



Rheinland-Pfalz

LANDESAMT FÜR UMWELT,  
WASSERWIRTSCHAFT UND  
GEWERBEAUF SICHT

## EMISSIONSKATASTER HAUSBRAND RHEINLAND-PFALZ 2012





# EMISSIONSKATASTER HAUSBRAND RHEINLAND-PFALZ 2012

Mainz, März 2014

## IMPRESSUM

- Herausgeber:** Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft  
und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG)  
Kaiser-Friedrich-Str. 7 • 55116 Mainz
- Auftraggeber:** Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung,  
Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz (MULEWF)  
Kaiser-Friedrich-Str. 1 • 55116 Mainz
- Konzept:** Ludwig Hoffmann, Carsten Kuhn (Ref. 1064 MULEWF)
- Bearbeitung:** AVISO GmbH, Aachen  
Dr. rer. nat. Nicola Toenges-Schuller, Dr.-Ing. Christiane Schneider,  
Michael Nacken, Dipl.-Ing. Arnold Niederau
- Redaktion:** Raimund Zemke, Axel Maurer (LUWG)
- Titelbilder:** Heizungsanlage ©markus\_marb - Fotolia.com,  
Thermostat © fotoart111 - Fotolia.com
- Auflage:** 25 Exemplare

© März 2014

Nachdruck und Wiedergabe nur mit Genehmigung des Herausgebers

**Inhalt**

<b>1. Konzept</b>	<b>7</b>
Endenergieeinsatz – Heizwärmebedarf	7
Bestimmung des Endenergieeinsatzes	7
Top-down	8
Bottom-up	8
Vorgehen	8
Berechnung der Emissionen	9
<b>2. Datengrundlagen</b>	<b>10</b>
Schornsteinfegerdaten	10
Gebäudestatistik	12
Wohngebäude	12
Spezifischer Heizwärmebedarf	14
Sonstige beheizte Gebäude	15
Energiebilanz Rheinland-Pfalz	16
Lokale Informationen	16
Bevölkerungsdichte	16
Klimatische Verhältnisse	16
Holzeinsatz	18
Gas und Fernwärme	20
Emissionsfaktoren	22
Vorgehensweise	24
Berechnung Endenergieeinsatz Rheinland-Pfalz	24
Verteilung auf Verwaltungsbezirke	24
Verteilung auf Gemeinden und Stadtteile	24
Berechnung der Emissionen	25
<b>3. Endenergieeinsatz</b>	<b>26</b>
Rheinland-Pfalz gesamt	26
Vergleiche	27
Spezifischer Heizwärmebedarf Rheinland-Pfalz 2012	28
Verteilung auf Verwaltungsbezirke	28
Endenergieeinsatz Mainz, Ludwigshafen und Koblenz	31
Kartendarstellungen	35
<b>4. Emissionen</b>	<b>48</b>
Tabellarische Darstellungen	48
Kartendarstellungen	53
<b>5. Zusammenfassung</b>	<b>72</b>
<b>Literatur</b>	<b>73</b>



# 1. KONZEPT

Im Emissionskataster Hausbrand Rheinland-Pfalz 2012 werden alle nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen in Rheinland-Pfalz, die der Ersten Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV) [1] unterliegen, erfasst. Dies entspricht der Quellengruppe Haushalte und GHD (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen). Dadurch werden Doppelzählungen vermieden, weil die emissionserklärungspflichtigen Anlagen in einem separaten Emissionskataster für genehmigungsbedürftige Anlagen erfasst werden.

Zur Bestimmung der Emissionen dieser Quellengruppe wird zunächst der Endenergieeinsatz der verschiedenen kamingebundenen Energieträger (Gas, Öl, Kohle, Holz, Sonstige) bestimmt. Dies geschieht für Rheinland-Pfalz auf Gemeindeebene, für die Städte Mainz, Ludwigshafen und Koblenz auf Stadtteilebene.

## 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.

Durch Multiplizieren des Endenergieeinsatzes mit den entsprechenden Emissionsfaktoren werden die Emissionen der bei der Verbrennung entstehenden Luftschadstoffe Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Kohlenmonoxid (CO), Stickoxide (NO<sub>x</sub> als NO<sub>2</sub>), Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Kohlenwasserstoffe ohne Methan (NMVOC) sowie Gesamtstaub mit den Fraktionen PM<sub>10</sub>-Feinstaub (Feinstaub mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner gleich 10 µm), PM<sub>2,5</sub>-Feinstaub (Feinstaub mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner gleich 2,5 µm) und Ruß berechnet.

Die Ergebnisse werden für Rheinland-Pfalz auf einem 5 km × 5 km - Raster und für die Städte Mainz, Ludwigshafen und Koblenz auf einem 1 km × 1 km - Raster dargestellt.

## Bestimmung des Endenergieeinsatzes

Zunächst wird der Endenergieeinsatz der Quellengruppe Haushalte/GHD in Kleinfeuerungsanlagen bestimmt, differenziert nach Energieträgern sowie nach Städten und Gemeinden. Für Mainz, Ludwigshafen und Koblenz werden die Ergebnisse weiter auf einzelne Stadtteile heruntergebrochen.

Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten zur Bestimmung des Endenergieeinsatzes.

### Top-down

Ausgangspunkt für eine „top-down“-Betrachtung ist 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 wurde die Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2009 erstellt [2].

Leitungsgebundene Energieträger wie Strom oder Gas können genau erfasst werden. Für Flüssiggas, Öl oder Festbrennstoffe sind die Unsicherheiten höher.

Zur Erstellung eines 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.

### Bottom-up

Bei einer „bottom-up“-Betrachtung ist das Vorgehen genau umgekehrt. Ausgangspunkt ist hier der Wärmebedarf einzelner Haushalte bzw. der Endenergieeinsatz in einzelnen Feuerungsanlagen. Dieser wird auf Stadtteilebene, Gemeindeebene, Verwaltungsbezirksebene bis hin zur Länderebene summiert. Dabei können jeweils lokale Besonderheiten berücksichtigt werden. Je mehr Informationen auf lokaler Ebene vorhanden sind, desto genauer ist die Methode.

### Vorgehen

Für das Emissionskataster Hausbrand Rheinland-Pfalz 2012 wird der Endenergieeinsatz kamingebundener Energieträger in Rheinland-Pfalz auf Basis der Schornstiefegerdaten bestimmt. Diese Daten enthalten Angaben zu den installierten Anlagen pro Leistungsklasse und Energieträger. Sie sind damit die einzige Datenquelle, die differenziert nach Energieträgern vorliegt. Da die Daten bereits für Rheinland-Pfalz summiert sind, entspricht dieses Vorgehen einer Mischung aus „top-down“ und „bottom-up“.

Der Einsatz nicht kamingebundener Energieträger wie Fernwärme, Solarthermie, Umweltwärme (Wärmepumpen) wird aus der Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2009 übernommen.

Unabhängig von den Schornstiefegerdaten wird der Heizwärmebedarf Rheinland-Pfalz zusätzlich „bottom-up“ mittels Daten zur Gebäudestatistik und charakteristischen Wärmebedarfswerten bestimmt. Die Summe dieser Abschätzung für Rheinland-Pfalz sowie der Endenergieeinsatz kamingebundener Energieträger nach der Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2009 [2] werden als Vergleichswerte zur Abschätzung des Endenergieeinsatzes aus den Schornstiefegerdaten herangezogen.



Die Schornsteinfegerdaten liegen nur in Summe für das gesamte Land Rheinland-Pfalz vor. Die Differenzierung dieser Daten auf Verwaltungsbezirke und Gemeinden erfolgt auf der Grundlage der über die Gebäudestatistiken ermittelten Wärmebedarfsmengen. Wo vorhanden, werden zur Verteilung lokale Informationen zur Lage von Gas- und Fernwärmenetzen aus den Energieberichten einzelner Städte sowie zur Landnutzung verwendet.

Im Ergebnis liegen die Endenergieeinsätze von Fernwärme, Solarthermie und Umweltwärme (Wärmepumpen) sowie der kamingebundenen Energieträger Kohle, Holz, Pellets, Stroh und sonstige nachwachsende Rohstoffe, Öl und Gas auf Gemeindeebene bzw. Stadtteilebene (Mainz, Ludwigshafen, Koblenz) vor.

### **Berechnung der Emissionen**

Die Emissionen der bei der Verbrennung der kamingebundenen Energieträger entstehenden Luftschadstoffe werden durch Multiplizieren der Endenergieeinsätze mit entsprechenden Emissionsfaktoren berechnet. Betrachtet werden CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> (als NO<sub>2</sub>), SO<sub>2</sub>, Gesamtstaub, PM10, PM2,5, Ruß und NMVOC.

## 2. DATENGRUNDLAGEN

Im folgenden Kapitel werden die verwendeten Datenquellen sowie die jeweilige Auswertungsmethodik beschrieben.

### Schornsteinfegerdaten

Der Landesinnungsverband für das Schornsteinfegerhandwerk in Rheinland-Pfalz hat für das Emissionskataster Hausbrand Erhebungen aus dem Jahr 2012 aller Feuerungsanlagen aus 429 von 480 Kehrbezirken in Rheinland-Pfalz zur Verfügung gestellt. Weiterhin wurden durch den Landesinnungsverband Auswertungen der Erhebungen aus dem Jahr 2011 veröffentlicht [3], welche die Gesamtzahlen der Feuerungsanlagen aller 480 Kehrbezirke beinhalten. Damit konnten folgende Skalierungsfaktoren abgeleitet werden zur Hochrechnung der Erhebungen 2012 auf alle 480 Kehrbezirke:

Gas: 1,19

Öl: 1,12

fest: 1,16

Die Daten liegen in folgender Differenzierung vor:

- Brennstoffe nach 1. BImSchV: Kohle, Holz (unbehandelt), Pellets, Holz (behandelt), Stroh, Getreideausputz, sonstige nachwachsende Rohstoffe, Öl, Gas
- Errichtungszeitpunkt
- Leistungsklasse
- Anlagenart (Einzelraumfeuerstätte/Zentralheizung, Brennwert, Verdampfer/Zerstäuber, mit/ohne Gebläse, raumluftabhängig/-unabhängig)

Zur Berechnung des jeweiligen Endenergieeinsatzes  $H$  sind weitere Eigenschaften der Feuerungsanlagen erforderlich: Der Endenergieeinsatz  $H$  pro Energieträger  $i$  ergibt sich für jede Leistungsklasse  $j$  als Produkt der mittleren Anlagenleistung pro Leistungsklasse  $P_{ij}$  und der mittleren Anzahl Volllaststunden pro Jahr  $T_{ij}$ . Dazu gibt es eine Untersuchung von Struschka et al. [4], welche die Werte  $P^{BRD,2005}_{ij}$  und  $T^{BRD,2005}_{ij}$  für bundesmittlere Verhältnisse und das Jahr 2005 ausweist. Diese Werte sind in Tab. 2.1 angegeben. Wo die Leistungsklassen nicht mit denen der Schornsteinfegerdaten Rheinland-Pfalz übereinstimmen, wurde entsprechend interpoliert.

$$H^{BRD,2005}_{ij} = T^{BRD,2005}_{ij} \times P^{BRD,2005}_{ij}$$

Die mittlere Anzahl Volllaststunden liefert die 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.

Tab. 2.1: Feuerungsanlagen: Mittlere Nennwärmeleistung und jährliche Volllaststunden

Feuerungsanlagen	Leistungsklasse	mittlere Nennwärmeleistung [kW]	jährliche Volllaststunden [h/a]
Gas			
Zentralheizungen	> 4 - 11 kW	10,0	1.000
	11 - 25 kW	21,0	1.000
	25 - 50 kW	45,0	950
	50 - 100 kW	90,0	950
	> 100 kW	150,0	950
Öl			
Zentralheizungen	> 4 - 11 kW	10,0	442
	11 - 25 kW	21,0	1.040
	25 - 50 kW	45,0	980
	50 - 100 kW	90,0	980
	> 100 kW	150,0	980
Festbrennstoffe			
kohlestämmig	> 4 - 15 kW	10,0	1.020
	> 15 - 50 kW	40,0	928
	> 50 kW	80,0	930
Holz, unbehandelt	> 4 - 15 kW	10,0	1.020
	15 - 50 kW	40,0	928
	> 50 kW	80,0	930
Holzbriketts, Pellets	> 4 - 15 kW	10,0	1.020
	15 - 50 kW	40,0	928
	> 50 kW	80,0	930
Holz, behandelt	> 30 - 50 kW	40,0	928
	> 50 kW	80,0	930
Stroh, Getreideausputz, etc.	> 4 - 15 kW	10,0	1.020
	15 - 50 kW	40,0	928
	> 50 kW	80,0	930
sonstige nachwachsende Rohstoffe	> 4 - 15 kW	10,0	1.020
	15 - 50 kW	40,0	928
	> 50 kW	80,0	930
Einzelfeuerstätten	≤ 6 kW	4,0	350
	> 6 kW; ≤ 8 kW	7,0	596
	> 8 kW	10,0	596
	ohne Angabe	7,0	596

In der vorliegenden Untersuchung wird angenommen, dass sich die Eigenschaften der Feuerungsanlagen in Rheinland-Pfalz nicht vom bundesdeutschen Mittel unterscheiden. Damit ergibt sich für jeden Energieträger  $i$  und jede Leistungsklasse  $j$  eine Proportionalitätskonstante  $c$  zwischen dem gesuchten Endenergieeinsatz  $H^{RP,2012}_{ij}$  und dem unter Annahme bundesmittlerer Verhältnisse nach Struschka et al. [4] berechneten Wert  $H^{BRD,2005}_{ij}$ :

$$H^{RP,2012}_{ij} = c \times H^{BRD,2005}_{ij} = c \times T^{BRD,2005}_{ij} \times P^{BRD,2005}_{ij}$$

Unter der Annahme, dass die Proportionalitätskonstante ( $c$ ) nur von den Außentemperaturen abhängt, kann diese mittels der Gradtagszahlen des Deutschen Wetterdienstes bestimmt werden. Abweichungen vom Bundesdurchschnitt bezüglich des Einsatzes von Baumaterialien, des Einfamilienhausanteils oder der Heizgewohnheiten werden nicht berücksichtigt.

Da die Abhängigkeit von Energieträger und Leistungsklasse schon in  $T_{ij}$  berücksichtigt ist, kann  $c$  bei Kenntnis des Endenergieeinsatzes eines Energieträgers jedoch auch spezifisch für Rheinland-Pfalz bestimmt werden. Dazu wird der Gaseinsatz in Haushalten und GHD nach der Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2009 verwendet, dieser ist als leitungsgebundener Energieträger in der Bilanz am besten bekannt.

Prinzipiell sind die Schornsteinfegerdaten eine wertvolle Datenquelle zur „bottom-up“ Bestimmung des Endenergieeinsatzes. Da sie hier jedoch summiert für ganz Rheinland-Pfalz vorliegen, muss die räumliche Differenzierung mittels zusätzlicher Datenquellen durchgeführt werden. Dazu wurde auf Informationen zu Wohngebäuden sowie sonstigen beheizten Gebäuden zurückgegriffen.

## Gebäudestatistik

Aufgrund der Mikrozensus-Erhebungen „Bestand und Struktur der Wohneinheiten, Wohnsituation der Haushalte“ liegen dem Statistischen Bundesamt sowie den Statistischen Landesämtern detaillierte Angaben zum Bestand der Wohnungen in Wohn- und sonstigen Gebäuden vor. Zu den sonstigen beheizten Gebäuden gibt es weniger Daten, so dass hier ein pauschaler Ansatz gewählt wird.

### Wohngebäude

Mit Hilfe von Informationen über Wohnflächen in Ein- und Mehrfamilienhäusern sowie über das Alter des Gebäudebestands kann der Heizwärmebedarf im Wohnungsbereich „bottom-up“ bestimmt werden. Dies dient einerseits zur Einordnung des aus den Schornsteinfegerdaten bestimmten Endenergieeinsatzes und andererseits zur räumlichen Verteilung.

Für die vorliegende Auswertung wurden folgende Daten des Statistischen Landesamtes Rheinland-Pfalz verwendet:

Auf Verwaltungsbezirksebene:

- Gebäude mit Wohnraum nach Baujahr
- Gebäude mit Wohnraum nach Heizungsart
- Anzahl EFH (Einfamilienhäuser), Anzahl MFH (Mehrfamilienhäuser)
- Anzahl Wohnungen
- Wohnfläche

Auf Gemeindeebene:

- Anzahl Wohnungen
- Anzahl Wohngebäude
- Wohnfläche
- Anzahl Wohnungen nach Zimmerzahl

Weiterhin verwendet wurde die mittlere Wohnfläche EFH in Rheinland-Pfalz (125 m<sup>2</sup>, ebenfalls Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz). Damit kann für jeden Verwaltungsbezirk die mittlere Wohnfläche nach Baujahr bestimmt werden.

Die Verteilung nach Baujahren ist in Abb. 2.1 dargestellt.

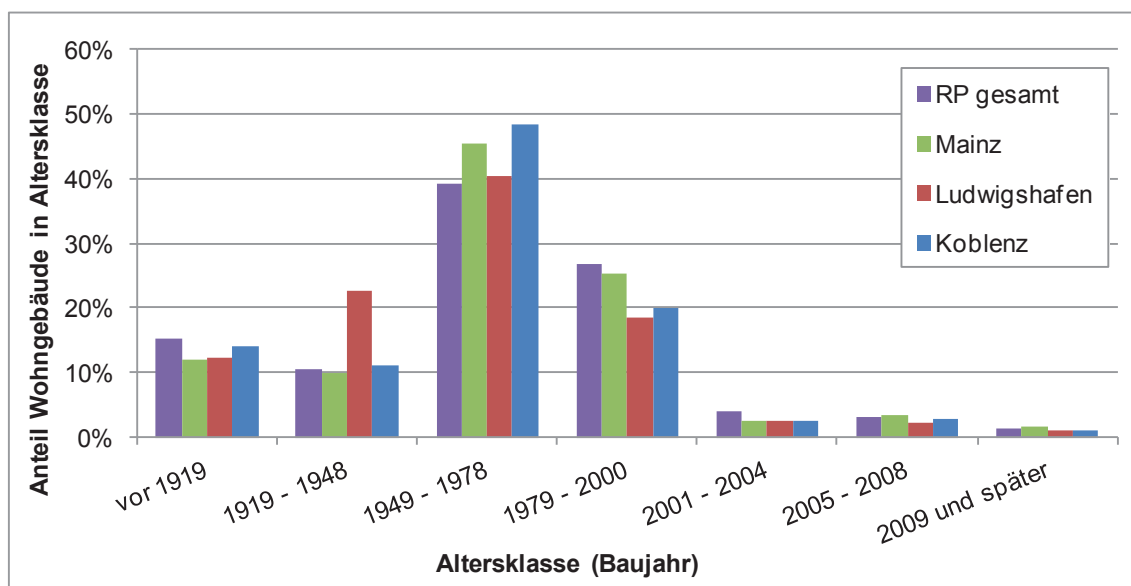


Abb. 2.1: Häufigkeitsverteilung Gebäudebestand nach Baujahr für Rheinland-Pfalz, Mainz, Ludwigshafen und Koblenz

Für die drei Städte Mainz, Ludwigshafen und Koblenz sollen der Endenergieeinsatz und die Emissionen zusätzlich räumlich nach Stadtteilen differenziert ermittelt werden. Daher wurden für diese drei Städte zusätzlich folgende Informationen auf Stadtteilebene verwendet:

- Anzahl Wohngebäude
- Anzahl Wohnungen

Für Mainz liegen auf Stadtteilebene zusätzliche Informationen zur Wohnfläche vor [5], für Ludwigshafen Informationen zum Baujahr [6].

Auf Stadtteilebene ist die Anzahl Wohnungen pro Wohngebäude bekannt, der Anteil EFH jedoch nicht gegeben. Da der spezifische Heizwärmebedarf für EFH höher ist als für Mehrfamilienhäuser, muss dieser Anteil bestimmt werden.

Eine Funktion zur Abschätzung des EFH Anteils sollte bei einer Wohnung pro Gebäude einen EFH Anteil von 100 % liefern. Da prinzipiell beliebig viele Wohnungen pro Gebäude möglich sind, sollte die Funktion für hohe Wohnungszahlen monoton auf einen EFH Anteil von 0 % abfallen, diesen aber erst asymptotisch erreichen. Es bietet sich an, die Abnahme des EFH Anteils mit der Wohnungszahl pro Gebäude als Exponentialfunktion auszudrücken. Es wurde daher eine Exponentialfunktion an die für Mainz, Ludwigshafen und Koblenz als Gesamtstädte bekannten Werte für EFH Anteile und Wohnungen pro Gebäude angepasst. Sie ist in Abb. 2.2 dargestellt und erfüllt folgende Randbedingungen:

- Bei einer Wohnung pro Gebäude liegt der EFH Anteil bei 100 % (rote Raute in Abb. 2.2).
- Der EFH Anteil ist überall  $\geq 0$ , für Mainz Neustadt (Maximalwert von im Mittel 11 Wohnungen pro Gebäude, ungefüllte Raute) ergibt sich hier ein EFH Anteil von 8 %.
- Die Werte für Mainz, Ludwigshafen und Koblenz (gefüllte blaue Raute) liegen nah an der Funktion.

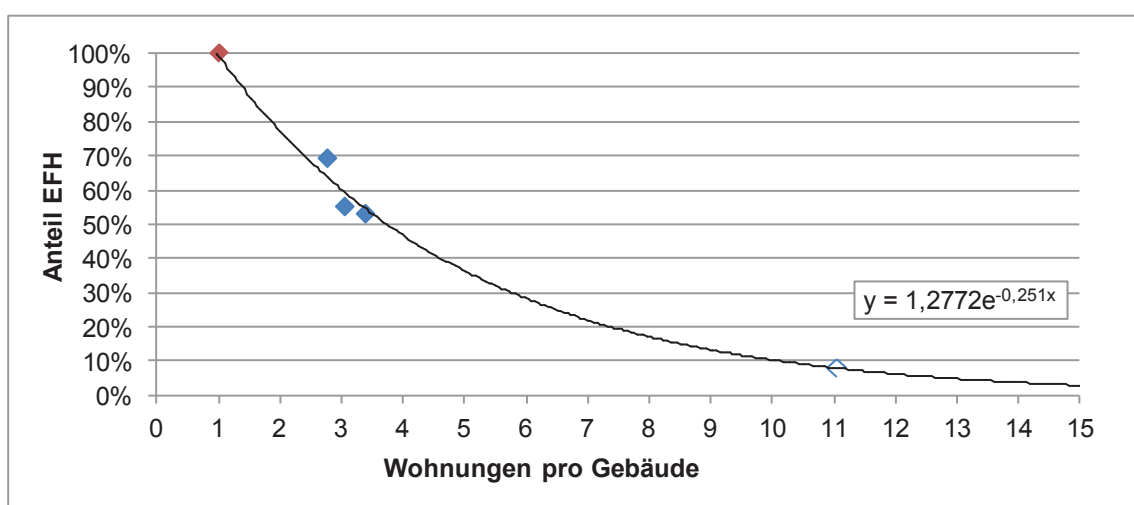


Abb. 2.2: Abschätzung Anteil Einfamilienhäuser aus der Anzahl Wohnungen pro Gebäude

Für Mainz und Koblenz, wo keine Angaben zur Altersstruktur der Gebäude auf Stadtteilebene vorliegen, wird jeweils die Verteilung des Gebäudebestands nach Baujahr für die gesamte Stadt angesetzt. Damit kann auch auf Stadtteilebene die mittlere Wohnfläche nach Baujahr bestimmt werden.

### Spezifischer Heizwärmebedarf

Der jährliche Heizwärmebedarf ergibt sich als Produkt der Wohnfläche mit dem spezifischen Heizwärmebedarf. Dieser ist für Einfamilienhäuser höher als für Mehrfamilienhäuser und hängt außerdem vom Dämmstandard ab.

Bei einer Literaturrecherche wurden zwei Quellen gefunden, in denen der spezifische Heizwärmebedarf in Deutschland nach Baujahr differenziert angegeben wird:

- Bewertung der Energieversorgung mit leitungsgebundenen gasförmigen Brennstoffen im Vergleich zu anderen Energieträgern (Teil I), Gastecnologisches Institut gGmbH Freiberg [7]; im Folgenden als „DBI“ bezeichnet.

- Erfassung regionaltypischer Materialien im Gebäudebestand mit Bezug auf die Baualtersklasse und Ableitung typischer Bauteilaufbauten, Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V. [8], hier wird das Raumwärmemodell Ikarus der Universität Bremen verwendet; im Folgenden „Ikarus“ genannt.

Die in der Literatur angegebenen Altersklassen wurden durch Interpolation auf die Altersklassen des Gebäudebestands in Rheinland-Pfalz abgebildet. Der so bestimmte spezifische Heizwärmebedarf nach Altersklassen ist in Abb. 2.3 dargestellt. Insbesondere für EFH älterer Baujahre weichen die Werte deutlich voneinander ab, der spezifische Heizwärmebedarf nach DBI liegt ca. 70 % höher als derjenige nach Ikarus.

Für das Emissionskataster Hausbrand Rheinland-Pfalz 2012 werden die Gebäudedaten daher in erster Linie als Verteilparameter eingesetzt. Die Schätzungen des Heizwärmebedarfs dienen als obere und untere Begrenzungen.

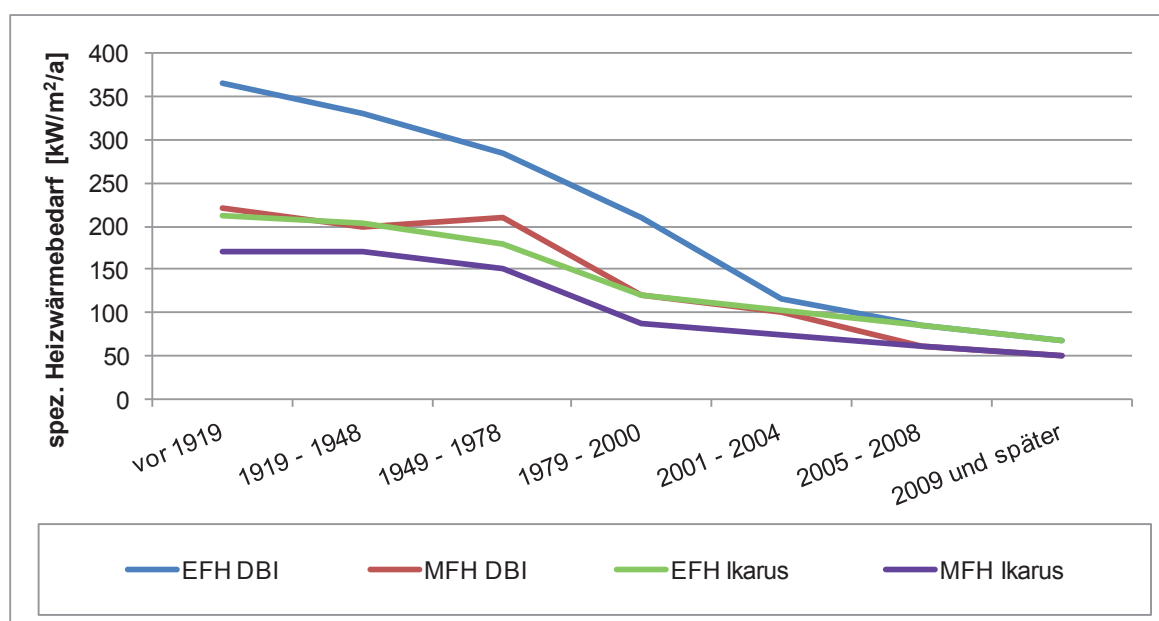


Abb. 2.3: Spezifischer Heizwärmebedarf nach Altersklassen für Ein- und Mehrfamilienhäuser nach DBI und nach Ikarus

### Sonstige beheizte Gebäude

Um neben den Wohngebäuden auch den Wärmebedarf der sonstigen beheizten Gebäude berücksichtigen zu können, wurde auf die Gebäudegrundflächen aus den Geobasisdaten der Vermessungs- und Katasterverwaltung Rheinland-Pfalz [9] zurückgegriffen. Diese werden im amtlichen Liegenschaftskataster Informationssystem (ALKIS) erfasst.

Die Gebäudegrundflächen sind differenziert nach 66 Gebäudetypen angegeben (Wohngebäude, Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe, Verwaltungsgebäude, ...). Von diesen wurden die nicht beheizten Gebäude (Parkhäuser, Wasserbehälter, Schutzhütten etc.) eliminiert. Dann wurde für jeden Verwaltungsbezirk der Anteil der sonstigen beheizten Gebäude an der Gesamtgrundfläche der beheizten Gebäude bestimmt.

Zur Abschätzung des Heizwärmebedarfs der sonstigen beheizten Gebäude wurde angenommen, dass ihr Bedarf pro Grundfläche gleich dem der Wohngebäude ist.

