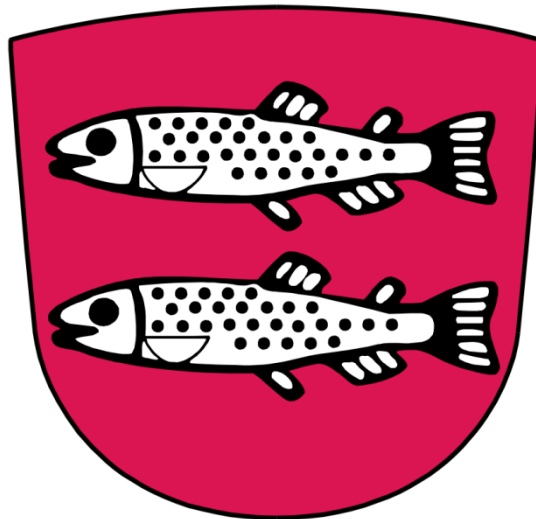


# Integrierter Energienutzungsplan für das gesamte Stadtgebiet Forchheim



„Gefördert vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft,  
Infrastruktur, Verkehr und Technologie“

## **Integrierter Energienutzungsplan für das gesamte Stadtgebiet Forchheim**

### **Auftraggeber:**

Stadt Forchheim  
Hauptstraße 24  
91301 Forchheim

### **Auftragnehmer**

Institut für Energietechnik (IfE) GmbH  
an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden  
Kaiser-Wilhelm-Ring 23  
92224 Amberg

### **Bearbeitungszeitraum**

März 2013 bis Juli 2014

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Die Energie- und CO<sub>2</sub>-Emissionsbilanz im Ist-Zustand / Situationsanalyse im Stadtgebiet .....</b>	<b>7</b>
2.1	Allgemeine Daten .....	8
2.2	Die Charakterisierung der Verbrauchergruppen.....	11
2.3	Datengrundlage bei der Ermittlung des energetischen Ist-Zustandes .....	14
2.4	Der Endenergieeinsatz im Stadtgebiet Forchheim .....	20
2.5	Der Endenergieeinsatz und CO <sub>2</sub> -Ausstoß in der Stadt Forchheim .....	22
2.6	Die Entwicklung des CO <sub>2</sub> Ausstoßes im Vergleich zum Jahr 1990.....	25
<b>3</b>	<b>Wärmekataster der Stadt Forchheim.....</b>	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>Potentialbetrachtung der Energieeffizienzsteigerung bzw. Energieeinsparung.....</b>	<b>32</b>
4.1	Potentialbetrachtung im Bereich Private Haushalte .....	32
4.2	Potentialbetrachtung im Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistung, Industrie und Landwirtschaft .....	36
4.3	Potentialbetrachtung im Bereich Kommunale Liegenschaften .....	41
4.4	Zusammenfassung .....	44
<b>5</b>	<b>Das Angebotspotential der Erneuerbaren Energien .....</b>	<b>45</b>
5.1	Potentialbegriff.....	45
5.2	Direkte Nutzung der Sonnenenergie .....	46
5.3	Biomasse.....	54
5.4	Wasserkraft .....	61
5.5	Windkraft .....	61
5.6	Geothermie.....	62
5.7	Zusammenfassung .....	65

<b>6</b>	<b>Gegenüberstellung der Endenergieverbrauchssituation und der CO<sub>2</sub>-Bilanz mit den Reduktionspotentialen</b> .....	<b>66</b>
6.1	Strom.....	66
6.2	Wärme.....	68
6.3	Die CO <sub>2</sub> -Minderungspotentiale .....	70
6.4	Die Entwicklungsszenarien in der Stadt Forchheim .....	72
<b>7</b>	<b>Ausarbeitung von Detailmaßnahmen</b> .....	<b>75</b>
7.1	Straßenbeleuchtung .....	75
7.2	Sanierung Wohngebäude .....	82
7.3	Sanierung Rathaus.....	86
7.4	Gasspeicherung .....	89
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>98</b>
<b>9</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>102</b>
<b>10</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>104</b>

## 1 Einleitung

Der vorliegende Bericht beschreibt die Erstellung eines integrierten Energienutzungsplanes für das Stadtgebiet Forchheim nach den Kriterien und Richtlinien des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie.

In einer umfassenden Bestandsaufnahme wird zu Beginn die vorhandene Infrastruktur der Stadt Forchheim erfasst. Neben der Erhebung von allgemeinen Daten werden Verbrauchergruppen definiert. Die Einteilung in die Verbrauchergruppen

- private Haushalte,
- kommunale Liegenschaften und
- Gewerbe, Handel, Dienstleistung, Industrie, Landwirtschaft und Sonderkunden (nachfolgend GHDIL genannt)

ist für die weiteren Schritte des Energienutzungsplans vorteilhaft. Anschließend werden die Energieströme im gesamten Stadtgebiet getrennt in leitungsgebundene (Strom, Erdgas) und nicht-leitungsgebundene (Heizöl, Biomasse, ...) Energieträger erfasst und der Anteil erneuerbarer Energien ermittelt. Mit Kenntnis der Gesamtenergieströme kann der CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Stadtgebietes Forchheim berechnet werden.

Im darauffolgenden Kapitel erfolgt eine Beschreibung und Darstellung des, im Energiekonzept für die Stadt Forchheim aus dem Jahr 2012, ausgearbeiteten Wärmekatasters für das Stadtgebiet Forchheim.

Aufbauend auf die umfangreiche Situationsanalyse werden die Potentiale zur Minderung des Energieeinsatzes aufgezeigt. Es wird für die im Vorfeld gebildeten Verbrauchergruppen eine grundlegende Potentialbetrachtung ausgearbeitet. Die Einsparpotentiale im Bereich der Straßenbeleuchtung sind in Kapitel 7 detailliert betrachtet.

Anschließend wird das Angebotspotential aller Erneuerbaren Energien im Stadtgebiet Forchheim betrachtet, worauf aufbauend die Endenergieverbrauchssituation und die CO<sub>2</sub>-Bilanz erstellt werden, in die auch die errechneten Reduktionspotentiale mit einfließen. Mit diesen Ergebnissen werden zukünftige Entwicklungsszenarien im elektrischen und thermischen Bereich für das Stadtgebiet Forchheim erstellt.

Aufbauend auf die ermittelten Datengrundlagen und Berechnungen werden verschiedene Schwerpunktprojekte betrachtet. Für das Rathaus Forchheim wird ein detailliertes Sanierungskonzept erarbeitet. Des Weiteren werden für verschiedene Typen von privaten

Wohngebäuden Sanierungsmaßnahmen erarbeitet. Dabei wird Bezug auf typische Forchheimer Gebäude genommen.

Für die Straßenbeleuchtung werden verschiedene Möglichkeiten der Energieeinsparung sowohl technisch als auch wirtschaftlich betrachtet. Darauf aufbauend wird eine Prioritätenliste zur Umrüstung erarbeitet. Abschließend erfolgt eine Bewertung der Möglichkeiten der Erdgasspeicherung im Netzgebiet der Stadtwerke Forchheim.

## **2 Die Energie- und CO<sub>2</sub>-Emissionsbilanz im Ist-Zustand / Situationsanalyse im Stadtgebiet**

Die Grundlage eines fundierten Energienutzungsplans stellt die möglichst detaillierte Aufnahme der Energieversorgung im Ist-Zustand dar. Insbesondere wird hier in Form einer Leitgröße die Nutzung von leitungsgebundenen und nicht-leitungsgebundenen Energieträgern für die nachfolgenden drei Sektoren erfasst:

- private Haushalte,
- kommunale Liegenschaften,
- Gewerbe, Handel, Dienstleistung, Industrie, Landwirtschaft und Sonderkunden (nachfolgend GHDIL genannt)

Die Entwicklung des Energiebedarfs der Stadt Forchheim ist jedoch nicht nur von Energieeinsparmaßnahmen in den oben aufgeführten Sektoren abhängig, sondern auch von der allgemeinen Entwicklung der Nachfrage an Energiedienstleistungen.

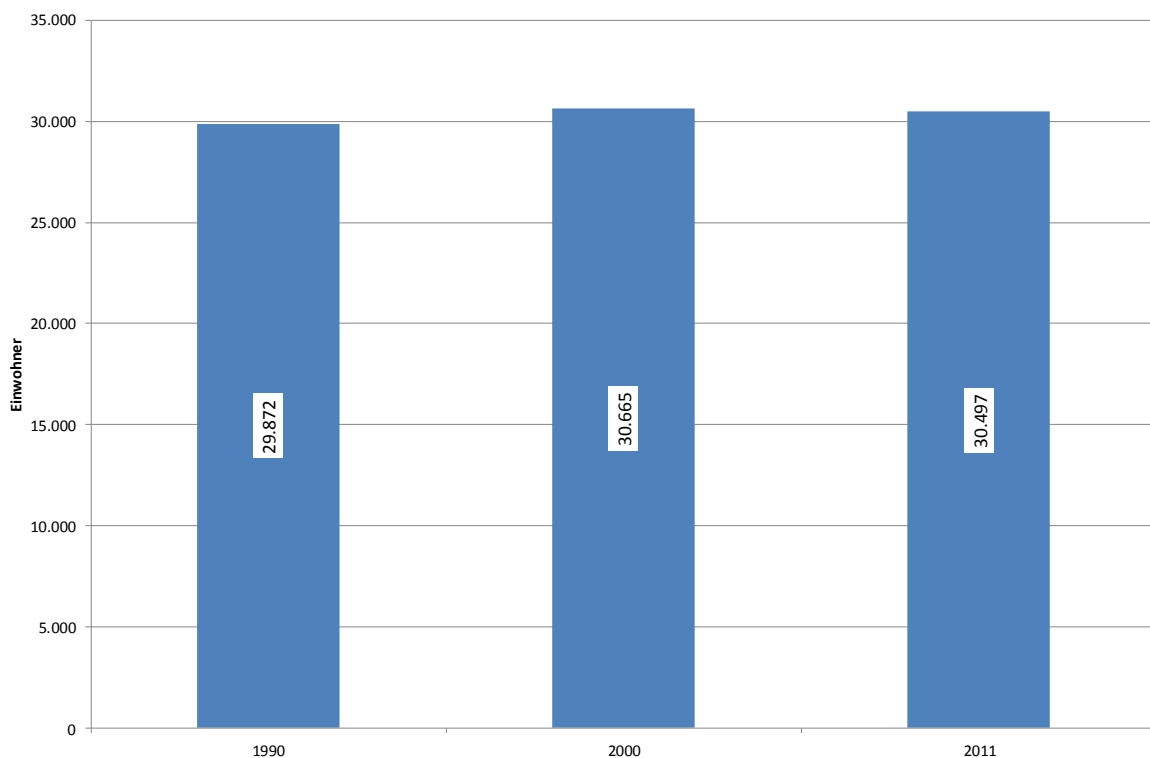
Um die Bilanzen im Ist-Zustand erstellen zu können, müssen daher verschiedene Entwicklungen im Voraus betrachtet werden. Allgemeine Daten, wie die geographische Lage, die Flächenverteilungen sowie die Entwicklung der Einwohnerzahlen erleichtern diese Betrachtung.

## 2.1 Allgemeine Daten

In diesem Abschnitt wird die Stadt Forchheim kurz dargestellt. Es werden allgemeine Zahlen und Daten, wie z.B. die Einwohnerzahlen und die Flächenverteilung vorgestellt. Diese Daten bilden die Grundlage der Berechnungen, Hochrechnungen und Prognosen in den folgenden Kapiteln.

### 2.1.1 Einwohnerzahl

Nachfolgend werden die Einwohnerzahlen der Stadt Forchheim aufgeführt. Diese sind in Abbildung 1 abgebildet. Im Jahr 2011 waren 30.497 Einwohner im Stadtgebiet wohnhaft. Die Einwohnerzahl ist seit dem Jahr 1990 relativ konstant.

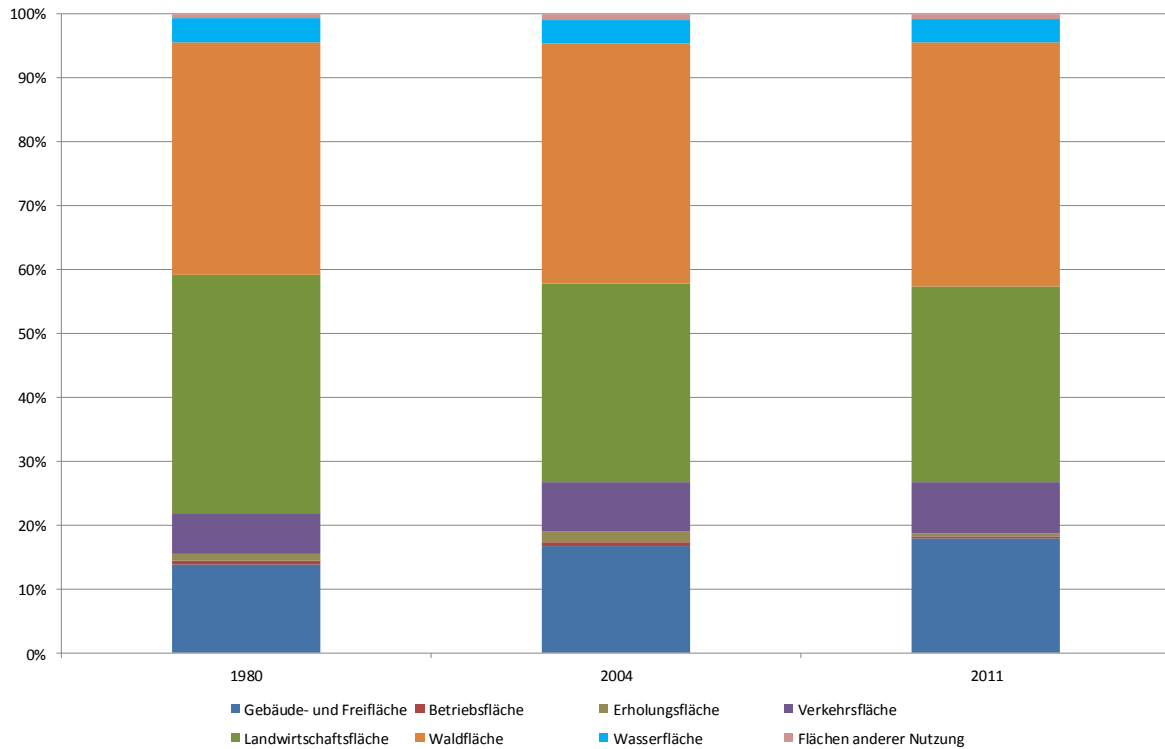


**Abbildung 1: Bevölkerungsentwicklung der Stadt Forchheim**  
*[Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung]*



## 2.1.2 Flächenverteilung

Das Stadtgebiet erstreckt sich über eine Gesamtfläche von 4.371 Hektar. Wird diese Fläche nach Nutzungsarten gegliedert, ergeben sich verschiedene Bereiche wie in Abbildung 2 ersichtlich ist. Aus energetischer Sicht sind die land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen zur Erzeugung biogener Brennstoffe von Interesse.



**Abbildung 2: Flächenverteilung des Stadtgebietes Forchheim**  
 [Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung]

### 2.1.3 Geographische Daten

Die Höhenlage der Stadt Forchheim liegt bei 266 Meter über Normalnull. In Abbildung 3 ist die geographische Lage der Stadt Forchheim im Landkreisgebiet Forchheim dargestellt.



Abbildung 3: Geographische Lage des Stadtgebietes Forchheim

[Quelle: [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de)]

## **2.2 Die Charakterisierung der Verbrauchergruppen**

Die Grundlage eines fundierten Energienutzungsplans ist die möglichst genaue Darstellung der energetischen Ausgangssituation. In die Darstellung des Energieumsatzes werden der elektrische Gesamtumsatz (Strombezug) und der thermische Energieumsatz (Heizwärme und Prozesswärme) mit einbezogen. Bei der Verbrauchs- bzw. Bedarfserfassung wird auf direkt erhobene Daten aus dem Stadtgebiet, Jahresaufstellungen durch die Energieversorger sowie auf allgemein anerkannte spezifische Kennwerte für Bedarfsberechnungen zurückgegriffen.

Die Darstellung des gesamten Endenergieumsatzes im Betrachtungsgebiet und die entsprechende Aufteilung in die untersuchten Verbrauchergruppen erfolgt auf Grundlage des vorhandenen Datenmaterials.

### **2.2.1 Private Haushalte**

Die Unterteilung in die Verbrauchergruppe „Private Haushalte“ erfolgt aufgrund der zur Verfügung gestellten Energieverbrauchsdaten. Diese Verbrauchergruppe umfasst sämtliche vom Energieversorgungsunternehmen geführte Verbraucher, deren Energieverbrauch von den Stadtwerken Forchheim als Lastprofilgruppe „Haushalte“, „Einfamilienhaus“ und/oder „Mehrfamilienhaus“ geführt sind.

Als „privaten Haushalt“ bezeichnet man im ökonomischen Sinne eine aus mindestens einer Person bestehende, systemunabhängige Wirtschaftseinheit, die sich auf die Sicherung der Bedarfsdeckung ausrichtet. Im Rahmen dieser Studie umfasst die Verbrauchergruppe private Haushalte alle Wohngebäude im Gemeindegebiet und somit den Energiebedarf aller Einwohner (Heizenergie und Strom) in ihrem privaten Haushalt.

### **2.2.2 Kommunale Liegenschaften**

Die Ermittlung des Endenergiebedarfes in der Verbrauchergruppe „Kommunale Liegenschaften“ erfolgt über aktuelle Daten, die seitens des Landkreises und der Stadt zur Verfügung gestellt wurden, sowie über Verbrauchsdaten aus dem „Energiekonzept für die Stadt Forchheim im Auftrag der Stadtwerke Forchheim“ aus dem Jahr 2012.

### 2.2.3 Gewerbe, Handel, Dienstleistung, Industrie und Landwirtschaft

Die Unterteilung in die Verbrauchergruppe „Gewerbe, Industrie, Landwirtschaft und Sonderkunden“ erfolgt ebenfalls aufgrund der zur Verfügung gestellten Energieverbrauchsdaten. Diese Verbrauchergruppe umfasst sämtliche vom Energieversorgungsunternehmen geführte Lastprofilgruppen, ausschließlich der in 2.2.1 genannten Lastprofilgruppen für private Haushalte und abzüglich der Verbrauchswerte der kommunalen Liegenschaften.

Der Sektor „Industrie“ beinhaltet den Teil der Wirtschaft, der gekennzeichnet ist durch Produktion und Weiterverarbeitung von materiellen Gütern oder Waren in Fabriken und Anlagen, verbunden mit einem hohen Grad an Mechanisierung und Automatisierung, im Gegensatz zur handwerklichen Produktionsform.

Die Verbrauchergruppe „Gewerbe“ kann unterteilt werden in die Gruppen „Großgewerbe“ und „Kleingewerbe“. Der Sektor „Großgewerbe“ weist ähnliche oder gleiche Merkmale wie der Sektor „Industrie“ auf.

