswerte angesetzt, die für die Region vorliegen, in der die Gemeinde liegt (vgl. Tab. 5.2). Im nächsten Schritt wurde für jede Gemeinde überprüft, ob sie über ein Gasnetzanschluss verfügt. Sofern dies nicht der Fall war, wurde der zugeordnete Anteil Gas zu Öl addiert. Anschließend wurden innerhalb der Regionen pro Gemeinde die zum Teil modifizierten Endenergieeinsätze der Energieträger Gas und Öl so angepasst, dass die pro Region aus dem Mikrozensus gegebenen Anteilswerte unverändert blieben.

Da beim Mikrozensus der Anteil der vorwiegend mit Holz beheizten Wohnungen nur einen eher kleinen Teil der Wohnungen mit Festbrennstofffeuerungen erfasst (Einzelraumfeuerungen werden häufig nur als Zusatzheizungen betrieben), wurde auf Angaben aus /Döring 2016, Döring 2017/ zurückgegriffen, um die Verteilung des Holzverbrauchs auf Gemeindeebene abzuschätzen. Zum einen wurde angenommen, dass sich der Holzverbrauch für Festbrennstofffeuerungen in Anlehnung an die Abschätzung in /DÖRING 2017/ zwischen den Regierungsbezirken Darmstadt, Gießen und Kassel im Verhältnis ca. 40%/30%/30% aufteilt. Innerhalb der Regierungsbezirke wurde pro Gemeinde in Abhängigkeit der Ortsgrößenklasse ein typischer Holzverbrauch berechnet und daraus die Verteilung innerhalb des Regierungsbezirks abgeleitet. Dabei wurden die Parameter Anteil der Haushalte mit Festbrennstofffeuerungen und mittlerer Holzverbrauch pro Haushalt in Anlehnung an /Döring 2016/ festgelegt und zusätzlich über Gewichtungsfaktoren das Verhältnis Waldfläche an Gemeindefläche und Umgebung und das Verhältnis EZFH zu Wohngebäuden mit berücksichtigt.

In Bild 5.6 bis Bild 5.8 sind für die drei kamingebundenen Energieträger Gas, Öl und Holz die ermittelten Verteilparameter dargestellt. Es ist jeweils der Anteil der Gemeinde am Endenergieeinsatz Hessens ausgewiesen.

Bei der räumlichen Verteilung des Gasverbrauchs in Kleinf Feuerungsanlagen (Bild 5.6) treten die weißen Flächen der Gemeinden hervor, die über keinen Anschluss an das Gasnetz verfügen. Insgesamt zeigt sich für den Gasverbrauch eine deutliche Konzentration im Regierungsbezirk Darmstadt. Dies zeigte sich schon beim Anteil der überwiegend mit Gas beheizten Wohnungen (vgl. Tab. 5.2), der für den Regierungsbezirk Darmstadt bei 60,5% liegt und damit deutlich höher als in den beiden anderen Regierungsbezirken (45,4% bzw. 42,1%). Den höchsten Anteil von Wohnungen mit Gasheizungen hat die Region Offenbach am Rhein / Darmstadt / Wiesbaden mit 70%.

Dagegen zeigt sich für den Ölverbrauch flächig ein etwas einheitlicheres Bild. Aber auch hier treten die größeren Städte deutlich hervor. Bei der räumlichen Verteilung des Holzverbrauchs trifft dies nicht mehr zu, da haben auch kleinere Gemeinden ähnlich hohe Anteile wie die Städte.

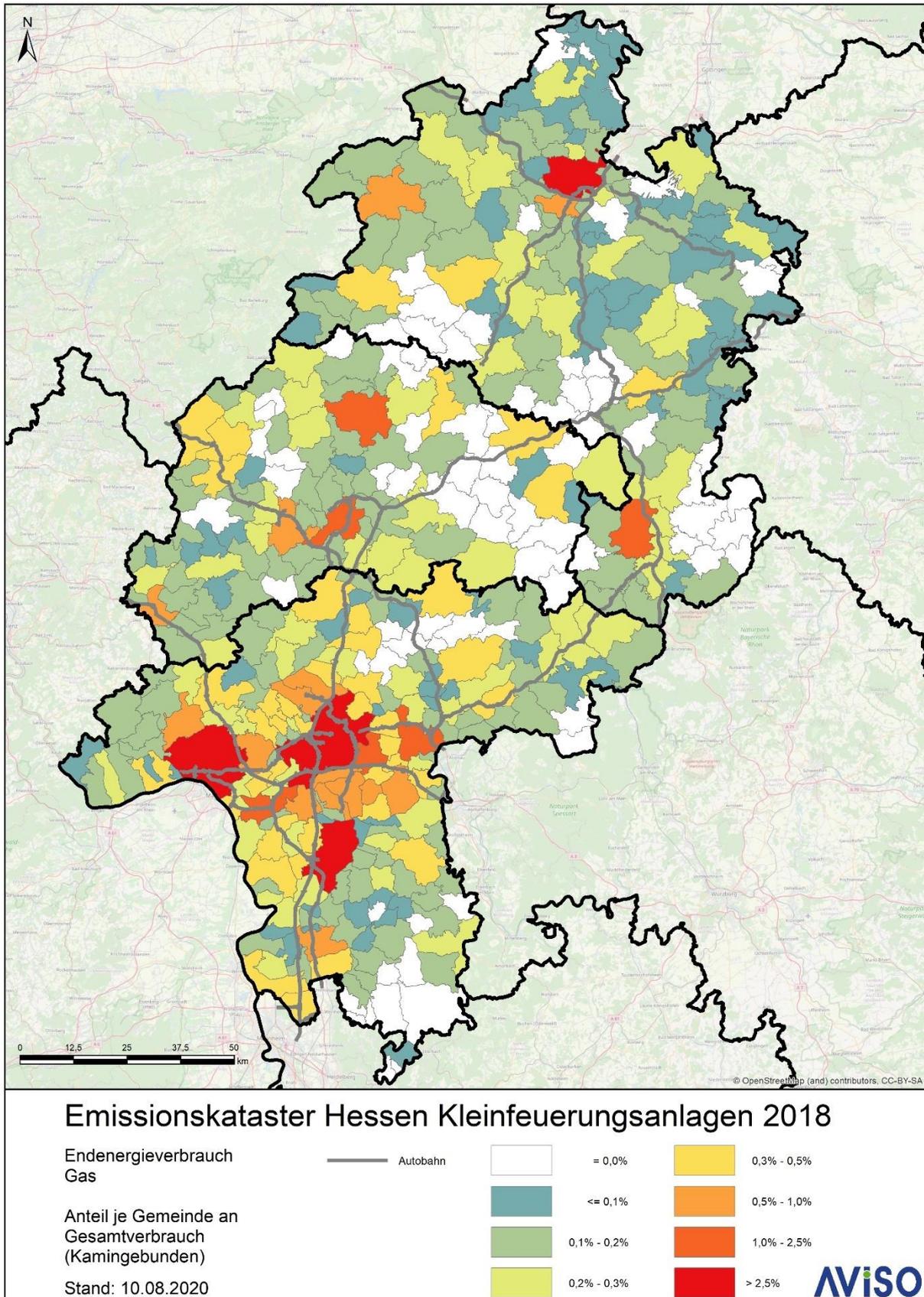


Bild 5.6: Verteilparameter Gas, Anteil des Endenergieeinsatzes pro Gemeinde am gesamten Endenergieeinsatz Gas für Hessen