## Energiebilanz Rheinland-Pfalz

Der 9. Energiebericht Rheinland-Pfalz [2] bezieht sich auf das Jahr 2009 und gibt für mittlere klimatische Verhältnisse in Rheinland-Pfalz den Endenergieeinsatz von Erdgas, Öl, Holz, Biokraftstoffen, Wärmepumpen, Solarthermie, Fernwärme und Kohle zur Wärmeversorgung in den Sektoren Haushalte und GHD an. Für das Emissionskataster Hausbrand Rheinland-Pfalz 2012 wurden diese Daten wie folgt verwendet:

- Der Endenergieeinsatz von Umweltwärme (Wärmepumpen) und von Solarthermie wurde übernommen.
- Von den kamingebundenen Energieträgern wurde die Unsicherheit des Gasverbrauchs als vorwiegend leitungsgebundenem Energieträger am geringsten eingeschätzt. Der Wert für Gas enthält zwar auch Flüssiggas, da dessen Anteil jedoch gering (< 10 %) ist, trägt die höhere Unsicherheit beim Flüssiggas nur wenig zur Unsicherheit des Gesamtverbrauchs bei.
- Der auf Basis der Schornsteinfegerdaten bestimmte und nach Energieträgern differenzierte Endenergieeinsatz wurde daher mit dem Gasverbrauch Haushalte und GHD skaliert.

## Lokale Informationen

Zur Verteilung des Endenergieeinsatzes wurden Unterschiede hinsichtlich der klimatischen Verhältnisse sowie der Landnutzung berücksichtigt. Wo vorhanden, wurde zusätzlich auf die Lage von Gas- bzw. Fernwärmenetzen sowie auf die Informationen zu den Energiebilanzen einzelner Städte zurückgegriffen.

### Bevölkerungsdichte

Zur leichteren Einordnung der lokalen Informationen ist in Abb. 2.4 die Bevölkerungsdichte in Rheinland-Pfalz 2011 nach Verwaltungsbezirken dargestellt (Quelle: Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz [10]).

### Klimatische Verhältnisse

Zur Berücksichtigung unterschiedlicher klimatischer Verhältnisse wird auf Gradtagszahlen (GTZ) zurückgegriffen, die an fünf Stationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) berechnet wurden (Abb. 2.5).

GTZ werden allgemein zur Berechnung des Heizwärmebedarfs eines Gebäudes herangezogen. Sie stellen für die Heizperiode den Zusammenhang zwischen Raumtemperatur und Außentemperatur dar und dienen als Hilfsmittel zur Einschätzung der Heizkosten.

Rheinland-Pfalz wurde in vier Bereiche mit unterschiedlichen klimatischen Verhältnissen eingeteilt, dazu wurde auf die in Abb. 2.5 dargestellte Karte der mittleren Temperatur in der forstlichen Vegetationszeit (Quelle: Landesforsten Rheinland-Pfalz, <http://www.wald-rlp.de/unser-wald/geographie-und-klima/klima.html>) zurückgegriffen.

In Abb. 2.5 ebenfalls eingetragen sind fünf Wetterstationen des DWD, welchen die vier Bereiche wie folgt zugeordnet werden:



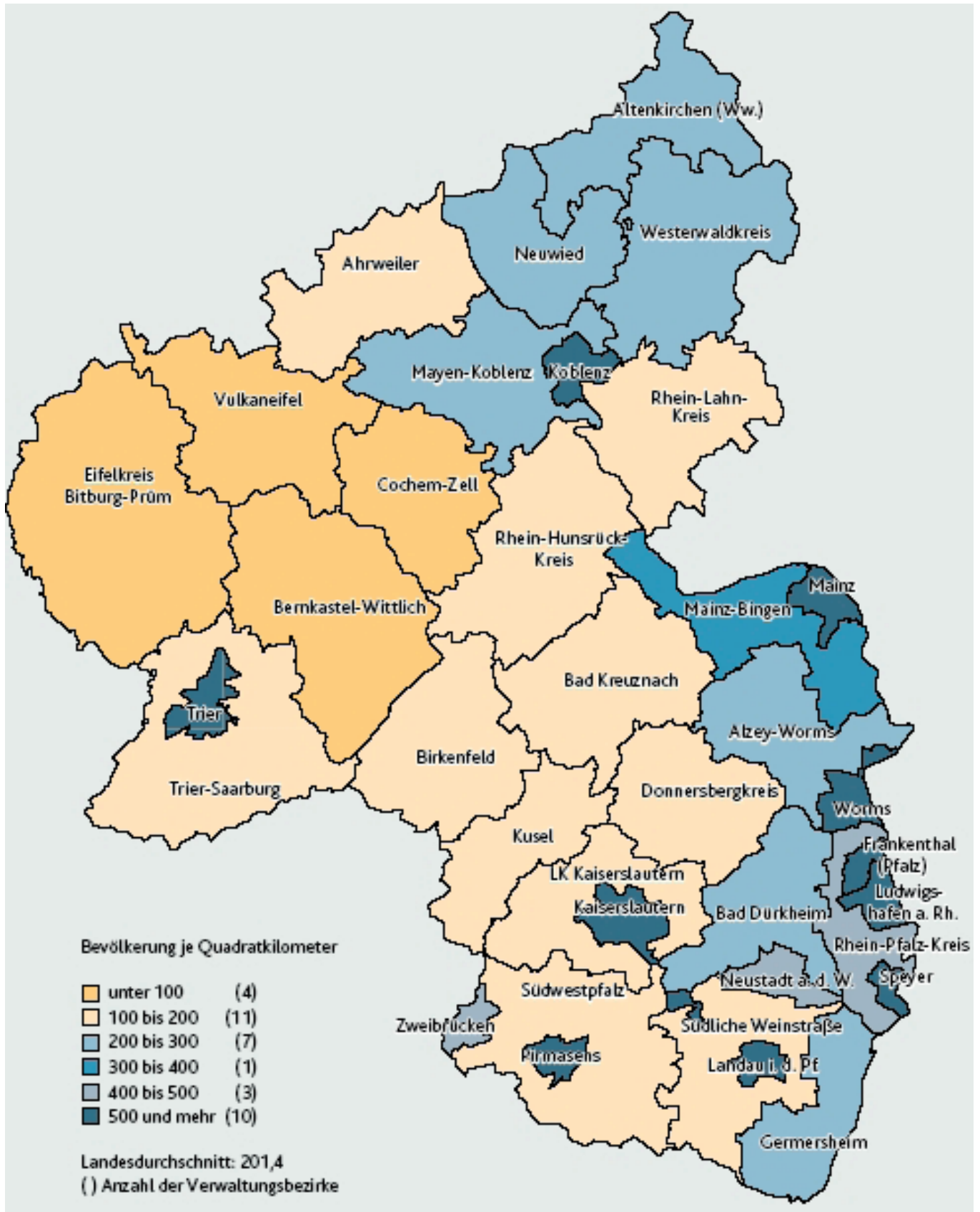


Abb. 2.4: Bevölkerungsdichte Rheinland-Pfalz 2011 nach Verwaltungsbezirken

- Am wärmsten in Rheinland-Pfalz ist es im Rheintal zwischen Karlsruhe und Mainz. Die hier lokalisierten Verwaltungsbezirke werden je nach Lage den Wetterstationen Karlsruhe oder Frankfurt a.M. Flughafen zugeordnet.
- Immer noch mild ist es in den weiteren Flusstälern. Die entsprechenden Verwaltungsbezirke werden der Wetterstation Trier Petrisberg zugeordnet.
- Etwas kühler ist es in der Ebene abseits der Flusstäler. Die dort lokalisierten Verwaltungsbezirke werden der Wetterstation Saarbrücken zugeordnet.
- Am kältesten in Rheinland-Pfalz ist es in den Höhenlagen in der Eifel, im Hunsrück und im Westerwald. Diese Bereiche werden der Wetterstation Nürburg-Barweiler zugeordnet.
- Erstreckt sich ein Verwaltungsbezirk über zwei Bereiche, so wird er anteilig beiden zugerechnet.

Die Zuordnung und die entsprechenden GTZ [11] sind in Tab. 2.2 angegeben.

**Tab. 2.2: Gradtagszahlen für fünf DWD-Stationen sowie Zuordnung der Verwaltungsbezirke in Rheinland-Pfalz zu diesen Stationen**

Wetterstation	Verwaltungsbezirk	GTZ(*) Mittel(**)	GTZ(*) 2012
Karlsruhe, Frankfurt Flughafen	Frankenthal, Landau, Ludwigshafen, Mainz, Neustadt, Speyer, Worms, Germersheim, Rhein-Pfalz-Kreis, Südliche Weinstraße, Bad Dürkheim, Alzey-Worms, Main-Bingen, Bad Kreuznach (50 %)	3.277, 3.396	3.218
Trier Petrisberg	Trier, Trier-Saarburg, Bernkastel-Wittlich, Cochem-Zell, Mayen-Koblenz, Koblenz, Rhein-Hunsrück-Kreis (33 %), Rhein-Lahn-Kreis, Neuwied, Ahrweiler (33 %)	3.630	3.463
Saarbrücken	Zweibrücken, Pirmasens, Südwest-Pfalz, Kaiserslautern, Kusel, Donnersbergkreis	3.736	3.553
Nürburg-Barweiler	Eifelkreis Bitburg-Prüm, Vulkaneifel, Ahrweiler (67 %), Birkenfeld, Rhein-Hunsrück-Kreis (67 %), Bad Kreuznach (50 %), Altenkirchen, Westerwaldkreis	4.074	4.038

(\*) Berechnung nach VDI 3807, Heizgrenztemperatur: 15°C, Innentemperatur: 20°C (Empfehlung für Bestandsgebäude)

(\*\*) Mittel: Jahre 1970-2012

### Holzeinsatz

Der Einsatz unbehandelten Scheitholzes in Rheinland-Pfalz wird aus den Schornstiefegerdaten bestimmt. Die Verteilung wird in Anlehnung an einen Ansatz nach PAREST [12] durchgeführt. Als Verteilparameter wird ein Gewichtungsfaktor definiert, dieser ist proportional

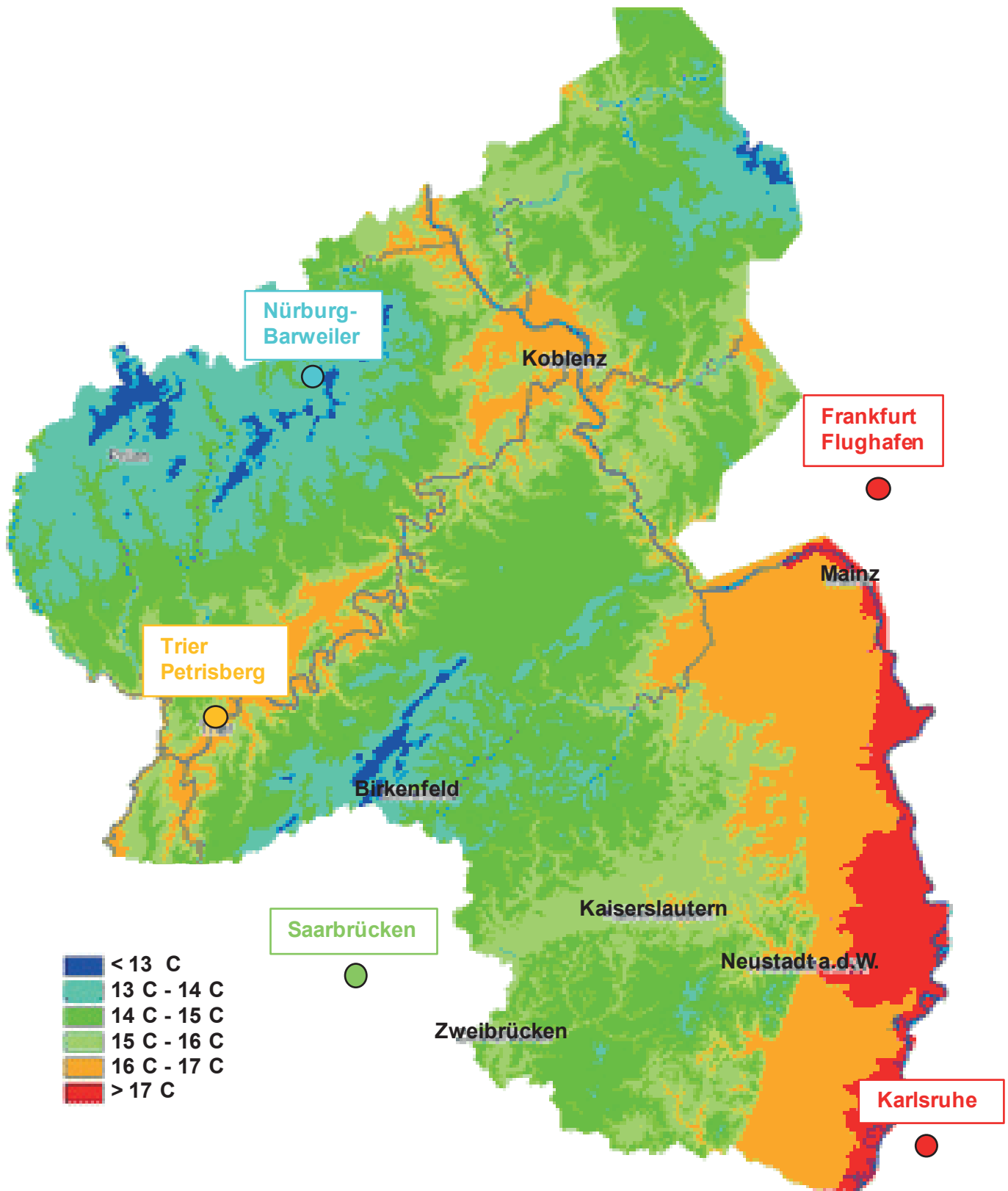


Abb. 2.5: Mittlere Temperatur in der forstlichen Vegetationszeit

- zur Anzahl Wohnungen pro Gemeinde (Wohnungsstatistik Rheinland-Pfalz)
- zum Anteil Haushalte, die mit Holz heizen (Gemeindeebene [12], Tab. 2.3)
- zum Scheitholzverbrauch pro Haushalt (Gemeindeebene [12], Tab. 2.3)
- zum Anteil der Waldfläche an der Gesamtfläche (Verwaltungsbezirksebene, Flächennutzungsdaten Rheinland-Pfalz [9])

**Tab. 2.3: Häufigkeit erfasster Holzfeuerstätten pro Haushalt sowie durchschnittlicher Scheitholzverbrauch pro Haushalt nach Ortsgrößenklasse**

Gemeindegröße	Anteil Haushalte, die mit Holz heizen	Durchschnittlicher Scheitholzverbrauch pro Haushalt [FM](*)
bis 5.000 EW	37 %	5,5
bis 50.000 EW	21 %	3,5
bis 500.000 EW	13 %	3,0
über 500.000 EW	7 %	2,4

(\*) FM: Festmeter: Kubikmeter Holz ohne Zwischenräume

### Gas und Fernwärme

Für die Städte Mainz, Ludwigshafen und Koblenz waren Daten zur Gasabgabe an Haushalte und Gewerbe im Stadtgebiet verfügbar. Zusätzlich lagen für die Städte Mainz und Ludwigshafen die abgegebenen Fernwärmemengen vor. Bei letzteren wurden Leitungsverluste von 12 % berücksichtigt. Für die Städte Koblenz, Frankenthal, Kaiserslautern, Landau, Speyer, Worms und die Region Trier wurden die Daten zum Fernwärmeeinsatz den kommunalen Energiebilanzen bzw. integrierten Klimaschutzkonzepten entnommen.

Bei der Verteilung des über die Schornsteinfegerdaten berechneten Endenergieeinsatzes auf die einzelnen Verwaltungsbezirke werden die jeweiligen Gas- und Fernwärmeeinsätze entsprechend ange setzt. Der Rest der Gesamtmengen wird entsprechend dem Verteilparameter Heizwärmebedarf (berechnet über die Gebäudestatistik) auf die übrigen Verwaltungsbezirke aufgeteilt.

Wird der geringe Anteil Flüssiggas vernachlässigt, so kann die Lage der Gasnetze (Abb. 2.6, Quelle: AVISO GmbH 2013) zur Verteilung herangezogen werden. Bereiche ohne Gasnetz sind in Abb. 2.6 in Weiß dargestellt.

Es ist deutlich zu erkennen, dass in weiten Teilen der ländlichen Räume insbesondere im Westen von Rheinland-Pfalz kein Gasnetz verlegt ist. Dies wurde bei der räumlichen Verteilung berücksichtigt.

Ein Vergleich mit Abb. 2.4 zeigt, dass die Bereiche ohne Gasnetz in Gegenden mit besonders niedriger Bevölkerungsdichte liegen.

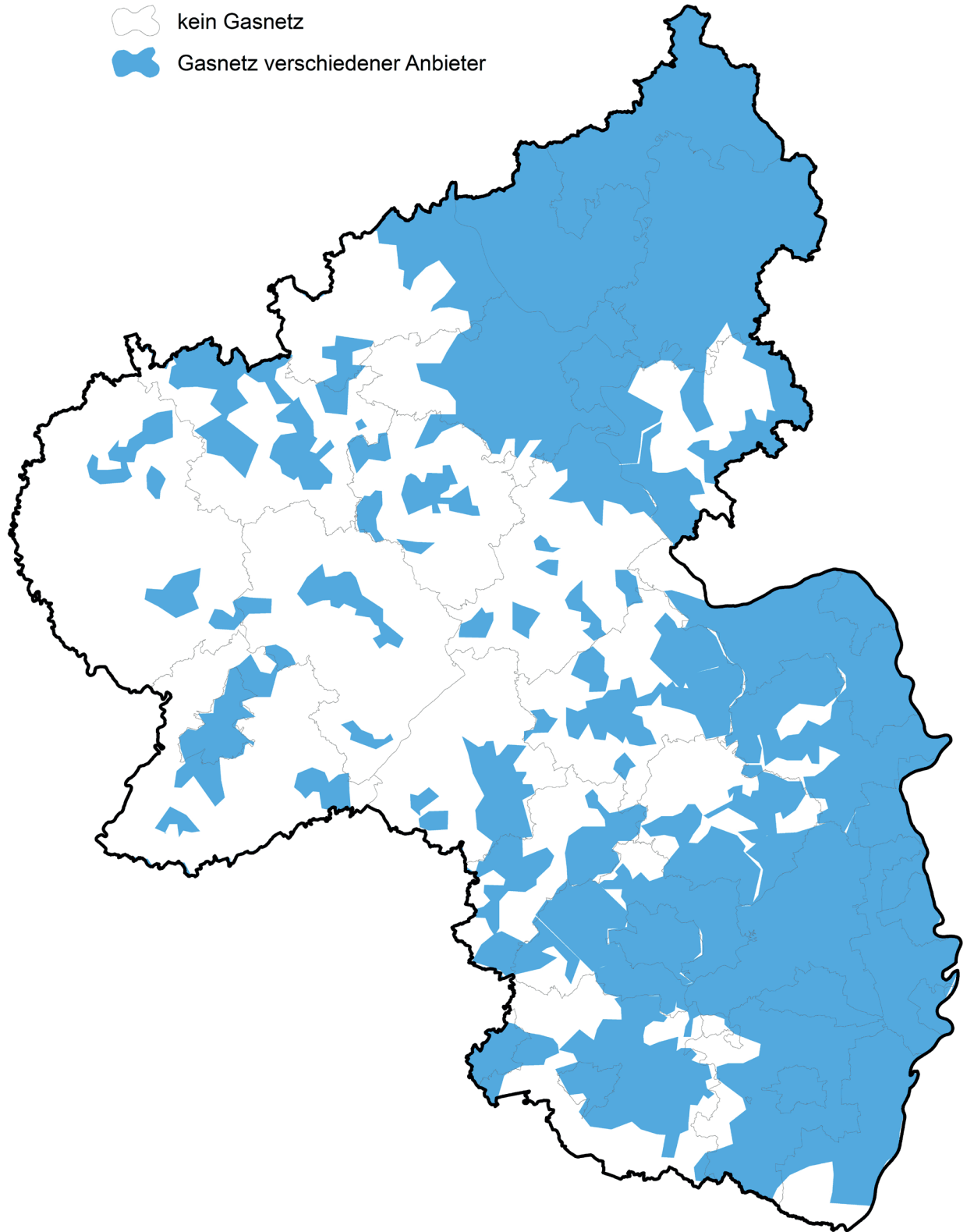


Abb. 2.6: Gasnetz in Rheinland-Pfalz

## Emissionsfaktoren

Zur Berechnung der Emissionen müssen die Endenergieeinsätze für jeden kamingebundenen Energieträger mit entsprechenden Emissionsfaktoren multipliziert werden. Dies erfolgt auf Grundlage der in Tab. 2.4 ausgewiesenen Werte [13].

Für Gas und Kohle ist die in Tab. 2.4 angegebene Differenzierung der Emissionsfaktoren höher als in den Schornsteinfegerdaten. Daher wurden die Emissionsfaktoren wie folgt gemittelt:

- **Gas:** Aus den Schornsteinfegerdaten geht nicht hervor, ob eine Feuerungsanlage mit Erdgas oder mit Flüssiggas betrieben wird. Es wurden daher unter der Annahme eines Anteils von 7 % Flüssiggas am Gaseinsatz (analog zu Auswertungen von Schornsteinfegerdaten für Essen und Dortmund) mittlere Emissionsfaktoren für Gas bestimmt.
- **Kohle:** Die Emissionsfaktoren für die kohlestämmigen Energieträger hängen ab von der Art der Kohle (Braun-/Steinkohle), von der Verarbeitung (Koks, Brikett, Kohle) sowie vom Herkunftsrevier. Da die Verwendung von Kohle in Rheinland-Pfalz gering ist (s. Tab. 3.1 im Ergebniskapitel), wurden mittlere Emissionsfaktoren für alle kohlestämmigen Energieträger gebildet.

Tab. 2.4: Emissionsfaktoren für Kleinfeuerungsanlagen nach Energieträger für die auszuweisenden Luftschadstoffe in kg/TJ

Emissionsfaktoren [kg/TJ]	Heizöl (extra- leicht)	Erdgas	Flüssig- gas	Braunkohlebrikett			
				Lausitz	mittel- deutsch	Böh- men	Rhein- land
CO	14	14	13	2.435	3.504	3.800	2.280
NO <sub>x</sub> (als NO <sub>2</sub> )	43	24	36	89	72	86	85
SO <sub>2</sub>	23	0,5	0,5	121	719	267	70
CO <sub>2</sub>	74.000	55.000	65.000	101.000	97.000	97.000	99.000
VOC	1,9	1,8	1,3	241	318	368	157
CH <sub>4</sub>	0,04	1,6	0,9	51	99	126	60
Gesamtstaub	1,0	0,03	0,03	51	120	336	75
PM10	1,0	0,03	0,03	48	113	319	71
PM2,5	1,0	0,03	0,03	43	102	285	63

Emissionsfaktoren [kg/TJ]	Steinkohle			Holz (stückig)	Pellets	Stroh
	Koks	Brikett	Kohle			
CO	6.768	4.875	3.386	2.871	317	1.200
NO <sub>x</sub> (als NO <sub>2</sub> )	41	50	63	74	114	55
SO <sub>2</sub>	450	563	375	7,7	5,1	84
CO <sub>2</sub>	105.000	93.000	98.000	102.000	104.000	108.000
VOC	25	460	161	222	4,5	810
CH <sub>4</sub>	13	368	129	96	1,8	k. A.
Gesamtstaub	16	265	18	102	33	370
PM10	16	253	18	99	33	330
PM2,5	14	227	16	94	31	k. A.

Die nachwachsenden Festbrennstoffe sind wiederum in den Schornsteinfegerdaten stärker differenziert als in Tab. 2.4:

- Holz (stückig) ist weiter unterteilt in Holz (unbehandelt) und Holz (behandelt). Im Folgenden wurden für behandeltes Holz die gleichen Emissionsfaktoren wie für unbehandeltes Holz angesetzt.
- Statt Stroh gibt es in den Schornsteinfegerdaten Stroh/Getreideausputz sowie sonstige nachwachsende Rohstoffe. Es wurden für Getreideausputz und sonstige nachwachsende Rohstoffe die gleichen Emissionsfaktoren wie für Stroh angesetzt.

Für Stroh werden in Tab. 2.4 zu CH<sub>4</sub> sowie zu PM<sub>2,5</sub> keine Angaben gemacht. Es wurde daher angenommen, dass der Anteil von CH<sub>4</sub> an den VOC (flüchtige organische Verbindungen) sowie der Anteil von PM<sub>2,5</sub> am Gesamtstaub bei Stroh genauso hoch ist wie bei Pellets.

In zwei Publikationen der IIASA wird ein Literaturüberblick über Ruß-Messungen an Kleinfeuerungsanlagen gegeben [14], [15]. Daraus werden Ruß-Emissionsfaktoren für das RAINS-Modell der IIASA abgeleitet. Für die vorliegende Untersuchung werden aus diesen Publikationen die Anteile von Ruß an den Gesamtstaub-Emissionen übernommen.

Die für das Emissionskataster Hausbrand Rheinland-Pfalz 2012 verwendeten Emissionsfaktoren sind in Tab. 2.5 zusammengefasst. Da die Endenergieeinsätze in GWh angegeben sind, wurde die Einheit von kg/TJ auf kg/GWh umgerechnet.

**Tab. 2.5: Für das Emissionskataster Hausbrand Rheinland-Pfalz 2012 verwendete Emissionsfaktoren nach Energieträger für die auszuweisenden Luftschadstoffe in kg/GWh**

Emissionsfaktoren [kg/GWh]	Kohle	Holz	Pellets	sonstige nachwachsende Rohstoffe	Öl	Gas
CO <sub>2</sub>	354.857,14	367.200,00	374.400,00	388.800,00	266.400,00	200.520,00
CO	13.910,40	10.335,60	1.141,20	4.320,00	50,40	50,15
NO <sub>x</sub> (als NO <sub>2</sub> )	249,94	266,40	410,40	198,00	154,80	89,42
SO <sub>2</sub>	1.319,14	27,72	18,36	302,40	82,80	1,80
Gesamtstaub	453,09	367,20	118,80	1.332,00	3,60	0,11
PM <sub>10</sub>	430,97	356,40	118,80	1.188,00	3,60	0,11
PM <sub>2,5</sub>	385,71	338,40	111,60	1.116,00	3,60	0,11
Ruß	80,83	64,29	41,58	233,21	1,17	0,01
NMVOC	454,63	453,60	9,72	1.749,60	6,70	0,77

## Vorgehensweise

Das Vorgehen zur Bestimmung der Hausbrand-Emissionen in Rheinland-Pfalz 2012 ist zusammenfassend in Abb. 2.7 dargestellt. Der Ablauf ist wie folgt:

### Berechnung Endenergieeinsatz Rheinland-Pfalz

1. Die Schornsteinfegerdaten liegen differenziert nach Brennstoff und Leistungsklasse summiert für gesamt Rheinland-Pfalz vor.
2. Mit Hilfe von mittleren installierten Leistungen pro Leistungsklasse und mittleren Volllaststunden pro Brennstoff und Leistungsklasse nach Struschka et al. [4] (s. Tab. 2.1) wird der Endenergieeinsatz pro Brennstoff für Rheinland-Pfalz bestimmt.
3. Die Endenergieeinsätze aller kamingebundenen Energieträger werden mit dem Gaseinsatz in Haushalten und GHD nach der Energiebilanz Rheinland-Pfalz für 2009 skaliert.
4. Die Endenergieeinsätze werden mit Hilfe der Gradtagszahlen des DWD für das Jahr 2012 umgerechnet.

### Verteilung auf Verwaltungsbezirke

5. Für alle Verwaltungsbezirke in Rheinland-Pfalz wird die gesamte Wohnfläche differenziert nach Ein- bzw. Mehrfamilienhaus und Baujahr bestimmt.
6. Mit Hilfe des spezifischen Heizwärmebedarfs nach Ikarus [8] wird für jeden Verwaltungsbezirk der Heizwärmebedarf in Wohngebäuden berechnet.
7. Sonstige beheizte Gebäude werden pauschal entsprechend ihrem Anteil an der Gebäudegrundfläche aller beheizten Gebäude berücksichtigt.
8. Der so bestimmte Heizwärmebedarf wird als Verteilparameter für die aus den Schornsteinfegerdaten bestimmten Endenergieeinsätze verwendet.
9. Bei der Differenzierung nach Energieträgern werden lokale Informationen zum Gasverbrauch und der Lage der Gasnetze, zum Fernwärmeeinsatz, zum Einsatz erneuerbarer Energieträger sowie zum Waldanteil (Scheitholz) berücksichtigt.

### Verteilung auf Gemeinden und Stadtteile

10. Der Endenergieeinsatz nach Energieträgern wird weiter auf die Gemeinden heruntergebrochen.
11. Für die Städte Mainz, Ludwigshafen und Koblenz werden Stadtteile betrachtet. Dazu werden Daten zur Wohnungsstatistik der Städte nach Stadtteilen verwendet.
12. Auch auf dieser Ebene werden lokale Informationen zum Gasverbrauch und der Lage der Gasnetze, zum Fernwärmeeinsatz, zum Einsatz erneuerbarer Energieträger sowie zum Waldanteil (Scheitholz) berücksichtigt.