Die Verbrauchergruppe „Kleingewerbe“ definiert sämtliche Liegenschaften, die eine gewerbliche Tätigkeit selbstständig, regelmäßig und in Ertragsabsicht ausführen. Selbstständig bedeutet im Sinne der Gewerbeordnung auf eigene Rechnung und Verantwortlichkeit. Regelmäßig ist, wenn die Absicht besteht, die Handlung mehr als einmal durchzuführen, die Tätigkeit an mehr als eine Person angeboten wird oder diese Tätigkeit längere Zeit beansprucht.

Zudem werden in dieser Verbrauchergruppe sämtliche Betriebe des Handwerks und der Landwirtschaft geführt.

Nachfolgend wird diese Verbrauchergruppe mit „GHDIL“ abgekürzt.

Hinweis:

Im Zuge der Erstellung der verbrauchergruppenspezifischen Endenergieverteilung (Kapitel 2.4) wird eine vierte Verbrauchergruppe „Großbetriebe“ definiert. Die Verbrauchergruppe „Gewerbe, Handel, Dienstleistung und Landwirtschaft“ wird somit unterteilt in eben jene „Großbetriebe“ sowie in die Verbrauchergruppe „Gewerbe und Kleinindustrie“.

Die Verbrauchergruppe „Großbetriebe“ beinhaltet fünf der energieintensivsten Betriebe der Stadt Forchheim. Diese wurden anhand der abnehmerspezifischen Erdgas- und Stromverbrauchsdaten und in enger Abstimmung mit den Stadtwerken Forchheim als separate Verbrauchergruppe herausgearbeitet und beinhaltet die Unternehmen:

- Huhtamaki Films Germany GmbH & Co. KG
- Piasten GmbH & Co. KG
- Wellpappe Forchheim GmbH & Co. KG
- Siemens Standorte Forchheim
- Firma Gebr. WAASNER GmbH.

Hintergrund dieser Aufteilung war es eine bessere Vergleichbarkeit des Sektors GHDIL mit den Verbrauchergruppen „Private Haushalte“ und „kommunale Liegenschaften“ zu schaffen.

## 2.3 Datengrundlage bei der Ermittlung des energetischen Ist-Zustandes

Die nachfolgenden Energieverbrauchsdaten sowie die erzeugten Energiemengen durch die vor-Ort Erneuerbaren Energien beziehen sich auf das Bilanzjahr 2012.

### 2.3.1 Der elektrische Energiebedarf

Das örtliche Stromnetz wird von den Stadtwerken Forchheim betrieben.

Als Datengrundlage stehen der gesamte Stromverbrauch des Jahres 2012, kundenweise aufgeschlüsselt und nach Lastgruppen eingeteilt, sowie der detaillierte Verbrauch jeder kommunalen Liegenschaft zur Verfügung.

Insgesamt beträgt der jährlich Stromverbrauch in der Stadt Forchheim rund 198.984 MWh.  
*[Quelle: Stadtwerke Forchheim]*

### 2.3.2 Der Erdgasbedarf

Das örtliche Erdgasnetz wird von den Stadtwerken Forchheim betrieben.

Als Datengrundlage stehen der gesamte Erdgasverbrauch des Jahres 2012, kundenweise aufgeschlüsselt und nach Lastgruppen eingeteilt, sowie der detaillierte Verbrauch jeder mit Erdgas versorgten kommunalen Liegenschaft zur Verfügung.

Insgesamt beträgt der jährliche Erdgasverbrauch in der Stadt Forchheim rund 170.604 MWh<sub>Hi</sub>. *[Quelle: Stadtwerke Forchheim]*

### 2.3.3 Der Heizölbedarf

Der Gesamtenergieeinsatz an Heizöl in der Stadt Forchheim beläuft sich auf rund 218.143 MWh pro Jahr (entspricht rund 21,6 Mio. Liter Heizöl). Dies wurde zum einen durch die detaillierten Verbrauchsdaten der kommunalen Liegenschaften, durch die Auswertung der rückläufigen Industriefragebögen und mithilfe von Daten aus dem im Jahr 2012 durch das IfE erstellten Energiekonzept für die Stadt Forchheim berechnet. *[Quelle: Kommunale Verbrauchsdaten; Fragebögen; ENP für die Stadt Forchheim, 2012]*

### 2.3.4 Kraft-Wärme-Kopplung aus fossilen Energieträgern

Kraft-Wärme-Kopplungs-Systeme sind Anlagen, die unter Einsatz von Kraftstoffen (fest, flüssig, gasförmig) elektrische Energie erzeugen und simultan Wärme bereitstellen.

Bei fossilen KWK-Systemen werden fossile Energieträger als Brennstoff eingesetzt. Die in der Stadt Forchheim installierten fossilen KWK-Systeme nutzen Erd- und Klärgas als Energieträger. Das an der Kläranlage installierte BHKW wird unter fossilen Anlagen geführt, da hier sowohl Erdgas als auch Klärgas eingesetzt werden.

Im Jahr 2012 waren im Stadtgebiet Forchheim KWK-Anlagen auf Basis fossiler Energieträger mit einer elektrischen Gesamtleistung von rund 543 kW installiert und speisten insgesamt rund 534 MWh Strom ein.

## **2.3.5 Der Anteil bereits genutzter Erneuerbarer Energien im Ist-Zustand**

### **2.3.5.1 Regenerative Stromerzeugung durch EEG-Anlagen**

#### **Photovoltaik**

Zum Ende des Jahres 2012 waren in der Stadt Forchheim rund 322 Photovoltaikanlagen mit einer Gesamtleistung von 6.475 kWp installiert. Die Stromeinspeisung im Jahr 2012 belief sich auf rund 5.538 MWh. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass einige der Anlagen erst Ende des Jahres 2012 installiert wurden und dementsprechend im Jahr 2012 noch nicht der tatsächlich zu erwartende Ertrag erzielt wurde. *[Quelle: Stadtwerke Forchheim]*

#### **Wasserkraft**

Im Stadtgebiet Forchheim waren zum Ende des Jahres 2012 11 Wasserkraftanlagen mit einer elektrischen Gesamtleistung von rund 2.080 kW installiert. Die Stromeinspeisung betrug im selben Jahr rund 8.540 MWh. *[Quelle: Stadtwerke Forchheim]*

#### **Windkraft**

Ende 2012 konnte in der Stadt Forchheim eine Windkraftanlage mit einer elektrischen Leistung von 5 kW verzeichnet werden. Diese speiste in diesem Bilanzjahr aber keinen Strom ein. *[Quelle: Stadtwerke Forchheim]*



### **Biomasse-KWK-Anlagen (EEG-Anlagen)**

In der Stadt Forchheim sind dem Datenbestand des Jahres 2012 zufolge 3 Biomasseanlagen (davon 1 Biogasanlage) mit einer elektrischen Gesamtleistung von 420 kW (Biogasanlagen: 160 kW) installiert. Die jährliche Stromproduktion aller Biomasse-KWK-Anlagen beläuft sich auf rund 2.172 MWh (Biogasanlagen: 1.342 MWh). *[Quelle: Stadtwerke Forchheim]*

### **Zusammenfassung**

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der im Jahr 2012 eingespeisten Strommengen aus Erneuerbaren Energien. In Summe wurden im Jahr 2012 rund 16.251 MWh durch die EEG-Anlagen eingespeist. Dies entspricht bilanziell rund 8 Prozent des gesamten Stromverbrauchs in der Stadt Forchheim im Jahr 2012.

**Tabelle 1: Übersicht der regenerativen Stromerzeugung in der Stadt Forchheim**

*[Quelle: Stadtwerke Forchheim]*

	installierte Leistung kW	erzeugte Strommenge MWh
Photovoltaik	6.475	5.538
Wasserkraft	2.080	8.540
Windkraft	5	-
Biomasse-KWK-Anlagen	420	2.172
<b>Summe</b>	<b>8.980</b>	<b>16.251</b>

### 2.3.5.2 Thermische Nutzung regenerativer Energien

#### Solarthermie

Die Gesamtfläche der bereits installierten Solarthermieanlagen im Betrachtungsgebiet wurde mit Hilfe des Solaratlas, einem interaktiven Auswertungssystem für den Datenbestand aus dem bundesweiten „Marktanreizprogramm Solarthermie“ durchgeführt.

In der Stadt Forchheim sind nach Angaben der BAFA (Stand: Ende 2012) insgesamt 715 Solarthermie-Anlagen mit einer Gesamt-Bruttoanlagenfläche aller solarthermischen Kollektortypen (Warmwasserbereitstellung und Heizungsunterstützung) von rund 6.612 m<sup>2</sup> installiert. Die mittlere Kollektorgröße beträgt demnach rund 9 m<sup>2</sup>. *[Quelle: Berechnung IfE]*

Für Anlagen welche zur Bereitstellung von Warmwasser dienen wurde mit einem Standardwert von 400 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) gerechnet. Anlagen die zur Heizungsunterstützung dienen sind im Sommer normalerweise überdimensioniert, da hier nahezu keine Wärme zur Raumheizung benötigt wird. Insofern ist hier der jährliche, flächenspezifische Ertrag geringer als bei Anlagen zur Warmwasserbereitung. Für die Berechnung der Wärmemenge, welche von Solarthermieanlagen zur Heizungsunterstützung erzeugt wird, wurde mit einem Ertrag von 350 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) gerechnet. *[Quelle: Solarthermische Anlagen, Dt. Ges. für Sonnenenergie, 2008; Berechnung IfE]*

Insgesamt beträgt die Energiebereitstellung durch Solarthermie im Betrachtungsgebiet rund 2.466 MWh<sub>th</sub>/a.

#### Feste Biomasse

Unter fester Biomasse versteht man vor allem Stückholz, Hackschnitzel oder Holzpellets, die in Heizkesseln oder Einzelfeuerstätten (z.B. Kaminöfen) zur Wärmebereitstellung eingesetzt werden. In der Stadt Forchheim werden jährlich rund 25.500 MWh<sub>th</sub> an Biomasse zur Feuerung genutzt. *[Quelle: Energiekonzept Stadt Forchheim im Auftrag der Stadtwerke Forchheim 2012]*

## Wärmepumpen

Zum Zeitpunkt der Datenerfassung wurden in der Stadt Forchheim im Jahr 2012 rund 1.869 MWh an elektrischer Energie für den Betrieb von Wärmepumpen benötigt. Unter Berücksichtigung allgemeiner Parameter (u.a. COP = 3) ergibt sich eine Bereitstellung an thermischer Energie von rund 5.607 MWh<sub>th</sub>. [Quelle: Stadtwerke Forchheim]

## Zusammenfassung

In Tabelle 2 ist die thermische Nutzung regenerativer Energien in der Stadt Forchheim dargestellt. In Summe beläuft sich die regenerative Wärmeerzeugung auf rund 33.573 MWh<sub>th</sub> pro Jahr (entsprechen rund 9 Prozent des gesamten thermischen Energiebedarfs im Betrachtungsgebiet in der Stadt Forchheim).

**Tabelle 2: Übersicht der regenerativen Wärmeerzeugung in der Stadt Forchheim**

[Quelle: Stadtwerke Forchheim; Energienutzungsplan für die Stadt Forchheim im Auftrag der Stadtwerke Forchheim; Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle]

erzeugte Energiemenge	
	MWh <sub>th</sub>
Solarthermie	2.466
feste Biomasse	25.500
Wärmepumpen	5.607
<b>Summe</b>	<b>33.573</b>

## 2.4 Der Endenergieeinsatz im Stadtgebiet Forchheim

Dieses Kapitel gibt eine zusammenfassende Übersicht über die Verteilung des Endenergiebedarfs in der Stadt Forchheim. In Summe beläuft sich der jährliche Endenergiebedarf in der Stadt Forchheim auf rund 624.844 MWh.

Der gesamte Endenergieeinsatz für die Wärmeversorgung beläuft sich jährlich auf rund 425.860 MWh. Zur Deckung des elektrischen Bedarfs werden rund 198.984 MWh Endenergie jährlich benötigt.

In Abbildung 4 ist die Aufteilung des Endenergieverbrauchs in die einzelnen Energieträger für die Stadt Forchheim dargestellt.

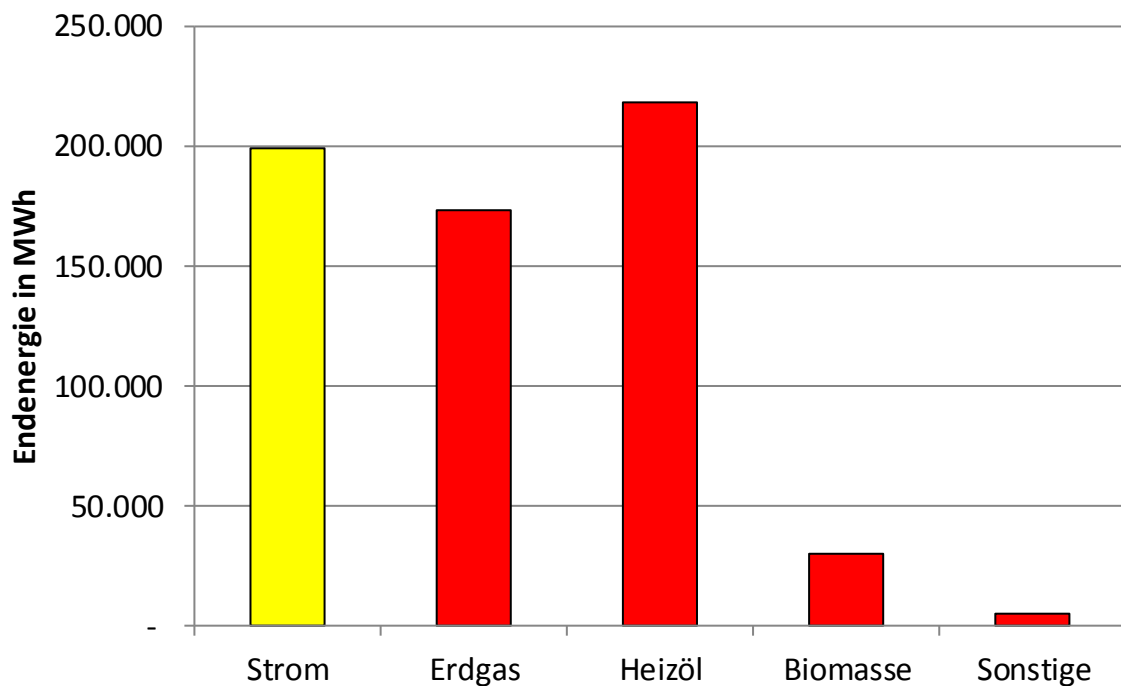


Abbildung 4: Endenergieeinsatz der einzelnen Energieträger in der Stadt Forchheim

In Abbildung 5 ist die Verteilung des Endenergieeinsatzes in die einzelnen Verbrauchergruppen dargestellt. Es zeigt sich, dass die privaten Haushalte im Stadtgebiet Forchheim die meiste Energie benötigen. Der Energieverbrauch der kommunalen Liegenschaften (Schulen, Kindergärten, Verwaltungsgebäude, Kläranlage, Straßenbeleuchtung) ist zwar im Vergleich zu den anderen drei Sektoren gering, jedoch kommt dieser Verbrauchergruppe eine entscheidende Vorreiterrolle z.B. bei der Einführung effizientester Techniken zu. Es zeigt sich des Weiteren auch, dass die fünf energieintensivsten Betriebe, zusammengefasst in der Verbrauchergruppe „Großindustrie“, einen in Summe höheren Endenergieeinsatz aufweisen, als die gesamten Betriebe im Sektor „Gewerbe und Kleinindustrie“ zusammen.

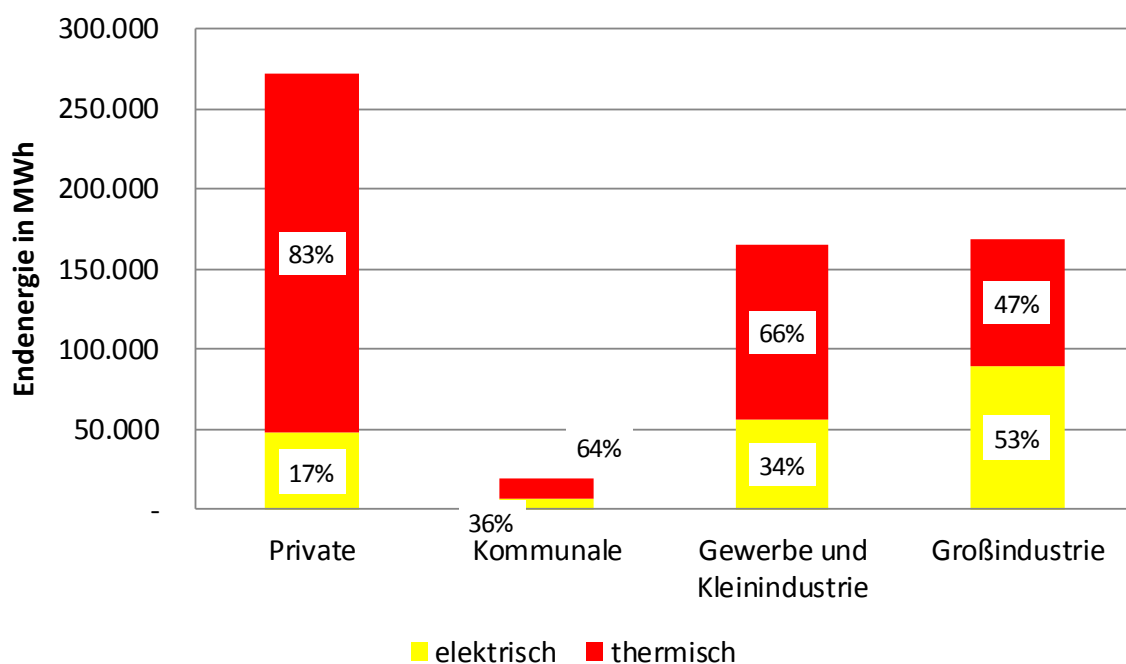


Abbildung 5: Verteilung des Endenergieeinsatzes in die betrachteten Verbrauchergruppen

## 2.5 Der Endenergieeinsatz und CO<sub>2</sub>-Ausstoß in der Stadt Forchheim

Anhand der in den vorhergehenden Kapiteln dargestellten Endenergieverbrauchsdaten und der zugehörigen Zusammensetzung nach Energieträgern wird nachfolgend der CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Ist-Zustand (Ausgangslage) berechnet.