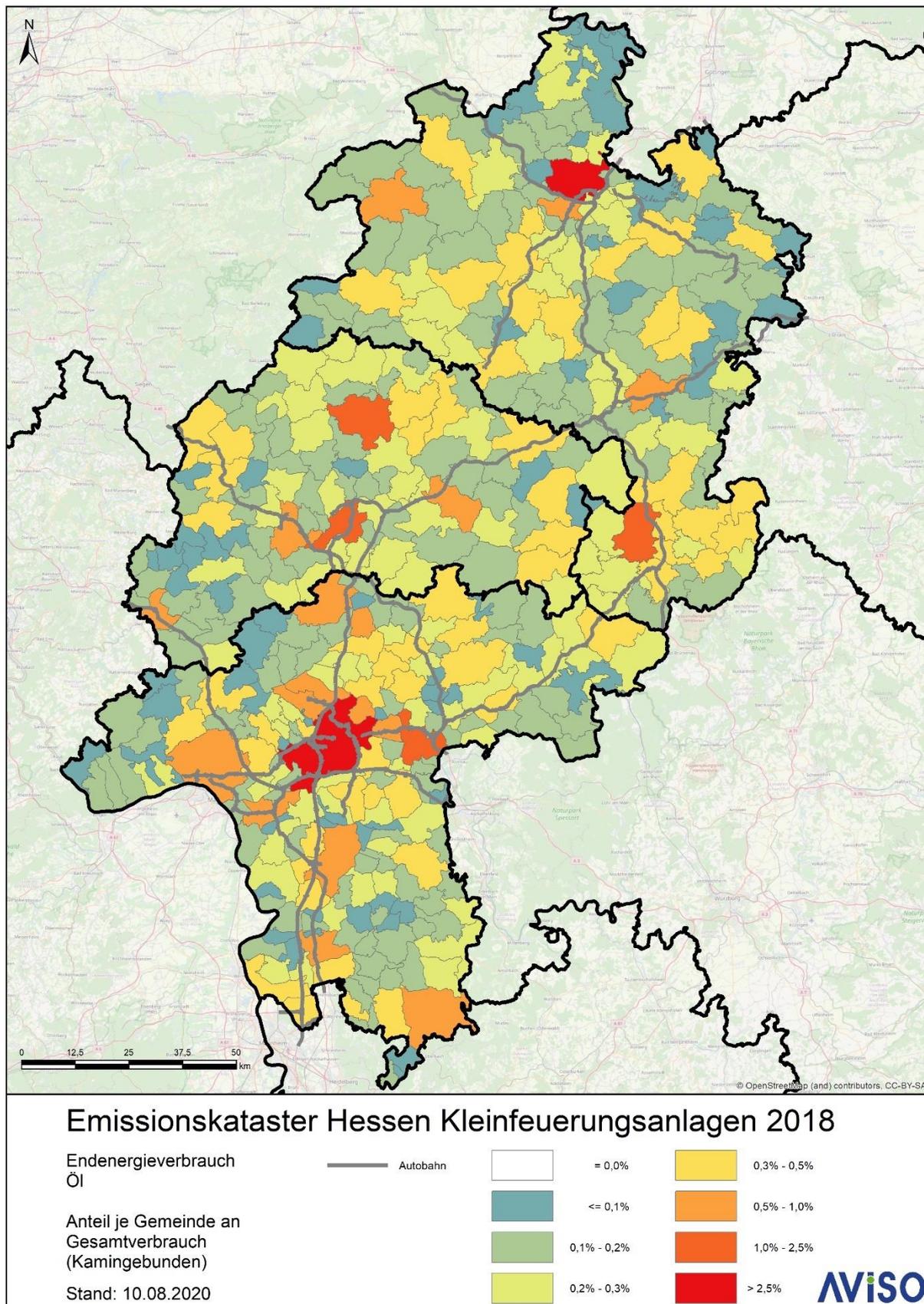


Bild 5.7: Verteilparameter Öl, Anteil des Endenergieeinsatzes pro Gemeinde am gesamten Endenergieeinsatz Öl für Hessen

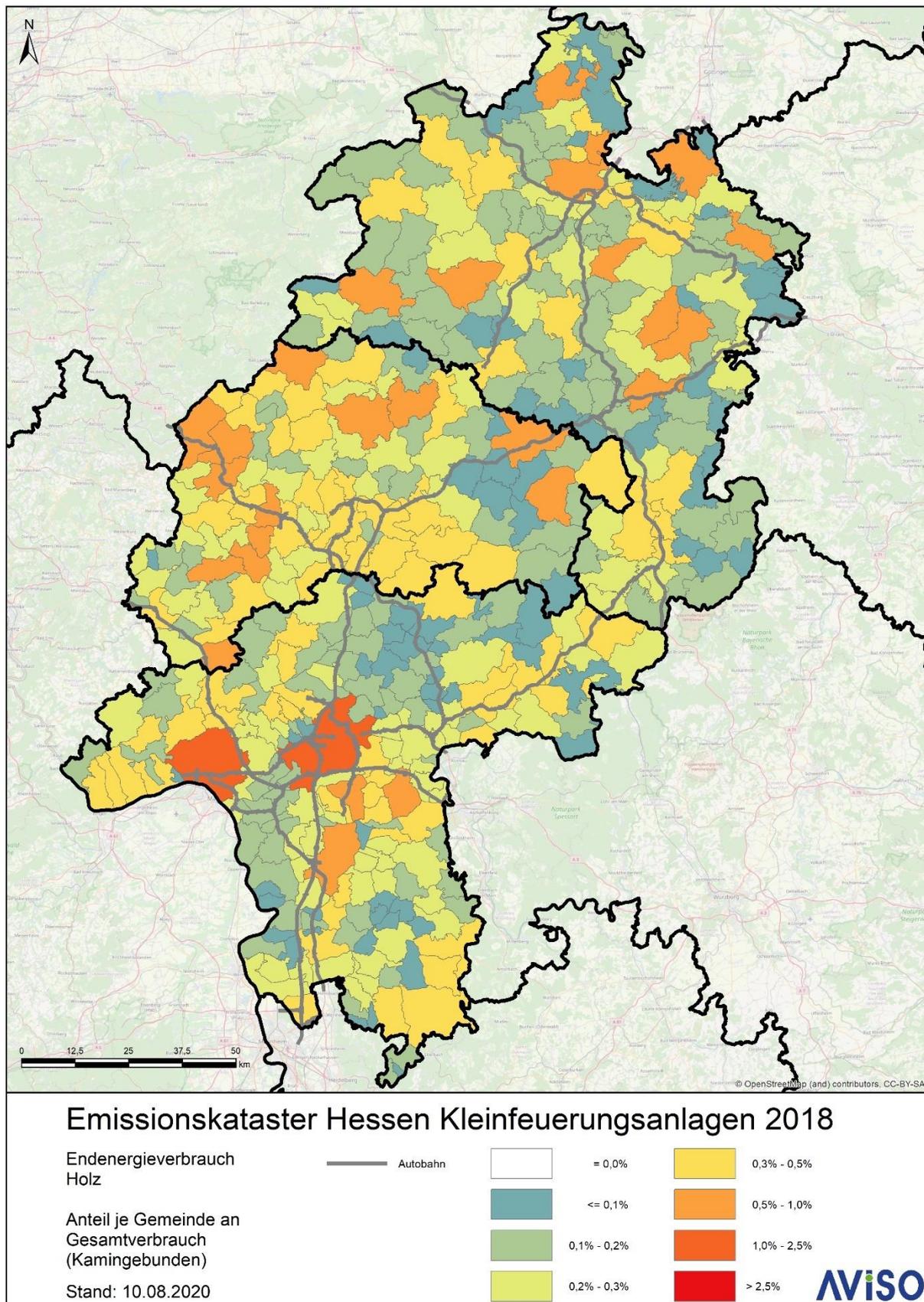


Bild 5.8: Verteilparameter Holz, Anteil des Endenergieeinsatzes pro Gemeinde am gesamten Endenergieeinsatz Holz für Hessen

## 6 Endenergieeinsatz und Emissionen pro Gemeinde

### 6.1 Endenergieeinsatz pro Gemeinde

Unter Berücksichtigung der in Kap. 5.4 dargestellten Verteilparameter wurde der auf Basis der Schornsteinfegerdaten ermittelte (kamingebundene) Endenergieeinsatz in nicht genehmigungspflichtigen Kleinf Feuerungsanlagen (vgl. Kap. 4) auf die einzelnen Gemeinden verteilt. In Bild 6.1 ist der gesamte Endenergieeinsatz der kamingebundenen Energieträger pro Gemeinde in TJ/km<sup>2</sup> für das Jahr 2018 dargestellt. Deutlich treten die dichtbesiedelten Gebiete im Regierungsbezirk Darmstadt hervor. Aber auch die größeren Städte in den beiden anderen Regierungsbezirken sind mit vergleichsweise hohen Werten gut zu erkennen.

Im Hinblick auf die Berechnung von Emissionen pro Gemeinde wurden zusätzlich folgende weitere Differenzierungen vorgenommen (vgl. Tab. 6.1):

- Der Einsatz von Flüssiggas kann den Schornsteinfegerdaten nicht explizit entnommen werden. Es wurde angenommen, dass Flüssiggas in den Gasfeuerungen verbrannt wird und daher in dem für Gasfeuerungen ausgewiesenen Endenergieeinsatz enthalten ist. Um Flüssiggas separat auszuweisen, wurde der Gasverbrauch gemäß dem Verhältnis zwischen Gas und Flüssiggas aus der Energiebilanz aufgeteilt.
- Bei den Einzelraumfeuerungsanlagen ist bei den Schornsteinfegerdaten keine Differenzierung nach Brennstoffarten angegeben. Es wurde angenommen, dass sich der Einsatz von Festbrennstoffen in Einzelraumfeuerungen im gleichen Verhältnis auf Holz und Kohle aufteilt wie bei den Zentralheizungen für Festbrennstoffe.