## Berechnung der Emissionen

13. Durch Multiplikation mit den entsprechenden Emissionsfaktoren werden die Endenergieeinzätze auf Gemeinde- bzw. Stadtteilebene in Emissionen der Luftschadstoffe umgerechnet, die bei der Verbrennung der jeweiligen Energieträger entstehen: CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> (als NO<sub>2</sub>), SO<sub>2</sub>, Gesamtstaub, PM10, PM2,5, Ruß und NMVOC.

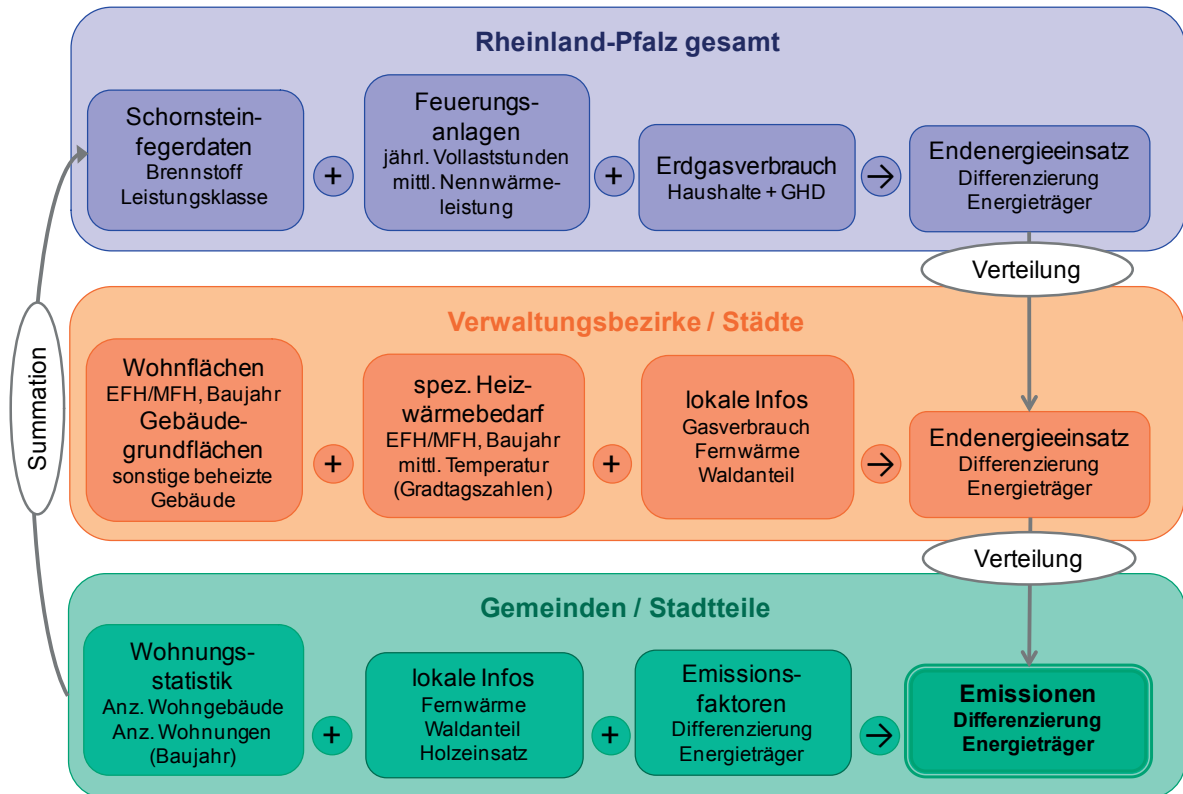


Abb. 2.7: Konzept zur Bestimmung der Hausbrand-Emissionen in Rheinland-Pfalz 2012

### 3. ENDEENERGIEEINSATZ

Nach der Darstellung der Datenbasis und der Methoden werden in diesem Kapitel die Ergebnisse der Bestimmung des Endenergieeinsatzes angegeben.

Zunächst wird der Endenergieeinsatz der kamingebundenen Energieträger für Rheinland-Pfalz insgesamt dargestellt, geschätzt auf Basis der Schornsteinfegerdaten. Der Vergleich mit einer zusätzlichen Abschätzung auf Basis der Gebäudeflächen sowie mit der Schätzung aus der Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2009 liefert ein Maß für die Unsicherheit. Der Endenergieeinsatz für Rheinland-Pfalz wird dann erst auf Verwaltungsbezirke, dann auf Gemeinden und, für Mainz, Ludwigshafen und Koblenz, auf Stadtteile verteilt.

#### Rheinland-Pfalz gesamt

Die Schornsteinfegerdaten wurden, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, ausgewertet. Die sich ergebenden Werte für die Anzahl der Anlagen, die installierte Leistung sowie für den Endenergieeinsatz sind in Tab. 3.1 ausgewiesen. Der Endenergieeinsatz wurde dabei anhand der Gradtagzahlen auf das langjährige Mittel von Rheinland-Pfalz skaliert.

Tab. 3.1: Hochrechnung Schornsteinfegerdaten 2012: Anzahl Anlagen, installierte Leistung und Endenergieeinsatz für Rheinland-Pfalz (GTZ: langjähriges Mittel Rheinland-Pfalz)

Energieträger		Anzahl Anlagen	installierte Leistung [MW]	Endenergieeinsatz [GWh/a]
Einzelraumfeuerstätten		346.039	2.285,4	1.741,6
Zentralheizungen	kohlestämmig	112	4,5	5,7
	Holz (unbehandelt)	14.193	471,7	602,6
	Pellets	5.227	150,6	193,7
	Holz (behandelt)	129	9,3	11,8
	Stroh, Getreideausputz	35	1,0	1,3
	sonst. nachw. Rohstoffe	113	3,7	4,8
	Öl	458.806	16.238,9	22.159,0
Gas	538.661	14.652,4	19.600,0	
gesamt		1.363.313	33.817,5	44.320,6

Die Endenergieeinsätze sind nach Energieträgern differenziert. Einzelraumfeuerstätten werden in den Schornsteinfegerdaten nicht weiter unterteilt, daher wird wie folgt vorgegangen: Pellets und behandeltes Holz kommen eher in Zentralheizungen als in Einzelraumfeuerstätten zum Einsatz. Da Rheinland-Pfalz kein traditionelles „Kohleland“ ist, ist davon auszugehen, dass es sich bei den Einzelraumfeuerstätten eher um Kamine als um Kohleöfen handelt. Im Folgenden wird hier eine Verteilung auf Kohle und Holz (unbehandelt) angenommen, die den Zentralheizungen für Festbrennstoffe entspricht. Der Einsatz kohlestämmiger Brennstoffe in Rheinland-Pfalz ist damit sehr gering.

## Vergleiche

In Abb. 3.1 ist der auf Basis der Schornsteinfegerdaten geschätzte Endenergieeinsatz Hausbrand für Rheinland-Pfalz im Vergleich mit der auf Basis der Gebäudeflächen geschätzten unteren und oberen Begrenzung für diesen Wert sowie mit dem Wert aus der Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2009 dargestellt.

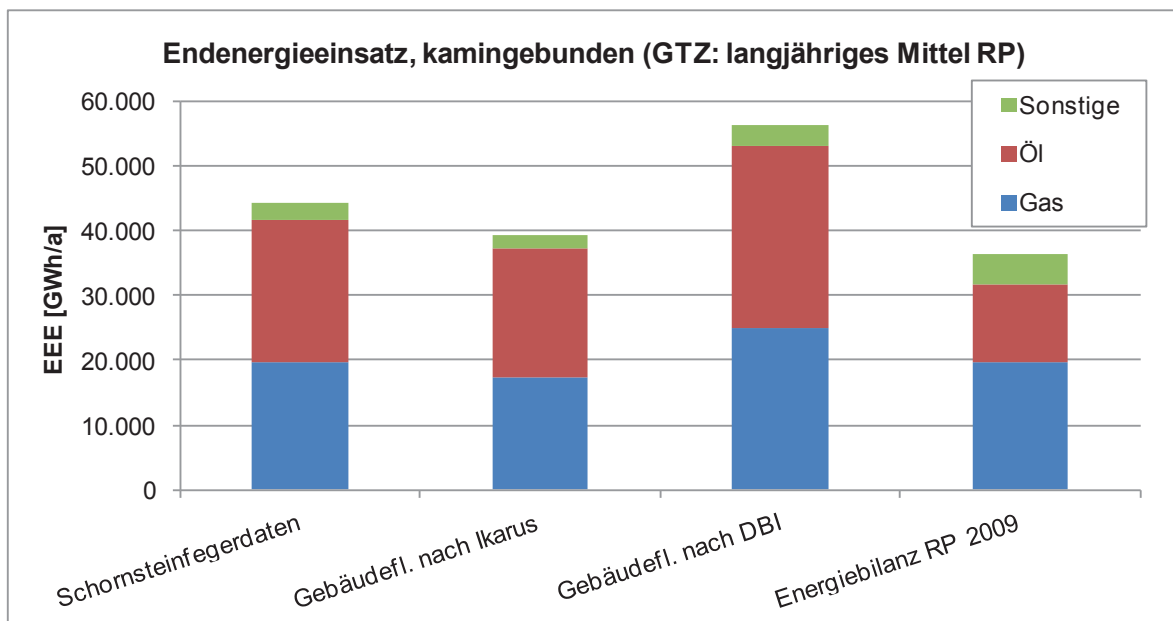


Abb. 3.1: Schätzungen für den Endenergieeinsatz in Rheinland-Pfalz nach Auswertung der Schornsteinfegerdaten 2012, der Gebäudeflächen sowie nach der Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2009

Die Anteile von Gas, Öl und Sonstigen am Endenergieeinsatz nach Auswertung der Schornsteinfegerdaten 2012 sowie nach der Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2009 sind in Abb. 3.2 dargestellt.

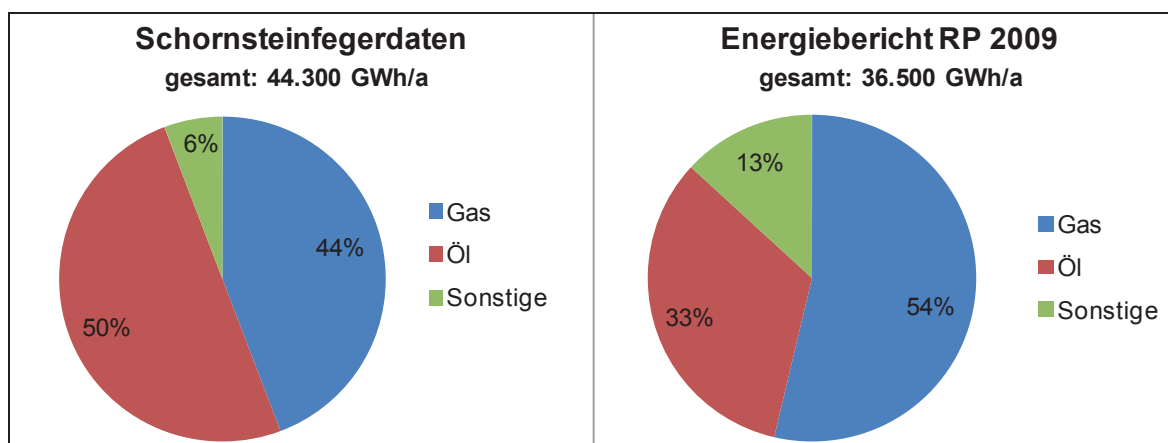


Abb. 3.2: Anteile von Gas, Öl und Sonstigen am Endenergieeinsatz nach Auswertung der Schornsteinfegerdaten 2012 sowie nach der Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2009

Der Einsatz kamingebundener Energieträger in Rheinland-Pfalz im langjährigen Mittel beträgt nach Auswertung der Schornsteinfegerdaten ca. 44.300 GWh pro Jahr. Dies liegt innerhalb der aus den Gebäudedaten abgeschätzten Begrenzungen von 39.400 GWh/a (spez. Heizwärmebedarf nach Ikarus) und 56.100 GWh/a nach DBI, jedoch näher an dem Wert nach Ikarus. Der Wert aus der Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2009 liegt mit 36.500 GWh/a etwas niedriger.

Die Endenergieeinsätze aus den Schornsteinfegerdaten sind so skaliert, dass der Gaseinsatz dem Gasverbrauch in Haushalten und GHD aus der Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2009 entspricht. Da Gas ein leitungsgebundener Energieträger ist, ist die Unsicherheit für diesen Wert in der Energiebilanz am geringsten. Der Vergleich mit den Schornsteinfegerdaten lässt vermuten, dass der Öleinsatz in Rheinland-Pfalz in der Energiebilanz 2009 unterschätzt wurde.

### Spezifischer Heizwärmebedarf Rheinland-Pfalz 2012

Aus der Abschätzung für den Endenergiebedarf in Rheinland-Pfalz lässt sich rückwirkend ein spezifischer Heizwärmebedarf für den Wohngebäudebestand 2012 in Rheinland-Pfalz bestimmen:

Die Abschätzung für den Endenergieeinsatz kamingebundener Energieträger Rheinland-Pfalz 2012 auf Basis der Schornsteinfegerdaten (skaliert mit den GTZ für das langjährige Mittel Rheinland-Pfalz) liegt bei 44.321 GWh/a. Zur Bestimmung des gesamten Heizwärmebedarfs muss zu diesem Wert der Einsatz der nicht kamingebundenen Energieträger wie Fernwärme, Solarthermie, Umweltwärme (Wärmepumpe/WP) addiert werden. Dieser liegt nach der Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2009 bei 2.800 GWh/a. Abzüglich des Heizwärmebedarfs der sonstigen beheizten Gebäude (16.528 GWh/a) ergibt sich für Rheinland-Pfalz 2012 ein Heizwärmebedarf von 30.593 GWh/a in Wohngebäuden. Mit der Gesamtwohnfläche für Rheinland-Pfalz 2012 aus der Gebäudestatistik von 190.939.600 m<sup>2</sup> ergibt sich ein spezifischer Heizwärmebedarf für den Wohngebäudebestand Rheinland-Pfalz 2012 von **160 kWh/(a x m<sup>2</sup>)**.

Gemäß Erhebungen der AG Energiebilanzen [16] betrug der spezifische Heizwärmebedarf (2012) privater Haushalte in Deutschland 560 MJ pro m<sup>2</sup> Wohnfläche. Dies entspricht einem Wert von **156 kWh/(a x m<sup>2</sup>)**, der Wert für Rheinland-Pfalz liegt um 3 % darüber. Es ist zu erwarten, dass der spezifische Heizwärmebedarf in einem Flächenland wie Rheinland-Pfalz mit überdurchschnittlich hohem Anteil an Einfamilienhäusern etwas über dem bundesmittleren Wert liegt. Die Übereinstimmung beider Werte kann somit als sehr gut bezeichnet werden.

Insgesamt zeigen die Vergleiche, dass die Schätzung der Einsätze kamingebundener Energieträger auf Basis der Schornsteinfegerdaten plausible Werte liefert. Die weiteren Berechnungen bauen auf diesen Werten (Tab. 3.1, letzte Spalte) auf.

### Verteilung auf Verwaltungsbezirke

Da sich sowohl die Werte für den spezifischen Heizwärmebedarf wie auch die Zahlen aus der Energiebilanz Rheinland-Pfalz 2009 auf mittlere klimatische Verhältnisse beziehen, wurde der im vorigen Abschnitt bestimmte Endenergieeinsatz kamingebundener Energieträger in Rheinland-Pfalz ebenfalls für mittlere klimatische Verhältnisse bestimmt. Für das Emissionskataster Hausbrand Rheinland-Pfalz 2012 wurden die Werte auf die Verwaltungsbezirke verteilt und mittels der Gradtagszahlen des DWD auf das Jahr 2012 skaliert. Dabei wird nach Verwaltungsbezirken differenziert (Tab. 2.2).

Basis für die räumliche Verteilung des Heizwärmebedarfs ist die Abschätzung des Heizwärmebedarfs auf Basis der Gebäudestatistik. Nach dem in Kapitel 2 beschriebenen Vorgehen ergibt sich die in Tab. 3.2 ausgewiesene Verteilung. Die absoluten Werte für den Endenergieeinsatz nach Energieträger und Verwaltungsbezirk werden in Tab. 3.3 gezeigt.

**Tab. 3.2: Anteile der Verwaltungsbezirke am Heizwärmebedarf Rheinland-Pfalz**

Verwaltungsbezirk	Kreisschlüssel	Anteil am Heizwärmebedarf
Frankenthal (Pfalz)	311	0,9 %
Kaiserslautern	312	2,3 %
Koblenz	111	2,4 %
Landau i. d. Pfalz	313	1,0 %
Ludwigshafen a. Rh.	314	2,9 %
Mainz	315	4,5 %
Neustadt a. d. Weinstr.	316	1,2 %
Pirmasens	317	1,1 %
Speyer	318	1,0 %
Trier	211	2,2 %
Worms	319	1,7 %
Zweibrücken	320	0,9 %
Ahrweiler	131	3,3 %
Altenkirchen (Ww.)	132	3,7 %
Alzey-Worms	331	2,9 %
Bad Dürkheim	332	3,1 %
Bad Kreuznach	133	4,0 %
Bernkastel-Wittlich	231	3,1 %
Birkenfeld	134	2,6 %
Cochem-Zell	135	1,9 %
Donnersbergkreis	333	2,1 %
Eifelkreis Bitburg-Prüm	232	3,2 %
Germersheim	334	2,6 %
Kaiserslautern	335	3,2 %
Kusel	336	2,2 %
Mainz-Bingen	339	4,3 %
Mayen-Koblenz	137	5,2 %
Neuwied	138	4,2 %
Rhein-Hunsrück-Kreis	140	3,0 %
Rhein-Lahn-Kreis	141	3,1 %
Rhein-Pfalz-Kreis	338	3,4 %
Südliche Weinstraße	337	2,6 %
Südwestpfalz	340	2,9 %
Trier-Saarburg	235	3,4 %
Vulkaneifel	233	2,1 %
Westerwaldkreis	143	5,7 %
gesamt		100,0 %

Tab. 3.3: Endenergieeinsatz Hausbrand Rheinland-Pfalz 2012 nach Verwaltungsbezirken und Energieträgern (Skalierung mit Gradtagszahl 2012 nach Verwaltungsbezirk)

Endenergie- einsatz Verwaltungs- bezirke [GWh/a]	gesamt	Fern- wärme	Solar- thermie + Wärme- pumpe	Kohle	Holz	Pellets	sonst. nachw. Roh- stoffe	Öl	Gas
Frankenthal (Pfalz)	417,4	0,0	3,5	0,3	0,6	1,4	0,04	161,5	250,0
Kaiserslautern	972,2	273,2	8,3	0,5	39,1	2,2	0,07	255,8	393,0
Koblenz	1.028,7	61,6	2,8	0,2	25,1	1,0	0,03	123,0	814,9
Landau i. d. Pfalz	434,0	23,7	8,0	0,7	13,0	3,0	0,09	338,0	47,6
Ludwigshafen a. Rh.	1.299,6	255,0	10,8	0,8	5,7	3,5	0,11	396,7	627,0
Mainz	1.891,6	466,8	12,6	0,9	5,0	3,8	0,12	437,1	965,4
Neustadt a. d. Weinstr.	515,2	16,2	4,2	0,4	12,7	1,6	0,05	189,0	291,0
Pirmasens	480,1	15,1	4,0	0,3	20,8	1,5	0,05	172,1	266,2
Speyer	453,6	0,0	3,8	0,3	19,2	1,5	0,05	168,5	260,2
Trier	935,9	0,0	9,0	0,8	25,7	3,5	0,11	405,5	491,2
Worms	711,0	43,7	6,0	0,5	1,3	2,3	0,07	258,1	399,2
Zweibrücken	391,5	12,3	3,8	0,3	8,5	1,4	0,05	165,1	200,0
Ahrweiler	1.446,6	45,5	18,3	1,5	93,8	6,7	0,21	763,6	517,0
Altenkirchen (Ww.)	1.608,4	50,6	16,8	1,4	124,2	6,0	0,19	689,8	719,5
Alzey-Worms	1.218,7	38,4	11,5	1,0	9,0	4,5	0,14	509,3	644,9
Bad Dürkheim	1.395,2	43,9	11,7	0,9	121,2	4,2	0,13	476,3	736,8
Bad Kreuznach	1.711,0	53,9	20,9	1,7	101,9	7,7	0,24	876,0	648,6
Bernkastel-Witt- lich	1.303,1	41,0	23,5	1,9	95,1	8,5	0,27	973,6	159,1
Birkenfeld	1.133,2	35,7	17,3	1,4	80,1	6,3	0,20	718,2	273,9
Cochem-Zell	801,2	25,2	14,2	1,1	69,6	5,1	0,16	578,8	107,0
Donnersbergkreis	878,0	27,6	10,9	0,9	43,4	4,0	0,13	461,8	329,3
Eifelkreis Bitburg-Prüm	1.412,3	44,5	25,2	2,1	68,8	9,5	0,30	1.087,2	174,7
Germersheim	1.168,9	36,8	9,8	0,8	71,4	3,6	0,11	410,9	635,4
Kaiserslautern	1.338,6	42,2	13,1	1,1	108,9	4,8	0,15	552,2	616,2
Kusel	940,9	29,6	12,9	1,1	52,1	4,8	0,15	546,1	294,0
Mainz-Bingen	1.821,5	57,4	16,2	1,4	43,4	6,2	0,19	705,5	991,3
Mayen-Koblenz	2.200,0	69,3	23,7	2,0	100,2	8,8	0,28	1.011,1	984,6
Neuwied	1.789,9	56,4	15,7	1,3	110,8	5,7	0,18	655,2	944,6

Endenergie-einsatz Verwaltungs- bezirke [GWh/a]	gesamt	Fern- wärme	Solar- thermie + Wärme- pumpe	Kohle	Holz	Pellets	sonst. nachw. Roh- stoffe	Öl	Gas
Rhein-Hunsrück- Kreis	1.290,2	40,6	19,0	1,6	87,4	6,9	0,22	790,1	344,4
Rhein-Lahn-Kreis	1.329,5	41,9	17,1	1,4	102,9	6,2	0,19	707,8	452,0
Rhein-Pfalz-Kreis	1.499,6	47,2	12,4	1,1	34,4	4,8	0,15	549,5	850,0
Südliche Weinstraße	1.135,4	35,7	12,1	1,0	87,4	4,4	0,14	498,6	496,1
Südwestpfalz	1.203,7	37,9	16,1	1,3	135,3	5,7	0,18	657,4	349,7
Trier-Saarburg	1.428,2	45,0	25,3	2,1	111,2	9,2	0,29	1.052,6	182,5
Vulkaneifel	904,5	28,5	13,3	1,1	58,6	4,8	0,15	554,1	243,9
Westerwaldkreis	2.493,3	78,5	27,9	2,3	162,4	10,2	0,32	1.168,4	1.043,2
gesamt	42.982,4	2.220,9	481,6	39,5	2.250,4	175,4	5,51	20.064,7	17.744,5

Wie in Kapitel 2 beschrieben, wurden bei der Ableitung der in Tab. 3.3 ausgewiesenen Endenergieeinsätze der einzelnen Energieträger pro Verwaltungsbezirk lokale Informationen genutzt:

- Für den Holzeinsatz wurden Unterschiede hinsichtlich der Landnutzung (Anteil Waldfläche) berücksichtigt.
- Für Gas wurde auf die Lage von Erdgasnetzen zurückgegriffen.
- Wo vorhanden, wurden weiterhin Informationen zu Fernwärmenetzen sowie die Energiebilanzen einzelner Städte verwendet.

#### Endergieeinsatz von Mainz, Ludwigshafen und Koblenz

Für die Städte Mainz, Ludwigshafen und Koblenz liegen kommunale Energiebilanzen bzw. Klimaschutzkonzepte vor [17], [18], [19]. Die dort aufgeführten Endenergieeinsätze in Heizungsanlagen sollen zum Vergleich herangezogen werden.

Für Mainz bezieht sich die Energiebilanz auf das Jahr 2010, für Ludwigshafen und Koblenz auf das Jahr 2008. Zum Ausgleich von Witterungseffekten wurden alle Endenergieeinsätze mittels der Gradtagzahlen des DWD auf das Jahr 2012 skaliert.

In den Klimaschutzkonzepten für Ludwigshafen und Koblenz sind die Endenergieeinsätze in Haushalten und im Sektor GHD angegeben, für den Vergleich mit den hier abgeleiteten Werten wird jeweils die Summe betrachtet.

In Abb. 3.3 sind diese Werte differenziert nach Gas, Fernwärme, Öl und Sonstiges in der jeweils rechten Spalte im Vergleich mit den entsprechenden für das Emissionskataster Hausbrand Rheinland-Pfalz 2012 abgeleiteten Werten (jeweils linke Säule) dargestellt. Die schraffierten Flächen markieren jeweils die von den Stadtwerken direkt gelieferten Werte.

Der Vergleich der Gesamtwerte für den Endenergieeinsatz zeigt eine relativ gute Übereinstimmung der hier abgeleiteten Werte mit den kommunalen Bilanzen.

- In Mainz liegt der hier abgeleitete Wert etwas unter der kommunalen Bilanz (Emissionskataster: 1.900 GWh/a, Energiebilanz: 2.000 GWh/a),
- in Koblenz etwas darüber (Emissionskataster: 1.030 GWh/a, Energiebilanz: 920 GWh/a) und
- in Ludwigshafen stimmen sie nahezu überein (Emissionskataster: 1.300 GWh/a, Energiebilanz: 1.260 GWh/a).

Bei der Verteilung auf die verschiedenen Energieträger ergeben sich dagegen größere Abweichungen:

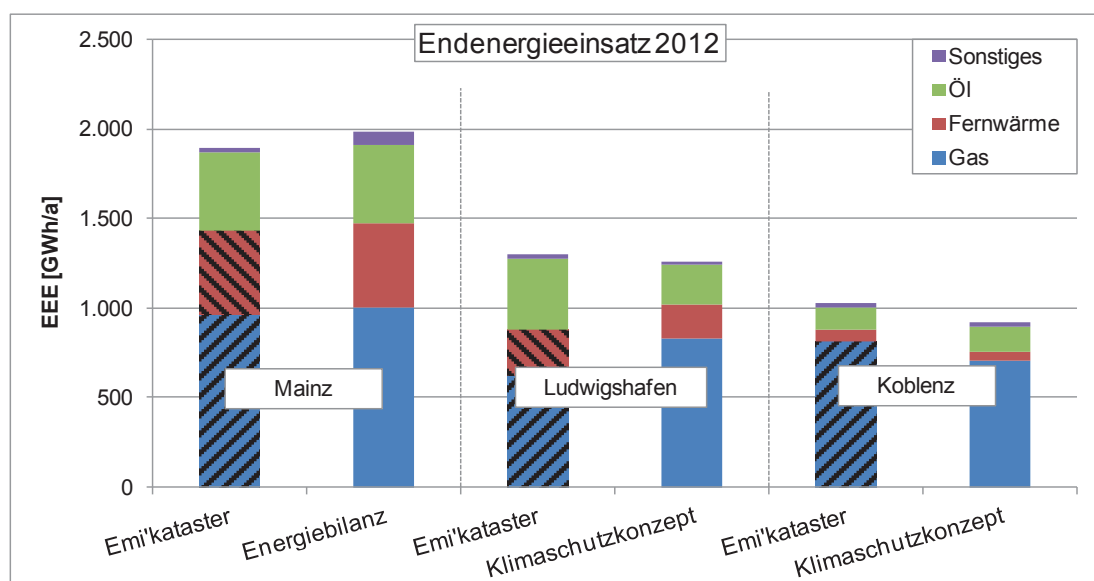


Abb. 3.3: Mainz, Ludwigshafen, Koblenz: Endenergieeinsatz 2012 Hausbrand (Haushalte und GHD): Emissionskataster Hausbrand Rheinland-Pfalz 2012 und kommunale Energiebilanzen

In Tab. 3.4 bis Tab. 3.6 sind die Endenergieeinsätze in Kleinf Feuerungsanlagen 2012 für Mainz, Ludwigshafen und Koblenz nach Stadtteilen und Energieträgern differenziert ausgewiesen.