Bei der Darstellung der CO<sub>2</sub>-Emissionen gibt es grundsätzlich eine Vielzahl unterschiedlicher Herangehensweisen. Bislang existiert bei der kommunalen CO<sub>2</sub>-Bilanzierung keine einheitliche Methodik die anzuwenden ist, bzw. angewendet wird. Die Thematik der CO<sub>2</sub>-Bilanz gewinnt jedoch gerade wieder entscheidend an Präsenz, da diese ein wichtiges Monitoring-Instrument für den kommunalen Klimaschutz darstellt. Bei den nachfolgenden Berechnungen zum CO<sub>2</sub>-Ausstoß werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen nach CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für die verbrauchte Endenergie der entsprechenden Energieträger berechnet. Für den, von den Stadtwerken verkauften, Strom (ausschließlich Grünstromprodukte) kann nach deren Angaben ein CO<sub>2</sub>-Äquivalent von 444 g/kWh herangezogen werden. Die weiteren Emissionsfaktoren wurden vom IfE nach GEMIS berechnet.

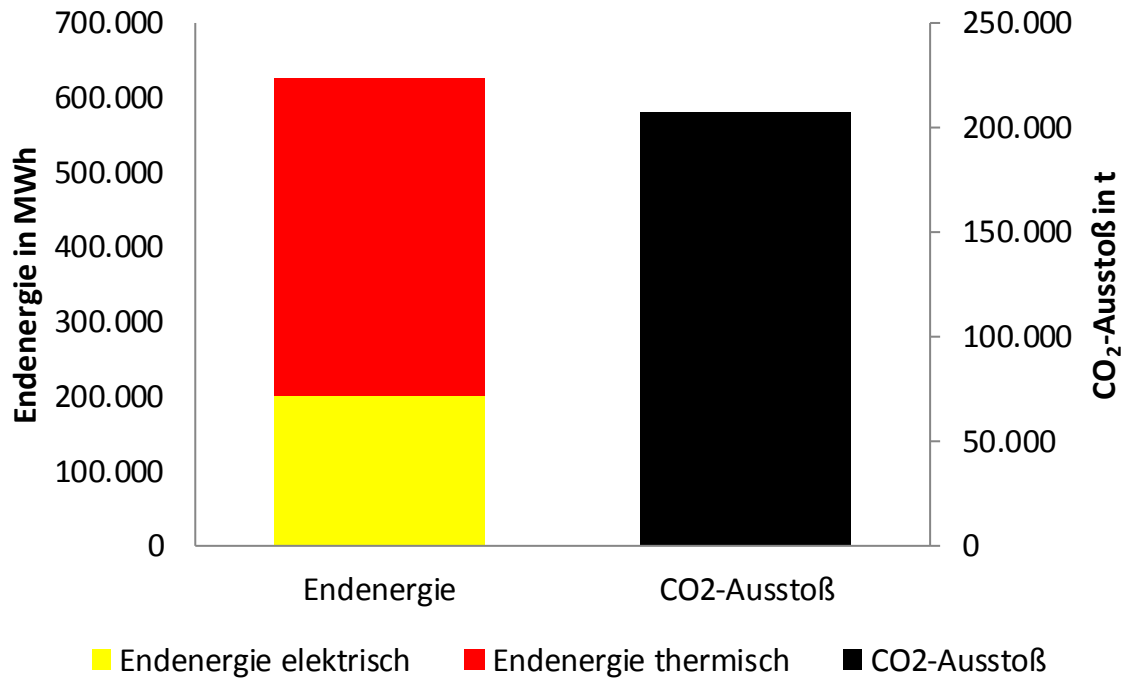
Tabelle 3: Die CO<sub>2</sub>-Äquivalente der jeweiligen Energieträger

CO <sub>2</sub> -Äquivalente nach GEMIS 4.7 - eigene Berechnungen IfE; 01/2012		
Brennstoff	CO <sub>2</sub> -Äquivalent (Gesamte Prozesskette) [g/kWh]	Bemerkung
Erdgas	252	Erdgas beim Endverbraucher für Heizzwecke
Heizöl EL	316	Heizöl beim Endverbraucher für Heizzwecke
Heizöl S	323	Schweres Heizöl beim Endverbraucher für Heizzwecke
Kohle	387	Steinkohlebriketts ab Fabrik
Kohle	433	Kohle-Briketts beim Endverbraucher für Heizzwecke
Flüssiggas	264	Flüssiggas beim Endverbraucher für Heizzwecke
Strom	572	Bonus für Substitution von Netzstrom auf Niederspannungsebene
Strom	566	Dt. Strommix 2010
Strom	444	Äquivalent der Stadtwerke Forchheim GmbH ohne Grünstromprodukte
Biogas	111	Biomethan aus 100% Mais (NawaRo) ohne Landnutzungsänderungen
Biomethan	131	Biomethan aus 100% Mais (NawaRo) ohne Landnutzungsänderungen, Einspeiseanlage 500 m <sup>3</sup> /h, Druckwechsel/PSA-Konzept
Palmöl	203	Palmölproduktion ohne Landnutzungsänderungen inkl. Seetransport, Umschlag und 150 km Transport in Dtl.
Rapsöl	180	Rapsölproduktion ohne Landnutzungsänderungen inkl. Seetransport, Umschlag und 150 km Transport in Dtl.
Holzpellets	23	Holzpellets beim Endverbraucher für Heizzwecke
Hackschnitzel	23	Hackschnitzel beim Endverbraucher für Heizzwecke
Scheitholz	17	Stückholz beim Endverbraucher für Heizzwecke

*Bezugsgröße: kWh Endenergie, Heizwert Hi*

Im Untersuchungsgebiet wurde eine umfangreiche Bestandsanalyse der Energieverbrauchsstruktur und des Energieumsatzes durchgeführt. Darauf aufbauend wurde der der CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Ist-Zustand berechnet. Die Situationsanalyse stellt somit die Basis für das weitere Vorgehen einer Potentialbetrachtung zur Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes dar.

In Abbildung 6 ist die ermittelte Energiebilanz mit Endenergie und dem gesamten CO<sub>2</sub>-Ausstoß mit den bereits genutzten Anteilen an erneuerbaren Energieträgern für das Betrachtungsgebiet dargestellt.



**Abbildung 6: Der Endenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Ist-Zustand**

Aus dem Gesamtendenergieverbrauch resultieren unter Berücksichtigung der Einspeisung des Stroms aus erneuerbaren Energien ein Ausstoß von rund 206.712 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr.

**Dies entspricht einem jährlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoß pro Kopf von rund 6,8 Tonnen**

Hinweis: Bei der vorher beschriebene CO<sub>2</sub>-Bilanzierung sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Mobilität (Verkehr) nicht mit berücksichtigt. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß in Höhe von rund 6,8 Tonnen pro Einwohner resultiert lediglich aus den elektrischen und thermischen Energieverbräuchen.



## 2.6 Die Entwicklung des CO<sub>2</sub> Ausstoßes im Vergleich zum Jahr 1990

Auf nationaler Ebene hat sich Deutschland mit dem Energiekonzept 2010 ambitionierte Ziele zur Reduktion von Emissionen gesetzt: Bis zum Jahr 2020 sollen die Emissionen um mindestens 40 Prozent gegenüber 1990 gemindert werden, bis 2050 soll eine Reduktion der Emissionen um 80 bis 95 Prozent (im Vergleich zu 1990) erreicht werden. *[Quelle: <http://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/nationale-klimapolitik/klimapolitik-der-bundesregierung/>]*

Aus diesem Grund wurde zur Standortbestimmung, neben dem aktuellen CO<sub>2</sub> Ausstoß der Stadt Forchheim, auch ein Vergleichswert für das Jahr 1990 gebildet. Da die klimapolitischen Zielwerte auch immer den Sektor Verkehr beinhalten, muss dieser bei der Gegenüberstellung mit hinzugezogen werden.

Zur Ermittlung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes im Jahr 1990 stehen unter anderem die konkreten Strom und Erdgasabsatzdaten durch die Stadtwerke Forchheim, Statistik kommunal, Daten des Kraftfahrt Bundesamtes bzw. der KFZ-Zulassungsstelle und die CO<sub>2</sub>-Äquivalente aus ECORegion zur Verfügung.

In Abbildung 7 sind die jeweiligen einwohnerspezifischen CO<sub>2</sub>-Ausstoßmengen der Jahre 1990 und 2012 gegenübergestellt. Der gesamte CO<sub>2</sub>-Ausstoß hat sich seit 1990 um rund 8 Prozent von insgesamt jährlich rund 10,5 Tonnen pro Einwohner reduziert auf rund 9,7 Tonnen pro Einwohner.

Betrachtet man die beiden definierten Sektoren getrennt, so ist im Bereich Verkehr ein leichter Anstieg des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes zu erkennen. Dies ist, trotz insgesamt abnehmender fahrzeugspezifischer Verbräuche, mit den entsprechend gestiegenen Zulassungszahlen zu erklären. Der insgesamt gesunkene CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Bereich des thermischen und elektrischen Energieverbrauches resultiert aus verschiedensten Entwicklungen (z.B. Effizienzsteigerung, Substitution von Heizöl durch Erdgas usw.). Ausschlaggebend sind aber in erster Linie die verbesserten CO<sub>2</sub>-Äquivalente seit dem Jahr 1990.

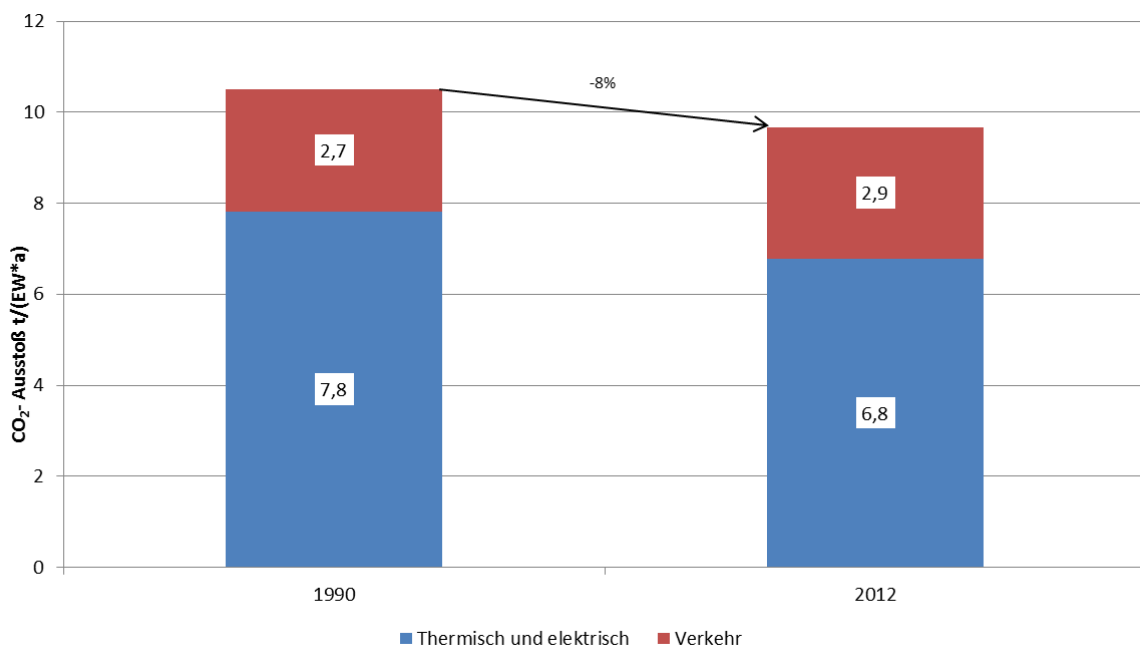


Abbildung 7: Der Vergleich des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes der Jahre 1990 und 2012

### 3 Wärmekataster der Stadt Forchheim

Das im Folgenden dargestellte Wärmekataster entstammt dem Energiekonzept für die Stadt Forchheim aus dem Jahr 2012.

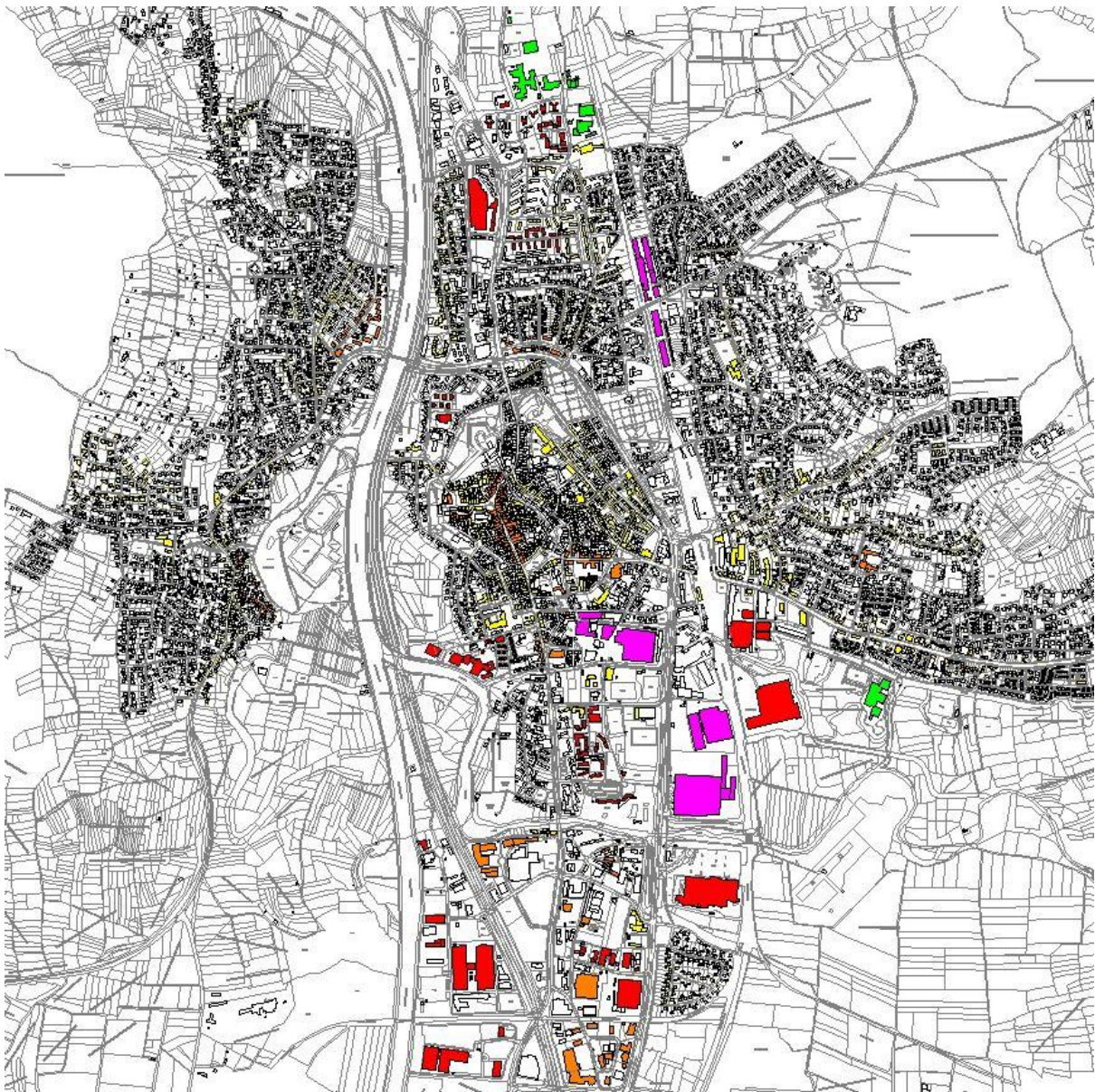
Er ist eine wichtige Grundlage für zukünftige Maßnahmen zum Aufbau von verschiedenen Nahwärmelösungen, welche eine wichtige Funktion zur Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen übernimmt. Durch eine zentrale Wärmeherzeugung lassen sich effizient und ggf. simultan thermische und elektrische Energie bereitstellen.

Mithilfe dieses Wärmekatasters werden Bereiche in der Stadt Forchheim lokalisiert, die durch einen Wärmeverbund ökonomisch und ökologisch sinnvoll versorgt werden können.









Dargestellt ist straßenweise die spezifische Wärmebelegung in kWh/(m\*a), welche der wichtigste Kennwert für ein Nahwärmenetz ist. Bei einer Wärmebelegung von kleiner 1.500 kWh/(m\*a) ist in der Regel kein energetisch und wirtschaftlich sinnvoller Betrieb eines Nahwärmenetzes zu erwarten. Je höher die Wärmebelegung desto besser sind die Randbedingungen für den Aufbau eines Wärmenetzes.

In Abbildung 8 ist das Wärmekataster mit einer Anschlussdichte von 100 Prozent abgebildet. Bei der 100-prozentigen Anschlussdichte wird angenommen, dass jeder Wärmeverbraucher in jeder Straße bei einer potentiellen zentralen Wärmeverbundlösung an diesen Wärmeverbund anschließt. Da nicht davon auszugehen ist, dass sich jeder Wärmeverbraucher in einer Straße an eine eventuelle Nahwärmeverbundlösung anschließen lässt, werden weitere Betrachtungen mit geringeren Anschlussdichten (80 %, 60 %, 40 %)vorgenommen.

In Abbildung 8 ist das Wärmekataster bei einer Anschlussquote von 100 % dargestellt.



**Abbildung 8: Das Wärmekataster der Stadt Forchheim bei 100 % Anschlussdichte**

keine Einfärbung	< 1.500 kWh/m a
	1.500 – 2.499 kWh/m a
	2.500 – 3.499 kWh/m a
	>3.500 kWh/m a
	Waasner „altes Werk“
	Dampfverbraucher
	Piasten Contracting
	Nahwärme Hackschnitzel
	KWK- Anlagen Klinikum



In Abbildung 9 ist das Wärmekataster bei einer Anschlussquote von 80 % dargestellt.