Tab. 6.1: *Endenergieeinsatz in nicht genehmigungsbedürftigen Kleinf Feuerungsanlagen (kamingebundene Energieträger) Hessen 2018, ermittelt auf Basis von Schornsteinfegerdaten*

| Anlagenart         | Brennstoff        | Endenergieeinsatz |        |
|--------------------|-------------------|-------------------|--------|
|                    |                   | TJ/a              |        |
| Zentralheizung     | Erdgas            | 105.315           | 56,1%  |
|                    | Flüssiggas        | 2.642             | 1,4%   |
|                    | Heizöl            | 58.909            | 31,4%  |
|                    | Holz ohne Pellets | 3.191             | 1,7%   |
|                    | Holz, Pellet      | 2.189             | 1,2%   |
|                    | Kohle             | 37                | 0,0%   |
| Einzelraumfeuerung | Kohle             | 106               | 0,1%   |
|                    | Holz stückig      | 15.459            | 8,2%   |
|                    | Gesamt            | 187.848           | 100,0% |

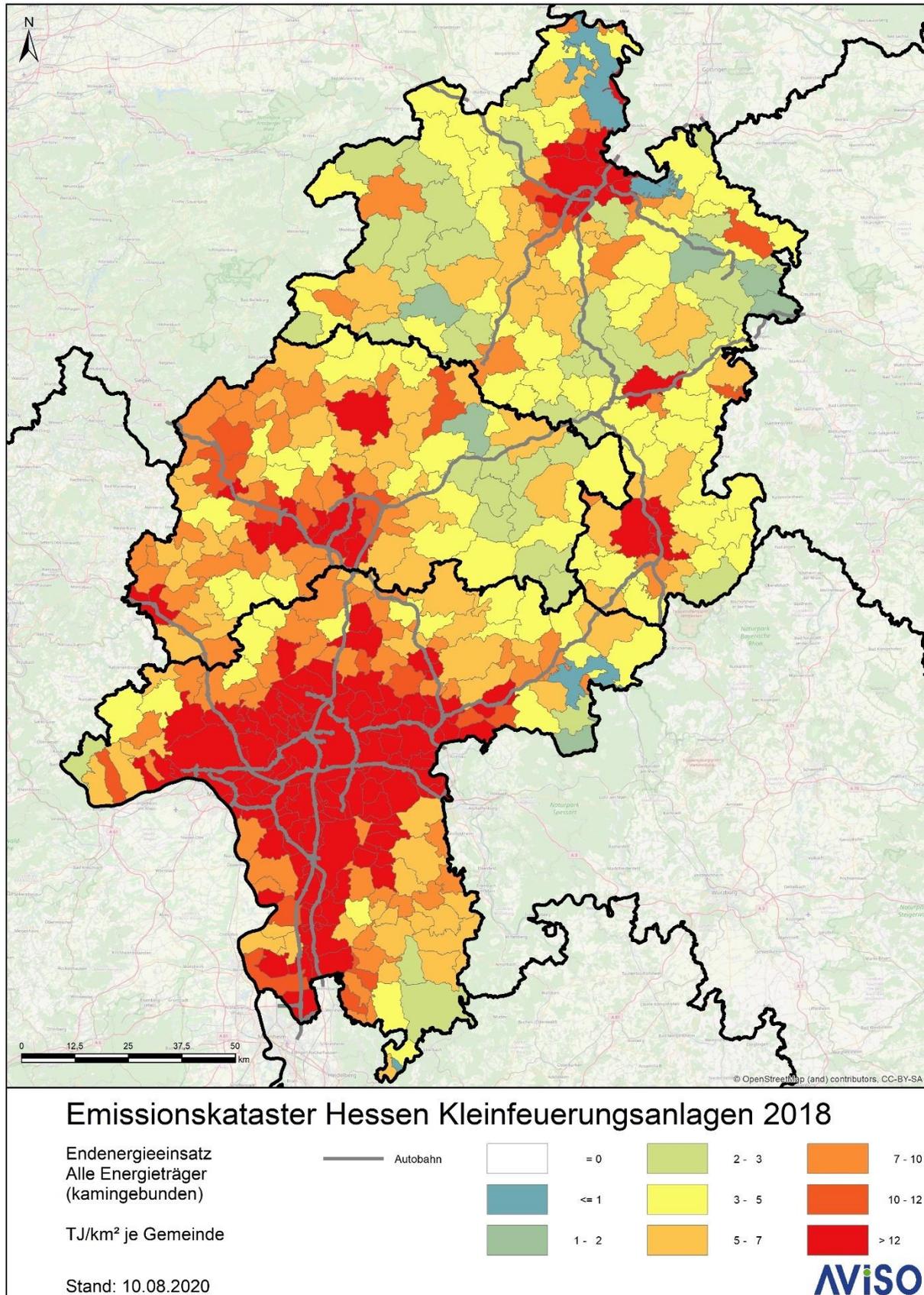


Bild 6.1: Endenergieeinsatz kamingebundener Energieträger (Gas, Öl, Festbrennstoffe) der nicht genehmigungsbedürftigen Kleinf Feuerungsanlagen pro Gemeinde in Hessen 2018

## 6.2 Emissionen pro Gemeinde

Zur Berechnung der Emissionen müssen die Endenergieeinsätze für jeden kamingebundenen Energieträger mit entsprechenden Emissionsfaktoren multipliziert werden. Emissionsfaktoren stehen zum einen aus einer regelmäßig von der LUBW aktualisierten Zusammenstellung zur Verfügung /HLNUG 2020b/. Ergänzend wurden Emissionsfaktoren für PAK aus /ÖKOPOL 2016/ herangezogen. Von dort wurden auch die mittleren Emissionsfaktoren für Braunkohlebriketts entnommen (ausgenommen BAP, HCL und HF), da es sich bei der in Hessen in Bereich privaten Haushalte und GHD eingesetzten Kohle gemäß Energiebilanz um Braunkohlebriketts handelt.. Die hier verwendeten Emissionsfaktoren für das Jahr 2018 sind in Tab. 6.2 aufgeführt.

Im Vergleich zu den für das Jahr 2012 verwendeten Emissionsfaktoren haben die jetzt verwendeten einen aktuelleren Stand. Änderungen zu den früheren Emissionsfaktoren sind u.a. auf die Berücksichtigung neuerer Messungen und der implizit enthaltenen Bestandsentwicklung zurückzuführen. Die folgenden Änderungen sind besonders signifikant:

- Die aktuellen Emissionsfaktoren für Gesamtstaub und Feinstaub (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) für Holz liegen um ca. 30% niedriger. Nach /ÖKOPOL 2016/ spiegelt dies die Entwicklung des Gerätebestandes wider und berücksichtigt die gemäß 1.BImSchV erforderlichen Nachrüstungen oder Außerbetriebsetzungen von Festbrennstofffeuerungen in den letzten Jahren, die die geforderten Grenzwerte nicht einhalten.
- Auch die Emissionsfaktoren für CO sind aus den gleichen Gründen für Holzfeuerungen deutlich gesunken. Für Gas- und Heizölfeuerungen liegen die aktuellen Emissionsfaktoren für CO ca. 10% niedriger.
- Der Emissionsfaktor für SO<sub>2</sub> liegt für Heizöl deutlich niedriger (-90%), da fast nur noch schwefelarmes Heizöl verwendet wird.
- Für Schwermetalle gibt es nach /ÖKOPOL 2016/ nur wenig Messungen, daher ist die Unsicherheit der Emissionsfaktoren für diese Schadstoffe besonders hoch. Die teilweise sehr großen Änderungen (>90%) gegenüber den früher verwendeten Emissionsfaktoren sind daher vor allem auf die Berücksichtigung von neueren Messungen zurückzuführen.

Es sei hier darauf hingewiesen, dass die für Gesamtstaub und Feinstaub in Tab. 6.2 angegebenen Emissionsfaktoren sich auf feste Partikel beziehen. Organische Substanzen, die im heißen Abgas flüssig sind, beim Abkühlen aber kondensieren, werden nicht berücksichtigt. Bei den von EMEP/EEA veröffentlichten Emissionsfaktoren für PM<sub>2.5</sub> aus Kleinf Feuerungsanlagen für Holz wird zwischen PM<sub>2.5</sub> fest und PM<sub>2.5</sub> gesamt (d.h. inklusive der Kondensate) unterschieden. Je nach Anlagenart handbeschickter Holzfeuerungsanlagen liegen die in /EMEP/EEA 2020/ ausgewiesenen Emissionsfaktoren für PM<sub>2.5</sub> gesamt um Faktor 2 bis 5 höher als die Emissionsfaktoren für PM<sub>2.5</sub> fest, bei automatisch beschickten Anlagen um Faktor 1 bis 2, wie in /UBA 2020/ dargestellt.