**Tab. 3.4: Endenergieeinsatz Hausbrand Mainz 2012 nach Stadtteilen und Energieträgern (Skalierung mit Gradtagszahl 2012 nach Verwaltungsbezirk)**

Endenergieeinsatz Mainz [GWh/a]	gesamt	Fernwärme	Solarthermie und WP	Kohle	Holz	Pellets	sonst. nachw. Rohstoffe	Öl	Gas
Altstadt	143,23	53,46	0,80	0,05	0,31	0,24	0,008	27,54	60,82
Neustadt	204,63	57,51	1,31	0,09	0,51	0,39	0,012	45,13	99,68
Oberstadt	188,06	54,50	1,19	0,08	0,47	0,36	0,011	40,97	90,49
Hartenberg/ Münchfeld	124,73	33,78	0,81	0,05	0,32	0,24	0,008	27,90	61,62
Mombach	113,44	19,29	0,84	0,06	0,33	0,25	0,008	28,88	63,79
Gonsenheim	210,69	43,36	1,48	0,10	0,58	0,45	0,014	51,33	113,37
Finthen	143,31	24,37	1,06	0,07	0,41	0,32	0,010	36,48	80,59
Bretzenheim	194,07	33,01	1,43	0,10	0,56	0,43	0,014	49,41	109,13
Marienborn	37,64	6,40	0,28	0,02	0,11	0,08	0,003	9,58	21,17
Lerchenberg	61,02	61,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00
Drais	36,02	6,13	0,27	0,02	0,10	0,08	0,003	9,17	20,26
Hechtsheim	163,21	27,76	1,20	0,08	0,47	0,36	0,011	41,55	91,77
Ebersheim	60,23	10,24	0,44	0,03	0,17	0,13	0,004	15,33	33,87
Weisenau	105,28	17,91	0,78	0,05	0,30	0,23	0,007	26,80	59,20
Laubenheim	106,04	18,03	0,78	0,05	0,31	0,24	0,007	27,00	59,63
Mainz gesamt	1.891,62	466,77	12,64	0,86	4,96	3,82	0,120	437,06	965,38

**Tab. 3.5: Endenergieeinsatz Hausbrand Ludwigshafen 2012 nach Stadtteilen und Energieträgern (Skalierung mit Gradtagszahl 2012 nach Verwaltungsbezirk)**

Endenergieeinsatz Ludwigshafen [GWh/a]	gesamt	Fernwärme	Solarthermie und WP	Kohle	Holz	Pellets	sonst. nachw. Rohstoffe	Öl	Gas
Mitte	76,23	14,96	0,63	0,05	0,34	0,20	0,006	23,27	36,78
Süd	144,31	28,32	1,20	0,09	0,64	0,39	0,012	44,06	69,62
Hemshof	112,95	22,16	0,94	0,07	0,50	0,30	0,009	34,48	54,49
West	33,14	6,50	0,27	0,02	0,15	0,09	0,003	10,12	15,99
Friesenheim	157,23	30,85	1,30	0,09	0,69	0,42	0,013	48,00	75,85
Oppau	83,58	16,40	0,69	0,05	0,37	0,22	0,007	25,52	40,32
Edigheim	66,76	13,10	0,55	0,04	0,29	0,18	0,006	20,38	32,21
Pfingstweide	49,46	9,70	0,41	0,03	0,22	0,13	0,004	15,10	23,86
Oggersheim	177,54	34,84	1,47	0,11	0,78	0,47	0,015	54,20	85,66
Ruchheim	39,91	7,83	0,33	0,02	0,18	0,11	0,003	12,18	19,26
Gartenstadt	141,68	27,80	1,17	0,09	0,63	0,38	0,012	43,25	68,35
Maudach	51,10	10,03	0,42	0,03	0,23	0,14	0,004	15,60	24,65
Mundenheim	103,49	20,31	0,86	0,06	0,46	0,28	0,009	31,59	49,93
Rheingönheim	62,22	12,21	0,52	0,04	0,27	0,17	0,005	18,99	30,02
Ludwigshafen gesamt	1.299,60	255,00	10,77	0,78	5,74	3,47	0,109	396,74	627,00

Tab. 3.6: Endenergieeinsatz Hausbrand Koblenz 2012 nach Stadtteilen und Energieträgern (Skalierung mit Gradtagszahl 2012 nach Verwaltungsbezirk)

Endenergieein- satz Koblenz [GWh/a]	gesamt	Fern- wärme	Solar- thermie und WP	Kohle	Holz	Pellets	sonst. nachw. Rohstoffe	Öl	Gas
Altstadt	44,17	2,64	0,12	0,01	1,08	0,04	0,001	5,28	34,99
Mitte	38,11	2,28	0,10	0,01	0,93	0,04	0,001	4,56	30,19
Süd	68,59	4,10	0,19	0,02	1,68	0,07	0,002	8,20	54,33
Oberwerth	17,59	1,05	0,05	0,00	0,43	0,02	0,001	2,10	13,93
Karthause Nord	31,92	1,91	0,09	0,01	0,78	0,03	0,001	3,82	25,28
Karthäuserhof- gelände	23,13	1,38	0,06	0,01	0,56	0,02	0,001	2,77	18,32
Karthause Flugfeld	40,33	2,41	0,11	0,01	0,99	0,04	0,001	4,82	31,95
Goldgrube	39,51	2,36	0,11	0,01	0,96	0,04	0,001	4,72	31,29
Raumental	40,21	2,41	0,11	0,01	0,98	0,04	0,001	4,81	31,85
Moselweiß	32,03	1,92	0,09	0,01	0,78	0,03	0,001	3,83	25,37
Stolzenfels	5,64	0,34	0,02	0,00	0,14	0,01	0,000	0,67	4,47
Lay	21,04	1,26	0,06	0,00	0,51	0,02	0,001	2,52	16,67
Lützel	62,75	3,76	0,17	0,01	1,53	0,06	0,002	7,50	49,71
Metternich	91,71	5,49	0,25	0,02	2,24	0,09	0,003	10,97	72,65
Neuendorf	41,67	2,49	0,11	0,01	1,02	0,04	0,001	4,98	33,01
Wallerstein	23,63	1,41	0,06	0,01	0,58	0,02	0,001	2,83	18,72
Kesselheim	23,46	1,40	0,06	0,01	0,57	0,02	0,001	2,81	18,59
Güls	57,23	3,42	0,16	0,01	1,40	0,06	0,002	6,84	45,33
Rübenach	51,36	3,07	0,14	0,01	1,25	0,05	0,002	6,14	40,68
Bubenheim	13,31	0,80	0,04	0,00	0,33	0,01	0,000	1,59	10,54
Ehrenbreitstein	21,46	1,28	0,06	0,00	0,52	0,02	0,001	2,57	17,00
Niederberg	29,62	1,77	0,08	0,01	0,72	0,03	0,001	3,54	23,47
Asterstein	27,50	1,65	0,08	0,01	0,67	0,03	0,001	3,29	21,78
Pfaffendorf	34,02	2,04	0,09	0,01	0,83	0,03	0,001	4,07	26,95
Pfaffendorfer Höhe	28,07	1,68	0,08	0,01	0,69	0,03	0,001	3,36	22,23
Horchheim	36,56	2,19	0,10	0,01	0,89	0,04	0,001	4,37	28,96
Horchheimer Höhe	16,17	0,97	0,04	0,00	0,39	0,02	0,001	1,93	12,81
Arzheim	25,55	1,53	0,07	0,01	0,62	0,03	0,001	3,06	20,24
Arenberg	27,76	1,66	0,08	0,01	0,68	0,03	0,001	3,32	21,99
Immendorf	14,62	0,87	0,04	0,00	0,36	0,01	0,000	1,75	11,58
<b>Koblenz gesamt</b>	<b>1.028,71</b>	<b>61,56</b>	<b>2,81</b>	<b>0,23</b>	<b>25,13</b>	<b>1,04</b>	<b>0,033</b>	<b>123,00</b>	<b>814,90</b>

## Kartendarstellungen

Die in Tab. 3.3 ausgewiesenen nach Energieträger differenzierten Endenergieeinsätze auf Ebene der Verwaltungsbezirke wurden weiter auf Gemeinden sowie – für Mainz, Ludwigshafen und Koblenz – auf Stadtteile verteilt. Dabei wurden erneut lokale Informationen berücksichtigt, sofern sie vorhanden waren.

Im Folgenden werden

- der Heizwärmebedarf insgesamt sowie
- die Endenergieeinsätze von
  - Gas, Öl,
  - Holz (unbehandelt),
  - nicht kamingebundenen Energieträgern (Fernwärme + Umweltwärme (Wärmepumpen) + Solarthermie) und
  - sonstigen Energieträgern (Holz (behandelt) + Pellets + sonstige nachwachsende Rohstoffe + Kohle)

als Karten grafisch dargestellt.

Für die Darstellungen von Rheinland-Pfalz (gesamt) wurden die Endenergieeinsätze auf Gemeindeebene auf ein 5 km × 5 km - Gitter gerastert. Bei den Darstellungen der Städte Mainz, Ludwigshafen und Koblenz beträgt das Raster 1 km × 1 km.

Analog zu den Darstellungen der Emissionen im folgenden Kapitel werden pro Gitterzelle absolute Werte für den Endenergieeinsatz dargestellt. Dadurch ist die Vergleichbarkeit mit bereits fertiggestellten Emissionskatastern anderer Quellengruppen gewährleistet. Bei der Interpretation der Karten sollte deshalb beachtet werden, dass sich die dargestellten Endenergieeinsätze in den Karten für Rheinland-Pfalz gesamt auf eine Fläche von 25 km<sup>2</sup> beziehen, in den Karten für Mainz, Ludwigshafen und Koblenz jedoch nur auf eine Fläche von 1 km<sup>2</sup>.

Außerdem enthalten die Gitterzellen nur die für das Untersuchungsgebiet ermittelten Werte. Die Randzellen erstrecken sich jedoch über das Untersuchungsgebiet hinaus. Vollständige Endenergieeinsätze in den Randzellen sind durch Überlagerung dieses Katasters mit einem entsprechenden Kataster der angrenzenden Bundesländer zu erreichen.