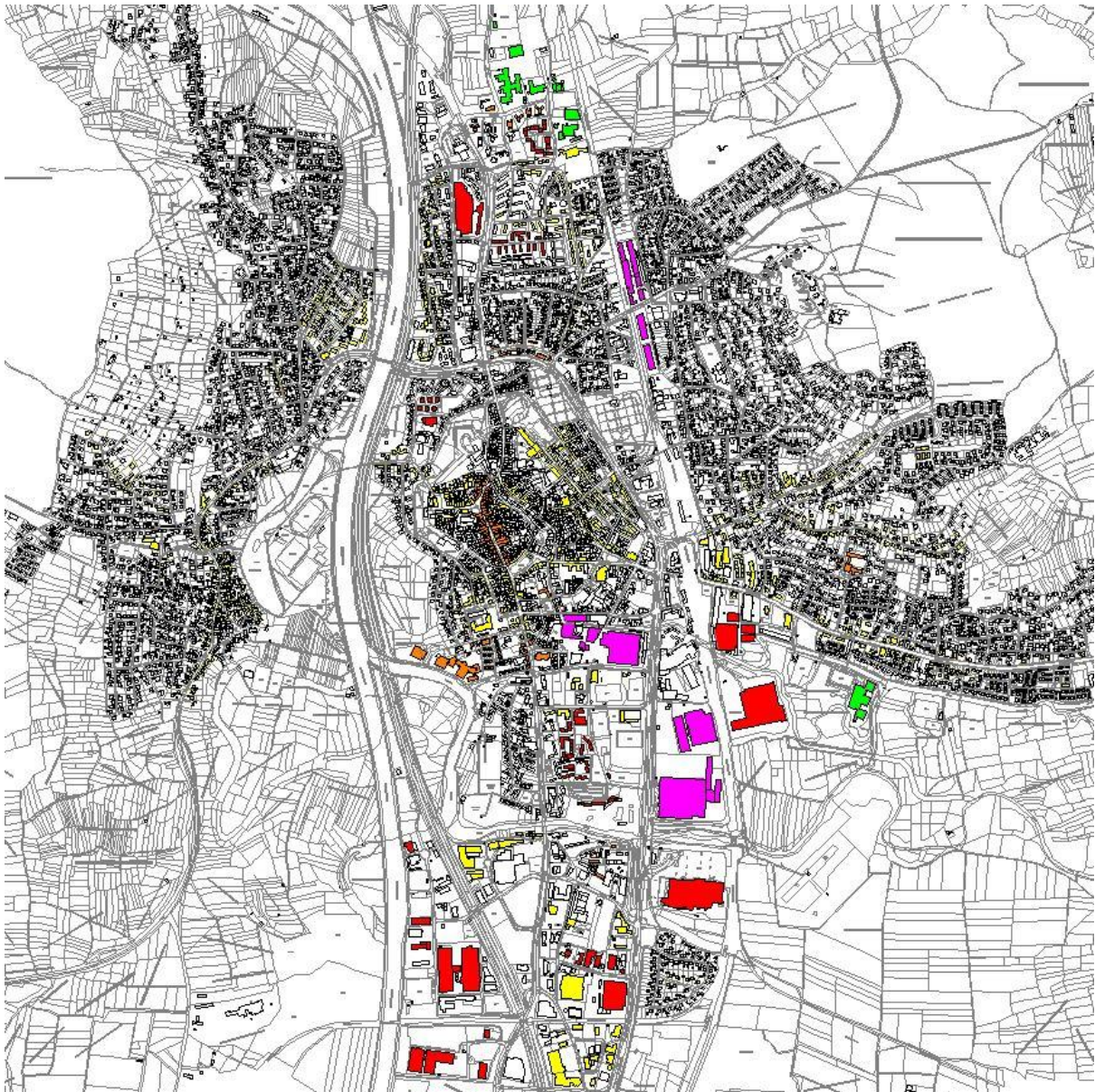










Abbildung 9: Das Wärmekataster der Stadt Forchheim bei 80 % Anschlussdichte

keine Einfärbung	< 1.500 kWh/m a
	1.500 – 2.499 kWh/m a
	2.500 – 3.499 kWh/m a
	>3.500 kWh/m a
	Waasner „altes Werk“
	Dampfverbraucher
	Piasten Contracting
	Nahwärme Hackschnitzel
	KWK- Anlagen Klinikum



In Abbildung 10 ist das Wärmekataster bei einer Anschlussquote von 60 % dargestellt.

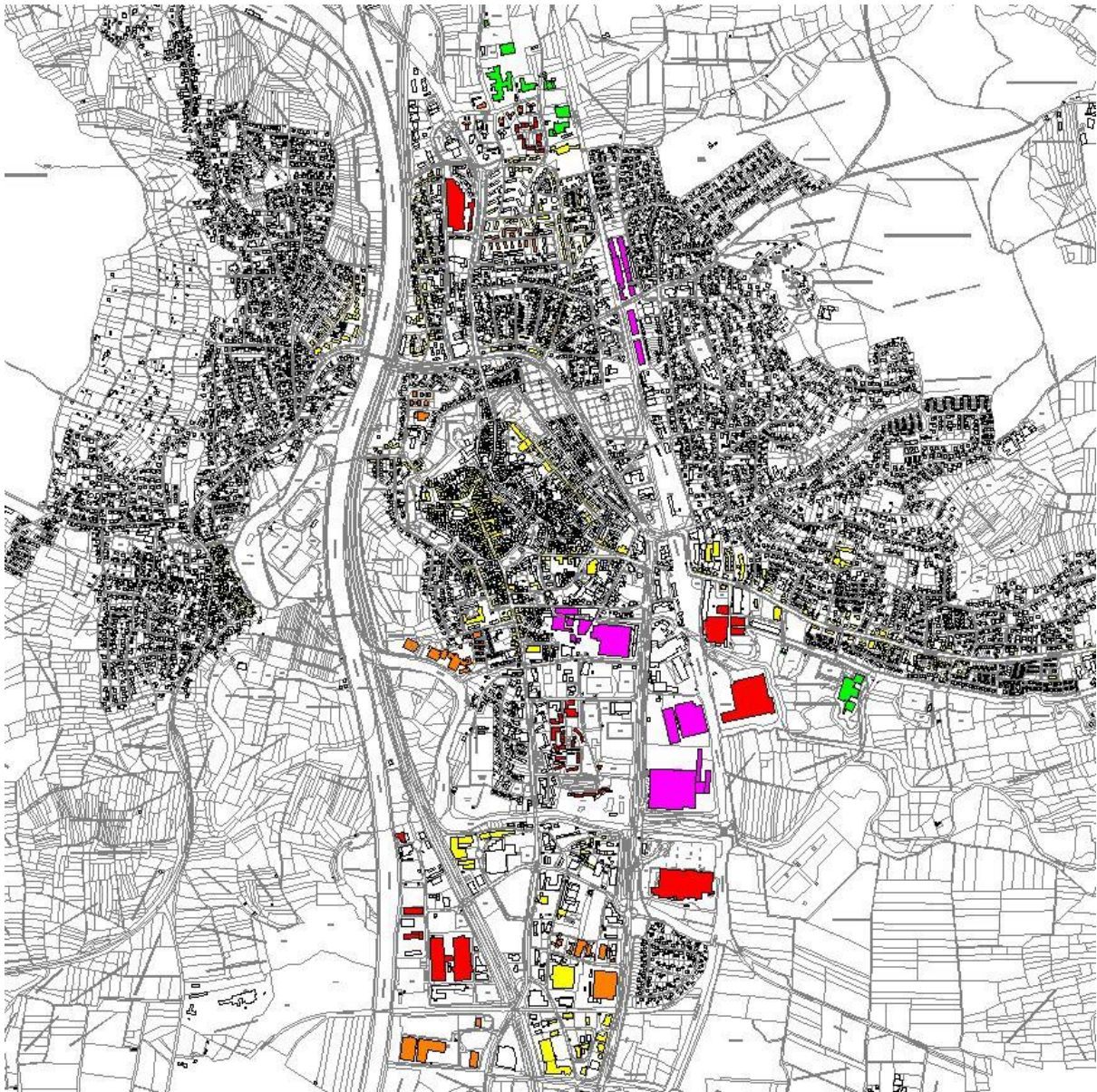










Abbildung 10: Das Wärmekataster der Stadt Forchheim bei 60 % Anschlussdichte

keine Einfärbung	< 1.500 kWh/m a
	1.500 – 2.499 kWh/m a
	2.500 – 3.499 kWh/m a
	>3.500 kWh/m a
	Waasner „altes Werk“
	Dampfverbraucher
	Piasten Contracting
	Nahwärme Hackschnitzel
	KWK- Anlagen Klinikum



In Abbildung 11 ist das Wärmekataster bei einer Anschlussquote von 40 % dargestellt.

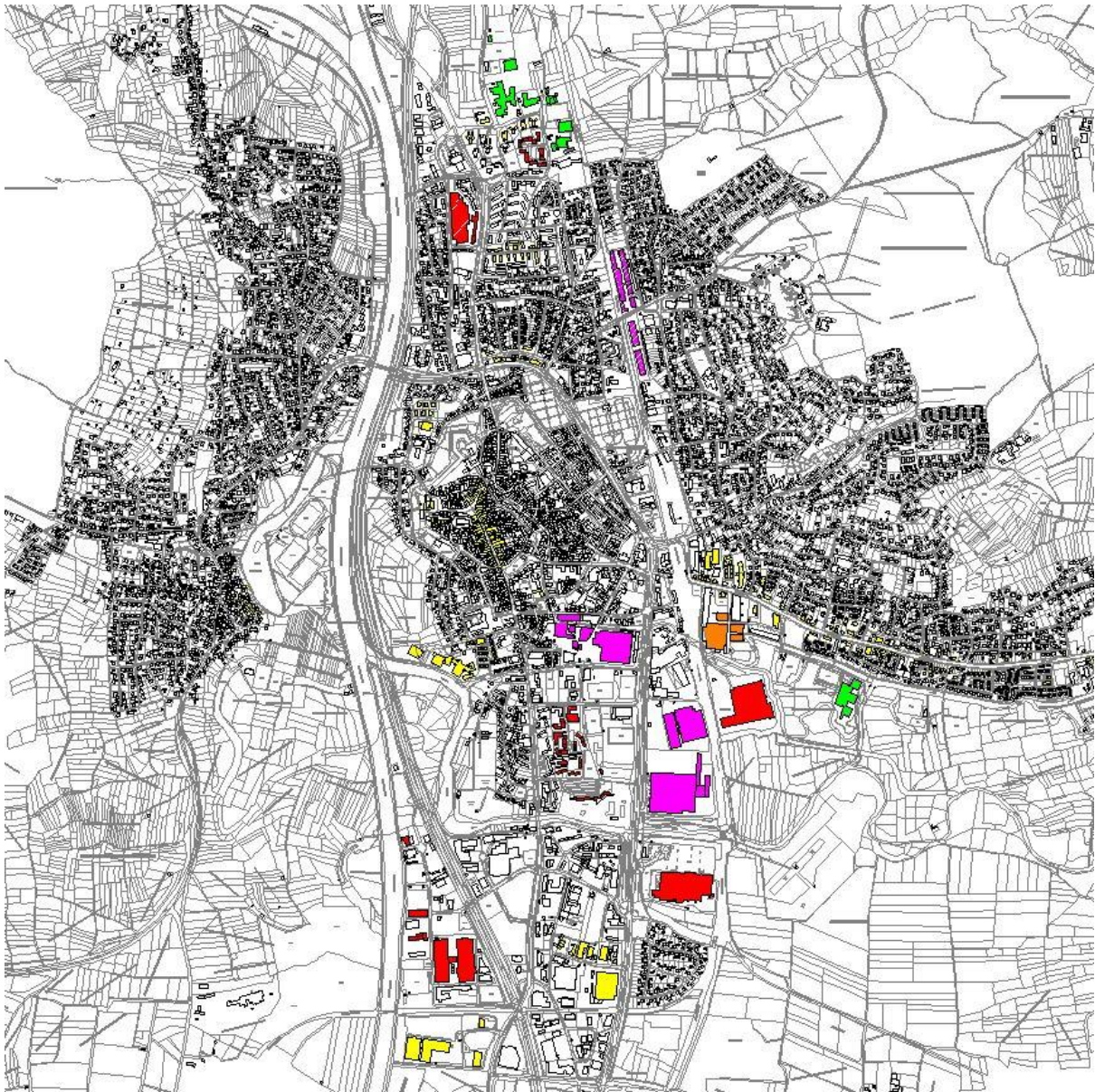










Abbildung 11: Das Wärmekataster der Stadt Forchheim bei 40 % Anschlussdichte

keine Einfärbung	< 1.500 kWh/m a
	1.500 – 2.499 kWh/m a
	2.500 – 3.499 kWh/m a
	>3.500 kWh/m a
	Waasner „altes Werk“
	Dampfverbraucher
	Piasten Contracting
	Nahwärme Hackschnitzel
	KWK- Anlagen Klinikum

## 4 Potentialbetrachtung der Energieeffizienzsteigerung bzw. Energieeinsparung

Im folgenden Kapitel wird eine Potentialbetrachtung zur Energieeffizienzsteigerung durchgeführt, indem die verschiedenen Potentiale der einzelnen Verbrauchergruppen betrachtet und bewertet werden.

### 4.1 Potentialbetrachtung im Bereich Private Haushalte

#### 4.1.1 Endenergieeinsparungen im thermischen Bereich

Ausgehend vom Gebäudebestand und der Gebäudealtersstruktur im Stadtgebiet Forchheim wird das energetische Einsparpotential berechnet, das durch verschiedene Gebäudesanierungsszenarien erreicht werden kann. Für den Gebäudebestand und somit die vorhandene Wohnfläche wird ein maximaler Heizwärmebedarf vorgegeben. Für die Gebäudesanierung bzw. Wärmedämmmaßnahmen an den Wohngebäuden werden zwei Szenarien betrachtet:

- **Szenario 1**

Sämtliche Wohngebäude werden nach dem EnEV 2009 Standard saniert. Hierbei wird das energetische Einsparpotential für jede Baualtersklasse separat ermittelt.

- **Szenario 2**

Es wird ab dem Jahr 2010 mit einer mittleren Sanierungsrate von 2 % pro Jahr auf den EnEV 2009 Standard gerechnet. Die Betrachtung wird hierbei bis zum Jahr 2030 durchgeführt. Dieses Szenario stellt eine ehrgeizige Aufgabe dar. Die mittlere Sanierungsrate in Deutschland liegt derzeit lediglich bei rund 1 %. [[http://www.enef-haus.de/fileadmin/ENEFH/redaktion/PDF/Befragung\\_EnefHaus.pdf](http://www.enef-haus.de/fileadmin/ENEFH/redaktion/PDF/Befragung_EnefHaus.pdf)]



In Summe kann der thermische Endenergiebedarf im Bereich der Wohngebäude im Stadtgebiet Forchheim durch eine EnEV 2009 Sanierung mit einer jährlichen Sanierungsrate von 2 % in den nächsten 20 Jahren um rund 54.441 MWh gesenkt werden. Dies entspricht einer prozentualen Einsparung von rund 24 Prozent gegenüber dem Ist-Zustand.

Durch eine Sanierung aller Wohngebäude nach EnEV-Standard bis zum Jahr 2030 könnte der thermische Endenergiebedarf um rund 107.344 MWh, d.h. rund 48 Prozent gegenüber dem Ist-Zustand, gesenkt werden.

Das Ergebnis der Potentialbetrachtung der energetischen Sanierung von Bestandsgebäuden im Gemeindegebiet Forchheim ist in Abbildung 12 dargestellt.

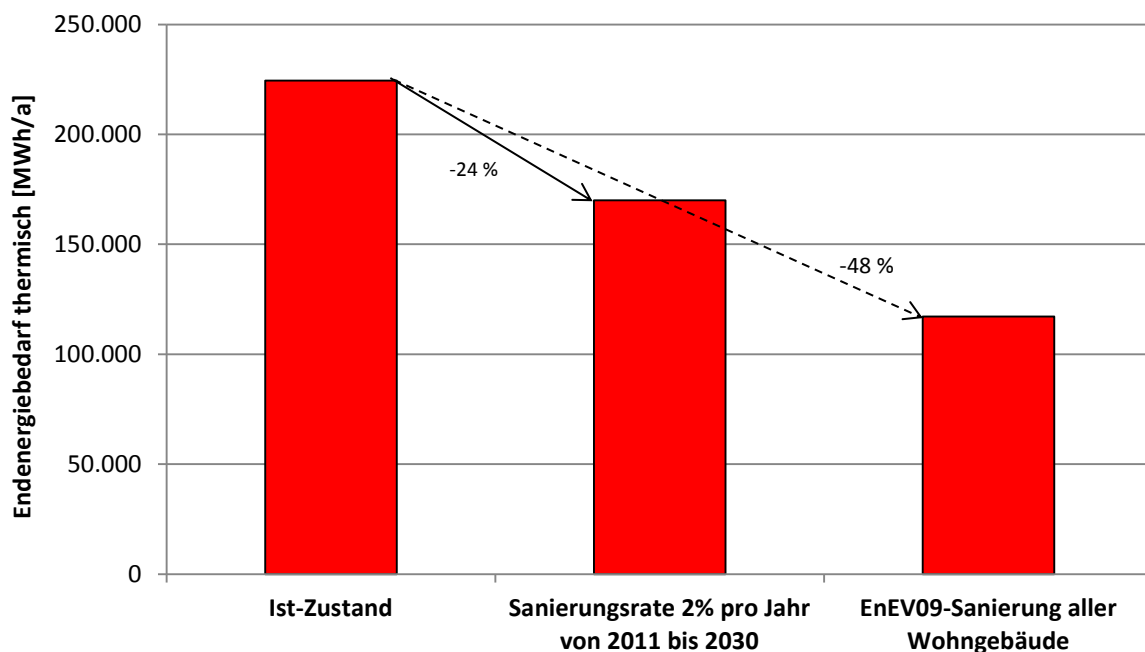


Abbildung 12: Die Potentialbetrachtung der energetischen Sanierung von Bestandsgebäuden

#### 4.1.2 Reduzierung des Stromverbrauchs bzw. Effizienzsteigerung

Der Einsatz von stromsparenden Haushaltsgeräten trägt zu einer Reduzierung des Stromverbrauches und somit auch zu einer Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes bei. Im Zuge dessen verpflichtet EU-Energieeffizienzrichtlinie Energieversorger Maßnahmen zu ergreifen, damit ihre Kunden jährlich mindestens 1,5 % an Energie einsparen. Nachfolgend werden einige Energiesparmaßnahmen aufgezeigt:

- Ertüchtigung der stufengeregelten Heizungsumwälzpumpen durch geregelte Pumpen
- Einsatz effizientester Kühl- / Gefrierschränke / -truhen
- Einsatz effizienter Waschmaschinen
- Einsatz effizientester Beleuchtung (Energiesparlampen, LED)
- Vermeidung des Stand-By Betriebs

Durch konsequentes Umsetzen der aufgezeigten Maßnahmen zur Reduzierung des **elektrischen Energieverbrauchs** in den privaten Haushalten ist davon auszugehen, dass durchschnittlich eine Einsparung bis zum Jahr 2030 von rund 25 % des derzeitigen Stromverbrauches in der Verbrauchergruppe ohne Komfortverlust und wirtschaftlichen Nachteil erreicht werden kann.

### 4.1.3 Zusammenfassung

Durch konsequentes Umsetzen der im Anhang aufgezeigten Maßnahmen zur Reduzierung des elektrischen Energieverbrauchs in den privaten Haushalten, ist davon auszugehen, dass durchschnittlich eine Einsparung von rund 25 % des derzeitigen Stromverbrauchs in der Verbrauchergruppe ohne Komfortverlust und wirtschaftlichen Nachteil erreicht werden kann. Bei einer Umsetzung bis zum Jahr 2030 müsste eine jährliche Einsparung von 1,5 Prozentpunkten erreicht werden.

Absolut würde sich hierdurch – ausgehend vom derzeitigen Verbrauch von 47.415 MWh pro Jahr – im Bereich der privaten Haushalte ein Einsparpotential von rund 11.835 MWh pro Jahr an elektrischer Endenergie pro Jahr ergeben.