Tab. 6.2: Emissionsfaktoren für nicht genehmigungsbedürftige Kleinfeuerungsanlagen, Analysejahr 2018

| Schadstoff       | Einheit | Öl     | Erdgas | Flüssiggas | Kohle    | Holz<br>stückig | Pellets  |
|------------------|---------|--------|--------|------------|----------|-----------------|----------|
| CO               | kg/TJ   | 12,00  | 12,70  | 13,00      | 2.350,00 | 1.511,00        | 317,00   |
| NO <sub>x</sub>  | kg/TJ   | 42,00  | 20,60  | 36,00      | 87,00    | 74,00           | 114,00   |
| SO <sub>2</sub>  | kg/TJ   | 2,30   | 0,50   | 0,50       | 93,00    | 7,40            | 5,10     |
| HF               | kg/TJ   |        |        |            | 0,18     | 0,03            | 0,03     |
| HCL              | kg/TJ   |        |        |            | 3,8      | 1,20            | 0,90     |
| CO <sub>2</sub>  | kg/TJ   | 73.318 | 55.796 | 65.000     | 97.010   | 102.034         | 104.000  |
| N <sub>2</sub> O | kg/TJ   | 0,56   | 0,25   | 0,30       | 5,10     | 1,42            | 1,50     |
| VOC              | kg/TJ   | 1,90   | 1,80   | 1,30       | 194,00   | 222,00          | 4,50     |
| CH <sub>4</sub>  | kg/TJ   | 0,04   | 1,60   | 0,90       | 56,00    | 96,00           | 1,80     |
| Benzol           | g/TJ    | 15,00  | 0,22   | 0,25       | 520,00   | 5.141,00        | 2.300,00 |
| PM_Gesamt        | kg/TJ   | 0,89   | 0,03   | 0,03       | 79,00    | 71,00           | 33,00    |
| PM10             | kg/TJ   | 0,85   | 0,03   | 0,03       | 76,00    | 69,00           | 33,00    |
| PM2.5            | kg/TJ   | 0,85   | 0,03   | 0,03       | 68,00    | 66,00           | 31,00    |
| PAK              | g/TJ    | 0,16   |        |            | 214,00   | 262,00          |          |
| BaP              | g/TJ    | 0,02   |        |            | 29,00    | 15,00           | 2,20     |
| Arsen            | g/TJ    | 0,002  |        |            | 4,50     | 0,69            | 0,08     |
| Cadmium          | g/TJ    | 0,001  |        |            | 0,38     | 2,50            | 0,30     |
| Blei             | g/TJ    | 0,012  |        |            | 7,20     | 38,00           | 3,70     |
| Chrom            | g/TJ    | 0,200  |        |            | 8,70     | 14,00           | 1,00     |
| Kupfer           | g/TJ    | 0,130  |        |            | 0,63     | 11,00           | 1,60     |
| Nickel           | g/TJ    | 0,005  |        |            | 6,90     | 1,60            | 0,15     |
| PCDDF            | µgTE/TJ | 1,80   | 1,90   | 1,90       | 25,00    | 57,00           | 1,00     |
| NMVOC            | kg/TJ   | 1,86   | 0,20   | 0,40       | 158,00   | 126,00          | 2,70     |
| Quecksilber      | g/TJ    | 0,12   | 0,06   | 0,06       | 2,30     | 0,56            | 0,56     |

Die Emissionen wurden pro Gemeinde auf Basis der aus den Schornsteinfegerdaten abgeleiteten Endenergieeinsätze und den in Tab. 6.2 ausgewiesenen Emissionsfaktoren berechnet. Je nach Schadstoff ist der Beitrag der Feuerungsanlagen der verschiedenen Brennstoffe unterschiedlich hoch. Dies zeigt exemplarisch die Gegenüberstellung der Verteilung des Endenergieeinsatzes, der NO<sub>x</sub>-Emissionen und der PM10-Emissionen auf die drei Brennstoffarten (Bild 6.2). Während der Anteil der Festbrennstoffe am Endenergieeinsatz bei 11% liegt, erhöht sich dieser bei den NO<sub>x</sub>-Emissionen auf 26% und bei den PM10-Emissionen auf 96%. Der Anteil der Festbrennstoffe liegt auch für PM2.5, den flüchtigen organischen Verbindungen (VOC, CH<sub>4</sub>, NMVOC, BAP, PAK) und den Schwermetallen bei über 90%.

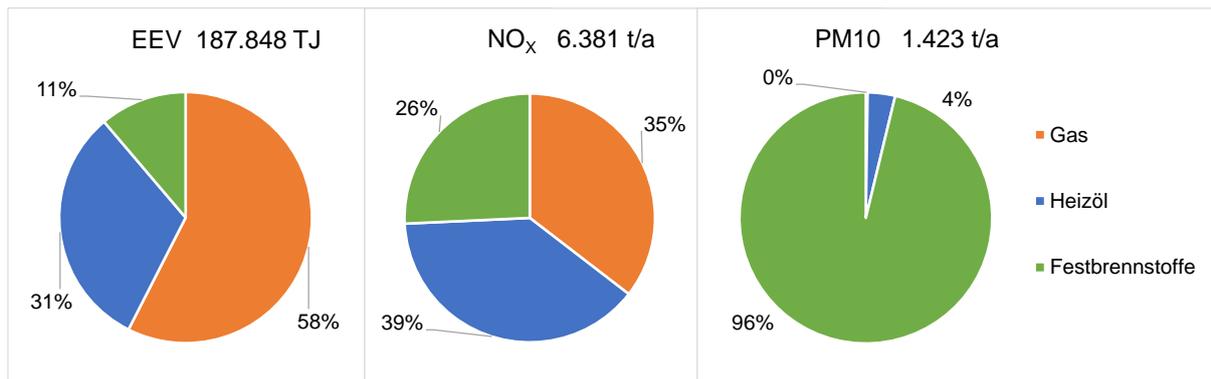


Bild 6.2: Endenergieeinsatz der kamingebundenen Energieträger (Gas, Öl, Festbrennstoffe), NO<sub>x</sub>- und PM10-Emissionen in Hessen, Analysejahr 2018

Die für 2018 ermittelten Emissionen aller betrachteten Schadstoffe sind in Tab. 6.3 aufgeführt und den Emissionen 2012 gegenübergestellt. Wie bereits oben ausgeführt haben sich für einige Schadstoffe die Emissionsfaktoren deutlich verändert. Dies ist überwiegend auf neuere Messdaten zurückzuführen.

Die Emissionsfaktoren für CO<sub>2</sub> haben sich zwischen 2012 und 2018 nur geringfügig verändert. Für die CO<sub>2</sub>-Emissionen wird von 2012 bis 2018 eine Reduktion von knapp 6% prognostiziert.

Die NO<sub>x</sub>-Emissionen haben sich um knapp 11% reduziert. Dagegen wird für die PM10-Emissionen eine deutlich höhere Reduktion von 26% ermittelt. Dies ergibt sich aus dem deutlich gesunkenen PM10-Emissionsfaktor für stückiges Holz.

Die Darstellungen der Emissionen pro Gemeinde für CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und PM10 zeigen Bild 6.3 bis Bild 6.5. Bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen treten ähnlich wie beim Endenergieeinsatz (vgl. Bild 6.2) sehr deutlich die Region Frankfurt und Umgebung mit den Städten Wiesbaden, Offenbach und Darmstadt hervor. Dort werden die meisten CO<sub>2</sub>-Emissionen freigesetzt. Außerdem treten auch die Städte Gießen, Marburg, Kassel und Fulda mit höheren CO<sub>2</sub>-Emissionen hervor. Eine recht ähnliche räumliche Verteilung zeigen auch die NO<sub>x</sub>-Emissionen (Bild 6.4).

Dagegen zeigt sich bei der räumlichen Verteilung der PM10-Emissionen ein anderes Bild (Bild 6.5). Hier sind nicht die großen Städte die Regionen mit den höchsten Emissionen, sondern vielmehr kleinere Kommunen. Dies liegt an den Randbedingungen, die für die räumliche Verteilung berücksichtigt wurden: höherer Holzverbrauch in kleineren Kommunen, und in Kommunen mit höherem Waldanteil in der Umgebung. Zudem finden sich die Festbrennstoffeuerungen eher in Ein- und Zweifamilienhäusern als in Mehrfamilienhäusern. Auch dies wird implizit in dem verwendeten Verteilparameter berücksichtigt.

Grundsätzlich ist dazu anzumerken, dass die Unsicherheit der berechneten Emissionen auf der aggregierten Ebene Hessen insgesamt deutlich geringer ist als auf Gemeindeebene. Die Verteilung auf die Gemeinden erfolgte zwar unter Berücksichtigung möglichst vieler regionaler Daten und typischer Zusammenhänge (z.B. Holzverbrauch differenziert nach

Ortsgrößenklassen), aber Informationen zu lokalen Besonderheiten, wie z.B. ein besonders hoher oder niedriger Anteil von Festbrennstoffeuerungen, lagen nicht vor. Damit stellt die räumliche Verteilung zwar ein typisches Bild dar, ist aber mit einer größeren Unsicherheit verbunden als die Gesamtemissionen für Hessen. Die Genauigkeit kann erhöht werden, wenn z.B. die Schornsteinfegerdaten explizit pro Gemeinde zur Verfügung gestellt werden können.