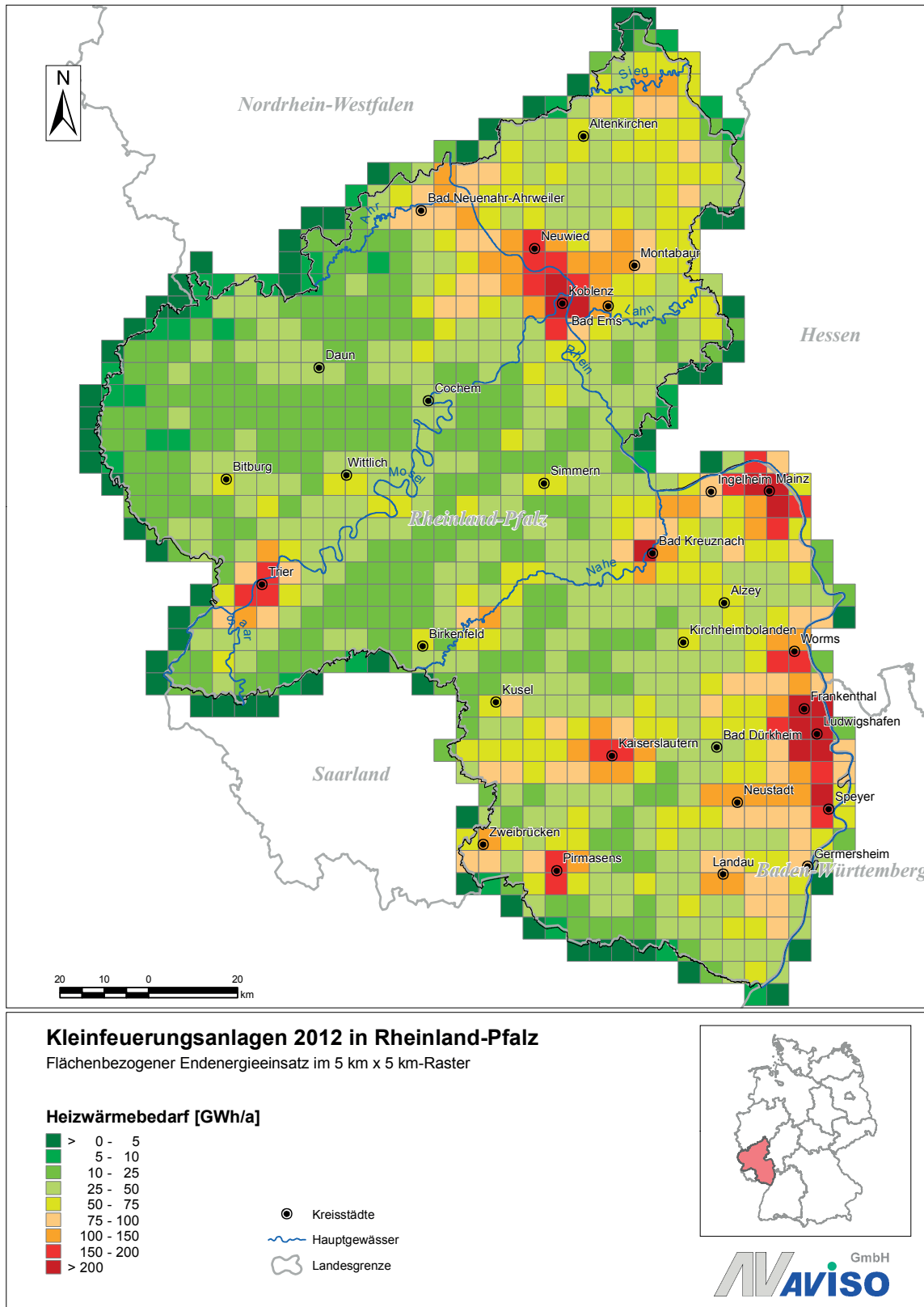


Abb. 3.4: Heizwärmebedarf 2012 Rheinland-Pfalz

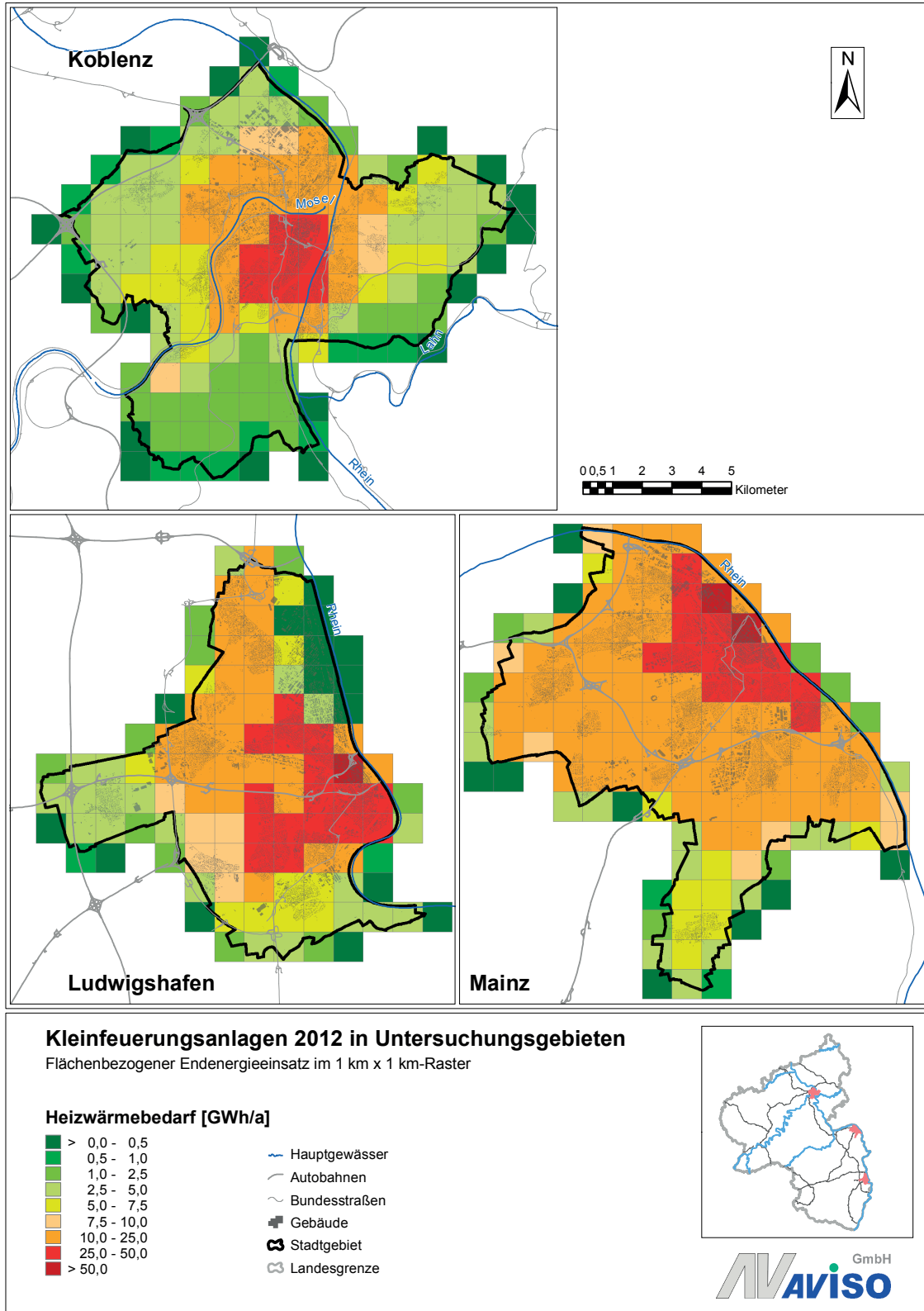


Abb. 3.5: Heizwärmebedarf 2012 Mainz, Ludwigshafen, Koblenz

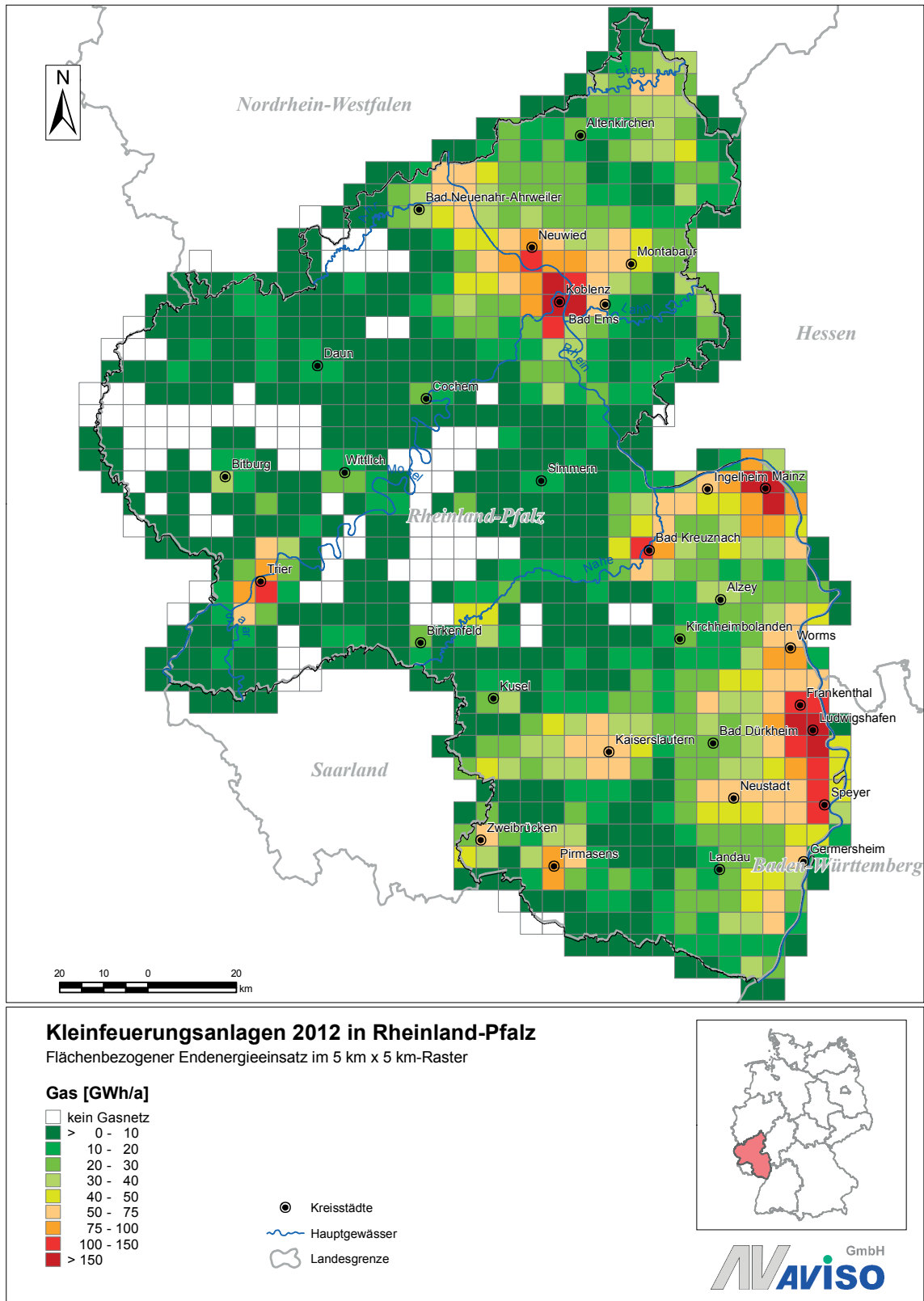


Abb. 3.6: Endenergieeinsatz Gas 2012 Rheinland-Pfalz

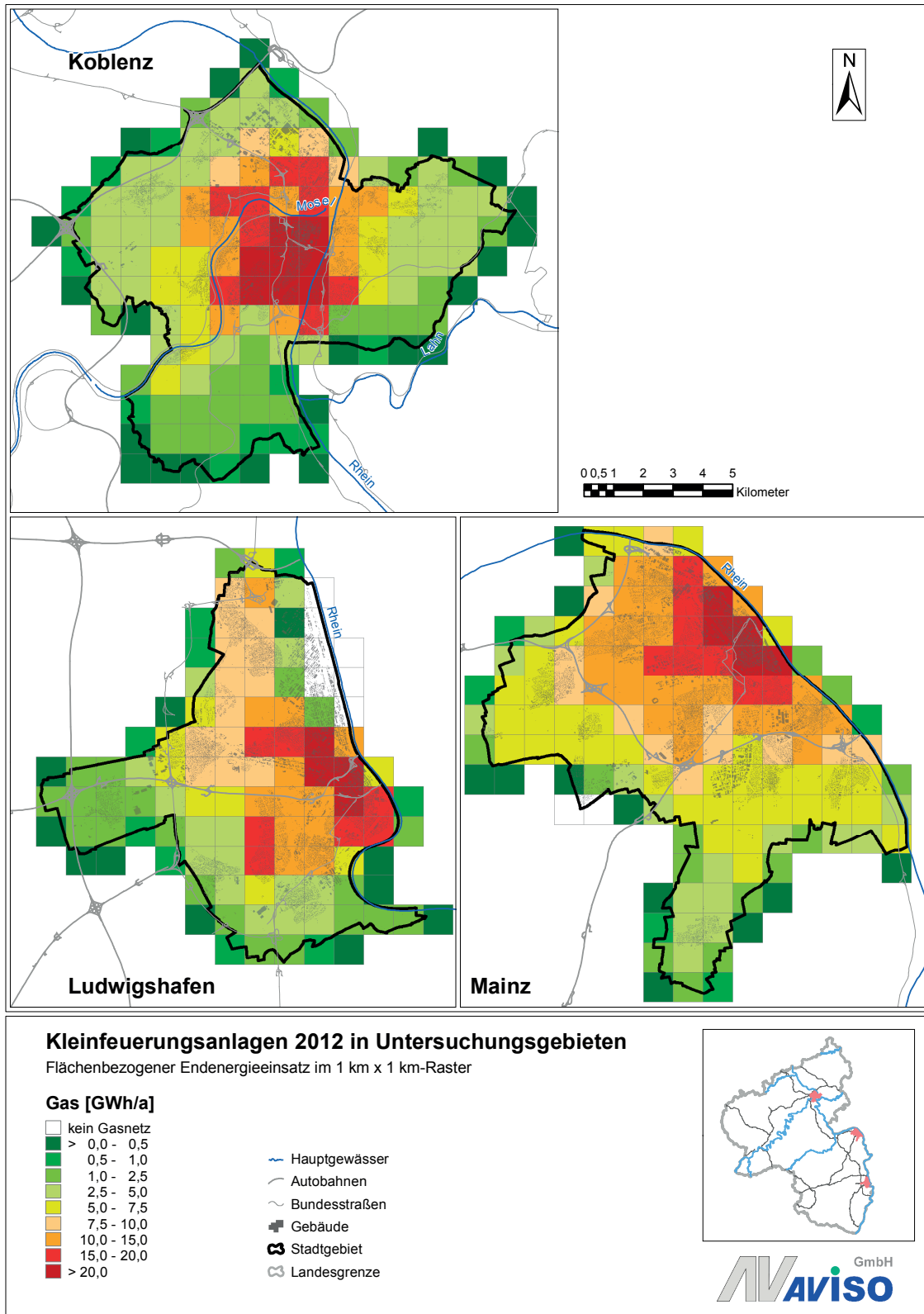


Abb. 3.7: Endenergieeinsatz Gas 2012 Mainz, Ludwigshafen, Koblenz

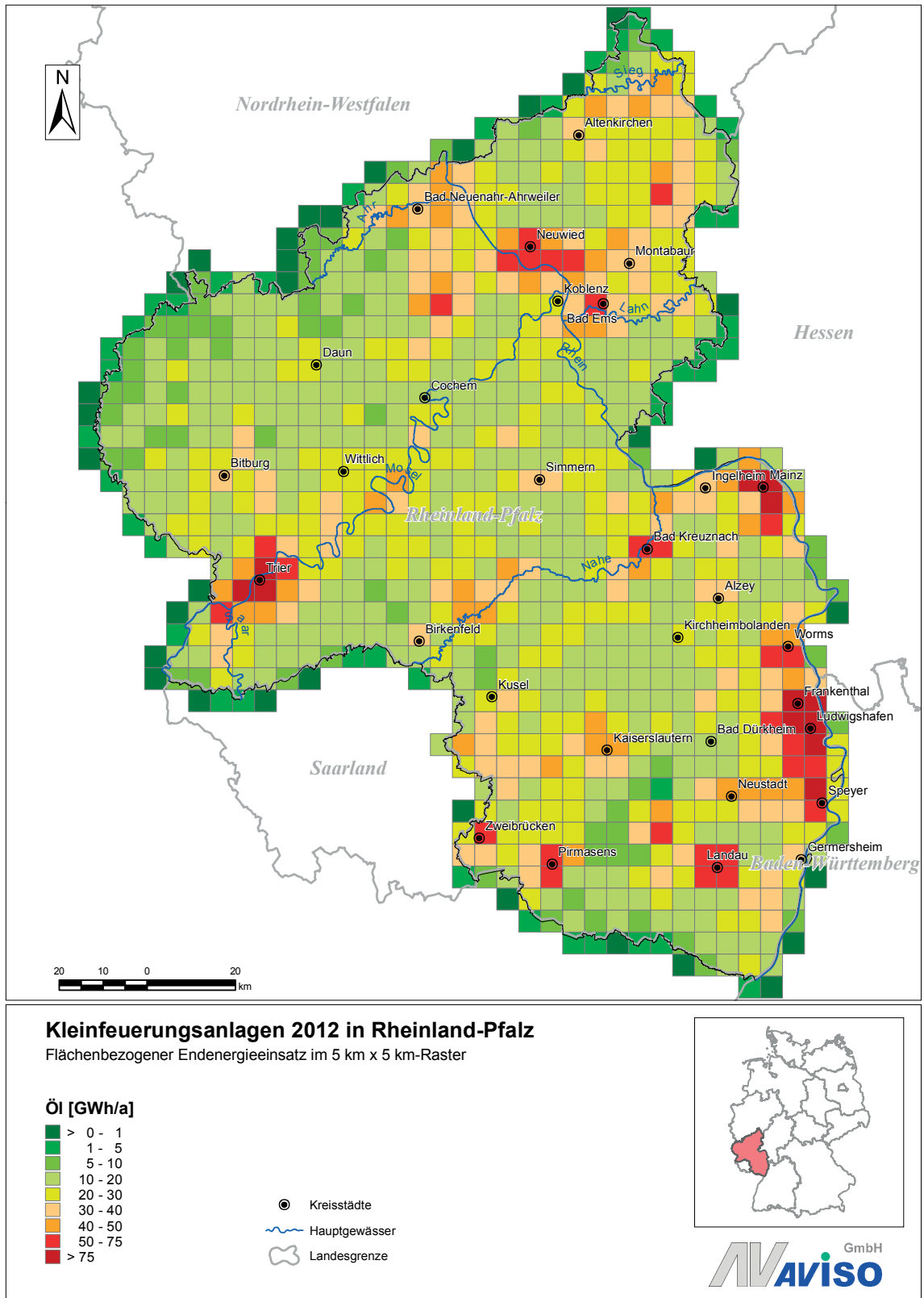


Abb. 3.8: Endenergieeinsatz Öl 2012 Rheinland-Pfalz



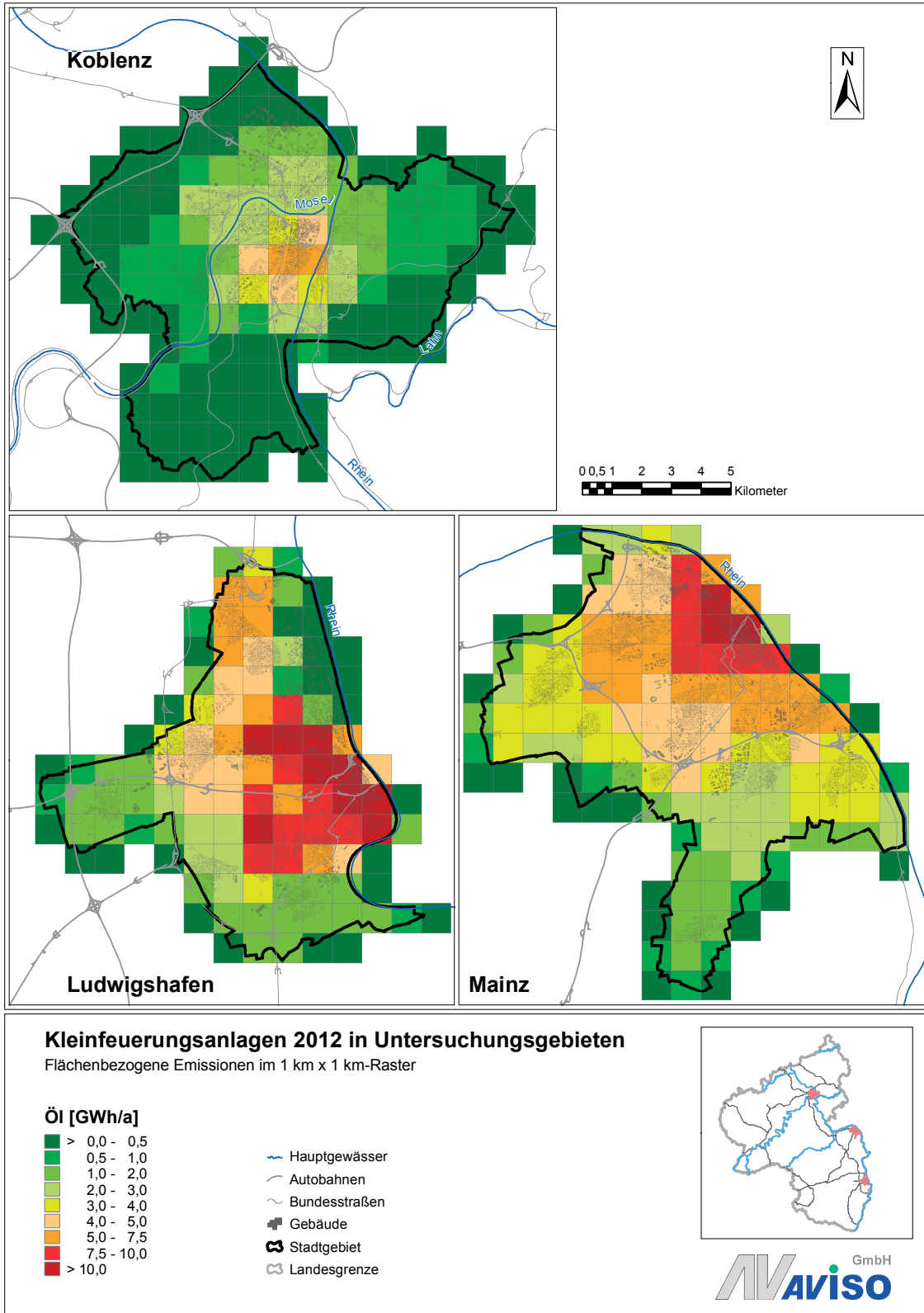


Abb. 3.9: Endenergieeinsatz Öl 2012 Mainz, Ludwigshafen, Koblenz

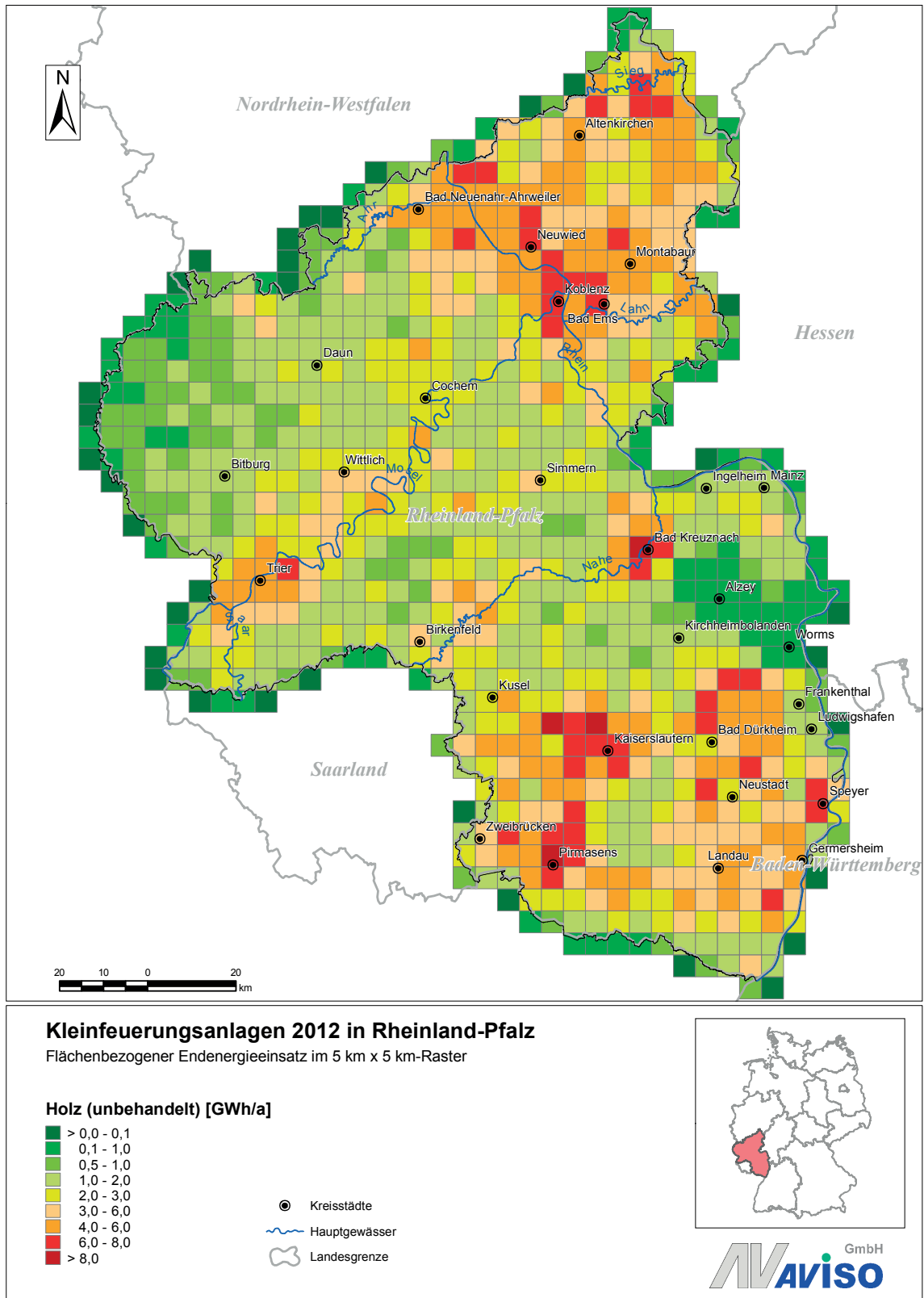


Abb. 3.10: Endenergieeinsatz Holz (unbehandelt) 2012 Rheinland-Pfalz

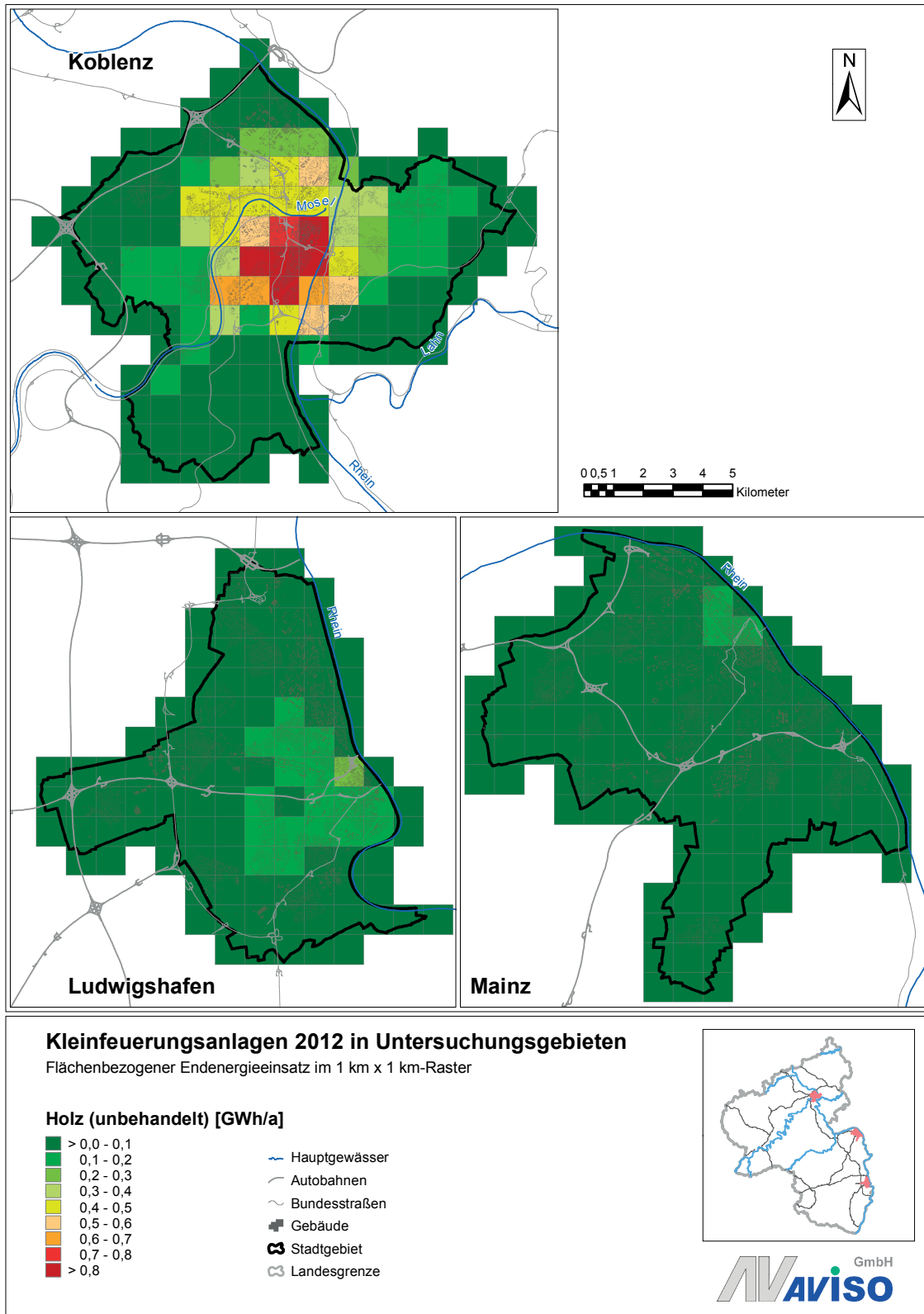


Abb. 3.11: Endenergieeinsatz Holz (unbehandelt) 2012 Mainz, Ludwigshafen, Koblenz

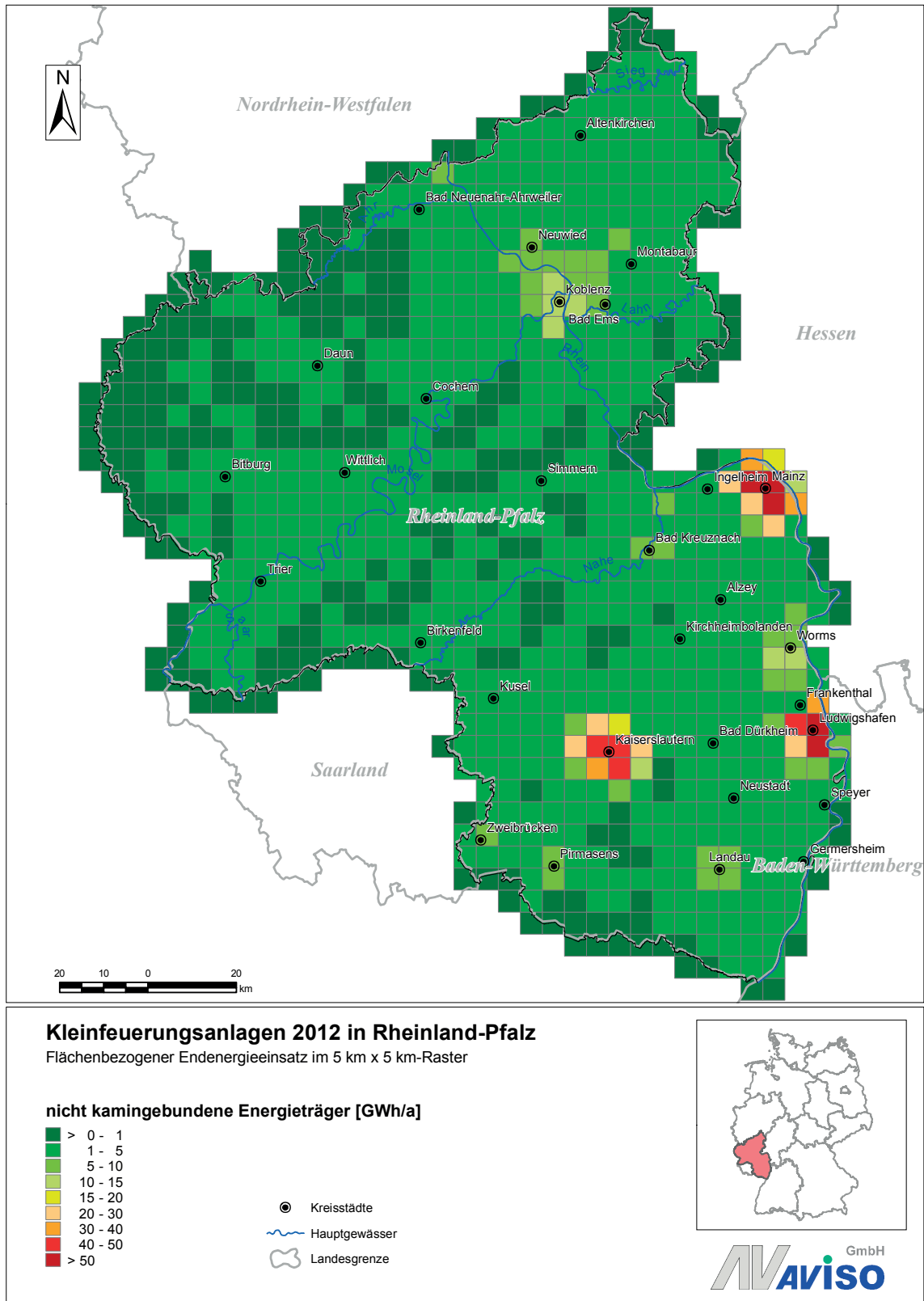


Abb. 3.12: Endenergieeinsatz nicht kamingebundene Energieträger 2012 Rheinland-Pfalz

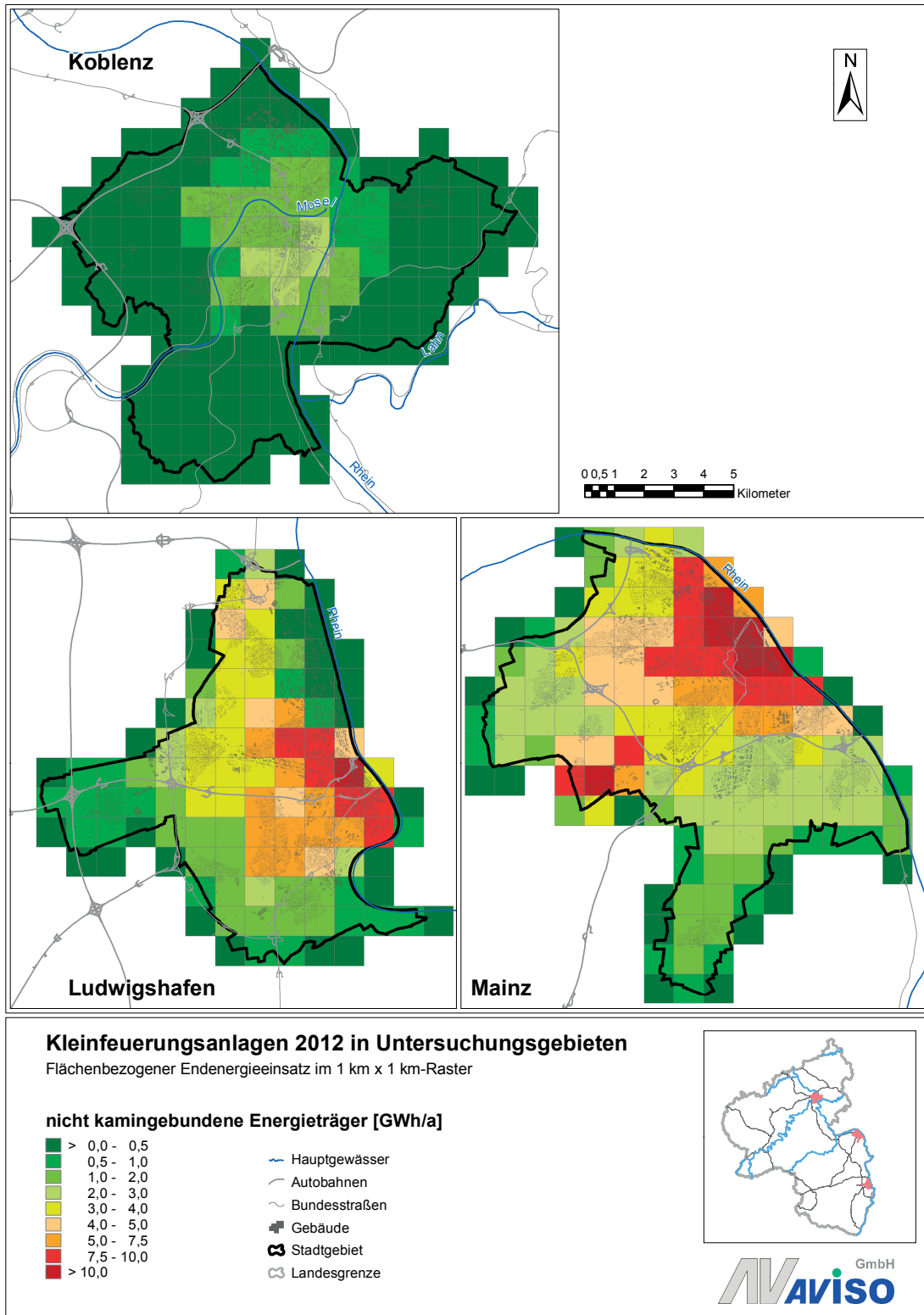


Abb. 3.13: Endenergieeinsatz nicht kamingebundene Energieträger 2012 Mainz, Ludwigshafen, Koblenz

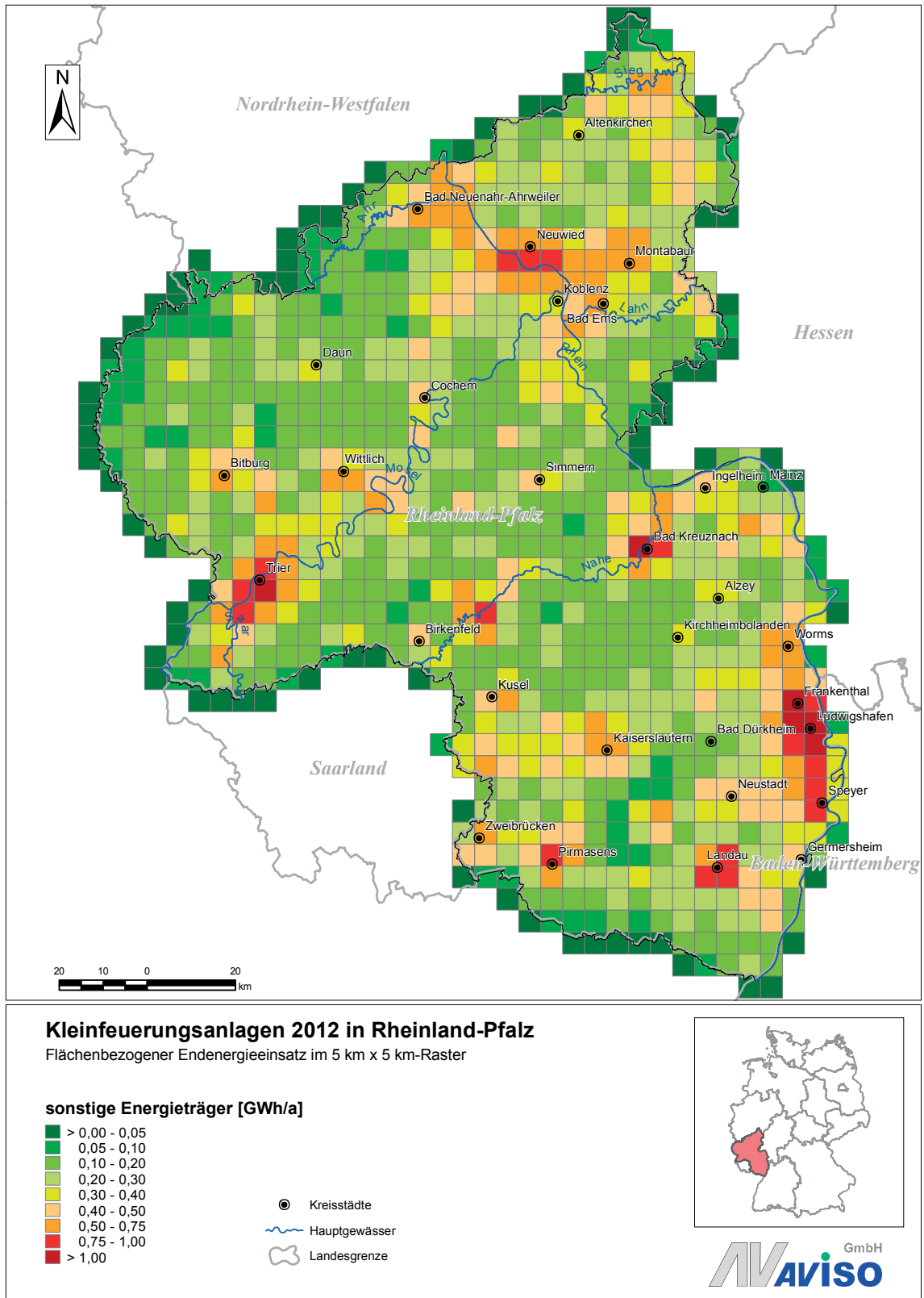


Abb. 3.14: Endenergieeinsatz sonstige Energieträger 2012 Rheinland-Pfalz

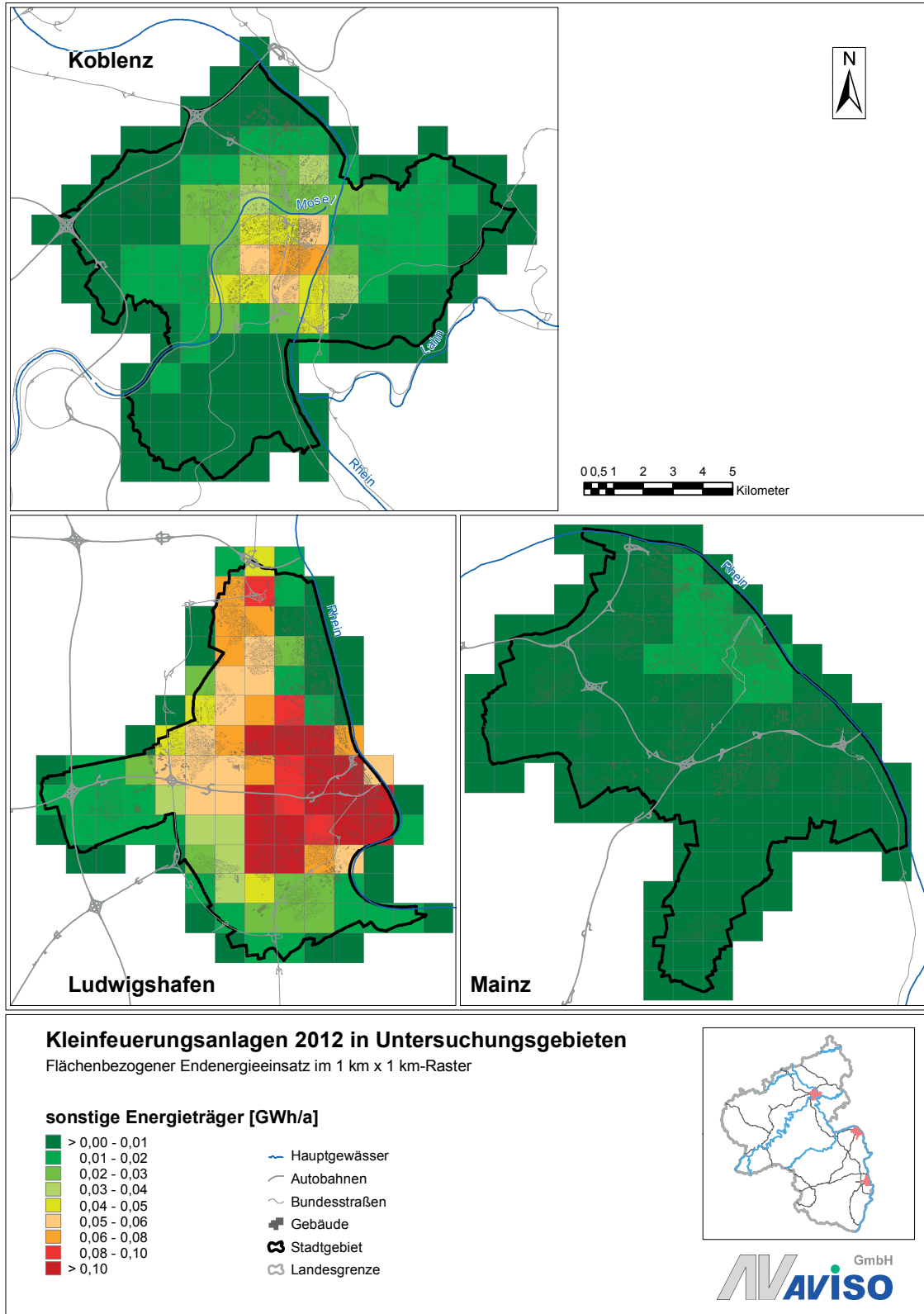


Abb. 3.15: Endenergieeinsatz sonstige Energieträger 2012 Mainz, Ludwigshafen, Koblenz

## 4. EMISSIONEN

Aus den Endenergieeinsätzen in Kleinfeuerungsanlagen wurden die Emissionen durch Multiplikation mit den entsprechenden Emissionsfaktoren berechnet. Betrachtet wurden die Gase CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> (als NO<sub>2</sub>), SO<sub>2</sub> und NMVOC sowie Staub, differenziert nach Gesamtstaub, PM10, PM2,5 und Ruß.

Die Berechnung wurde mittels der Endenergieeinsätze auf Gemeindeebene durchgeführt, die Werte wurden anschließend für die Verwaltungsbezirke und für Rheinland-Pfalz gesamt summiert.

Im Folgenden werden zunächst tabellarische Darstellungen der Emissionen differenziert nach Verwaltungsbezirken sowie – für Mainz, Ludwigshafen und Koblenz – nach Stadtteilen dargestellt. Anschließend werden Kartendarstellungen für Rheinland-Pfalz (Raster: 5 km × 5 km) sowie für die Städte Mainz, Ludwigshafen und Koblenz (Raster: 1 km × 1 km) angegeben.

### Tabellarische Darstellungen

Aus Kleinfeuerungsanlagen in Rheinland-Pfalz wurden im Jahr 2012 insgesamt 9,8 Mio. t CO<sub>2</sub> emittiert. Von den Luftschadstoffen sind insbesondere NO<sub>x</sub> und PM10 relevant, hier kommt es in Deutschland immer wieder zu Grenzwertüberschreitungen. Es wurden aus Kleinfeuerungsanlagen in Rheinland-Pfalz im Jahr 2012 insgesamt 5.375 t NO<sub>x</sub> und 920 t PM10 emittiert. Alle weiteren Luftschadstoff-Emissionen für Rheinland-Pfalz gesamt sowie differenziert nach Verwaltungsbezirken können Tab. 4.1 entnommen werden.

Die Luftschadstoff-Emissionen für die Städte Mainz, Ludwigshafen und Koblenz sind differenziert nach Stadtteilen in Tab. 4.2 bis Tab. 4.4 ausgewiesen.