Hinweis: Im Rahmen dieser Studie wurden die elektrischen Einsparpotentiale anhand des aktuellen Stromverbrauches und der aktuell installierten Anlagentechnik berechnet. Es ist jedoch sehr wahrscheinlich, nicht mit einem tatsächlich sinkenden Stromverbrauch zu rechnen, da erzielte Einsparungen bisher meist durch neue „Anwendungsbereiche“ ausgeglichen wurden.

In Summe kann der thermische Endenergiebedarf im Bereich der Wohngebäude in der Stadt Forchheim durch eine EnEV 2009 Sanierung mit einer von Experten als technisch und wirtschaftlich machbaren Sanierungsrate von 2 % pro Jahr (bis zum Jahr 2030) im Vergleich zum Ist-Zustand (rund 224.431 MWh) um rund 54.441 MWh gesenkt werden.

## 4.2 Potentialbetrachtung im Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistung, Industrie und Landwirtschaft

Grundsätzlich ist die Potenzialabschätzung im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung, Industrie und Landwirtschaft mit Unsicherheiten behaftet. In großen Betrieben stellt der Energiebedarf für Raumwärme meist nur einen geringen Teil des Gesamtenergiebedarfs dar, weil energieintensive Verarbeitungsprozesse durchzuführen sind. Aufgrund von gealterten Versorgungsstrukturen in den Betrieben ist das energetische Einsparpotential hierbei jedoch oft sehr groß. Selbstverständlich bleiben auch manche energieintensive Arbeitsprozesse bestehen, da eine Optimierung nicht, oder kaum mehr möglich ist.

Eine genaue Analyse der Energieeinsparpotentiale kann nur durch ausführliche Begehung sämtlicher Betriebe und umfangreiche Erhebungen erfolgen. Zudem beeinflussen die konjunktur- und strukturbedingten Entwicklungen den Energieverbrauch erheblich. Die Ermittlung der Einsparpotenziale im Strom- und Wärmebereich erfolgt an Hand bundesweiter Potenzialstudien, eigener Berechnungen nach Erfahrungswerten, sowie der Annahme einer allgemein umsetzbaren jährlichen Effizienzsteigerung.

Aus verschiedenen Quellen, wie z.B. dem „Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe“, der im Jahre 2009 vom Bayerischen Landesamt für Umwelt veröffentlicht wurde, lassen sich Aussagen darüber treffen, in welchen Bereichen in dieser Verbrauchergruppe Einsparpotentiale vorhanden sind. *[Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt „Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe“]*

## 4.2.1 Reduzierung bzw. Effizienzsteigerung im Stromverbrauch

### Maschinen-, Anlagen- und Antriebstechnik

Rund 70 % des Stromverbrauchs in Industriebetrieben entfallen auf den Bereich der elektrischen Antriebe. Mehr als zwei Drittel dieses Bedarfs an elektrischer Energie werden für den Betrieb von Pumpen, Ventilatoren und Kompressoren benötigt.

Die möglichen Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung im Bereich der Maschinen-, Anlagen und Antriebstechnik werden in Tabelle 4 zusammenfassend dargestellt. Die Potentiale wurden hierbei dem „Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe“ entnommen. [Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt]

Folglich können die nachfolgend aufgeführten Einsparpotentiale nur als durchschnittliche Werte gesehen werden, die in der tatsächlichen Umsetzung deutlich abweichen können.

**Tabelle 4: Energieeffizienzsteigerung in der Maschinen-, Anlagen- und Antriebstechnik [Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt „Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe; eigene Darstellung]**

<b>Maßnahmen</b>	<b>wirtschaftliches Einsparpotential</b>
<b>Verbesserung des Antriebs</b>	
Einsatz hocheffizienter Motoren	3%
Einsatz drehzahlvariabler Antriebe	11%
<b>Systemverbesserungen</b>	
bei Druckluftsystemen	33%
bei Pumpensystemen	30%
bei Kältesystemen	18%
bei raumluftechnischen Anlagen und Ventilatoren	25%
<b>Motorensysteme gesamt</b>	<b>25-30%</b>

## Beleuchtung

Die Beleuchtung in Industrie und Gewerbe/Handwerksbetrieben weist bei einem Großteil der Unternehmen jährlich einen Anteil zwischen 15 und 25 % des gesamten elektrischen Energieverbrauchs auf.

Durch gezielte Maßnahmen, wie z.B. der Installation von:

- modernen Spiegelrasterleuchten
- elektronischen Vorschaltgeräten
- Dimmern

kann dieser Anteil, wie in Abbildung 13 dargestellt, um bis zu 80 % gesenkt werden.

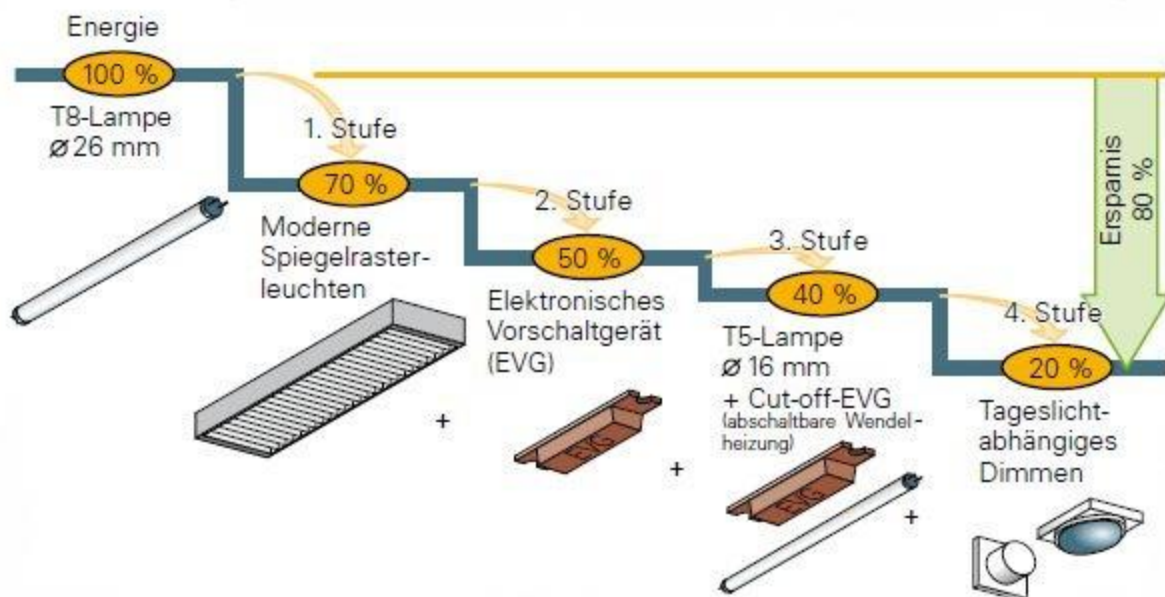


Abbildung 13: Die Einsparpotentiale im Bereich der Beleuchtung

[Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt „Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe; eigene Darstellung]

#### **4.2.2 Einsparung bzw. Effizienzsteigerung im Bereich Raumheizung, Prozesswärme und Warmwasserbereitung**

Ein Großteil des betrieblichen Energieverbrauchs entfällt auf die Bereitstellung von Wärmeenergie (Raumwärme und Prozesswärme). Die am häufigsten erkannten Einsparpotentiale in Industrie- und Gewerbe/Handwerksbetrieben werden nachfolgend aufgeführt.

- Einsatz von Strahlungsheizungen zur Hallenbeizung
- optimierte Dimensionierung der Heizkessel
- Einsatz von modulierenden Brennern im Teillastbetrieb
- Vorwärmung der Verbrennungsluft durch Abwärmenutzung
- Einsatz eines Luftvorwärmers bzw. Economizers bei der Dampferzeugung
- Wärmedämmung von Rohrleitungen
- Anpassung der Heiztechnik an die benötigten Prozesstemperaturen

### 4.2.3 Zusammenfassung

Der thermische Endenergieverbrauch für die Verbrauchergruppe Gewerbe, Handel, Dienstleistung, Industrie und Landwirtschaft beläuft sich im Ausgangszustand auf etwa 189.008 MWh/a. Der elektrische Endenergieverbrauch beläuft sich im Ist-Zustand auf rund 144.605 MWh/a.

Unter der Annahme, dass kein Produktionszuwachs stattfindet, könnte der **thermische** Endenergiebedarf bei einer jährlichen Effizienzsteigerung von 1,5 Prozentpunkten (EU-Energieeffizienzrichtlinie) bis zum Zieljahr 2030 um insgesamt 25 % verringert werden, was eine Einsparung von 47.178 MWh Endenergie ergibt.

Unter der Annahme, dass kein Produktionszuwachs stattfindet, könnte der elektrische Endenergiebedarf bei einer konservativ eingeschätzten, jährlichen Effizienzsteigerung von 1,5 Prozentpunkten in den nächsten 18 Jahren bis zum Zieljahr 2030 um insgesamt 25 % verringert werden, was einer Einsparung von 36.094 MWh Endenergie ergibt.

#### Hinweis

Die aufgeführten Einsparpotentiale können nur als durchschnittliche Werte gesehen werden. Bei der tatsächlichen Umsetzung im Betrachtungsgebiet können sich deutliche Abweichungen ergeben.



### 4.3 Potentialbetrachtung im Bereich Kommunale Liegenschaften

Aus Sicht der EU und des Bundes kommt den Städten und Kommunen eine zentrale Rolle bei der Umsetzung von Energieeinsparmaßnahmen zu. Nur auf kommunaler Ebene besteht die Möglichkeit einer direkten Ansprache der Akteure. Die Motivation zur eigenen Zielsetzung und Mitwirken bei der Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Städte und Kommunen kann dabei auf mehrere Ebenen untergliedert werden:

- Die Selbstverpflichtung aus Überzeugung in die Notwendigkeit des Handelns
- Die Vorbildfunktion für alle Bürger
- Die wirtschaftliche Motivation

Zudem können die Aktivitäten, dem Klimawandel und seinen Herausforderungen eine aktive Handlungsbereitschaft und eine klare Zielsetzung entgegenzusetzen, auch Vorteile im Zusammenhang mit privaten und unternehmerischen Standortentscheidungen hervorrufen.

Die Städte und Kommunen bilden somit das Verbindungsglied zwischen EU, Bund, Land und dem Endverbraucher.

### 4.3.1 Energetische Gebäudesanierung und Wärmedämmung

Nach der Grundlage der Berechnungen des Einsparpotentials im Bereich der Wohngebäude ergibt sich für die kommunalen Liegenschaften ebenfalls ein Einsparpotential im Bereich der energetischen Gebäudesanierung

Um ein Potential hinsichtlich Gebäudesanierung und Wärmedämmung ausweisen zu können, wird sich hier an die Sanierungsquote der privaten Haushalte angelehnt. Durch den Vorbildcharakter der Kommune wird die Sanierungsquote mit 3 % im Vergleich etwas höher angesetzt, wodurch eine Einsparung des thermischen Energieverbrauchs von rund 36 % erreicht wird. Es ergibt sich somit eine Einsparung an thermischer Endenergie von rund 4.472 MWh/a bezogen auf das Jahr 2010 (Ist-Zustand rund 12.421 MWh/a im Jahr 2010).

Einige kommunale Liegenschaften wurden bereits in den letzten Jahren energetisch saniert. Hierzu zählen die Schule Buckenhofen (mit Turnhalle; 2000), die Martin Volksschule (mit Turnhalle; 1997) oder auch die Ritter-von-Triatteure Schule (mit Turnhalle; 2005). Für das Rathaus Forchheim wird im Zuge der Schwerpunktprojekte ein Sanierungskonzept erarbeitet.

#### Hinweis:

Das Bilanzjahr für den Energienutzungsplan ist 2012. Die für die kommunalen Liegenschaften herangezogenen Verbrauchswerte stammen aus dem Jahr 2010, da sie dem Energiekonzept für die Stadt Forchheim aus dem Jahr 2012 entnommen wurden. Es wird die Annahme getroffen, dass sich diese Verbrauchswerte bis 2012 nur unwesentlich verändert haben.

### 4.3.2 Straßenbeleuchtung

Die Straßenbeleuchtung der Stadt Forchheim wird hinsichtlich der Energie- und CO<sub>2</sub>-Reduktionspotentiale durch Erneuerung und Umbau der Leuchtmittel untersucht. Die detaillierte Betrachtung wird in Kapitel 7.1 dargestellt.

### **4.3.3 Zusammenfassung**

Durch konsequentes Umsetzen der aufgezeigten Maßnahmen zur Reduzierung des elektrischen Energieverbrauchs bei den kommunalen Liegenschaften könnte der Stromverbrauch von aktuell 6.965 MWh auf rund 4.215 MWh reduziert werden (entsprechend rund 39 Prozent). Hierbei wurde die Umrüstung der Straßenbeleuchtung sowie der Einsatz effizientester Technik in den kommunalen Liegenschaften betrachtet.

In Summe kann der thermische Endenergiebedarf im Bereich der kommunalen Liegenschaften in der Stadt Forchheim durch energetische Sanierung um rund 36 Prozent bis zum Jahr 2030 gesenkt werden. Dies entspricht einer Einsparung von rund 4.472 MWh pro Jahr.

## 4.4 Zusammenfassung

In Tabelle 5 sind die Potentiale hinsichtlich der Energieeffizienzsteigerung bzw. der Energieeinsparung in den einzelnen Verbrauchergruppen zusammenfassend dargestellt.

**Tabelle 5: Zusammenfassung der verbrauchergruppenspezifischen Einsparpotentiale**

		Endenergiebedarf Ist-Zustand [MWh/a]	Maßnahme	Einspar- potential [%]	Einspar- potential [MWh/a]	Endenergie 2030 [MWh/a]	CO <sub>2</sub> - Einsparung [t/a]
Private Haushalte	Endenergie thermisch	224.431	Wärmedämmung Sanierungsrate 2% auf ENEV 2009	24%	54.441	169.990	14.821
	Endenergie elektrisch	47.415	Steigerung der Elektroeffizienz (EU-Richtlinie 1,5 %/a)	25%	11.835	35.580	5.843
Kommunale Liegenschaften	Endenergie thermisch	12.421	Wärmedämmung, Sanierungsrate 3% auf ENEV 2009	36%	4.472	7.949	1.217
	Endenergie elektrisch	5.255	Steigerung der Energieeffizienz, Ertüchtigung aller Pumpen (Kläranlage)	32%	1.675	3.580	827
	Straßenbeleuchtung	1.709	Umrüstung auf LED	63%	1.069	640	528
Gewerbe, Industrie und Sonderkunden	Endenergie thermisch	189.008	Effizienzsteigerung (EU-Richtlinie 1,5 %/a)	25%	47.178	141.830	12.844
	Endenergie elektrisch	144.605	Steigerung der Elektroeffizienz (EU-Richtlinie 1,5 %/a)	25%	36.094	108.510	17.819

Im Bereich der elektrischen Endenergie ergibt sich ausgehend vom Ist-Zustand (rund 198.984 MWh/a) eine Einsparung von rund 50.150 MWh/a bzw. rund 25 Prozent.

Im Bereich der thermischen Endenergie ergibt sich ausgehend vom Ist-Zustand (rund 425.860 MWh/a) eine Einsparung von rund 106.090 MWh/a bzw. rund 25 Prozent.

## 5 Das Angebotspotential der Erneuerbaren Energien

### 5.1 Potentialbegriff

In der nachfolgenden Ermittlung wird eine Datenbasis über das grundsätzliche und langfristig zur Verfügung stehende Potential aus diversen erneuerbaren Energiequellen im Betrachtungsgebiet zusammengestellt. Als erneuerbare Energien in diesem Sinne werden Energieträger bezeichnet, die im gleichen Zeitraum in dem sie verbraucht werden wieder neu gebildet werden können, oder grundsätzlich in unerschöpflichem Maße zur Verfügung stehen.

In dieser Studie werden insbesondere die Verfügbarkeit von Biomasse sowie die direkte Sonnenstrahlung genauer betrachtet. Einen Sonderfall stellt die Geothermie dar, die ebenfalls zu den erneuerbaren Energieträgern gezählt wird, da sie für menschliche Zeitschritte ebenfalls als unerschöpflich angesehen werden kann. Abbildung 14 gibt eine Übersicht der Möglichkeiten zur Nutzung des regenerativen Energieangebotes.

Ursache	Primärwirkung	Sekundärwirkung	Anlagen	Nutzenergie
Sonne: Solarstrahlung	Erwärmung der Erdoberfläche	Verdampfung, Schmelzen	Wasserkraftwerke	Strom
		Luftbewegung: Wind, Wellen	Windkraftwerke	Strom
			Wellenkraftwerke	Strom
		Meeresströmung	Strömungskraftwerke	Strom
		Temperaturgradient	Meereswärmekraftwerke	Strom
	Wärmepumpen		Wärme	
	Direkte Solarstrahlung	Photoelektrischer Effekt	Photovoltaikkraftwerke	Strom
		Erwärmung	Solarthermische Kraftwerke	Wärme
		Photolyse	Photolyseanlagen	Brennstoffe
		Photosynthese	Biomassegewinnung und -verarbeitung	Brennstoffe
Erde	Erdwärme		Geothermiekraftwerke	Strom, Wärme
Mond	Gravitation	Gezeiten	Gezeitenkraftwerke	Strom

**Abbildung 14: Die Möglichkeiten der Nutzung Erneuerbarer Energiequellen**

*[Quelle: [www.wissenschaft-technik-ethik.de](http://www.wissenschaft-technik-ethik.de); eigene Darstellung]*

## 5.2 Direkte Nutzung der Sonnenenergie

Die Nutzung der direkten Sonneneinstrahlung ist auf verschiedene Arten möglich. Zum einen stehen Möglichkeiten der passiven Nutzung von Sonnenlicht und –wärme zur Verfügung, die vor allem in der baulichen Umsetzung bzw. Gebäudearchitektur Anwendung finden. Zum anderen gibt es die aktive Nutzung der direkten Sonnenstrahlung, die in erster Linie in Form der Warmwasserbereitung (Solarthermie) und der Stromerzeugung (Photovoltaik) in technisch ausgereifter Form zur Verfügung steht.

Zur Abschätzung der zur Verfügung stehenden Flächen für die Installation von Photovoltaik oder Solarthermie werden die nachfolgend beschriebenen Annahmen getroffen. Zunächst wird bei der Ermittlung der potentiellen Fläche nicht nach einer photovoltaischen oder solarthermischen Nutzung unterschieden.