Tab. 6.3: Emissionen nicht genehmigungsbedürftige Kleinf Feuerungsanlagen in Hessen, Analysejahr 2018 und Vergleich zu 2012

| Schadstoff  | Einheit | Emissionen 2018 | Emissionen 2012 | Diff 2018 zu 2012 |
|---|---------|-----------------|-----------------|-------------------|
| CO  | t/a     | 31.290,06       | 56.600,00       | -45%              |
| NO <sub>x</sub> (NO+NO <sub>2</sub> als NO <sub>2</sub> ) | t/a     | 6.380,85        | 7.140,00        | -11%              |
| SO <sub>2</sub>   | t/a     | 351,96          | 1.920,00        | -82%              |
| HF(gasf.anorg.Fluorverb.als HF)                           | t/a     | 0,65            | 0,62            | 5%                |
| HCl(gasf.anorg.Chlorverb.als HCl)                         | t/a     | 24,89           | 19,60           | 27%               |
| CO <sub>2</sub>   | t/a     | 12.511.432,68   | 13.300.000,00   | -6%               |
| N <sub>2</sub> O  | t/a     | 90,61           | 107,00          | -15%              |
| VOC   | t/a     | 4.482,99        |                 |                   |
| CH <sub>4</sub>   | t/a     | 1.975,66        | 1.980,00        | 0%                |
| Benzol  | kg/a    | 101.898,65      | 145.000,00      | -30%              |
| Gesamtstaub   | t/a     | 1.463,40        |                 |                   |
| PM10-Feinstaub  | t/a     | 1.423,31        | 1.930,00        | -26%              |
| PM2.5-Feinstaub   | t/a     | 1.361,83        |                 |                   |
| BaP   | kg/a    | 289,90          | 290,00          | 0%                |
| PAK   | kg/a    | 4.926,53        |                 |                   |
| Arsen   | kg/a    | 13,81           | 42,60           | -68%              |
| Cadmium   | kg/a    | 47,40           | 60,10           | -21%              |
| Blei  | kg/a    | 718,56          | 492,00          | 46%               |
| Chrom   | kg/a    | 276,32          | 251,00          | 10%               |
| Kupfer  | kg/a    | 216,41          | 243,00          | -11%              |
| Nickel  | kg/a    | 31,45           | 199,00          | -84%              |
| PCDD/F (ITE gem. NATO-CCMS)                               | mg/a    | 1.380,01        | 1.720,00        | -20%              |
| NM VOC  | t/a     | 2.510,20        | 2.520,00        | 0%                |
| Quecksilber   | kg/a    | 25,55           |                 |                   |

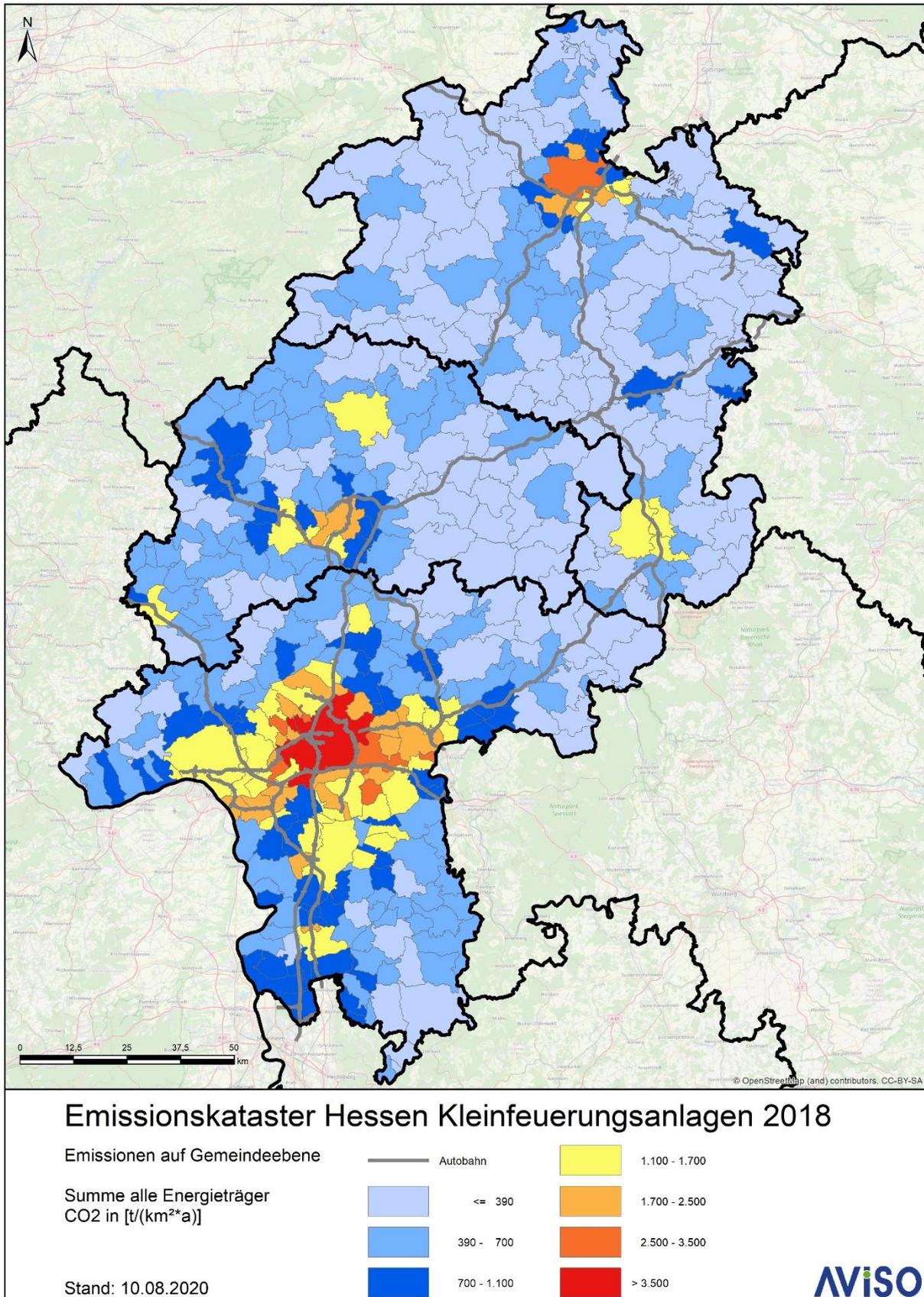


Bild 6.3: CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen in Hessen, 2018

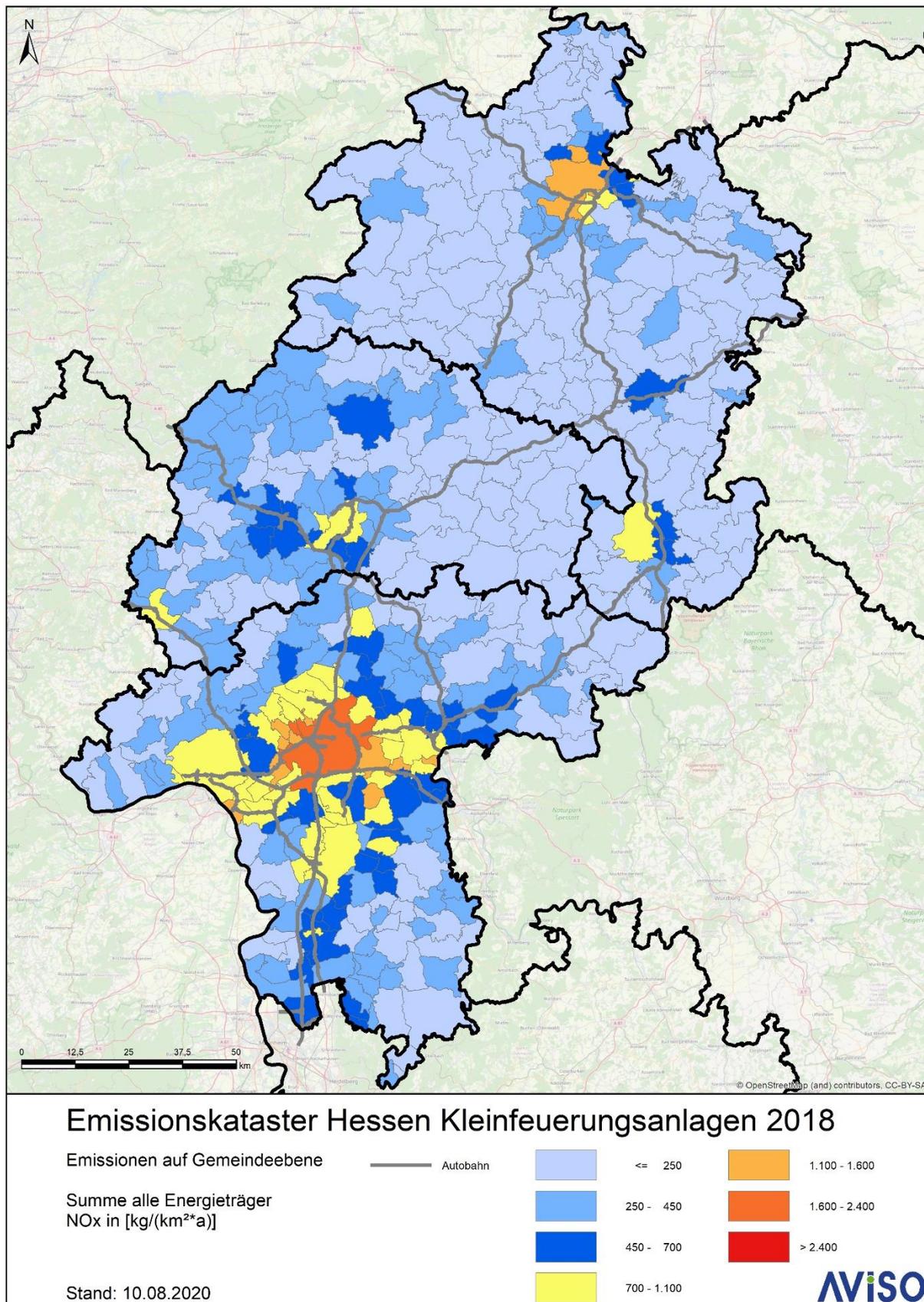


Bild 6.4: NO<sub>x</sub>-Emissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen in Hessen, 2018