Tab. 4.1: Emissionen Kleinfeuerungsanlagen Rheinland-Pfalz 2012 nach Verwaltungsbezirken

Emissionen [t/a]	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub> (als NO <sub>2</sub> )	SO <sub>2</sub>	Ge- samt- staub	PM10	PM2,5	Ruß	NMVOC
Frankenthal (Pfalz)	94.031	33	48	14	1	1	1	0	2
Kaiserslautern	162.426	455	86	24	16	16	15	3	20
Koblenz	205.923	316	99	13	10	10	9	2	13
Landau i. d. Pfalz	105.754	169	61	29	7	7	6	1	9
Ludwigshafen a. Rh.	235.125	124	121	35	4	4	4	1	6
Mainz	313.627	140	157	39	5	4	4	1	7
Neustadt a. d. Weinstr.	114.089	158	59	17	6	6	5	1	7
Pirmasens	107.600	247	57	16	9	9	8	2	11
Speyer	104.759	221	55	15	8	8	7	1	10
Trier	217.666	331	115	36	12	12	11	2	16
Worms	150.314	56	77	23	2	2	2	1	3
Zweibrücken	87.908	115	46	15	4	4	4	1	5
Ahrweiler	344.536	1.053	192	69	39	38	36	7	49
Altenkirchen (Ww.)	376.179	1.354	207	64	49	47	45	9	61
Alzey-Worms	270.406	173	141	45	6	6	6	1	9
Bad Dürkheim	320.702	1.294	173	46	46	45	43	8	58
Bad Kreuznach	404.426	1.162	224	79	43	41	39	8	54
Bernkastel-Wittlich	330.326	1.094	194	86	41	40	38	8	52
Birkenfeld	278.440	888	160	64	33	32	31	6	42
Cochem-Zell	203.679	788	120	52	29	29	27	6	37
Donnersbergkreis	206.950	515	114	41	19	18	18	4	24
Eifelkreis Bitburg-Prüm	354.196	801	207	95	31	30	29	6	40
Germersheim	264.560	784	141	38	28	27	26	5	35
Kaiserslautern	313.121	1.228	172	51	44	43	41	8	55
Kusel	225.919	613	127	49	23	22	21	4	29
Mainz-Bingen	405.637	572	212	63	21	20	19	4	27
Mayen-Koblenz	507.876	1.192	276	91	43	42	40	8	55
Neuwied	407.515	1.270	218	61	45	44	42	8	57

Emissionen [t/a]	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub> (als NO <sub>2</sub> )	SO <sub>2</sub>	Ge- sam- staub	PM10	PM2,5	Ruß	NM VOC
Rhein-Hunsrück-Kreis	314.766	982	180	71	36	35	34	7	46
Rhein-Lahn-Kreis	320.044	1.166	181	64	43	41	39	8	54
Rhein-Pfalz-Kreis	331.600	437	172	50	16	15	14	3	20
Südliche Weinstraße	266.169	945	147	46	34	33	32	6	43
Südwestpfalz	297.894	1.502	172	61	55	53	50	10	68
Trier-Saarburg	362.329	1.271	213	93	48	46	44	9	60
Vulkaneifel	220.198	655	125	50	24	24	23	5	31
Westerwaldkreis	584.517	1.799	322	107	65	64	61	12	82
RP gesamt	9.811.207	25.903	5.375	1.813	945	920	876	180	1.197

Tab. 4.2: Emissionen Kleinfeuerungsanlagen Mainz 2012 nach Stadtteilen

Emissionen [kg/a] Mainz	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub> (als NO <sub>2</sub> )	SO <sub>2</sub>	Ge- sam- staub	PM10	PM2,5	Ruß	NM VOC
Altstadt	19.759.208	8.730	9.899	2.476	284	278	268	69	413
Neustadt	32.383.110	14.308	16.223	4.059	465	456	439	113	677
Oberstadt	29.396.228	12.988	14.727	3.684	422	414	398	102	615
Hartenberg/ Münchfeld	20.018.396	8.845	10.029	2.509	287	282	271	70	419
Mombach	20.722.593	9.156	10.382	2.597	298	292	281	72	433
Gonsenheim	36.829.291	16.272	18.451	4.616	529	518	499	128	770
Finthen	26.179.489	11.567	13.115	3.281	376	368	355	91	548
Bretzenheim	35.451.898	15.663	17.761	4.443	509	499	480	123	741
Marienborn	6.875.787	3.038	3.445	862	99	97	93	24	144
Lerchenberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Drais	6.580.422	2.907	3.297	825	94	93	89	23	138
Hechtsheim	29.814.282	13.173	14.936	3.737	428	420	404	104	624
Ebersheim	11.001.663	4.861	5.512	1.379	158	155	149	38	230
Weisenau	19.232.553	8.497	9.635	2.410	276	271	261	67	402
Laubenheim	19.371.128	8.559	9.704	2.428	278	273	262	67	405
Mainz gesamt	313.616.047	138.562	157.114	39.305	4.503	4.413	4.249	1.092	6.559

Tab. 4.3: Emissionen Kleinfeuerungsanlagen Ludwigshafen 2012 nach Stadtteilen

Emissionen [kg/a] Ludwigshafen	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub> (als NO <sub>2</sub> )	SO <sub>2</sub>	Ge- samt- staub	PM10	PM2,5	Ruß	NMVOC
Mitte	13.793.258	7.394	7.077	2.069	265	259	249	63	371
Süd	26.111.225	13.998	13.398	3.916	501	491	472	119	702
Hemshof	20.436.333	10.956	10.486	3.065	392	384	369	93	550
West	5.995.825	3.214	3.076	899	115	113	108	27	161
Friesenheim	28.447.618	15.250	14.597	4.266	546	535	514	129	765
Oppau	15.122.673	8.107	7.760	2.268	290	284	273	69	407
Edigheim	12.078.548	6.475	6.198	1.811	232	227	218	55	325
Pfingstweide	8.948.634	4.797	4.592	1.342	172	168	162	41	241
Oggersheim	32.123.225	17.221	16.483	4.817	617	604	580	146	864
Ruchheim	7.221.631	3.871	3.705	1.083	139	136	130	33	194
Gartenstadt	25.634.360	13.742	13.153	3.844	492	482	463	117	689
Maudach	9.245.939	4.957	4.744	1.387	178	174	167	42	249
Mundenheim	18.724.829	10.038	9.608	2.808	360	352	338	85	503
Rheingönheim	11.258.192	6.035	5.777	1.688	216	212	203	51	303
Ludwigshafen gesamt	235.142.289	126.057	120.653	5.264	4.515	4.420	4.248	1.069	6.323

Tab. 4.4: Emissionen Kleinfeuerungsanlagen Koblenz 2012 nach Stadtteilen

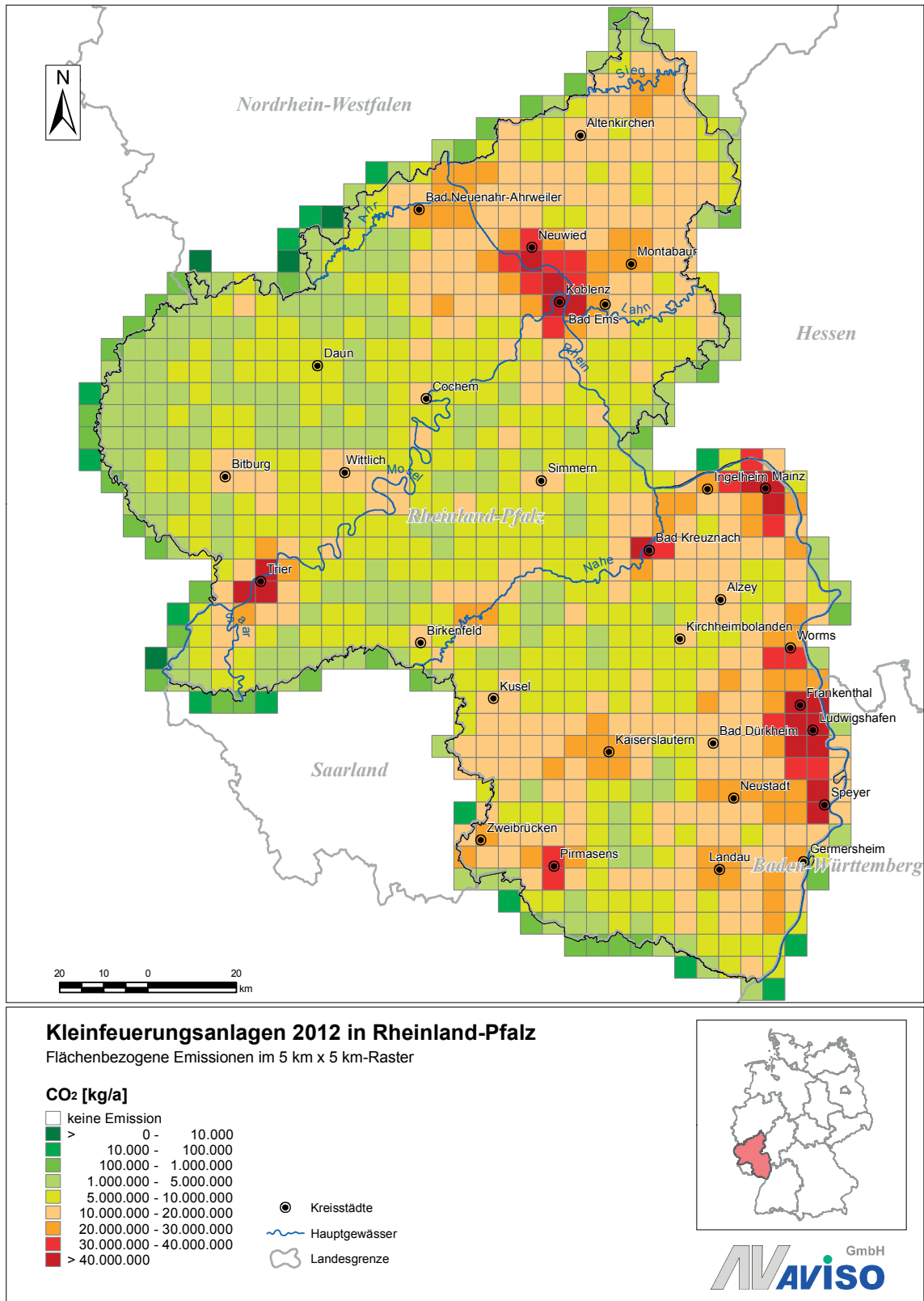
Emissionen [kg/a] Koblenz	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub> (als NO <sub>2</sub> )	SO <sub>2</sub>	Ge- samt- staub	PM10	PM2,5	Ruß	NMVOC
Altstadt	8.839.551	13.367	4.255	545	431	419	398	79	559
Mitte	7.627.093	11.534	3.671	470	372	361	344	68	482
Süd	13.727.493	20.759	6.607	846	669	650	618	122	868
Oberwerth	3.519.500	5.322	1.694	217	171	167	159	31	223
Karthause Nord	6.387.736	9.660	3.075	394	311	302	288	57	404
Karthäuserhof- gelände	4.629.230	7.000	2.228	285	226	219	209	41	293
Karthause Flugfeld	8.071.437	12.206	3.885	497	393	382	364	72	511
Goldgrube	7.906.483	11.956	3.806	487	385	374	356	70	500
Rauental	8.047.882	12.170	3.874	496	392	381	363	72	509
Moselweiß	6.410.042	9.693	3.085	395	312	304	289	57	405
Stolzenfels	1.128.937	1.707	543	70	55	53	51	10	71
Lay	4.211.727	6.369	2.027	260	205	199	190	38	266
Lützel	12.558.138	18.990	6.045	774	612	595	566	112	794
Metternich	18.355.475	27.757	8.835	1.131	894	869	827	164	1.161
Neuendorf	8.338.917	12.610	4.014	514	406	395	376	74	527
Wallersheim	4.729.974	7.153	2.277	291	230	224	213	42	299
Kesselheim	4.696.030	7.101	2.260	289	229	222	212	42	297
Güls	11.452.857	17.319	5.513	706	558	542	516	102	724
Rübenach	10.278.846	15.544	4.948	633	501	487	463	92	650
Bubenheim	2.663.816	4.028	1.282	164	130	126	120	24	168
Ehrenbreitstein	4.295.193	6.495	2.067	265	209	203	194	38	272
Niederberg	5.928.549	8.965	2.854	365	289	281	267	53	375
Asterstein	5.503.571	8.322	2.649	339	268	261	248	49	348
Pfaffendorf	6.807.719	10.295	3.277	419	332	322	307	61	431
Pfaffendorfer Höhe	5.617.105	8.494	2.704	346	274	266	253	50	355
Horchheim	7.317.523	11.066	3.522	451	356	346	330	65	463
Horchheimer Höhe	3.235.680	4.893	1.557	199	158	153	146	29	205
Arzheim	5.114.093	7.734	2.462	315	249	242	230	46	323
Arenberg	5.555.829	8.402	2.674	342	271	263	250	50	351
Immendorf	2.925.005	4.423	1.408	180	142	139	132	26	185
<b>Koblenz gesamt</b>	<b>205.881.430</b>	<b>311.333</b>	<b>99.097</b>	<b>12.685</b>	<b>10.030</b>	<b>9.749</b>	<b>9.276</b>	<b>1.835</b>	<b>13.022</b>

## Kartendarstellungen

Die Emissionen der untersuchten Luftschadstoffe  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$  (als  $\text{NO}_2$ ),  $\text{SO}_2$ , Gesamtstaub,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$ , Ruß und NMVOC wurden in Form von Karten dargestellt: Für Rheinland-Pfalz in einem Raster von  $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$ , für die Städte Mainz, Ludwigshafen und Koblenz in einem Raster von  $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ .

Analog zu den Darstellungen der Endenergieeinsätze im vorherigen Kapitel werden pro Gitterzelle absolute Werte für die Emissionen dargestellt. Dadurch ist die Vergleichbarkeit mit bereits fertiggestellten Emissionskatastern anderer Quellengruppen gewährleistet. Bei der Interpretation der Karten sollte deshalb beachtet werden, dass sich die dargestellten Emissionen in den Karten für Rheinland-Pfalz gesamt auf eine Fläche von  $25 \text{ km}^2$  beziehen, in den Karten für Mainz, Ludwigshafen und Koblenz jedoch nur auf eine Fläche von  $1 \text{ km}^2$ .

Außerdem enthalten die Gitterzellen nur die für das Untersuchungsgebiet ermittelten Werte. Die Randzellen erstrecken sich jedoch über das Untersuchungsgebiet hinaus. Vollständige Emissionen in den Randzellen sind durch Überlagerung dieses Katasters mit einem entsprechenden Kataster der angrenzenden Bundesländer zu erreichen.

Abb. 4.1: CO<sub>2</sub>-Emissionen Kleinf Feuerungsanlagen 2012 Rheinland-Pfalz

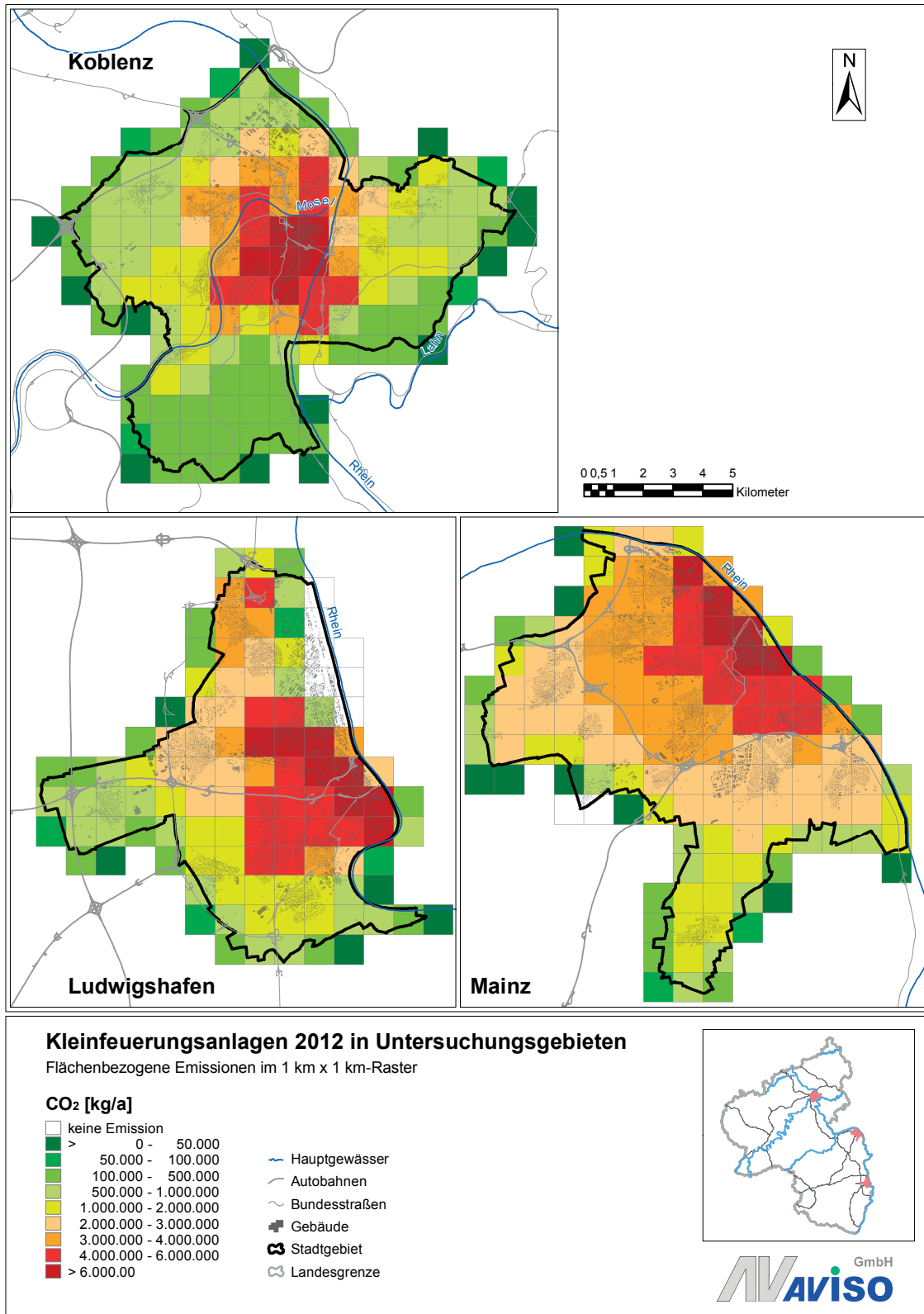


Abb. 4.2: CO<sub>2</sub>-Emissionen Kleinf Feuerungsanlagen 2012 Mainz, Ludwigshafen, Koblenz

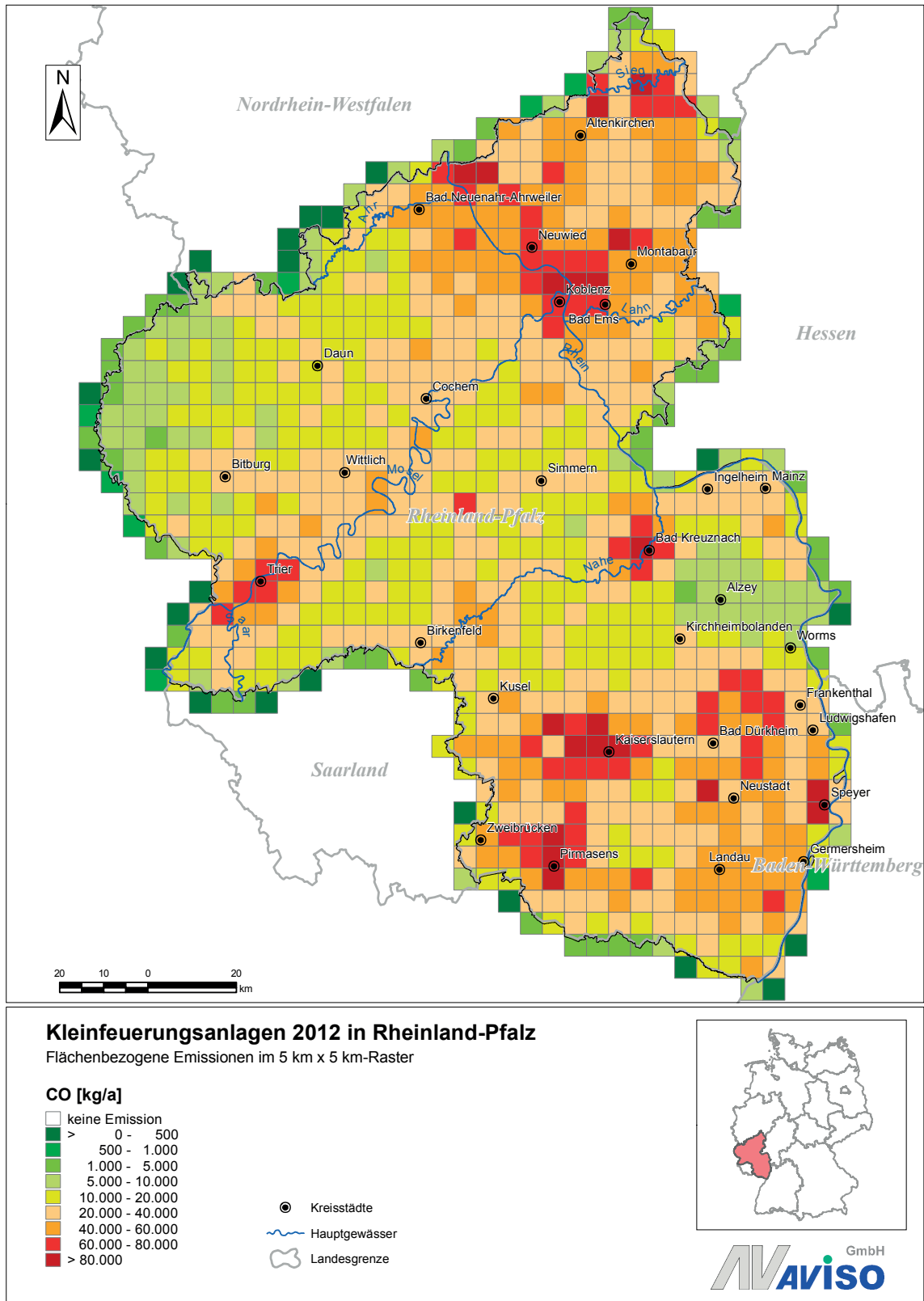


Abb. 4.3: CO-Emissionen Kleinf Feuerungsanlagen 2012 Rheinland-Pfalz



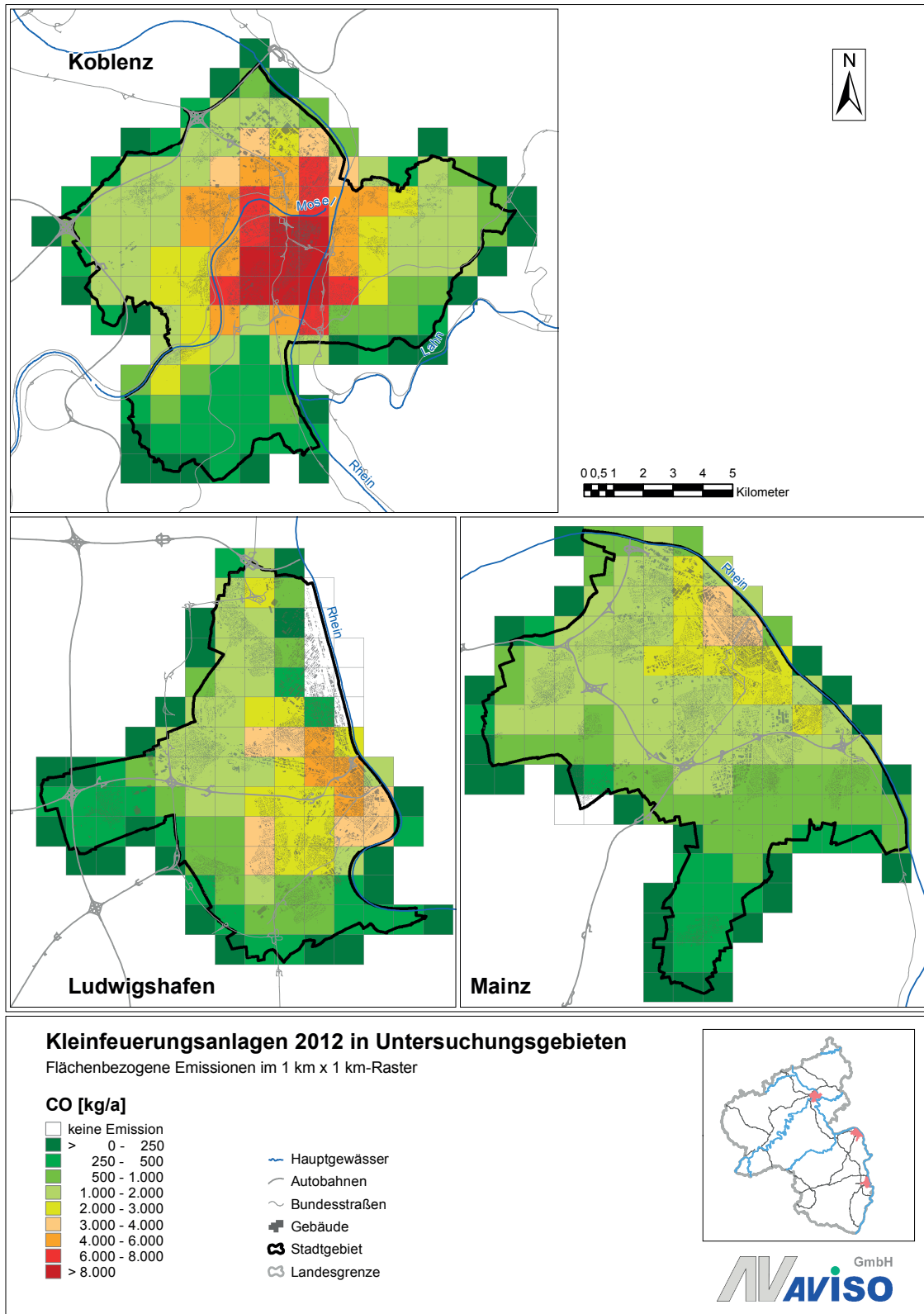
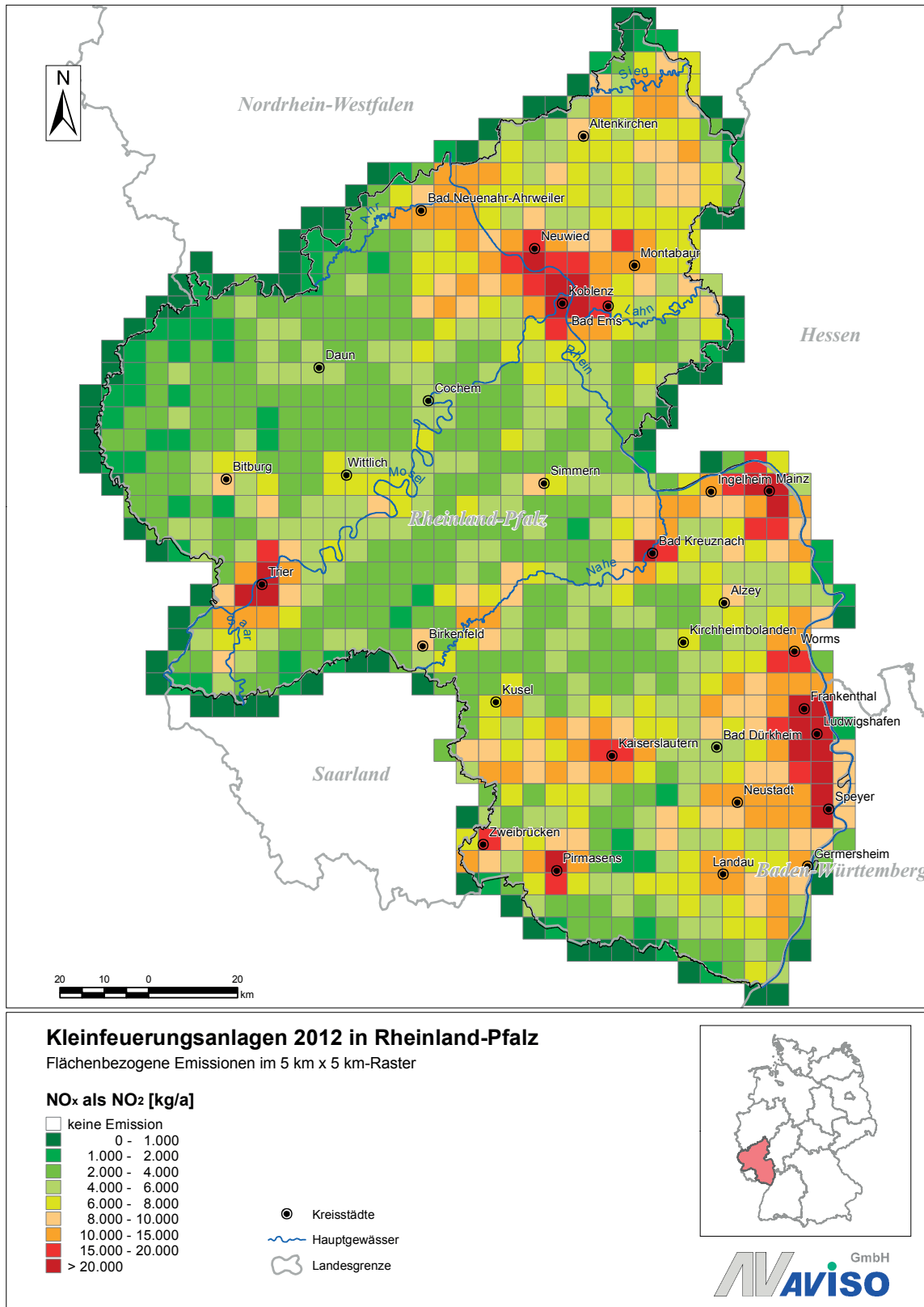