Der „Statistik Kommunal“ [*Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung*] ist der Gesamtbestand an Wohngebäuden im Betrachtungsgebiet zu entnehmen. Da eine Erfassung aller Gebäude mit Ausrichtung, Dachneigung und Verbauung im Einzelnen nicht möglich ist, müssen pauschalisierte Annahmen getroffen werden. Alle Wohngebäude haben entweder geneigte Dächer mit einer Dachneigung zwischen 30 und 60 Grad oder besitzen ein Flachdach. Die Ausrichtung der Gebäude (Firnstrichtung) ist nahezu gleich verteilt, d.h. es stehen genauso viele Häuser hauptsächlich in Ost-West-Richtung, wie in Nord-Süd –Richtung. Wird davon ausgegangen, dass bis zu einer Abweichung von +/- 45 Grad zur optimalen Südausrichtung, die nach Süden geneigte Dachfläche grundsätzlich nutzbar ist, so errechnet sich eine Fläche von rund 25 % der gesamten geneigten Dachfläche. Von dieser grundsätzlich nutzbaren Fläche müssen Verbauungen und Verschattungen durch Erker, Dachfenster, Schornsteine und sonstige Hindernisse abgezogen werden. Hierfür wird von der grundsätzlich nutzbaren Fläche ein Fünftel abgezogen. Zudem wurden denkmalgeschützte Bereiche in der Betrachtung nicht berücksichtigt. Demzufolge bleiben rund 20 % der gesamten schrägen Dachfläche zur Installation von Photovoltaik oder Solarthermie zur Verfügung.

Zudem bietet sich die Installation von Solarthermie / PV-Anlagen auf vorhandenen Dächern der Gewerbe / Industriebetriebe an. Die Berechnung der geeigneten Fläche auf Schrägdächern erfolgt äquivalent zur Berechnung der Wohngebäude. Auf Flachdächern sollten die Anlagen aufgeständert installiert werden. Die Anlagen können somit in Neigung und Ausrichtung optimal zur Sonne ausgerichtet werden.

Durch die Aufständigung am Flachdach ergeben sich jedoch zwischen den einzelnen Reihen in Abhängigkeit vom Sonnenstand Verschattungen, wodurch nur etwa ein Drittel der Grundfläche als Modulfläche nutzbar ist. Auch bei Flachdächern wird noch ein Fünftel der grundsätzlich nutzbaren Fläche aufgrund von Verbauungen und Verschattungen von Hindernissen abgezogen, sodass letztendlich ca. 25 % der Flachdachfläche als Modulfläche nutzbar sind.

Mithilfe der Anzahl der Wohngebäude aus der Statistik Kommunal, den vorhandenen Dächern der Gewerbe/Industriebetrieben, der Auswertung von Luftbilddaufnahmen und unter Berücksichtigung der erläuterten Annahmen kann die für die Nutzung von Solarthermie und Photovoltaik geeignete Dachfläche (Modulfläche) bestimmt werden. In Summe beläuft sich die nutzbare Modulfläche im Betrachtungsgebiet auf rund 408.000 m<sup>2</sup>.

Ausgehend vom heutigen Stand der Technik kann bei der Verwendung von monokristallinen PV-Modulen zur solaren Stromproduktion von einem Flächenbedarf von rund 7,5 m<sup>2</sup>/kW<sub>p</sub> ausgegangen werden. Mit einer solarthermischen Anlage können pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche ca. 300 kWh Wärme pro Jahr bereitgestellt werden. Jedoch kann dieser technische Vorteil nur bedingt genutzt werden, da die schlechte Transportfähigkeit und die mangelnde Speicherfähigkeit einen Durchbruch dieser Technik erschweren. So ist beispielsweise die Wärmeerzeugung in den Sommermonaten am höchsten, während der Wärmebedarf erst in den Wintermonaten merklich ansteigt.

Aus diesem Grund besitzt die Photovoltaik, welche bezüglich der Dachflächen in direkter Konkurrenz zur solarthermischen Nutzung steht einen deutlichen Wettbewerbsvorteil, da der Bedarf an elektrischer Energie über das gesamte Jahr betrachtet deutlich konstanter ist.

Für die weiteren Berechnungen wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

- **Photovoltaik (Aufdach)** → **mittl. jährlicher Ertrag:** 900 kWh<sub>el</sub>/kW<sub>p</sub>
- **Solarthermie** → **mittl. jährlicher Ertrag:** 300 kWh<sub>th</sub>/m<sup>2</sup>

## Szenario

Es wird davon ausgegangen, dass die für solare Nutzung geeignete Dachfläche für die Installation von Solarthermieanlagen für die Warmwasserbereitung und die Installation von Photovoltaikanlagen für die Stromproduktion genutzt werden.

Aufgrund der direkten Standortkonkurrenz der beiden Techniken muss eine prozentuale Verteilung berücksichtigt werden. Um ein praxisbezogenes Ausbausoll an Solarthermiefläche vorgeben zu können, wird als Randbedingung ein Deckungsziel von 30 % des Warmwasserbedarfs in der Verbrauchergruppe „Private Haushalte“ anvisiert. Der Warmwasserbedarf kann mit verschiedenen Annahmen abgeschätzt werden. Ausgehend von einem wohnflächenspezifischen Warmwasserbedarf von  $12,5 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2_{\text{WF}} \cdot \text{a}$  ergibt sich für das Betrachtungsgebiet ein jährlicher Gesamt-Warmwasserwärmebedarf von rund 17.150 MWh<sub>th</sub>, von dem rund 5.145 MWh<sub>th</sub> durch Solarthermie gedeckt werden sollen (entsprechend 30 %). Um die Randbedingung des 30 prozentigen Deckungsgrades zu erreichen, werden insgesamt rund 17.150 m<sup>2</sup> an Kollektorfläche benötigt. Diese Fläche stellt gleichzeitig das Gesamtpotential für die Solarthermie dar.

Derzeit sind im Betrachtungsgebiet Solarthermieanlagen mit einer Gesamtfläche von rund 6.612 m<sup>2</sup> bereits installiert.

Zur Erreichung des oben definierten Gesamtpotentials müssen demnach noch 10.538 m<sup>2</sup> zugebaut werden (solarthermisches Ausbaupotential).

Ausgehend von der Annahme, dass die benötigten Solarthermie-Kollektoren installiert werden, ergibt sich eine maximale nutzbare Restdachfläche für Photovoltaikmodule von rund 390.200 m<sup>2</sup>. Nachfolgend wird das realistische Szenario betrachtet, dass lediglich 50 % dieser grundsätzlich für Photovoltaik geeigneten Dachfläche belegt werden (entspricht rund 195.100 m<sup>2</sup>). In der weiteren Betrachtung wird diese Fläche zur Ermittlung des PV-Ausbaupotentials herangezogen. In Summe können auf dieser Modulfläche Photovoltaikmodule mit einer Gesamtleistung in Höhe von rund 26.010 kWp installiert werden. Im Jahr 2012 sind bereits Module mit einer Gesamtleistung von rund 6.300 kWp installiert. Das Ausbaupotential beträgt folglich noch rund 19.710 kWp. Hierdurch können jährlich rund 23.410 MWh an Strom produziert werden.

Die Potentiale für Erneuerbare Energien aus PV- und Solarthermieanlagen sind in der nachfolgenden Tabelle 6 als Übersicht zusammengefasst.



Tabelle 6: Das Potential Erneuerbarer Energien aus Solarthermie und Photovoltaik

<b>Solarthermie und Photovoltaik</b>	
geeignete Modulfläche im Stadtgebiet (Dachneigung, Denkmalschutz, etc.)	408.000 m <sup>2</sup>
<b>Warmwasserbereitung durch Solarthermie</b>	
(30% des WW-Bedarfes der Privaten Haushalte)	
Erforderliche Kollektorfläche	17.150 m <sup>2</sup>
bereits installiert	6.612 m <sup>2</sup>
Ausbaupotential	10.538 m <sup>2</sup>
<b>→ gesamte Wärmeproduktion</b>	<b>5.145 MWh/a</b>
<b>Stromproduktion durch Photovoltaik</b>	
(50% der übrigen geeigneten Dachfläche)	
Gesamtpotential	26.013 kW <sub>p</sub>
	entspricht rund 195.000 m <sup>2</sup>
bereits installiert	6.305 kW <sub>p</sub>
Ausbaupotential	19.708 kW <sub>p</sub>
<b>→ gesamte Stromproduktion</b>	<b>23.411 MWh/a</b>

## **Freifläche**

Neben der Nutzung von geeigneten Dachflächen besteht auch noch die Möglichkeit Sonnenenergie auf Konversionsflächen und sonstigen Freiflächen zu nutzen. Ähnlich wie beim Flachdach kann hier die Ausrichtung der zu installierenden Anlage optimal gewählt werden. Dementsprechende Freiflächen bieten auch die Möglichkeit Großanlagen mit ggf. einer Nachführung nach dem Sonnenstand zu installieren und den Energieertrag zu optimieren.

Nach dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz ist aktuell auf folgenden Flächen eine Vergütung möglich:

- Entlang von Bahnlinien
- Entlang von Autobahnen

In den nachfolgenden Abschnitten wird das vorhandene Potential für Freiflächenphotovoltaikanlagen auf den oben genannten EEG-fähigen Flächen entlang von Bahnlinien und Bundesautobahnen betrachtet. Dabei werden Schutzgebiete und denkmalgeschützte Gebiete beachtet und bei der Potentialbetrachtung ausgeschlossen. Im Rahmen dieser Studie wird ein theoretisches Potential für den Aufbau von Freiflächenphotovoltaikanlagen entlang der Autobahn abgeschätzt. Dabei werden mit Hilfe von Luftbildern dafür geeignete Flächenabschnitte ermittelt.

*Hinweis: geeignete Gebiete für Freiflächenphotovoltaikanlagen müssen im Bebauungsplan ausgewiesen werden*

### **Entlang Bahnlinien**

Im Erneuerbare-Energien-Gesetz ist eine Vergütung für Freiflächenphotovoltaikanlagen entlang von Schienenwegen möglich. Die Anlage darf jedoch nicht weiter als 110 Meter von der Bahnlinie entfernt sein. Der Mindestabstand muss 20 Meter zur Gleisachse betragen. Betrachtet werden die Bahnlinien Forchheim – Ebermannstadt und Nürnberg – Bamberg.

### Entlang Autobahnen

Im Erneuerbare-Energien-Gesetz ist eine Vergütung für Freiflächenphotovoltaikanlagen entlang von Autobahnen möglich. Die Anlage darf jedoch nicht weiter als 110 Meter, gemessen vom äußeren Rand der befestigten Fahrbahn, von der Autobahn entfernt sein. Der Mindestabstand muss 40 Meter zur Fahrbahn betragen (Anbauverbotszone). Durch das Stadtgebiet Forchheim führt die Bundesautobahn BAB 73.

### Zusammenfassung

Abbildung 15 zeigt die, unter Anwendung der oben genannten Kriterien und unter Berücksichtigung von z.B. Wasserschutzgebieten, für Freiflächen-Photovoltaik potentiell nutzbare Flächen im Stadtgebiet Forchheim.

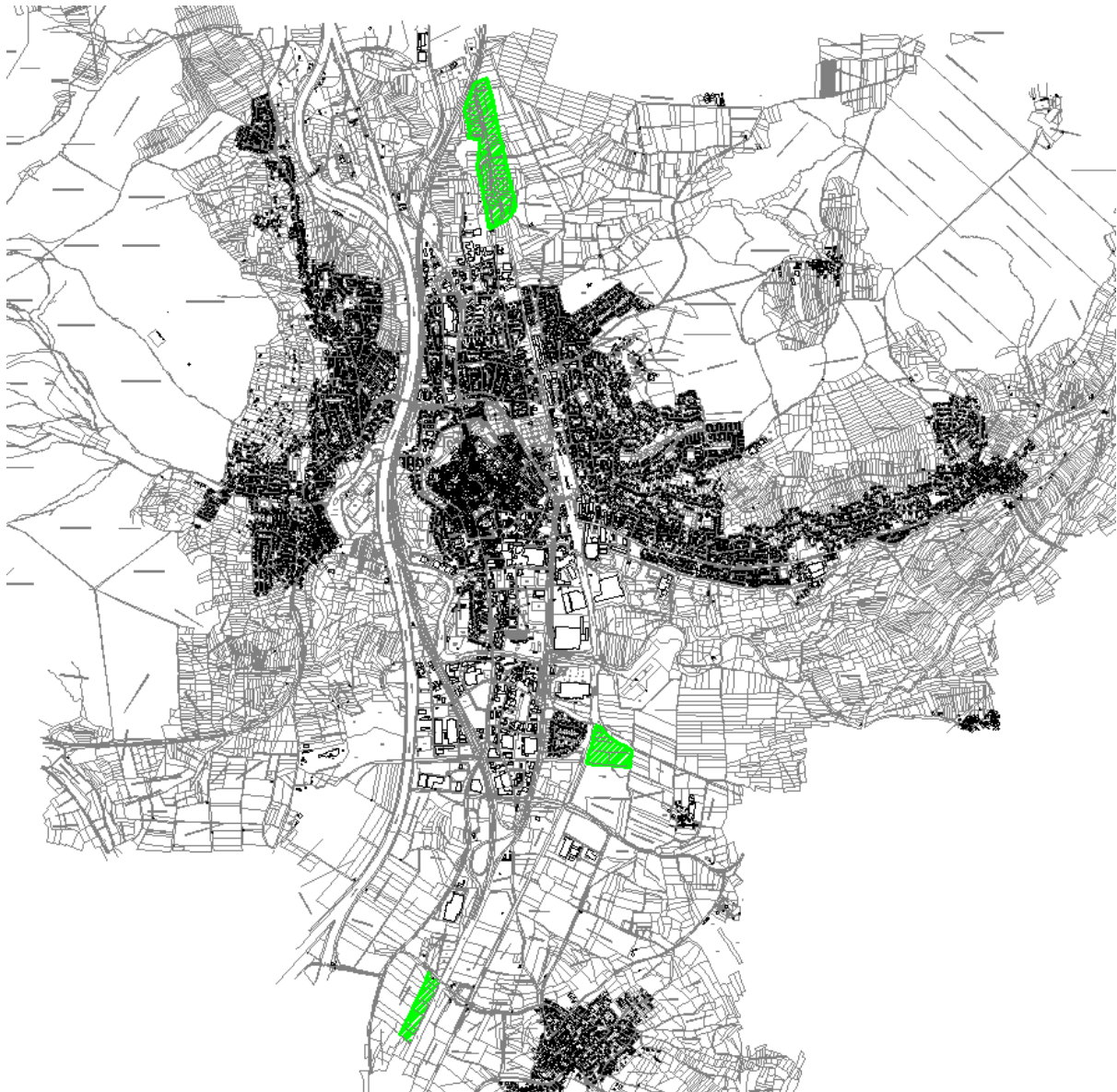


Abbildung 15: Für Freiflächen-Photovoltaik geeignete Flächen im Stadtgebiet Forchheim

In Tabelle 7 sind die ermittelten Flächen, sowie die zugehörigen Ausbaupotentiale abgebildet.

Tabelle 7: Übersicht der Freiflächenausbaupotentiale

Gebiet	Gebietsfläche [ha]	Nutzbare Fläche [ha]	Potential [kWp]	Potential [MWh/a]
Nord	18	9,0	3.750	3.375
Mitte	6,1	5,2	2.160	1.944
Süd	4,7	1,9	783	705
Summe	28,8	16,1	6.694	6.024

Insgesamt sind im Stadtgebiet Forchheim rund 28,8 ha an potentiell geeigneter Fläche zur Errichtung von Freiflächenphotovoltaikanlagen entlang von Bahnlinie und Autobahn vorhanden. Da die ermittelten Flächen, z.B. aufgrund bestimmter landwirtschaftlicher Nutzung, nicht als vollständig nutzbar zur Verfügung stehen, wurde in Absprache mit den Stadtwerken Forchheim für jede der betrachteten Flächen ein Grad der Nutzbarkeit eingeführt. Somit stehen zur potentiellen Nutzung noch rund 16,1 ha zur Verfügung. Dies entspricht einer installierbaren Leistung von etwa 6.694 kW<sub>p</sub>. In Summe kann jährlich eine Strommenge von 6.024 MWh erzeugt werden.

### 5.3 Biomasse

Als Biomasse wird im allgemeinen Sprachgebrauch die Gesamtheit der Masse an organischem Material in einem Ökosystem bezeichnet.

Die Biomasse kann in Primär- und Sekundärprodukte unterteilt werden, wobei erstere durch die direkte Ausnutzung der Sonnenenergie (Photosynthese) entstehen. Im Hinblick auf die Energiebereitstellung zählen hierzu land- und forstwirtschaftliche Produkte aus einem Energiepflanzenanbau oder pflanzliche Rückstände und Abfälle aus der Land- und Forstwirtschaft sowie der Industrie und aus Haushalten (z. B. Rest- und Altholz).

Sekundärprodukte entstehen durch den Ab- bzw. Umbau der organischen Substanz in höheren Organismen (Tieren). Zu ihnen zählen unter anderem Gülle oder Klärschlamm.

Im Rahmen dieser Studie wird unter Biomassepotential das Potential an

- Primärprodukten für die energetische Nutzung,
- Gülle durch den Viehbestand,
- Nutzung des Bioabfallaufkommens

im Betrachtungsgebiet ermittelt. Es erfolgt eine Aufteilung in land- und forstwirtschaftliche Potentiale unter Einbeziehung der zur Verfügung stehenden Flächen.

### 5.3.1 Forstwirtschaft

#### **Brennholz**

Die Ermittlung des Potentials an Biomasse aus Waldbeständen stützt sich auf eine, durch die Firma eta Energieberatung GbR, erstellte Studie zur Verfügbarkeit von Biomasse als Brennstoff im erweiterten Umkreis der Stadt Forchheim. Die Studie wurde von den Stadtwerken Forchheim, im Rahmen der Prüfung zur Umsetzung eines Biomasseheizkraftwerkes, in Auftrag gegeben.

Die Potentiale werden für unterschiedliche Holzarten (Industrieholz, Ernteverluste, sonstiges Darbholz sowie Flurholz) für jeweils unterschiedliche Einzugsradien ermittelt. Ein Radius von 60 km wird angesichts des Waldanteiles in der Region Forchheim erfahrungsgemäß als Basisszenario angesetzt. Innerhalb dieses Einzugsradius' beträgt die Waldfläche rund 403.000 ha. Summiert man die Resultate für die jeweiligen Holzarten so ergibt sich für diese Waldfläche ein jährliches Energiepotential von rund 1.870 GWh bzw. ein flächenspezifisches Potential von rund 4,6 MWh/ha.

Die Waldfläche des Stadtgebietes Forchheim betrug 2011, nach Statistik Kommunal, rund 1.670 ha. Mit dem errechneten flächenspezifischen Potential ergibt sich allein für das Stadtgebiet Forchheim ein jährliches forstwirtschaftliches Energiepotential von rund 7.751 MWh/a.

Bei dem so zur Verfügung stehenden Potential an Holz steht der Anteil, welcher energetisch genutzt werden kann in Konkurrenz mit der stofflichen Verwertung. Insofern besteht ein Konkurrenzverhältnis zwischen Holz zur stofflichen Anwendung bzw. Verwertung und Holz zur energetischen Nutzung. In Abbildung 16 sind die unterschiedlichen Verwertungsmöglichkeiten dargestellt.