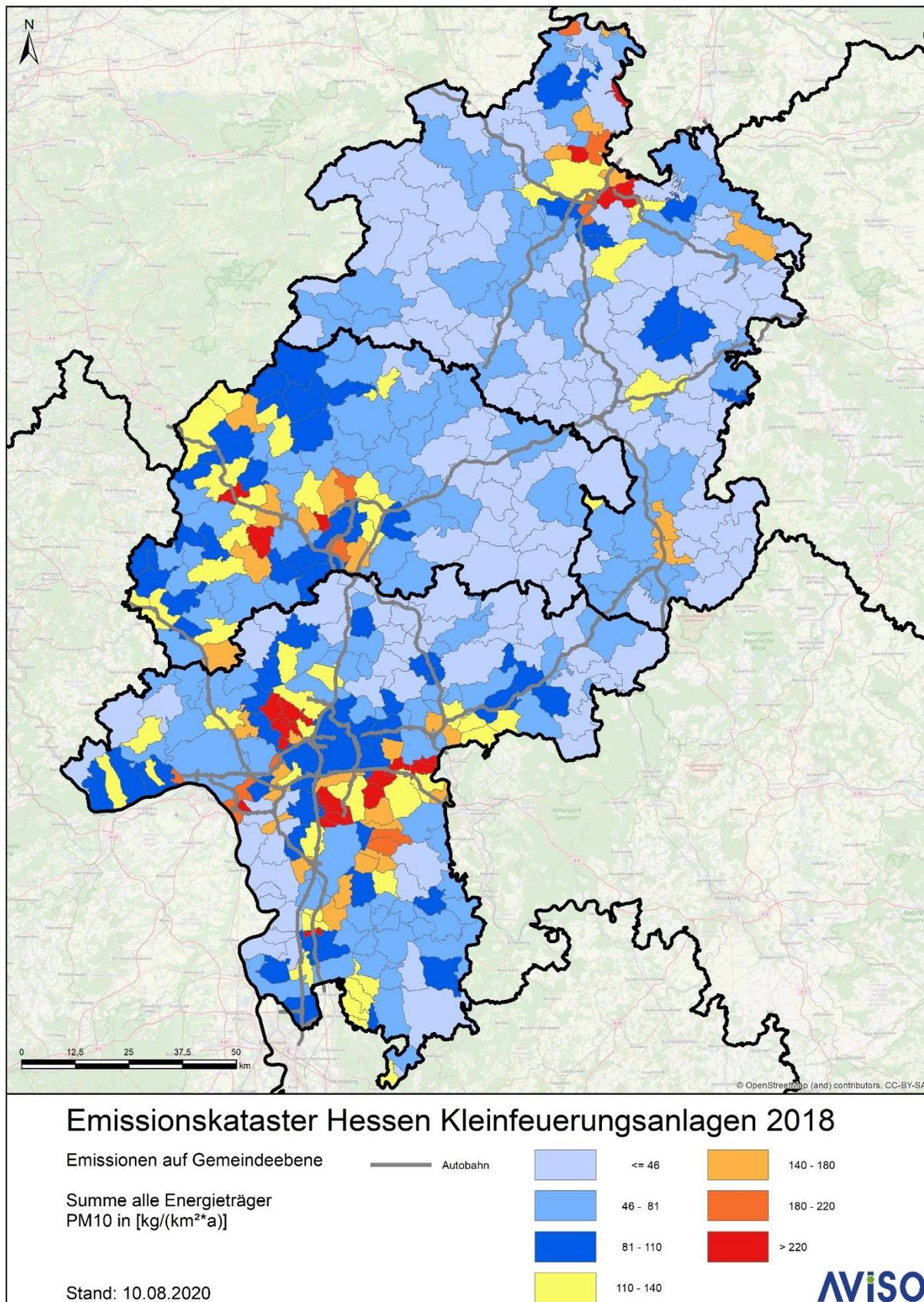


Bild 6.5: PM10-Emissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen in Hessen, 2018

### 6.3 Emissionen im 1 km x 1 km-Raster

Die pro Gemeinde berechneten Emissionen wurden zusätzlich im 1 km x 1 km-Raster ausgewiesen. Hierfür wurden zunächst die Emissionen innerhalb der Gemeinden den mit Gebäuden bebauten Gebieten zugewiesen. Es wurden dazu die Flächen mit Gebäuden aus den Gebäudedaten (LOD1-Daten) mit den Gemeindegrenzen verschnitten und die Gebäude den Gemeinden zugeordnet. Zusätzlich wurden die Gebäudedaten mit dem 1 km x 1 km-Raster verschnitten.

So war es möglich zunächst die Emissionen pro Gemeinde den bebauten Flächen innerhalb der Gemeinden zuzuordnen und die Emissionen der Gemeinde auf diese Flächen zu verteilen. Im nächsten Schritt wurden die Emissionen pro Fläche den betroffenen Rasterelementen zugeordnet. Alle Emissionen innerhalb eines Rasterelements wurden addiert.

In Bild 6.6 und Bild 6.7 sind die gerasterten NO<sub>x</sub>- und PM10-Emissionen dargestellt. Es zeigt sich hier ein räumlich differenziertes Bild bezüglich der höher belasteten Gebiete. Die Emissionen sind jetzt den bebauten Flächen innerhalb der Gemeinden genauer zugeordnet. Bei den NO<sub>x</sub>-Emissionen (Bild 6.6) zeigen sich wieder die größeren Bereiche mit hohen Emissionsdichten in den Regionen mit großen Städten, z.B. Frankfurt und Umgebung. In den übrigen Regionen treten jeweils einzelne Rasterelemente mit ähnlich hohen Emissionsdichten auf. Hier zeigen sich die Emissionen der jeweiligen Kommunen konzentriert auf den bebauten Flächen. Bei der räumlichen Verteilung der PM10-Emissionen im 1 km x 1 km-Raster zeigt sich wie schon in Bild 6.5 auf Gemeindeebene ein anderes Bild. Die höchstbelasteten Rasterelemente liegen nicht in den größeren Städten, sondern in den kleineren Kommunen.

Am Beispiel jeweils einer städtischen und einer ländlichen Region zeigt Bild 6.8 für einen Ausschnitt von Hessen die NO<sub>x</sub>- und PM10-Emissionen im 1 km x 1 km-Raster. Während in der städtischen Region (Frankfurt/Wiesbaden) die unterschiedliche räumliche Verteilung deutlich hervortritt, zeigt sich dies in der ländlichen Region (Marburg/Bad Hersfeld) weniger.