Abb. 4.4: CO-Emissionen Kleinf Feuerungsanlagen 2012 Mainz, Ludwigshafen, Koblenz

Abb. 4.5: NO<sub>x</sub>-Emissionen Kleinf Feuerungsanlagen 2012 Rheinland-Pfalz

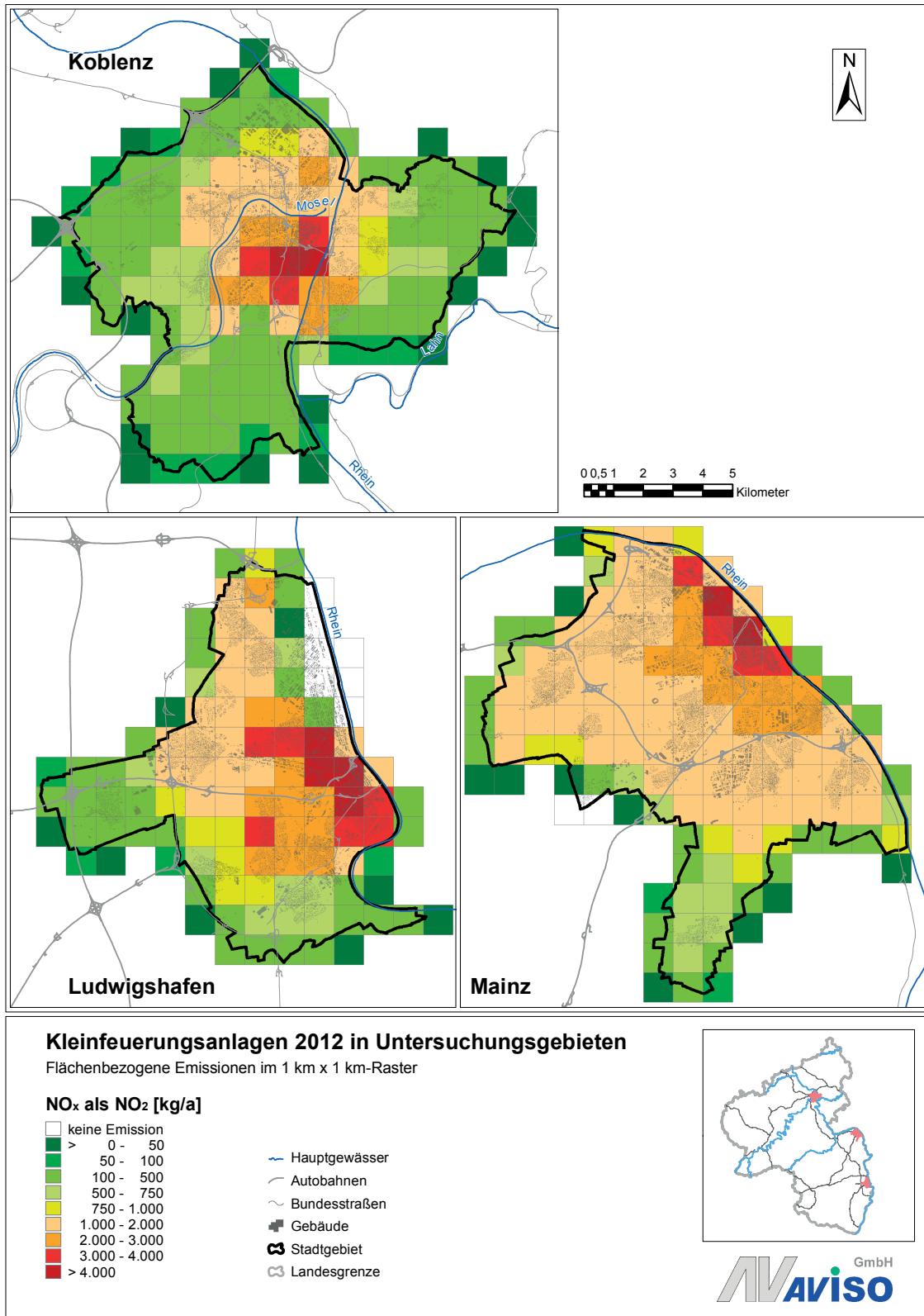
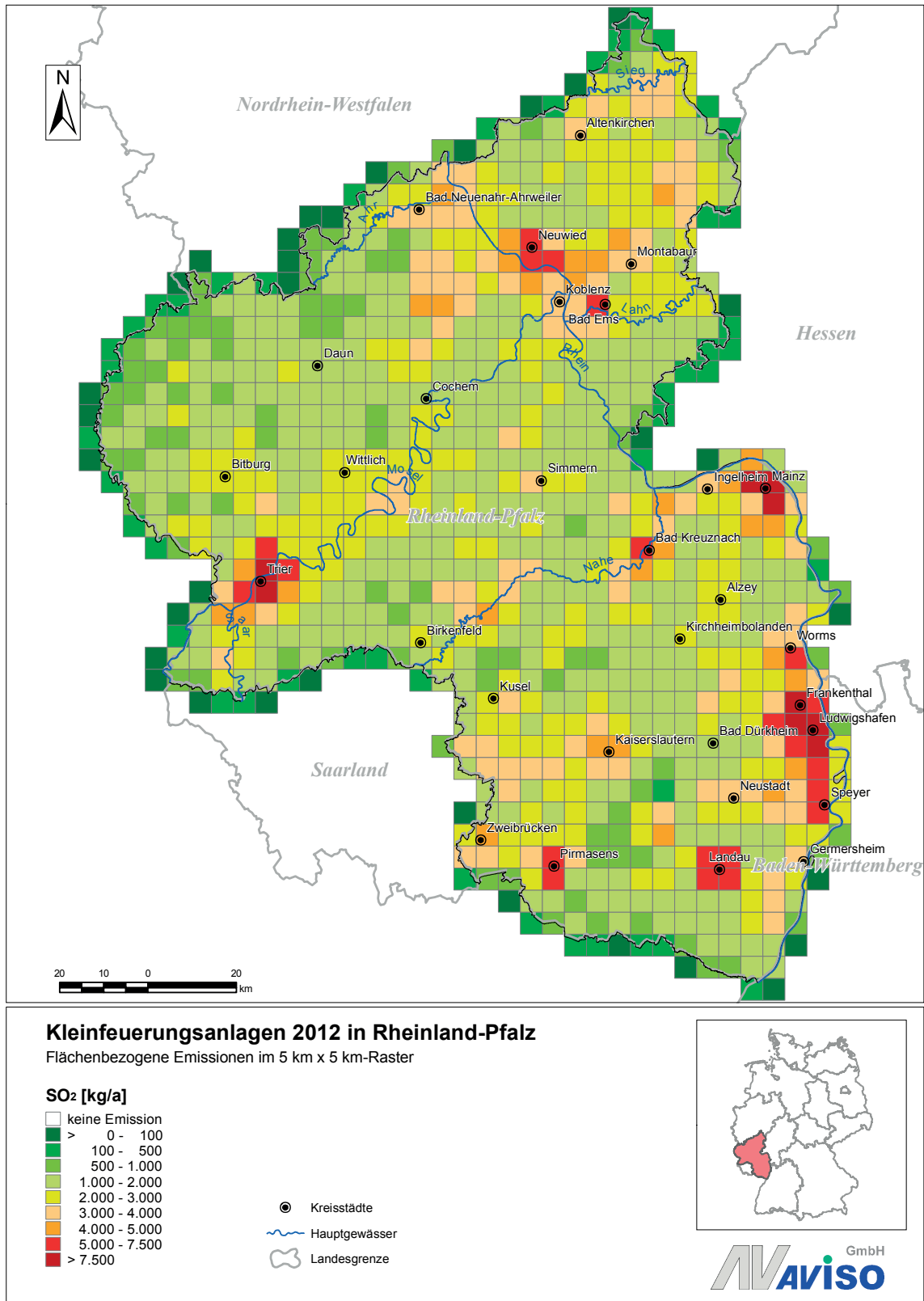


Abb. 4.6: NO<sub>x</sub>-Emissionen Kleinf Feuerungsanlagen 2012 Mainz, Ludwigshafen, Koblenz

Abb. 4.7: SO<sub>2</sub>-Emissionen Kleinf Feuerungsanlagen 2012 Rheinland-Pfalz

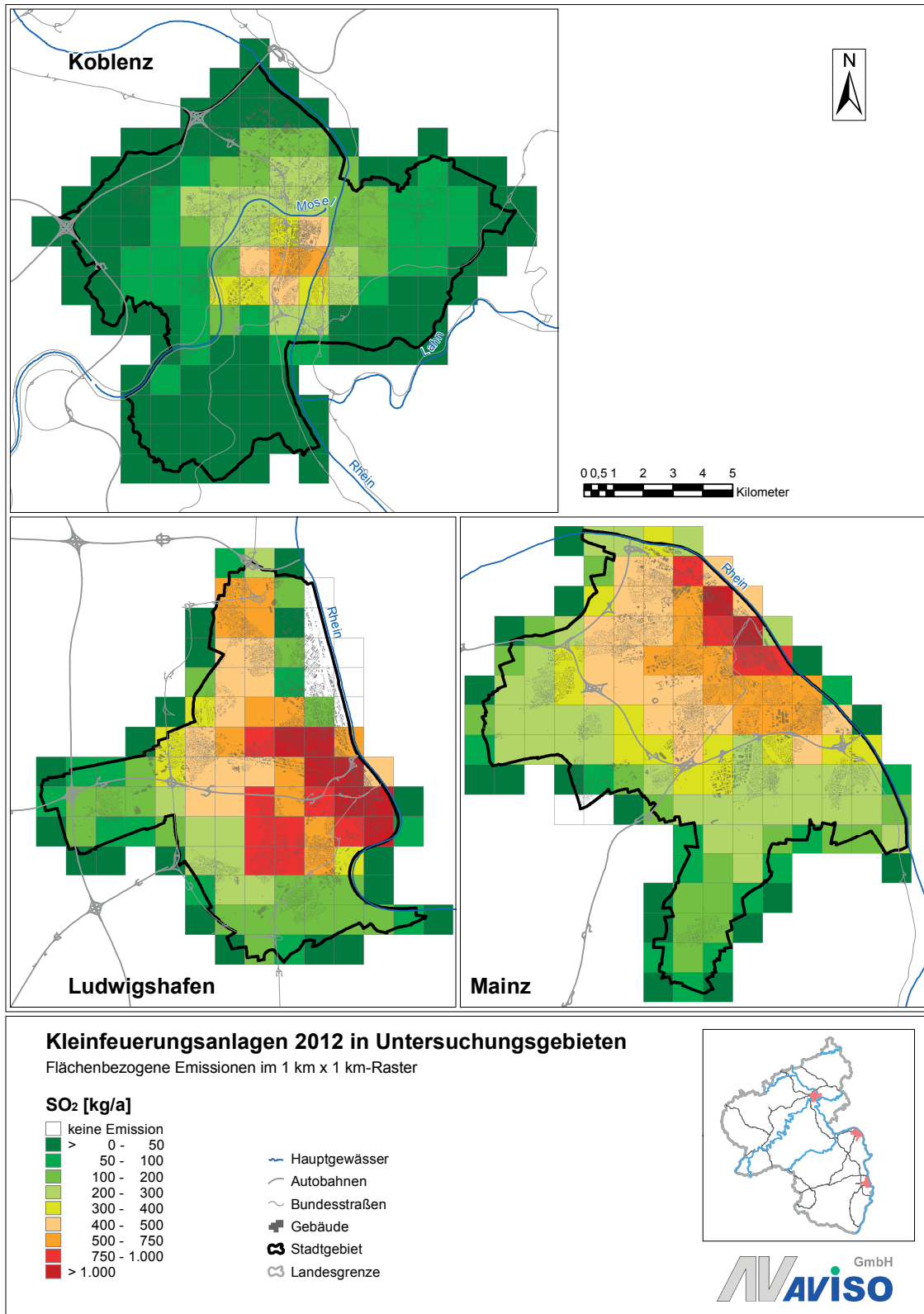


Abb. 4.8: SO<sub>2</sub>-Emissionen Kleinf Feuerungsanlagen 2012 Mainz, Ludwigshafen, Koblenz

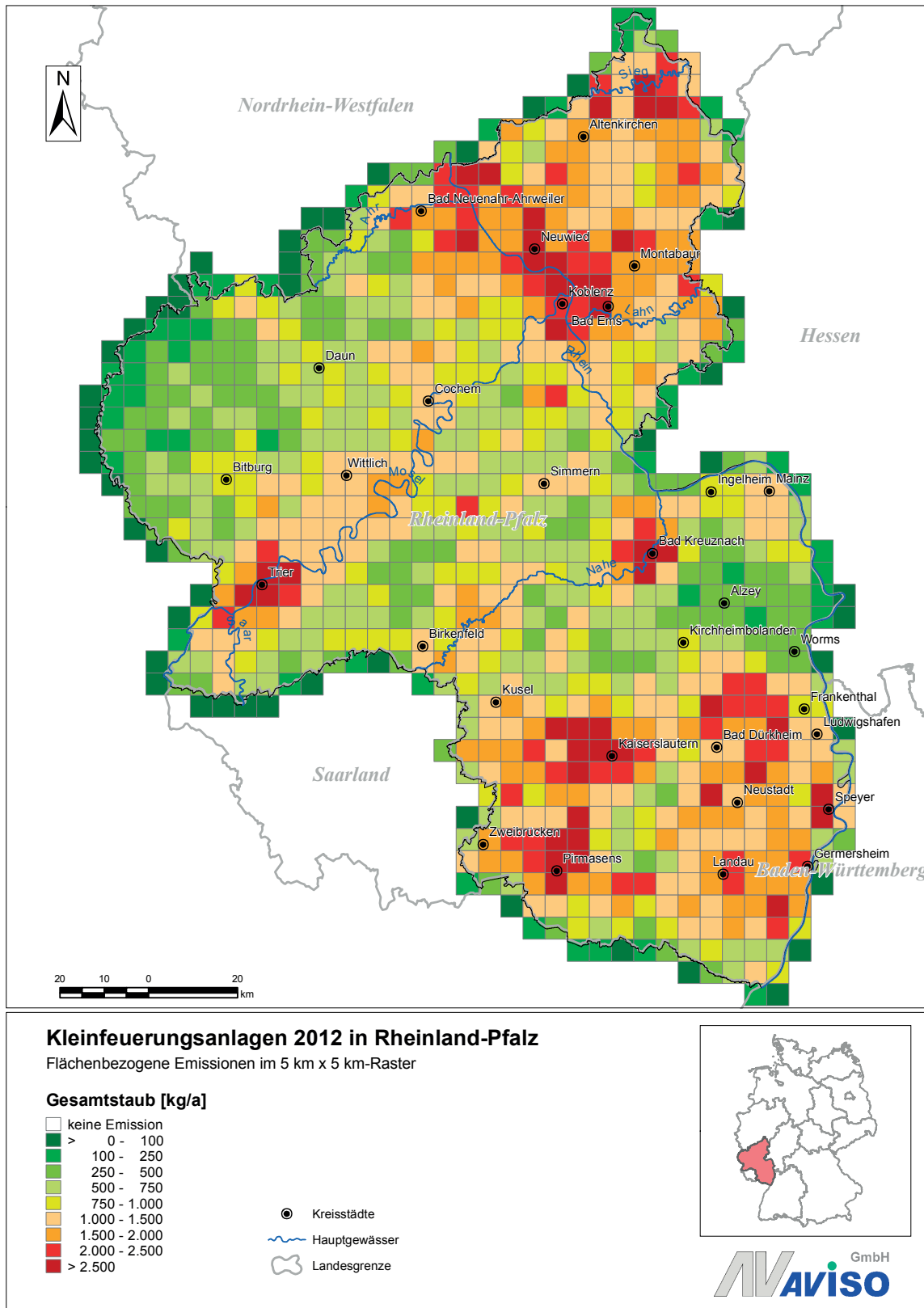


Abb. 4.9: Gesamtstaub-Emissionen Kleinf Feuerungsanlagen 2012 Rheinland-Pfalz

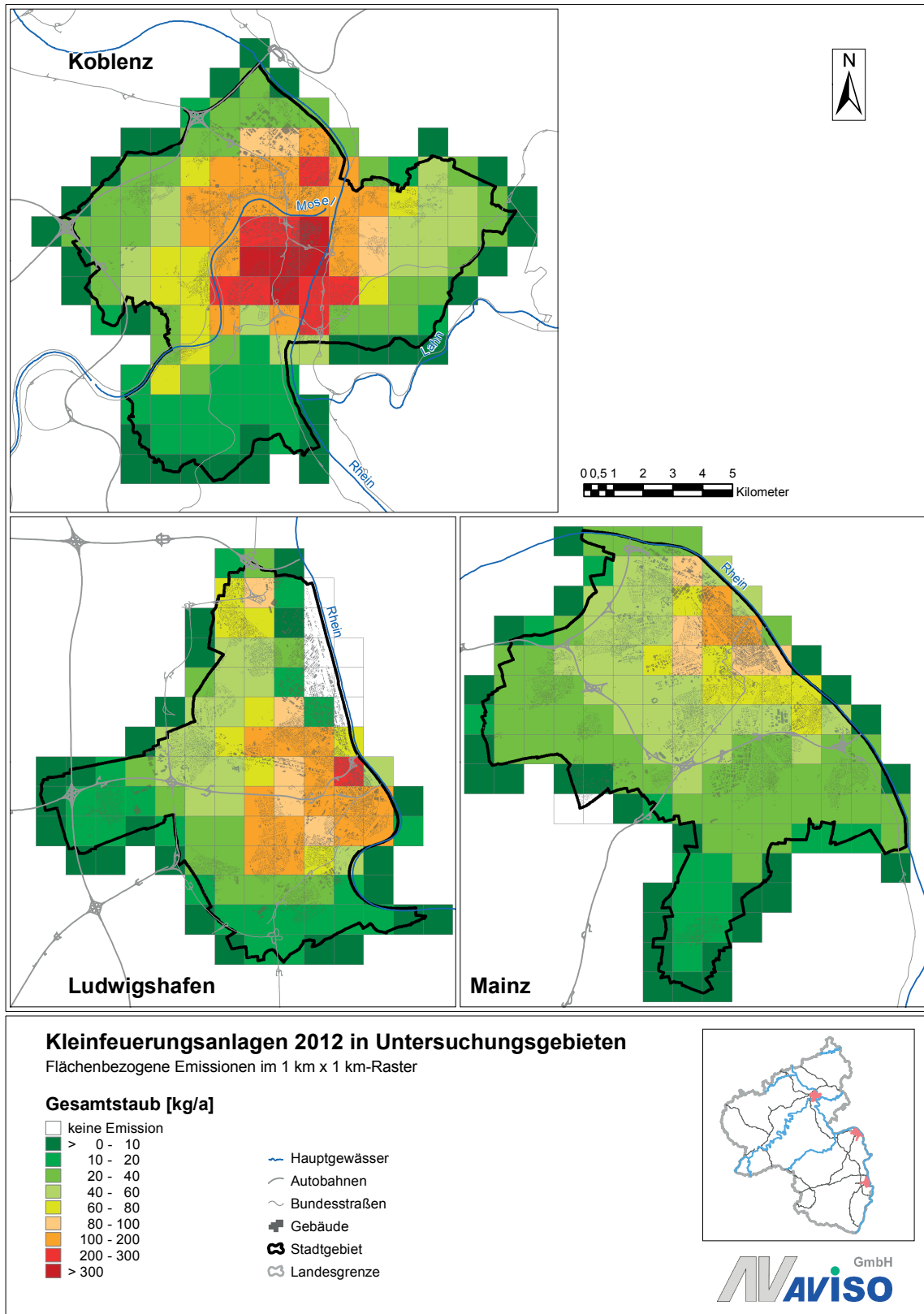


Abb. 4.10: Gesamtstaub-Emissionen Kleinf Feuerungsanlagen 2012 Mainz, Ludwigshafen, Koblenz

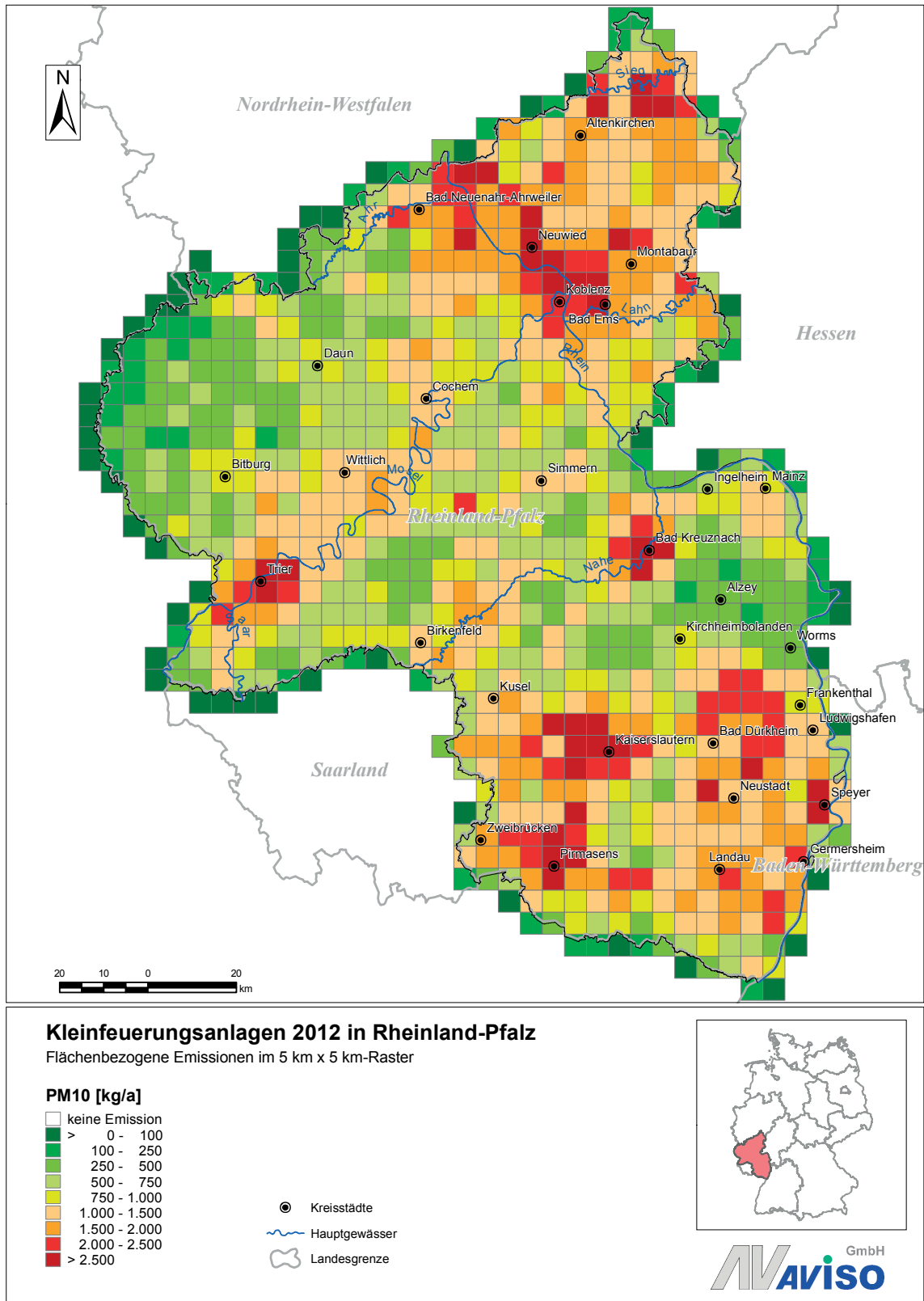


Abb. 4.11: PM10-Emissionen Kleinf Feuerungsanlagen 2012 Rheinland-Pfalz



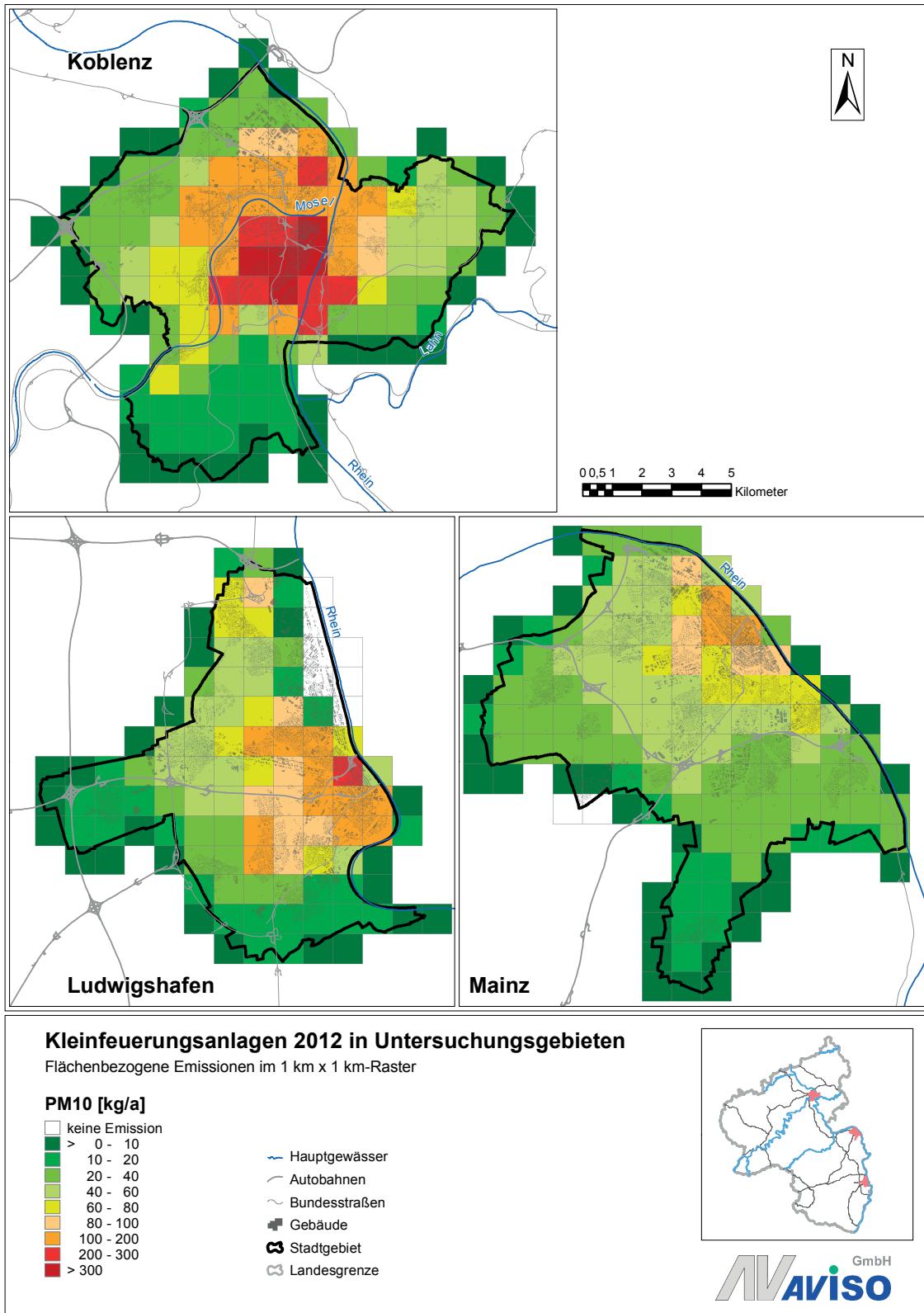


Abb. 4.12: PM10-Emissionen Kleinf Feuerungsanlagen 2012 Mainz, Ludwigshafen, Koblenz