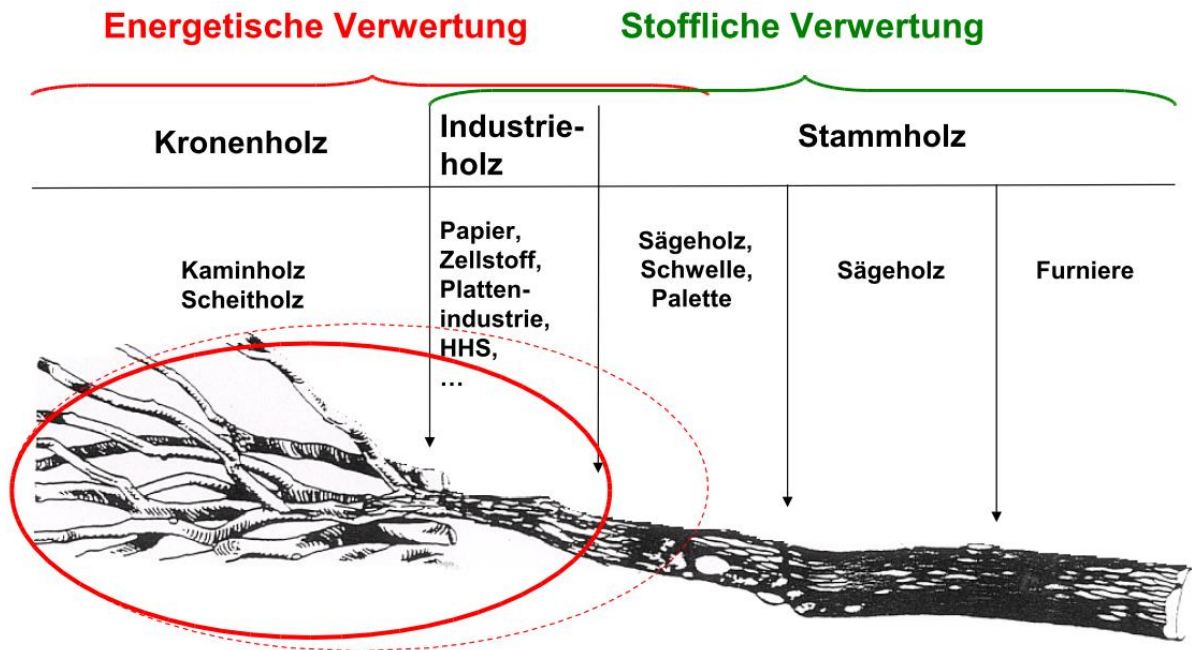


Abbildung 16: Die Aufteilung der energetischen und stofflichen Verwertung von Holz

[Quelle: Pflüger-Grone Holger; Aspekte der energetischen Holzverwertung]

### Landschaftspflegeholz

Landschaftspflegeholz (Holz aus öffentlichem und privatem Baum-, Strauch- und Heckenschnitt) unterliegt keiner sonstigen Nutzung und steht somit – theoretisch – komplett zur Verfügung. Unter der Annahme eines jährlichen Anfalls an Landschaftspflegeholz von rund 21 kg pro Einwohner entspricht dies einem Energieertrag von rund 1.396 MWh pro Jahr. [Quelle: Abfallbilanz Bayern]

### Altholz

Eine Sonderstellung kommt dem Altholz zu. Pro Einwohner und Jahr fallen im Landkreis Forchheim rund 22 kg Altholz an. Bezogen auf die Einwohnerzahl in der Stadt Forchheim steht dadurch ein Energieertrag von rund 1.551 MWh jährlich zur Verfügung. [Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt]



## Zusammenfassung

In Tabelle 8 ist das Potential zur Energiebereitstellung aus holzartiger Biomasse zusammenfassend aufgelistet.

**Tabelle 8: Übersicht der Energiebereitstellungspotentiale aus Holz**

<b>Energiebereitstellung</b>	<b>[MWh/a]</b>
Waldfläche im Stadtgebiet Forchheim	1.670 ha
Spezifisches Energiepotential nach Holzpotentialstudie	4,6 MWh/ha/a
<u>zusätzlich:</u>	
Landschaftspflegeholz	1.396
Altholz	1.551
<b>Summe nutzbares Gesamtpotential</b>	<b>10.700 MWh/a</b>
<b>Biomassebedarf im Ist-Zustand</b>	<b>30.000 MWh/a</b>

In Summe beträgt das nutzbare Gesamtpotential an fester Biomasse für das Gesamtgebiet rund 10.700 MWh/a.

Da im Stadtgebiet bereits rund 30.000 MWh/a Biomasse genutzt werden, besteht hier kein nachhaltiges Ausbaupotential mehr.

## 5.3.2 Landwirtschaft

### Biogas aus Energiepflanzen

Bei der Abschätzung des Potentials an Biomasse aus der landwirtschaftlichen Produktion wird in dieser Studie von einem Anbau von Energiepflanzen (z.B. Raps, Mais oder sonstige) auf 25 % der zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Fläche ausgegangen. Folglich würden weiterhin 75 % der Flächen für die Nahrungsmittelproduktion zur Verfügung stehen.

Bei einer ausgewiesenen landwirtschaftlichen Nutzfläche von rund 1.332 ha im gesamten Betrachtungsgebiet stünden demnach rund 333 ha für den Anbau von Energiepflanzen zur Verfügung.

Durch einen wechselnden Anbau verschiedener Energiepflanzen ist das Ertragsspektrum sehr weit. Die Erträge sind von den jährlichen klimatischen Bedingungen sowie von der Art und dem Endprodukt der Pflanze abhängig.

Die Nutzungsmöglichkeiten dieser nachwachsenden Rohstoffe zur Energiewandlung sind ebenfalls sehr vielfältig. Eine Möglichkeit der energetischen Nutzung besteht beispielsweise in Biogasanlagen. Das durch sie erzeugte Biogas kann in sog. BHKW's effizient in Strom und Wärme umgewandelt werden.

Der prognostizierte **Biogasertrag** liegt bei ca. 6.600 m<sup>3</sup> pro Hektar. Somit ließe sich mit der zur Verfügung stehenden Fläche im Betrachtungsgebiet eine Energiemenge von ca.

**11.933 MWh pro Jahr** bereitstellen. *[Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung]*

→ Diese Biogasenergie kann z. B. in Blockheizkraftwerken in elektrische und thermische Energie umgewandelt werden, wodurch rund 4.773 MWh<sub>el</sub> und 5.370 MWh<sub>th</sub> bereitgestellt werden können (Grundlage:  $\eta_{th} = 0,45$ ;  $\eta_{el} = 0,40$ ). Bei einer durchschnittlichen Jahresbetriebszeit von 8.000 Stunden ergibt sich eine installierte elektrische Leistung von rund 597 kW.

### **Biogas aus Gülle**

Eine weitere Möglichkeit der energetischen Nutzung in der Landwirtschaft stellt der Reststoff „Gülle“ dar. Eine Großvieheinheit produziert ca. 15 Tonnen Gülle im Jahr. Mit einer Tonne Gülle können in Biogasanlagen ca. 20-30 m<sup>3</sup> Biogas erzeugt werden.

Unter der Voraussetzung, dass etwa 50 % der anfallenden Gülle als Input für Biogasanlagen genutzt werden, ergibt sich für das Betrachtungsgebiet derzeit ein Potential von rund 296 MWh/a an Biogas.

Diese Biogasenergie kann z. B. in Blockheizkraftwerken in elektrische und thermische Energie umgewandelt werden. Bei angenommenen Nutzungsgraden von  $\eta_{el} = 0,40$  und  $\eta_{th} = 0,45$  können somit 118 MWh<sub>el</sub> sowie 133 MWh<sub>th</sub> erzeugt werden. Bei einer durchschnittlichen Jahresbetriebszeit von 8.000 Stunden ergibt sich eine installierte elektrische Leistung von rund 15 kW. *[Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung]*

### **Biogas aus Bioabfällen**

Gemäß der Abfallbilanz Bayern des Landkreises Forchheim fallen jährlich pro Einwohner rund 93 kg Bioabfall an. Dies ergibt einen jährlichen Bioabfallanfall für die Stadt Forchheim von rund 2.848 Tonnen. Bei einem mittleren Biogasertrag von rund 100 m<sup>3</sup> pro Tonne Bioabfall könnten folglich rund 684 MWh<sub>el</sub> sowie 769 MWh<sub>th</sub> erzeugt werden. Bei einer durchschnittlichen Jahresbetriebszeit von 8.000 Stunden ergibt sich eine installierte elektrische Leistung von rund 85 kW. *[Quelle: Abfallbilanz Bayern]*

## Zusammenfassung

In der Stadt Forchheim steht ein Gesamtpotential an Energiepflanzen, Gülle und Bioabfälle zur Installation von Biogasanlagen von insgesamt rund 697 kW zur Verfügung. Das Gesamtpotential beinhaltet die energetische Verwertung von Energiepflanzen auf 25 % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche, der energetischen Nutzung von rund 50 % des gesamten Gülleanfalls im Betrachtungsgebiet und der Vergärung des gesamten Bioabfalles in der Stadt Forchheim.

**Tabelle 9: Zusammenfassung Biogaspotential**

<b>Potential an Biogas</b>	
<b>Energieträger</b>	
Energiepflanzen	11.933 MWh/a
Gülle	296 MWh/a
Bioabfall	1.709 MWh/a
<b>Elektrische Leistung BHKW</b>	<b>697 kW</b>
→ Stromproduktion gesamt	<b>5.575 MWh/a</b>
→ Wärmeproduktion gesamt	<b>6.272 MWh/a</b>
<b>Ist-Zustand:</b>	
installierte Leistung	<b>180 kW<sub>el</sub></b>
→ Stromproduktion	<b>1.509 MWh/a</b>
→ Wärmeproduktion	<b>1.698 MWh/a</b>

### Hinweis:

In der benachbarten Gemeinde Eggolsheim befindet sich eine Biomethananlage mit einer Jahresproduktion von rund 31.250 MWh Biomethan und einem Substrateinsatz von rund 37.000 t Frischmasse pro Jahr. Die Biomethananlage besitzt einen rechnerischen Einzugsradius von rund 6 km. Es wird für das Ausbaupotential an Biogas angenommen, dass die für den Anbau von Energiepflanzen verfügbaren landwirtschaftlichen Flächen im Stadtgebiet Forchheim somit bereits vollständig genutzt sind. Die Differenz aus dem berechneten Potential von rund 5.575 MWh<sub>el</sub> und der durch bestehende Anlagen erzeugte Strom aus Biogas von rund 1.509 MWh<sub>el</sub> kann aber theoretisch durch ein, im Stadtgebiet Forchheim installiertes, Biomethan-BHKW wieder dem Bilanzraum zugerechnet werden. Für dieses ergibt sich eine rechnerische Leistung von rund 500 kW<sub>el</sub> bei einer Laufzeit von 8.000 h/a.

## **5.4 Wasserkraft**

Im Rahmen dieses Energiekonzeptes konnte kein Potential im Bereich der Wasserkraft ermittelt werden.

## **5.5 Windkraft**

Im Rahmen dieses Energiekonzeptes konnte kein Potential im Bereich der Windkraft ermittelt werden.

## 5.6 Geothermie

Die Geothermie oder Erdwärme ist die im derzeit zugänglichen Teil der Erdkruste gespeicherte Wärme. Sie umfasst die in der Erde gespeicherte Energie, soweit sie entzogen werden kann. Sie kann sowohl direkt genutzt werden, etwa zum Heizen und Kühlen im Wärmemarkt, als auch zur Erzeugung von elektrischem Strom in einer Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage.

Grundsätzlich gibt es zwei Arten der Geothermienutzung

- oberflächennahe Geothermie bis ca. 400 Meter Tiefe zur Wärme- und Kältegewinnung (meist über Wärmepumpen in Verbindung mit Erdwärmesonden oder –kollektoren, die als Wärmetauscher genutzt werden) und
- tiefe Geothermie bis ca. 7 km Tiefe. In diesen Tiefen kann neben der Wärmeproduktion auch die Produktion von Strom über die sog. Kraft-Wärme-Kopplung wirtschaftlich interessant sein.

In Abbildung 17 sind die als wirtschaftlich erachteten, möglichen Gebiete für tiefe Geothermie im Bundesland Bayern dargestellt. Die blau gefärbte Fläche stellt Gebiete mit geologisch günstigen Verhältnissen für die energetische Nutzung von Erdwärme mittels tiefer Geothermie dar. Die gelb gefärbte Fläche stellt die Gebiete dar, die möglicherweise günstige geologische Verhältnisse für die energetische Nutzung von Erdwärme mittels Geothermie bieten. Allgemein lässt sich feststellen, dass das Betrachtungsgebiet in einem Gebiet liegt, in welcher Energieerzeugung aus tiefer Geothermie wirtschaftlich nicht realisierbar erscheint.

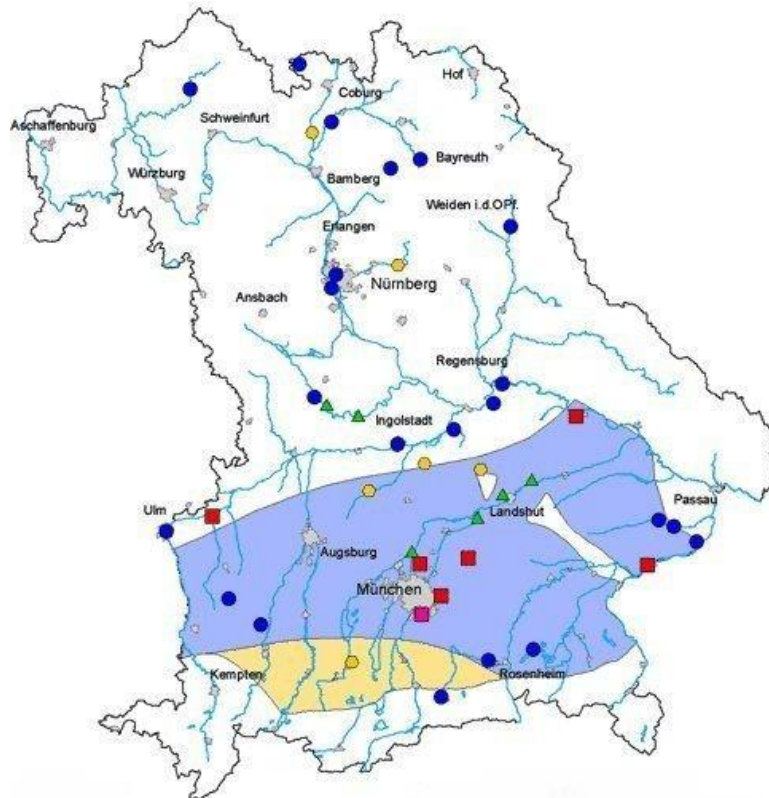


Abbildung 17: Das Geothermiepotential im Bundesland Bayern

[Quelle: [www.geothermieprojekte.de](http://www.geothermieprojekte.de)]

Die direkte Nutzung oberflächennaher Geothermie, in Form von Wärmepumpenheizung, ist in Deutschland schon weit verbreitet und verzeichnet hohe Zuwachsraten. Diese Technik findet überwiegend ihren Einsatz in kleinen und mittleren dezentralen Anlagen zur Bereitstellung von Wärmeenergie und Klimakälte. Zur Nutzung des niedrigen Temperaturniveaus, in Bayern zwischen 7°C und 12°C, steht ein vielfältiges Spektrum an Techniken zur Verfügung, um die im Untergrund vorhandene Energie nutzen zu können. Die wichtigsten hierbei sind:

- Erdwärmekollektoren
- Erdwärmesonden
- Grundwasser-Wärmepumpe
- Erdberührte Betonbauteile
- Thermische Untergrundspeicher

In nachfolgender Abbildung 18 sind die für oberflächennahe Geothermie günstigen Gebiete (grün eingefärbt) des Stadtgebietes Forchheim dargestellt.



**Abbildung 18: Übersicht über die zur oberflächennahen Geothermie günstigen Gebiete im Stadtgebiet Forchheim [Quelle: Energieatlas Bayern]**

Das Gesamtpotential an oberflächennaher Geothermie im Betrachtungsgebiet kann im Rahmen dieser Studie nur qualitativ aufgezeigt werden. Die oberflächennahe Geothermie könnte künftig jedoch einen erheblichen Beitrag zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen leisten, insbesondere dann, wenn der für den Betrieb der Wärmepumpen notwendige Stromeinsatz aus regenerativen Energieformen erfolgt.



## 5.7 Zusammenfassung

In nachfolgender Tabelle 10 ist der Ist-Zustand sowie das noch als realistisch anzusehende Zubaupotential der Erneuerbaren Energien in der Stadt Forchheim dargestellt. Das Potential an Geothermie, in diesem Fall die Nutzung der oberflächennahen Geothermie in Form von Wärmepumpen, kann nicht bewertet werden.

**Tabelle 10: Die Potentiale im Bereich der erneuerbaren Energien**

Potential Erneuerbarer Energien		Bestand		Gesamtpotential		Ausbaupotential	
		Endenergie elektrisch	Endenergie thermisch	Endenergie elektrisch	Endenergie thermisch	Endenergie elektrisch	Endenergie thermisch
		[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]
Photovoltaik	50% der geeigneten Dachfläche	5.538	-	19.708	-	14.169	-
Photovoltaik	Konversionsflächen; neben Bahntrassen	-	-	6.024	-	6.024	-
Solarthermie	30% WW-Deckung	-	2.466	-	5.145	-	2.679
Biomasse	Wald/Altholz/Nebenprod.	-	30.000	-	30.000*	-	-
Deponie		663	-	663	-	-	-
Biogas (Biomethan)		1.509	1.698	5.575	6.272	4.066	4.574
Windkraft		-	-	-	-	-	-
Wasserkraft		8.540	-	-	-	-	-
<b>Summe EE</b>		<b>16.251</b>	<b>34.164</b>	<b>31.970</b>	<b>41.417</b>	<b>24.260</b>	<b>7.253</b>

Berechnung IfE

\* 30.000 MWh ist die Nutzung im Bestand. Potential im Stadtebiet (territoriale Betrachtung) nur bei 10.700 MWh

Durch Umsetzung der realistischen Potentiale im Bereich der erneuerbaren Energien könnten zusätzlich jährlich rund 24.300 MWh elektrische Energie und rund 7.300 MWh thermische Energie bereitgestellt werden.

## 6 Gegenüberstellung der Endenergieverbrauchssituation und der CO<sub>2</sub>-Bilanz mit den Reduktionspotentialen

In diesem Kapitel wird der energetische Ist-Zustand im Betrachtungsgebiet einem Soll-Zustand im Jahr 2030 gegenübergestellt, welcher die vorher ermittelten möglichen Energieeffizienzsteigerungen in den einzelnen Verbrauchergruppen, bzw. das als realistisch zu betrachtende Potential für den Ausbau der Erneuerbaren Energien berücksichtigt. Die Gegenüberstellung soll die Grundlage zur Definition von ehrgeizigen, aber realisierbaren Klimaschutzzielen bieten, die zum einen durch eine Verbrauchsreduzierung, zum anderen durch die Substitution fossiler Energieträger durch regenerative Energieträger erreicht werden können.