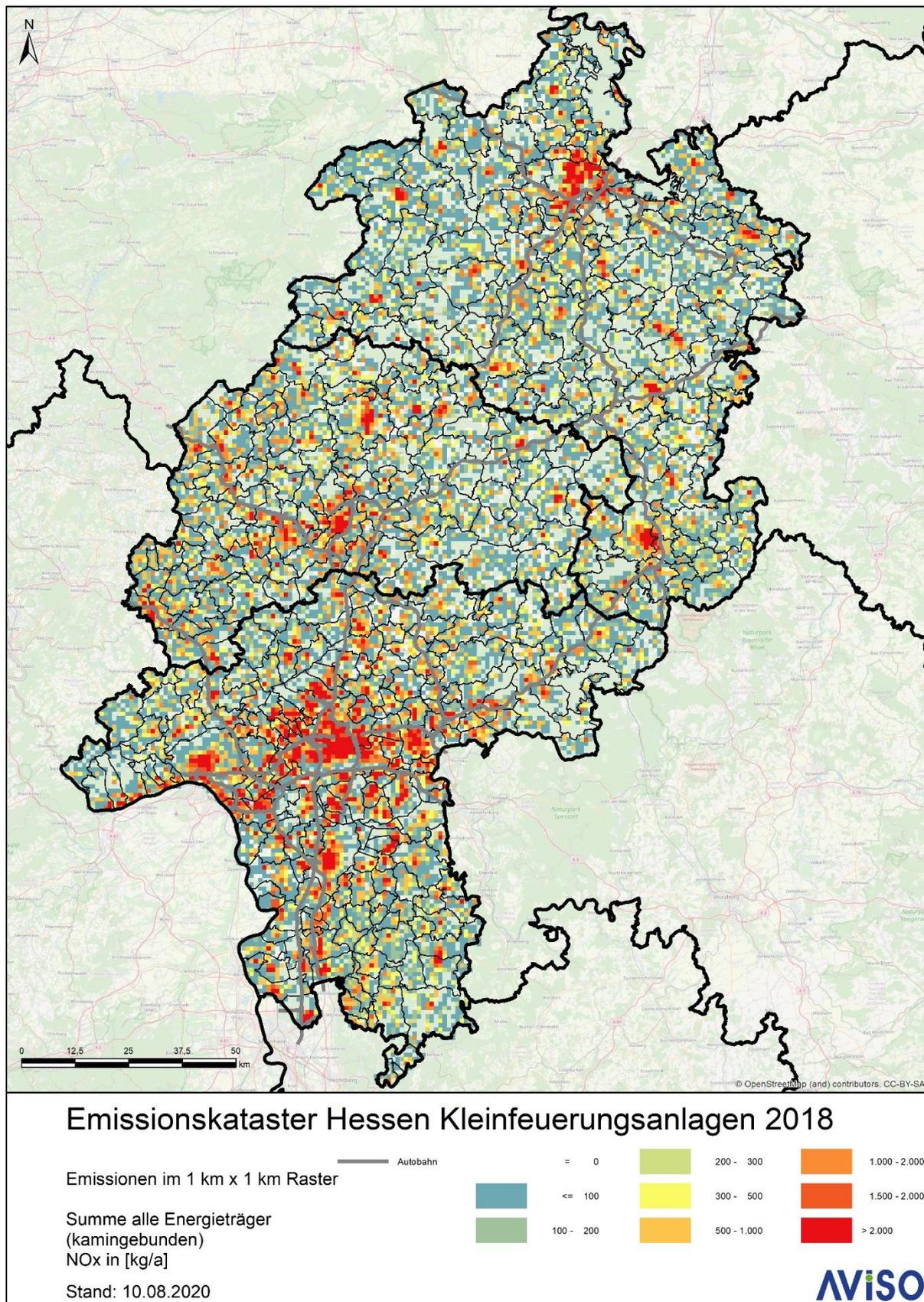


Bild 6.6: NO<sub>x</sub>-Emissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen in Hessen, im 1 km x 1 km-Raster, 2018

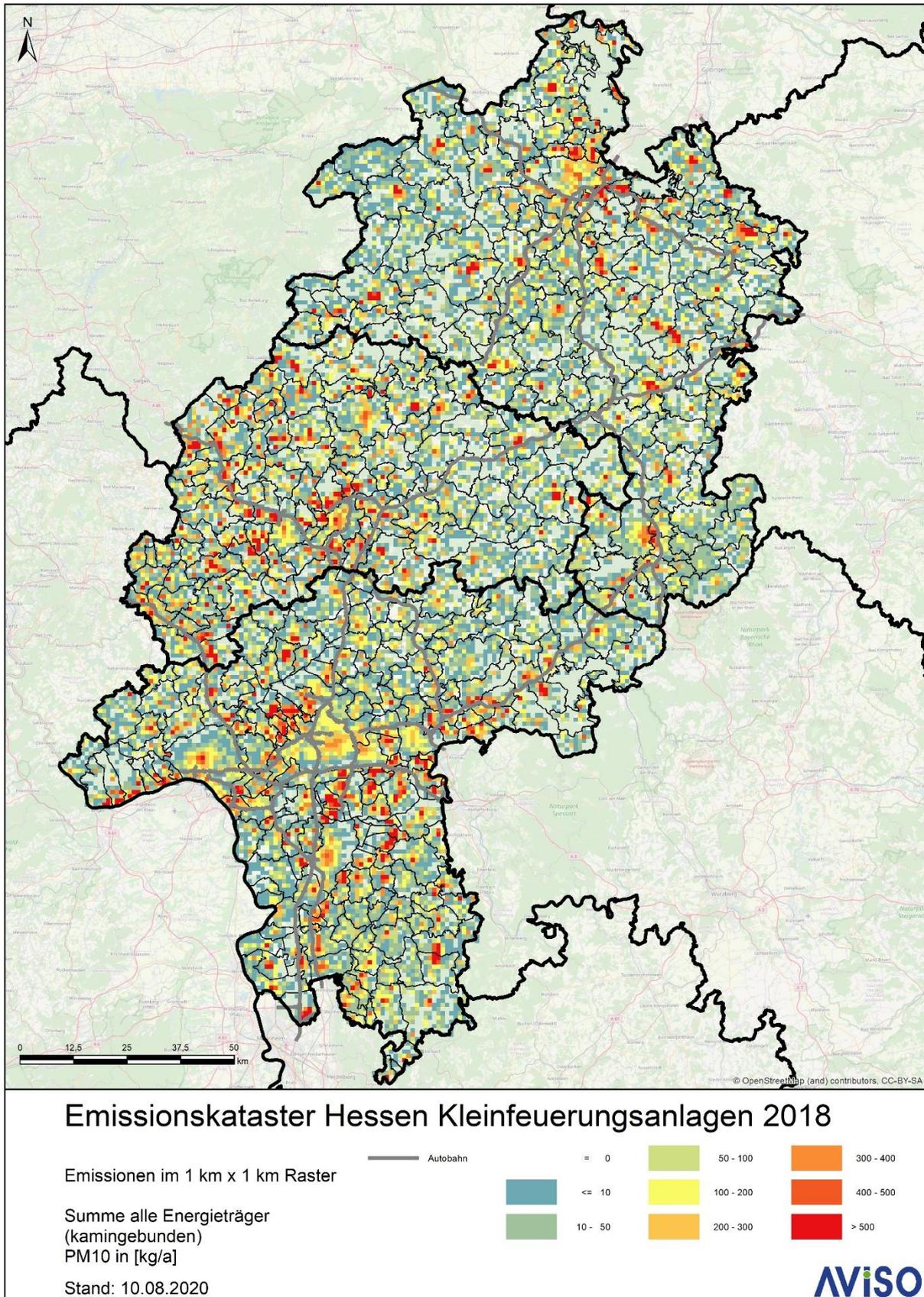


Bild 6.7: PM10-Emissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen in Hessen, im 1 km x 1 km-Raster, 2018

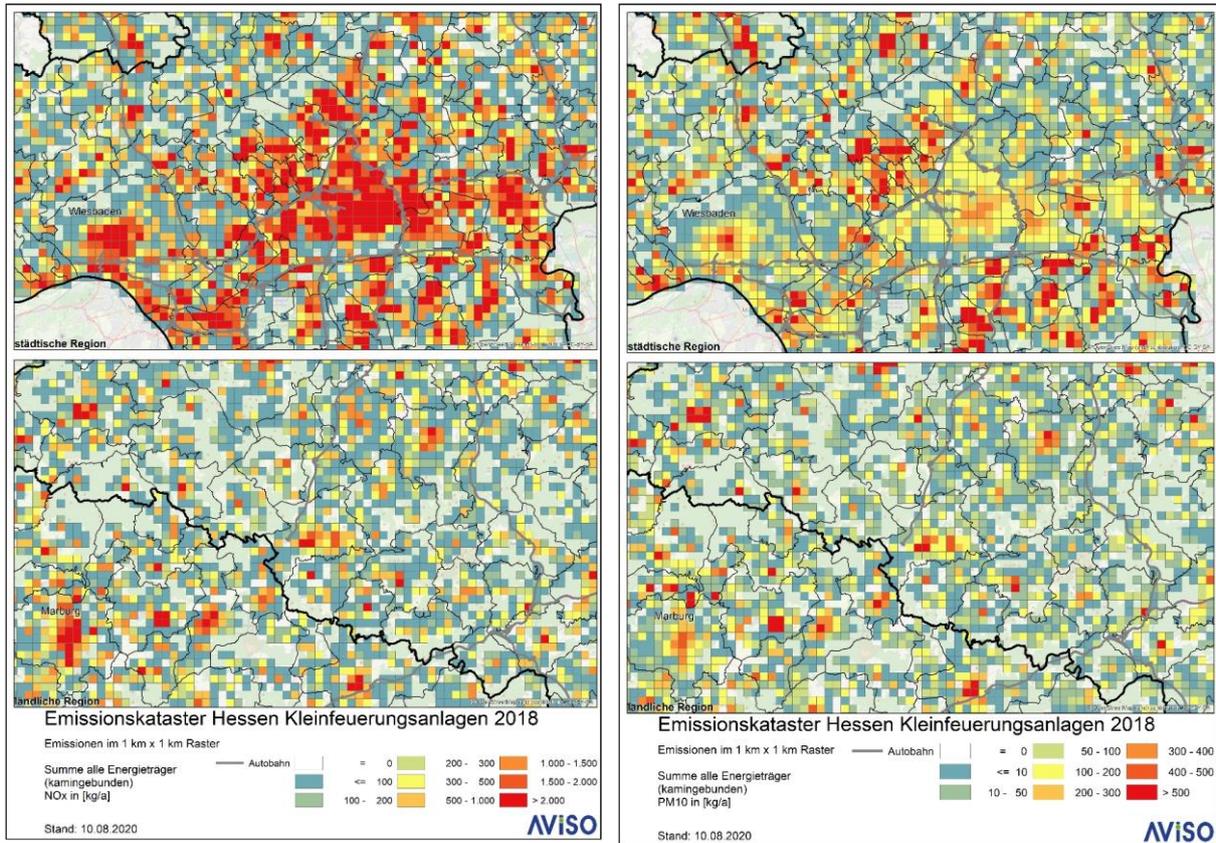


Bild 6.8: NO<sub>x</sub>-Emissionen (links) und PM<sub>10</sub>-Emissionen (rechts) aus Kleinf Feuerungsanlagen in zwei Regionen in Hessen (oben: städtische Region Frankfurt/Wiesbaden, unten: ländliche Region Marburg/Bad-Hersfeld), im 1 km x 1 km-Raster, 2018

## 7 Zusammenfassung

Im Rahmen der Erstellung des Emissionskatasters Kleinf Feuerungsanlagen Hessen 2018 wurde zunächst der Endenergieeinsatz für das gesamte Land auf Basis von Schornsteinfegerdaten, Erhebungsjahr 2018, für alle kamingebundenen nicht genehmigungsbedürftigen Feuerungsanlagen ermittelt.