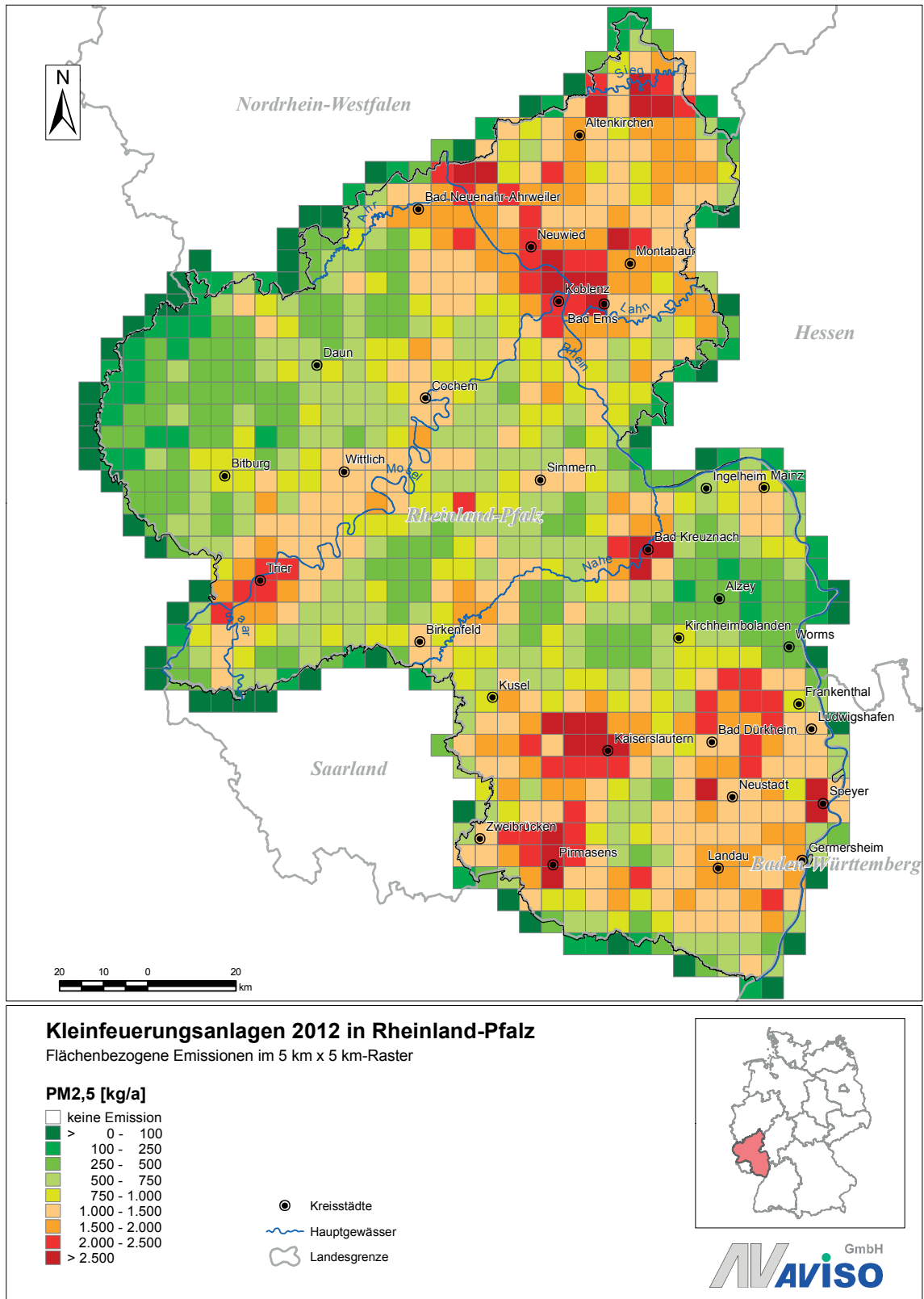


Abb. 4.13: PM2,5-Emissionen Kleinf Feuerungsanlagen 2012 Rheinland-Pfalz

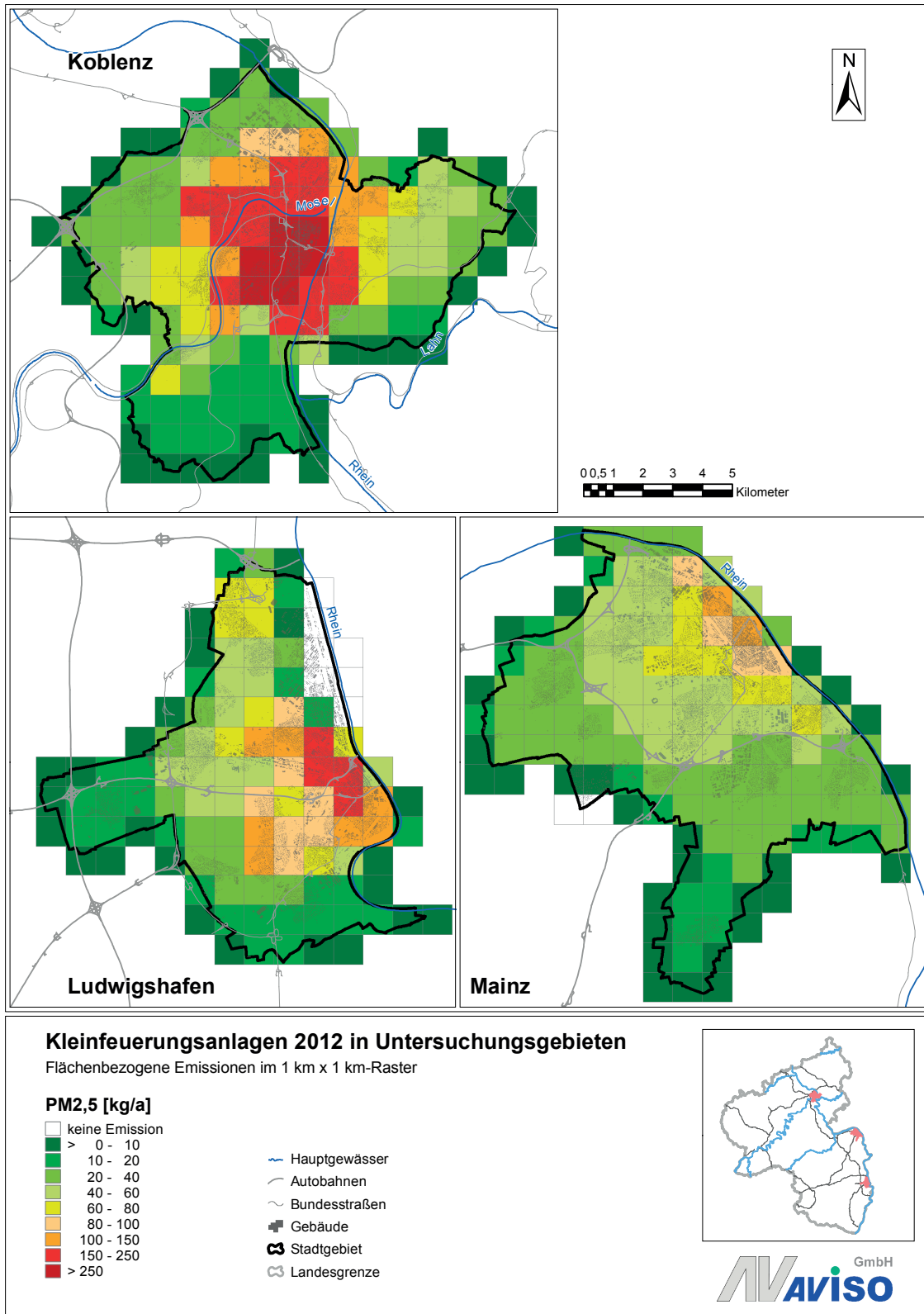


Abb. 4.14: PM2,5-Emissionen Kleinf Feuerungsanlagen 2012 Mainz, Ludwigshafen, Koblenz

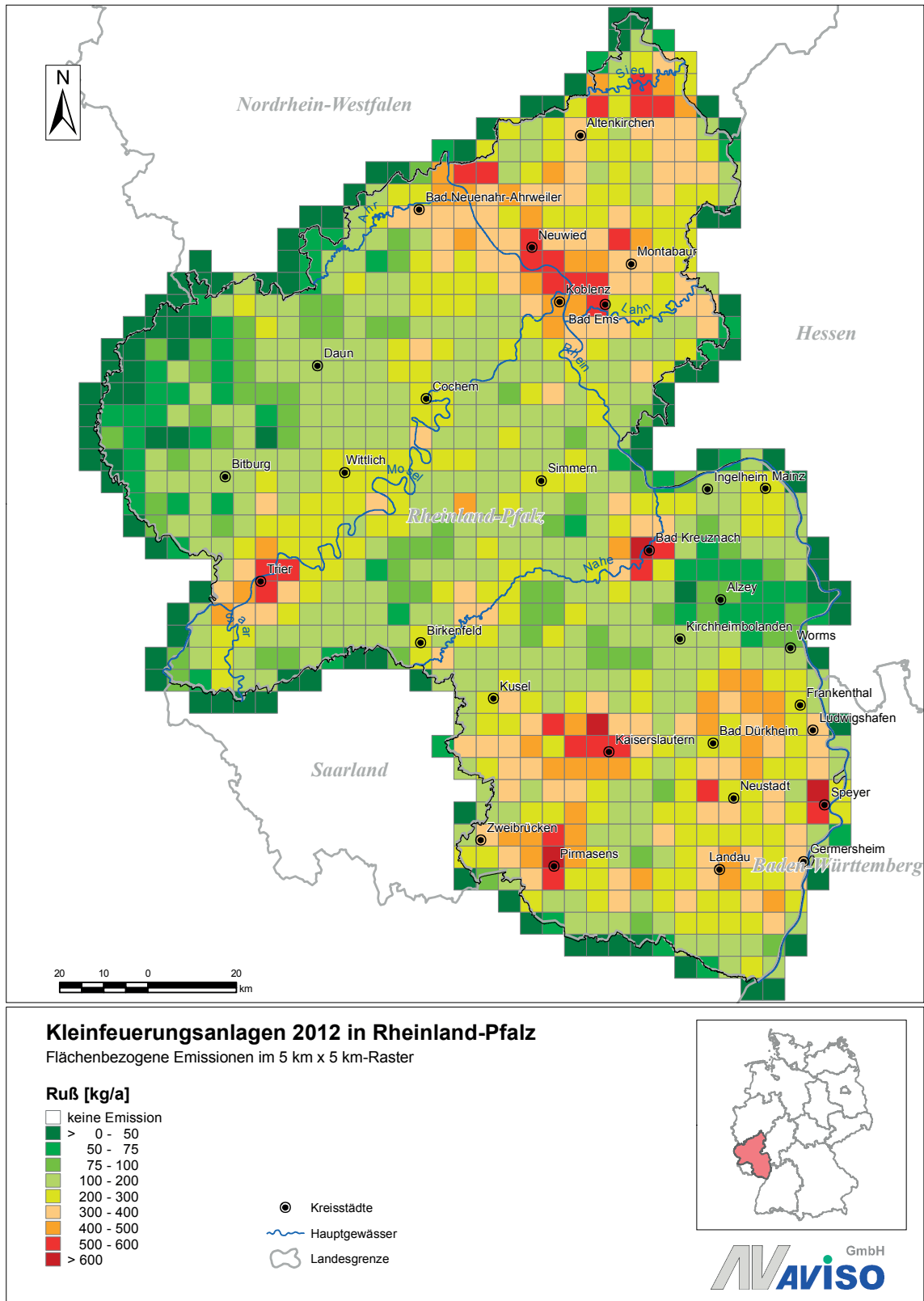


Abb. 4.15: Ruß-Emissionen Kleinf Feuerungsanlagen 2012 Rheinland-Pfalz

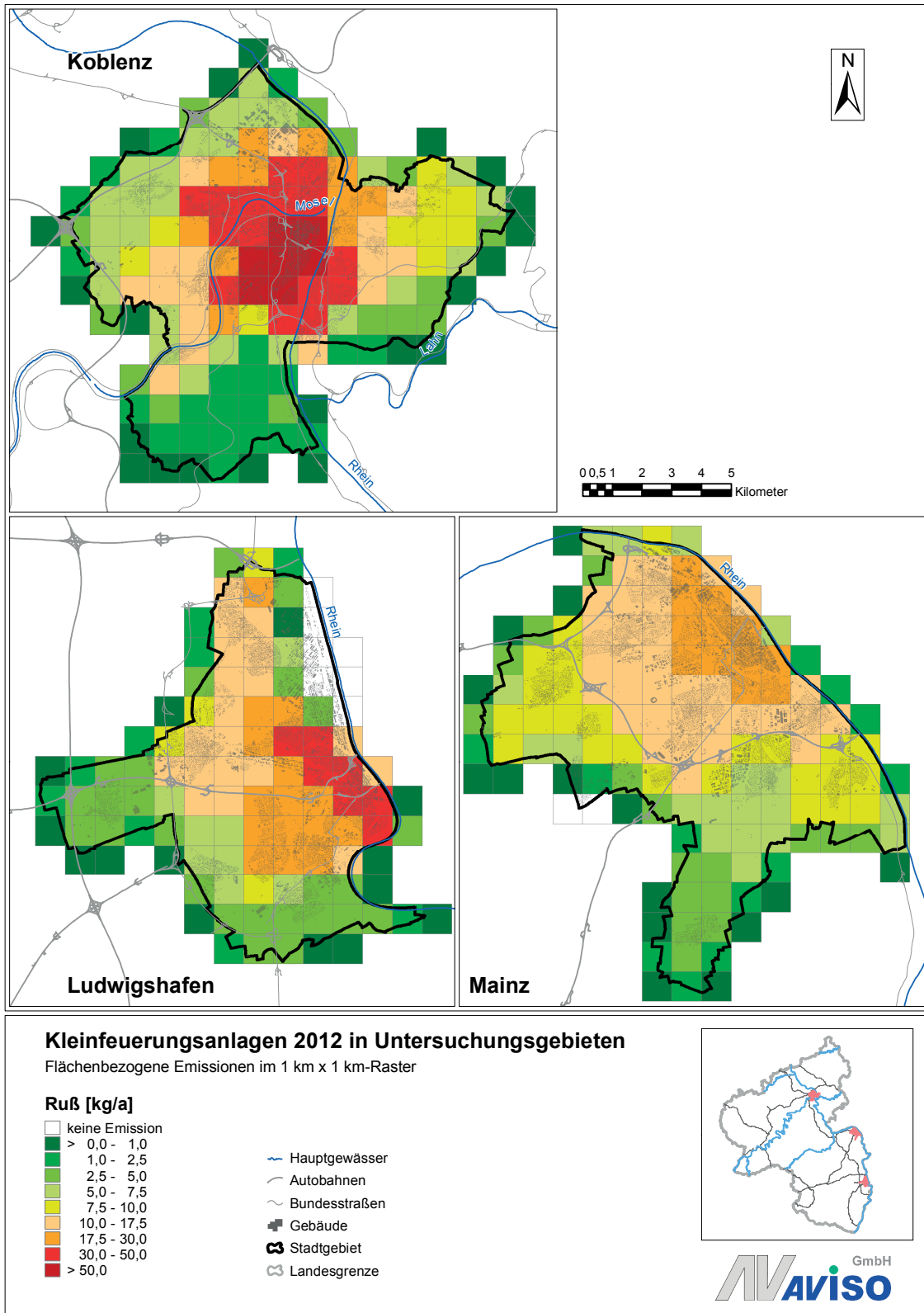


Abb. 4.16: Ruß-Emissionen Kleinfeuerungsanlagen 2012 Mainz, Ludwigshafen, Koblenz

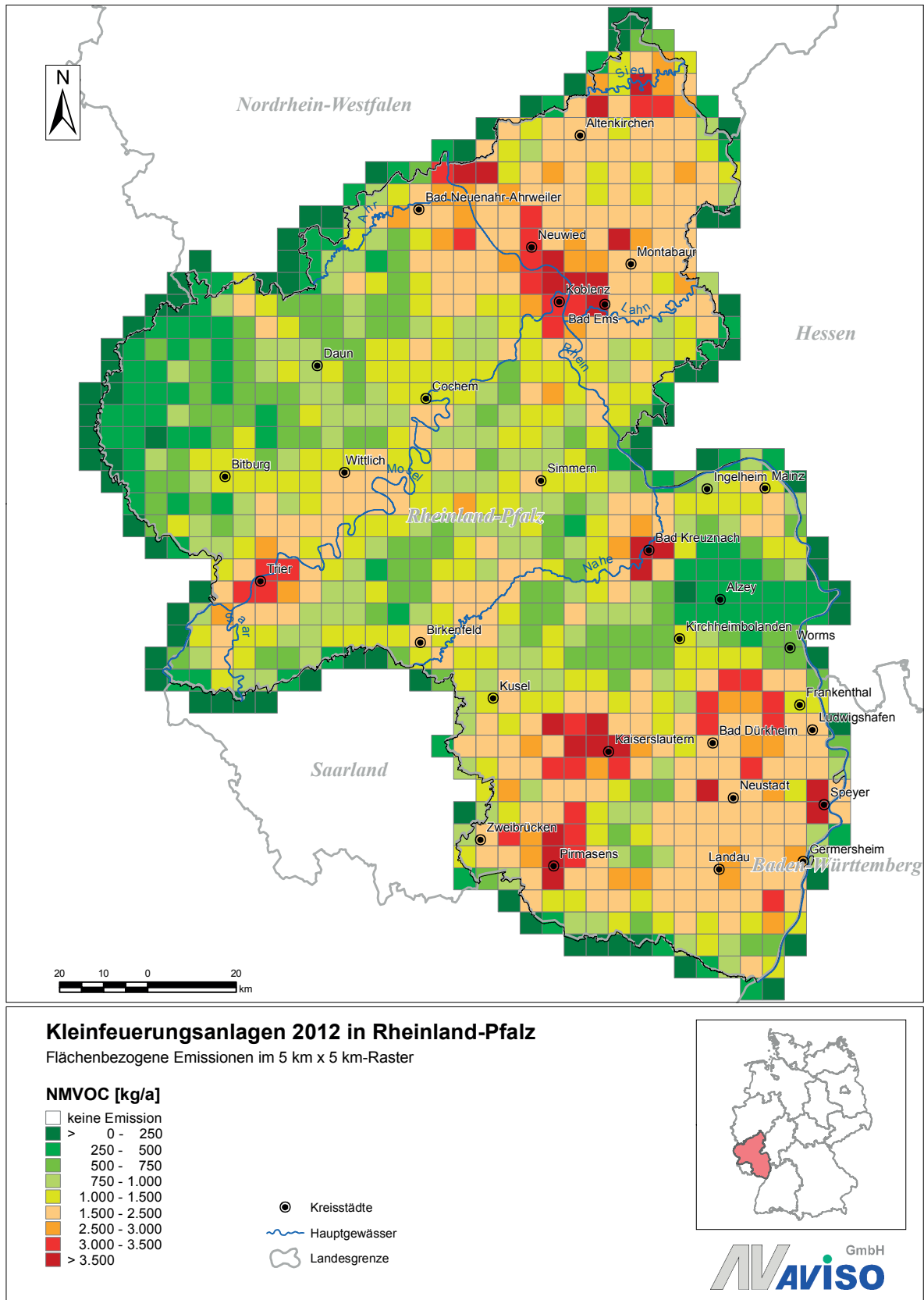


Abb. 4.17: NMVOC-Emissionen Kleinf Feuerungsanlagen 2012 Rheinland-Pfalz

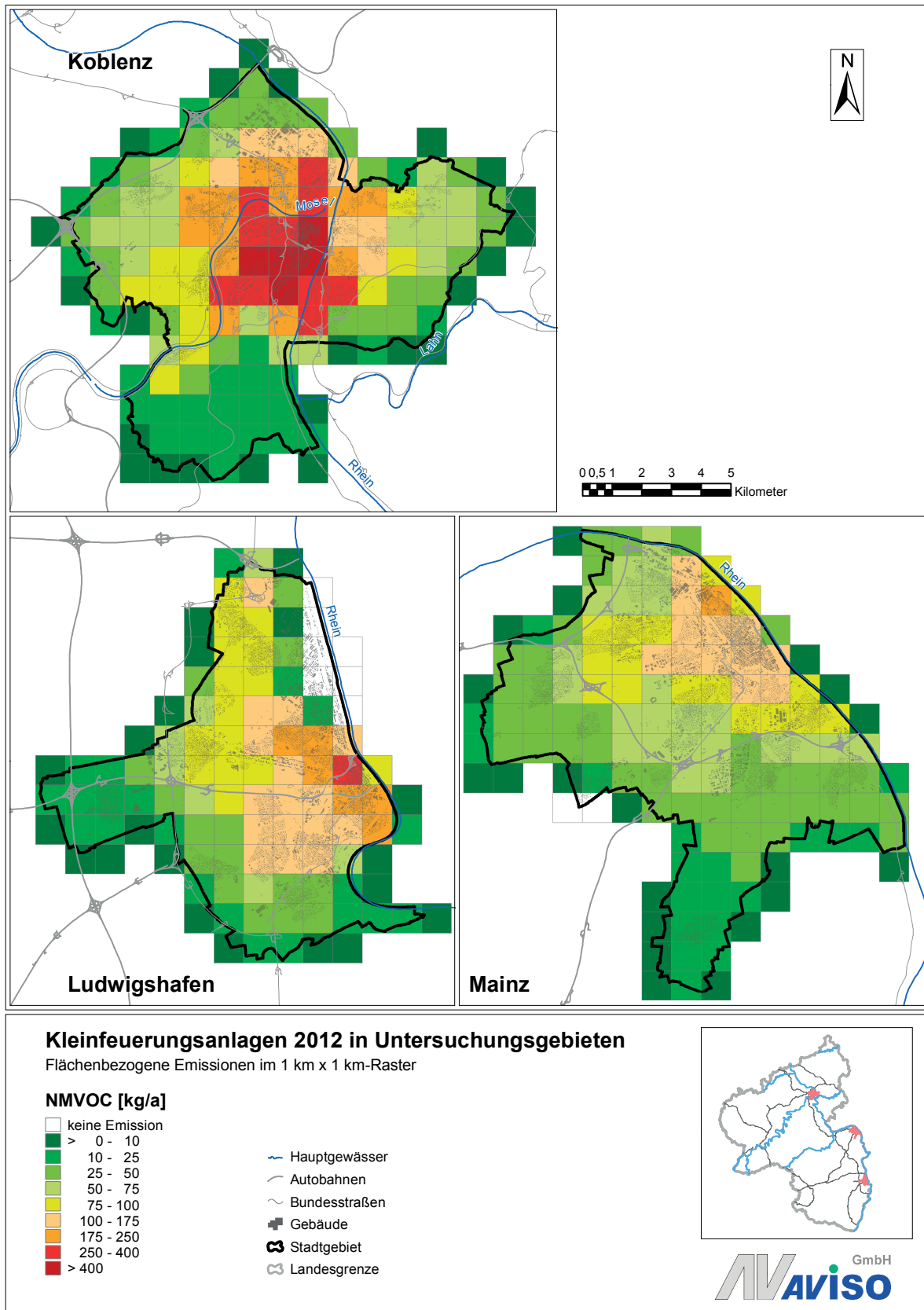


Abb. 4.18: NMVOC-Emissionen Kleinf Feuerungsanlagen 2012 Mainz, Ludwigshafen, Koblenz

## 5. ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen der Erstellung des Emissionskatasters Hausbrand Rheinland-Pfalz 2012 wurde zunächst der Endenergieeinsatz für das gesamte Landesgebiet bestimmt. Differenziert nach Energieträgern ist dieser in der folgenden Tabelle ausgewiesen.

**Tab. 5.1: Endenergieeinsatz der Emittentengruppe Hausbrand in Rheinland-Pfalz 2012**

Endenergieeinsatz	gesamt	Fernwärme	Solarthermie und WP	Kohle	Holz	Pellets	sonst. nachw. Rohstoffe	Öl	Gas
[GWh/a]	42.982	2.221	482	39	2.250	175	6	20.065	17.744
Anteil	100,0 %	5,2 %	1,1 %	0,1 %	5,2 %	0,4 %	0,0 %	46,7 %	41,3 %

Insgesamt ergibt sich ein Heizwärmebedarf in Haushalten und dem Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) von 42.982 GWh/a. Dieser wird fast zur Hälfte (47 %) durch den Einsatz von Öl (20.065 GWh/a) gedeckt. Gas trägt mit 41 % etwas weniger bei (17.745 GWh/a). Die Beiträge von Fernwärme (2.221 GWh/a) und Holz (2.250 GWh/a) liegen jeweils bei ca. 5 %, geringer ist der Beitrag von Solarthermie und Wärmepumpen (481 GWh/a) mit ca. 1 %. Kohle, Pellets und sonstige nachwachsende Rohstoffe tragen zusammen weniger als 1 % zum Endenergieeinsatz bei.

Vergleiche mit bundesweiten Werten zeigen, dass auf Basis der Schornsteinfegerdaten 2012 plausible Werte für die Endenergieeinsätze kamingebundener Energieträger in Rheinland-Pfalz abgeleitet werden können.

Durch Multiplikation dieser Endenergieeinsätze 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>, Gesamtstaub, PM10, PM2,5, Ruß und NMVOC in der folgenden Tabelle ausgewiesen.

**Tab. 5.2: Emissionen der Emittentengruppe Hausbrand in Rheinland-Pfalz 2012**

Emissionen	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub> (als NO <sub>2</sub> )	SO <sub>2</sub>	Gesamtstaub	PM10	PM2,5	Ruß	NMVOC
[t/a]	9.811.207	25.903	5.375	1.813	945	920	876	180	1.197

Endenergieeinsätze und Emissionen wurden landesweit auf Gemeindeebene bestimmt und als Karten mit einer Rasterung von 5 km × 5 km dargestellt.

Für die Städte Mainz, Ludwigshafen und Koblenz wurden die Endenergieeinsätze und die Emissionen auf Stadtteilebene bestimmt und als Karten mit einer Rasterung von 1 km × 1 km dargestellt.



## LITERATUR

- [1] Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen - 1.BImSchV) vom 26. Januar 2010, (BGBl. I S. 38)
- [2] 9. Energiebericht Rheinland-Pfalz, Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung, 2011, <http://www.mwkel.rlp.de/File/9-Energiebericht-RLP-pdf/>
- [3] Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks im Bundesland Rheinland-Pfalz für das Jahr 2011, Landesinnungsverband für das Schornsteinfegerhandwerk in Rheinland-Pfalz, <http://www.schornsteinfeger-rp.de/>
- [4] Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung, UBA-Texte 44-08, Struschka et al., 2008  
<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/effiziente-bereitstellung-aktueller-emissionsdaten>
- [5] Statistische Informationen zur Stadtentwicklung 2012, Kapitel 2: Bauen und Wohnen, <http://www.mainz.de/WGAPublisher/online/>
- [6] Gebäude und Wohnungen: Kreisfreie Stadt Ludwigshafen am Rhein, am 9. Mai 2011, Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz, <http://www.statistik.rlp.de/fileadmin/dokumente/jahrbuch/Jahrbuch2013.pdf>
- [7] Bewertung der Energieversorgung mit leitungsgebundenen gasförmigen Brennstoffen im Vergleich zu anderen Energieträgern (Teil I), Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg, 2011, <http://www.dvgw-innovation.de>
- [8] Erfassung regionaltypischer Materialien im Gebäudebestand mit Bezug auf die Baualtersklasse und Ableitung typischer Bauteilaufbauten, Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V., 2009, <http://www.zukunft-haus.info>
- [9] Geobasisdaten Rheinland-Pfalz, Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz (LVerGeo) <http://www.lvermgeo.rlp.de/>
- [10] Statistisches Jahrbuch 2012, Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz, [www.statistik.rlp.de/veroeffentlichungen/statistisches-jahrbuch](http://www.statistik.rlp.de/veroeffentlichungen/statistisches-jahrbuch)
- [11] Gradtagszahlen Deutschland, Institut Wohnen und Umwelt, 2013, <http://www.iwu.de/downloads/fachinfos/energiebilanzen/>
- [12] Berechnung von räumlich hochaufgelösten Emissionen für Deutschland, „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“, FKZ 206 43 200/01, 2010, <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>
- [13] Mittlere Emissionsfaktoren für kleine und mittlere Feuerungsanlagen KuMFA (nach 1. BImSchV vom 26.01.2010) ohne Abgasreinigung, interne Mitteilung LUWG
- [14] Primary Emissions of Submicron and Carbonaceous Particles in Europe and the Potential for their Control, Kupiainen et Klimont, IIASA Interim Report IR-04-079, 2004

- [14] Primary Emissions of Submicron and Carbonaceous Particles in Europe and the Potential for their Control, Kupiainen et Klimont, IIASA Interim Report IR-04-079, 2004, [http://www.iiasa.ac.at/publication/more\\_IR-04-079.php](http://www.iiasa.ac.at/publication/more_IR-04-079.php)
- [15] Primary emissions of fine carbonaceous particles in Europe, Kupiainen et Klimont, Atmospheric Environment 41, 2007, [http://www.iiasa.ac.at/publication/more\\_XJ-07-128.php](http://www.iiasa.ac.at/publication/more_XJ-07-128.php)
- [16] Ausgewählte Effizienzindikatoren zur Energiebilanz Deutschland, Daten für die Jahre von 1990 bis 2012, AG Energiebilanzen e.V., 2013 (ag-energiebilanzen.de, Berichte 2013)
- [17] Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz der Landeshauptstadt Mainz, Bericht 2011, <http://www.mainz.de/WGAPublisher/online/>
- [18] Klimaschutzkonzept für die Stadt Ludwigshafen am Rhein, ifeu, 2011, [http://www.ifeu.org/energie/pdf/LU\\_Klimaschutzkonzept2020\\_Kurzfassung.pdf](http://www.ifeu.org/energie/pdf/LU_Klimaschutzkonzept2020_Kurzfassung.pdf)
- [19] Integriertes Klimaschutzkonzept für die Stadt Koblenz, ifeu, 2011, [http://www.koblenz.de/bilder/klimaschutzkonzept\\_2011.pdf](http://www.koblenz.de/bilder/klimaschutzkonzept_2011.pdf)