Insgesamt ergab sich ein Endenergieeinsatz der kamingebundenen Energieträger Gas, Öl und Festbrennstoffe von 52.180 GWh/a. Dieser verteilt sich zu 57,5% auf Gas, 31,4% auf Öl und 11,2% auf Festbrennstoffe. Der Vergleich mit den Daten aus der (vorläufigen) Energiebilanz 2018 für Hessen zeigt, dass der aus den Schornsteinfegerdaten ermittelte Endenergieeinsatz plausibel ist.

Durch Multiplikation der Endenergieeinsätze pro Energieträger mit den entsprechenden Emissionsfaktoren ergeben sich die bei der Verbrennung in Kleinf Feuerungsanlagen entstehenden jährlichen Emissionen. Diese sind für die Luftschadstoffe CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> (als NO<sub>2</sub>), SO<sub>2</sub>, VOC, Gesamtstaub, PM10 und PM2,5, in der folgenden Tabelle ausgewiesen.

Tab. 7.1: Emissionen nicht genehmigungsbedürftige Kleinf Feuerungsanlagen in Hessen, Analysejahr 2018

| Schadstoff  | Einheit | Emissionen 2018 |
|---|---------|-----------------|
| CO <sub>2</sub>   | t/a     | 12.511.432,68   |
| CO  | t/a     | 31.290,06       |
| NO <sub>x</sub> (NO+NO <sub>2</sub> als NO <sub>2</sub> ) | t/a     | 6.380,85        |
| SO <sub>2</sub>   | t/a     | 351,96          |
| VOC   | t/a     | 4.482,99        |
| Gesamtstaub   | t/a     | 1.463,40        |
| PM10-Feinstaub  | t/a     | 1.423,31        |
| PM2.5-Feinstaub   | t/a     | 1.361,83        |

Die für das Land ermittelten Endenergieeinsätze wurden unter Berücksichtigung weiterer regional in unterschiedlicher Differenzierungstiefe vorliegender Daten auf die Gemeinden verteilt. Die Emissionen wurden sowohl auf Gemeindeebene bestimmt als auch zusätzlich im 1 km x 1 km Raster ausgewiesen.

## Literaturverzeichnis

### AGEB 2019

Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den 2013 bis 2017, AG Energiebilanzen e.V., Berlin Juli 2019

### ARGE 2012

D. Walberg, Typische Energieverbrauchskennwerte deutscher Wohngebäude, bei: Die energetische Zukunft des Wohngebäudebestandes, Darmstadt 31.05.2012, ARGE Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V., Kiel 2012

### CLC 2020

<https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitale-geodaten/digitale-landschaftsmodelle/corine-land-cover-5-ha-stand-2018-clc5-2018.html>, letzter Aufruf 14.08.2020

### DENA 2016

DENA Gebäudereport, Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand, DENA Deutsche Energieagentur, Berlin, 2016

### DIW 2019

P. Singhal, J. Stede, Wärmemonitor 2018: Steigender Heizwärmebedarf, Sanierungsrate sollte höher sein, in: DIW Wochenbericht 36 / 2019, Berlin 2019

### DÖRING 2016

P. Döring et al., Energieholzverwendung in privaten Haushalten 2014, Marktvolumen und verwendetet Holzsortimente, Abschlussbericht, Universität Hamburg, Februar 2016

### DÖRING 2017

P. Döring et al., Regionale Derbholzverwendung und Vergleich zum WEHAM-Derbholzpotalential, Abschlussbericht zum Teilvorhaben des Verbundforschungsprojekts WEHAM-Szenarien 8AP 3.2), Universität Hamburg, September 2017

### DWD 2020

<https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimafaktoren/klimafaktoren.html>, letzter Aufruf: 14.08.2020

### EMEP/EEA 2020

EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, Technical guidance to prepare national emission inventories, <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-4-small-combustion/view>

### ENET GMBH 2020

Karte der Netzbetreiber Gas, Versorgungsgebiete der Verteilnetzbetreiber – Deutschland, Januar 2020, ene't GmbH, Hückelhoven

HLNUG 2020a

Datenlieferung LOD1-Daten Hessen, per Email erhalten am 25.03.2020 vom Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

HLNUG 2020b

Mittlere Emissionsfaktoren für kleine und mittlere Feuerungsanlagen KuMFA (nach 1. BImSchV vom 26.01.2010) ohne Abgasreinigung, Stand 6. Juni 2019 für Bericht 2016, Zusammenstellung der LUBW, per Email erhalten am 16.03.2020 vom Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

HLNUG 2020c

/vorläufige) Energiebilanz Hessen 2018, per Email erhalten am 23.03.2020 vom Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

IST IWH 2010

Energieeffizienz im Altbau: Werden die Sanierungspotenziale überschätzt? Ergebnisse auf Grundlage des ista-IWH-Energieeffizienzindex, Michelsen, Müller-Michelsen, Wirtschaft im Wandel 9/2010

IST IWH 2013

ista-IWH-Energieeffizienzindex 2012: Weiter auf dem Pfad der Einsparung! Ergebnisse auf Grundlage des ista-IWH-Energieeffizienzindex, Michelsen, Rosenschon, Barkholz, Wirtschaft im Wandel 5/2013

IWU 2015

T. Loga et al., Deutsche Wohngebäudetypologie, Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden, zweite erweiterte Auflage, IWU Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2015

IWU 2018

H. Cischinsky, N. Diefenbach, Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016, IWU Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2018

LIV HE 2020

Datenlieferung Schornsteinfegerdaten Hessen 2018, Landesinnungsverband, (LIV), per Email erhalten am 28.02.2020 2020 vom Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

ÖKOPOL 2016

Chr. Tebert, et al., Ermittlung und Aktualisierung von Emissionsfaktoren für das nationale Emissionsinventar bezüglich kleiner und mittlerer Feuerungsanlagen der Haushalte und Kleinverbraucher, Abschlussbericht, FKZ 3712 42 313-2, Ökopool GmbH, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau-Roßlau, 2016

STATISTIK D 2020

Wohnen in Deutschland, Zusatzerhebung Microzensus 2018, Bewohnte Wohnungen in Wohngebäuden (ohne Wohnheime) 2018 nach Regionen, Beheizungsart und überwiegend

verwendeter Energieart der Beheizung, Fachserie 5 Heft 1 des statistischen Bundesamts, 2020

#### STATISTIK HE 2019

Bestand an Wohngebäuden und Wohnungen in Hessen, Fortschreibungsergebnisse zum Stand 31. Dezember 2018, Kennziffer: Fl1 - j18, Hessisches statistisches Landesamt, Juli 2019

#### STATISTIK HE 2020a

Sonderauswertung Daten zu Wohnungen, Wohngebäuden und Wohnfläche in Hessen differenziert nach Gebäudetyp, Baujahr, Wohnfläche und Regierungsbezirken, 2018, per Email erhalten am 25.06.2020 vom Hessischen Statistischen Landesamt

#### STATISTIK HE 2020b

Wohnungen nach überwiegend verwendeter Energieart (differenziert nach Gas, Heizöl) zur Beheizung (darunter Sammelheizung) für Regierungsbezirke und die regionalen Anpassungsschichten des Mikrozensus in Hessen, 2018, per Email erhalten am 17.04.2020 vom Hessischen Statistischen Landesamt

#### STRUSCHKA 2008

M. Struschka et al., Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung, Abschlussbericht, FKZ 20542322, Universität Stuttgart, IVD, UBA-Text 444/08, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2008

#### UBA 2018

Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2018, Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2016, UBA, Climate Change 12/2018

#### UBA 2020

N. Toenges-Schuller et al., Black Carbon Emissionen, Teilbericht, FKZ 3717 41 105 0, AVISO GmbH und Ökopol GmbH, im Auftrag des Umweltbundesamtes Dessau-Roßlau, UBA-Texte 47 / 2020

#### WALBERG 2016

D. Walberg, Abriss und Neubau als Chance für den Wohnungsbau, Mehr Senioren-Wohnungen – mehr Energiespar-Wohnungen, ARGE Kiel, Pressenkonferenz 5. April 2016 Berlin

#### ZIV 2020

Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks 2018, Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband 7ZIV), Stankt Augustin,