### 6.1 Strom

In Abbildung 19 ist die elektrische Endenergieverbrauchssituation in der Stadt Forchheim im Ist-Zustand und dem Jahr 2030 gegenübergestellt.

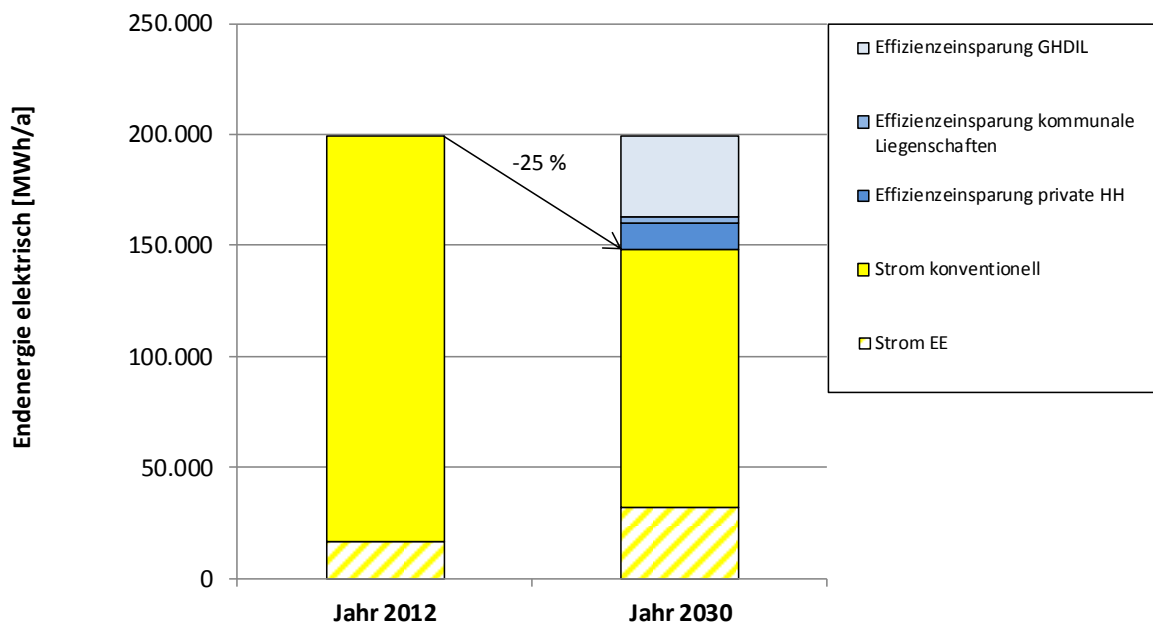


Abbildung 19: Gegenüberstellung des elektrischen Endenergiebedarfs Ist – Ziel 2030

Derzeit werden von allen aufgeführten Verbrauchergruppen insgesamt jährlich ca. 198.984 MWh elektrische Endenergie verbraucht. Die Bereitstellung an elektrischer Energie aus erneuerbaren Energieträgern (Photovoltaik, Biomasse-KWK, etc.), welche im Betrachtungsgebiet bereits erzeugt wird, entspricht einem Anteil von rund 8 % am Gesamtverbrauch.

Bei einer Umsetzung der im Kapitel 4 ermittelten Effizienzsteigerungspotentiale in den einzelnen Verbrauchergruppen, die sich in Summe auf eine Einsparung von jährlich rund 50.674 MWh Endenergie beziffern, ergibt sich eine mittlere Gesamteffizienzsteigerung von rund 25 % im Bereich der elektrischen Energie.

Unter der Berücksichtigung der beschriebenen Einsparpotentiale sowie dem Ausbaupotential an erneuerbaren Energien verbleibt ein Restbedarf von rund 116.340 MWh elektrischer Endenergie pro Jahr bestehen, der weiterhin durch konventionelle Energieträger gedeckt werden muss.

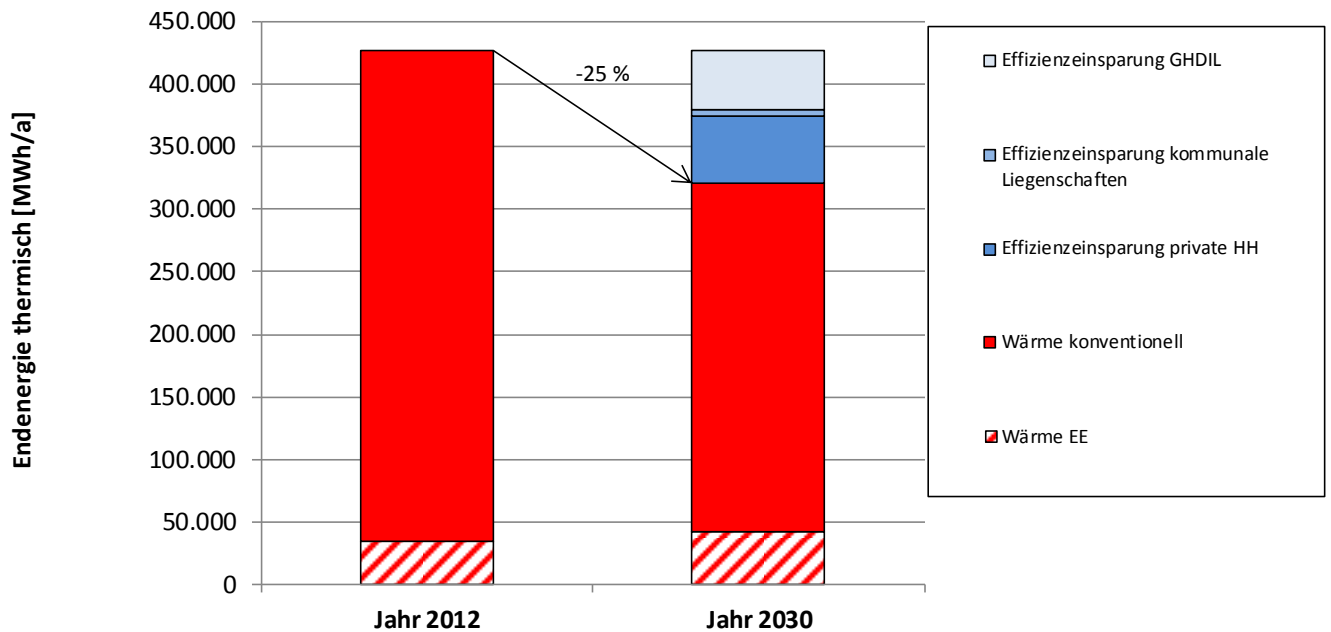
#### Hinweis:

Die Effizienzsteigerung im Bereich GHDIL wurde anhand von charakteristischen Durchschnittswerten berechnet. Das tatsächliche Einsparpotential kann folglich deutlich variieren.

Durch das Ausbaupotential im Bereich der erneuerbaren Energien könnten nach Umsetzung aller Maßnahmen und der kompletten Ausschöpfung der dargestellten Potentiale zusätzlich rund 24.300 MWh an elektrischer Energie bereitgestellt werden

## 6.2 Wärme

In **Abbildung 20** ist die thermische Endenergieverbrauchssituation in der Stadt Forchheim im Ist-Zustand und dem Jahr 2030 gegenübergestellt.



**Abbildung 20: Gegenüberstellung des thermischen Endenergiebedarfs Ist – Ziel 2030**

Derzeit werden jährlich ca. 425.860 MWh Endenergie für Heizwärme in privaten Haushalten und kommunalen Liegenschaften sowie für Heiz- und Prozesswärme in den Gewerbe- und Industriebetrieben verbraucht. Der Anteil erneuerbarer Energieträger am Verbrauch im Ist-Zustand beläuft sich auf rund 8 %.

Ein erhebliches Potential an möglichen Einsparmaßnahmen bietet der Bereich Raumwärme in den privaten Haushalten sowie der Einsparung an Heizenergie für Raum- und Prozesswärme in der Industrie. Eine Sanierung der kommunalen Liegenschaften hat zwar nur geringen Einfluss auf die Gesamtbilanz, dient jedoch als wichtige Vorbildfunktion und Anregung der anderen Verbrauchergruppen. Gemessen am thermischen Gesamtendenergieverbrauch kann in Summe ein Anteil von rund 25 % eingespart werden.

Weiteres Potential ist durch den Ausbau der erneuerbaren Energien gegeben. Mit dem Ausbau an Solarthermieflächen zur Deckung von 30 % des Gesamtwärmebedarfs für Warmwasser und dem Ausbau der Biomassenutzung aus landwirtschaftlichen Flächen (dargestellt als Kraft-Wärme-Kopplung aus Biomethan) lässt sich die thermische Endenergiebereitstellung im Zieljahr 2030 zu 13 % aus heimischen erneuerbaren Energien decken.

Unter der Berücksichtigung der beschriebenen Einsparpotentiale sowie dem Ausbaupotential an erneuerbaren Energien verbleibt ein Restbedarf von rund 278.353 MWh thermischer Endenergie pro Jahr bestehen, der weiterhin durch konventionelle Energieträger bzw. durch den Zukauf Erneuerbarer Energien (z.B. Biomethan, Biomasse) von außerhalb des Betrachtungsgebietes gedeckt werden muss.

### 6.3 Die CO<sub>2</sub>-Minderungspotentiale

Nach den in den vorangegangenen Kapiteln ermittelten Energie-Minderungspotentialen in den einzelnen Verbrauchergruppen, zum einen durch die Endenergieeinsparung – durch Wärmedämmmaßnahmen und diversen Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz – sowie zum anderen durch die Substitution fossiler Energieträger durch den Ausbau Erneuerbarer Energieträger, kann zusammenfassend das Gesamtminderungspotential dargestellt werden.

In Abbildung 21 ist ausgehend vom ermittelten CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Ist-Zustand in Höhe von rund 206.712 Tonnen pro Jahr das CO<sub>2</sub>-Minderungspotential durch die Umsetzung der vorgeschlagenen Effizienzsteigerungsmaßnahmen (Energieeinsparung) sowie das Minderungspotential durch den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energieträger dargestellt.

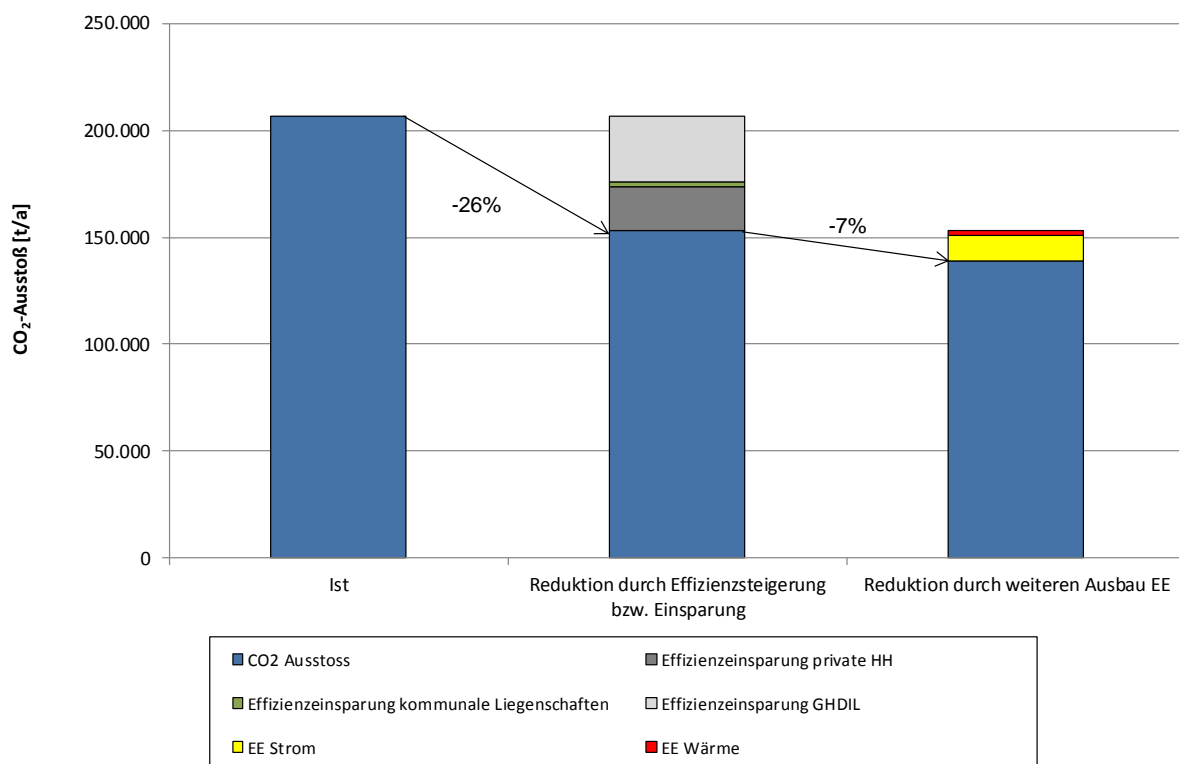


Abbildung 21: Die CO<sub>2</sub>-Minderungspotentiale in der Stadt Forchheim

Durch die diversen bereits beschriebenen Effizienzsteigerungs- und Einsparmaßnahmen könnte der CO<sub>2</sub>-Ausstoß in Summe um ca. 53.640 Tonnen im Jahr reduziert werden. In den einzelnen Verbrauchergruppen könnten die Privaten Haushalte eine Reduktion von 20.664 t/a, die kommunalen und öffentlichen Gebäude eine Reduktion in Höhe von 2.313 t/a sowie der Sektor GHDIL eine Reduktion von 30.663 t/a dazu beitragen. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß kann dadurch um 26 % gegenüber dem derzeitigen Ausstoß gesenkt werden.

#### Hinweis:

Es muss hierbei nochmals erwähnt werden, dass die Effizienzsteigerung im Bereich GHDIL anhand von charakteristischen Durchschnittswerten berechnet wurde. Das tatsächliche Einsparpotential kann folglich deutlich variieren.

Das gesamte Ausbaupotential an elektrischer Energie aus Erneuerbaren Energien wird mit ca. 24.260 MWh/a ausgewiesen, wodurch sich ein CO<sub>2</sub>-Minderungspotential von rund 11.976 Tonnen pro Jahr ergibt.

Weitere 1.975 Tonnen CO<sub>2</sub> lassen sich durch den Ausbau erneuerbarer Energien im Bereich der thermischen Nutzung einsparen, wobei jährlich weitere 7.253 MWh Endenergie aus heimischen Rohstoffen genutzt werden können.

Das CO<sub>2</sub>-Gesamteinsparpotential durch die konsequente Realisierung der beschriebenen Potentiale im Bereich der Erneuerbaren Energien liegt demzufolge bei ca. 7 %.

- ➔ **Unter der Ausnutzung sämtlicher dargestellter Minderungspotentiale kann der CO<sub>2</sub>-Ausstoß von derzeit rund 206.712 Tonnen/Jahr auf 139.121 Tonnen/Jahr im Zieljahr 2030 reduziert werden, was einer Einsparung von rund 33 % entspricht**
- ➔ **Der Pro-Kopf-Ausstoß könnte folglich von aktuell rund 6,8 Tonnen/Einwohner auf rund 4,5 Tonnen pro Einwohner gesenkt werden (ohne Verkehr)**



## 6.4 Die Entwicklungsszenarien in der Stadt Forchheim

Im Rahmen dieser Studie wird unter anderem untersucht, inwieweit eine bilanziell autarke Energieversorgung in der Stadt Forchheim mithilfe der Substitution fossiler Energieträger, der Steigerung der Energieeffizienz und dem Einsatz erneuerbarer Energien bis zum Jahr 2030 möglich ist.

Grundsätzlich bedeutet Energieautarkie, dass die Summe aller Energieverbräuche innerhalb bestimmter Systemgrenzen gleich der Summe aller Energiequellen innerhalb dieser Systemgrenzen ist. Der Begriff ist somit zunächst ein rein mathematischer.

„Energieautarkie ist das Bestreben einer Gemeinde oder Region, die Energieversorgung in den Bereichen Wärme und Strom von Importen sowie von fossiler Energie weitgehend unabhängig zu machen. Energieautarkie ist nicht als Abkapselung nach außen zu verstehen, sondern besteht in der optimalen und effizienten Nutzung der vorhandenen lokalen Potentiale und Ressourcen an erneuerbaren Energien“ [[www.klimaaktiv.at/energieautarkie](http://www.klimaaktiv.at/energieautarkie)]

Für die Ausarbeitung von Handlungsempfehlungen und die Abschätzung ob, wann und wie eine bilanzielle Energieautarkie im Stadtgebiet Forchheim zu erreichen ist, wird auf die in den Kapiteln 4 und 5 ausgearbeitete Potentialberechnung zurückgegriffen. Diese stellt das Potential dar, das aus technischer, rechtlicher und ökologischer Sicht unter den im Jahr 2012 geltenden Bedingungen erschließbar ist.

Die ermittelten Werte des Bestandes an erneuerbaren Energien für die Stadt Forchheim sind die Ausgangsdaten für die Fortschreibung. Dabei wird nicht jede Technologie einzeln fortgeschrieben, sondern die Summen von Strom und Wärme genutzt. Die Datenberechnung erfolgt für die Jahre 2012, 2021 und dem Zieljahr 2030.

Das Ergebnis des fortgeschriebenen Bestandes und des maximalen Energiepotentials aus Sicht des Jahres 2012 wird mit dem Energiebedarf an Strom und Wärme verglichen. Hierbei wird davon ausgegangen, dass im Zieljahr 2030 der notwendige Energiebedarf zu 100 % aus erneuerbaren Energien gedeckt wird.

In Abbildung 22 ist der gesamte Strombedarf in der Stadt Forchheim für die einzelnen Jahre dargestellt. Durch Effizienzsteigerung und den Umstieg auf moderne Technologien (z.B. LED-Technologie) kann der Bedarf an elektrischer Energie von aktuell rund 198.984 MWh auf rund 148.834 MWh im Jahr 2030 gesenkt werden. Zudem wird die elektrische Endenergie aus Erneuerbaren Energieträgern dargestellt (rote Linie), welche im Zieljahr 2030 die komplette Stromversorgung darstellen soll. Die grüne Linie zeigt das Gesamtpotential an Strom aus Erneuerbaren Energien im Stadtgebiet, welches aus technischer, rechtlicher und ökologischer Sicht als realistisch umsetzbar angesehen wird.

Das ermittelte Strompotential aus heutiger Sicht wird bei beständigem Ausbau der Nutzung in den nächsten Jahren erschlossen sein. Unter der Berücksichtigung der beschriebenen Einsparpotentiale sowie dem Ausbaupotential an erneuerbaren Energien verbleibt im Jahr 2030 ein Restbedarf von rund 116.865 MWh an elektrischer Endenergie pro Jahr bestehen, welcher z.B. durch Energiehandel an der Strombörse gedeckt werden muss.

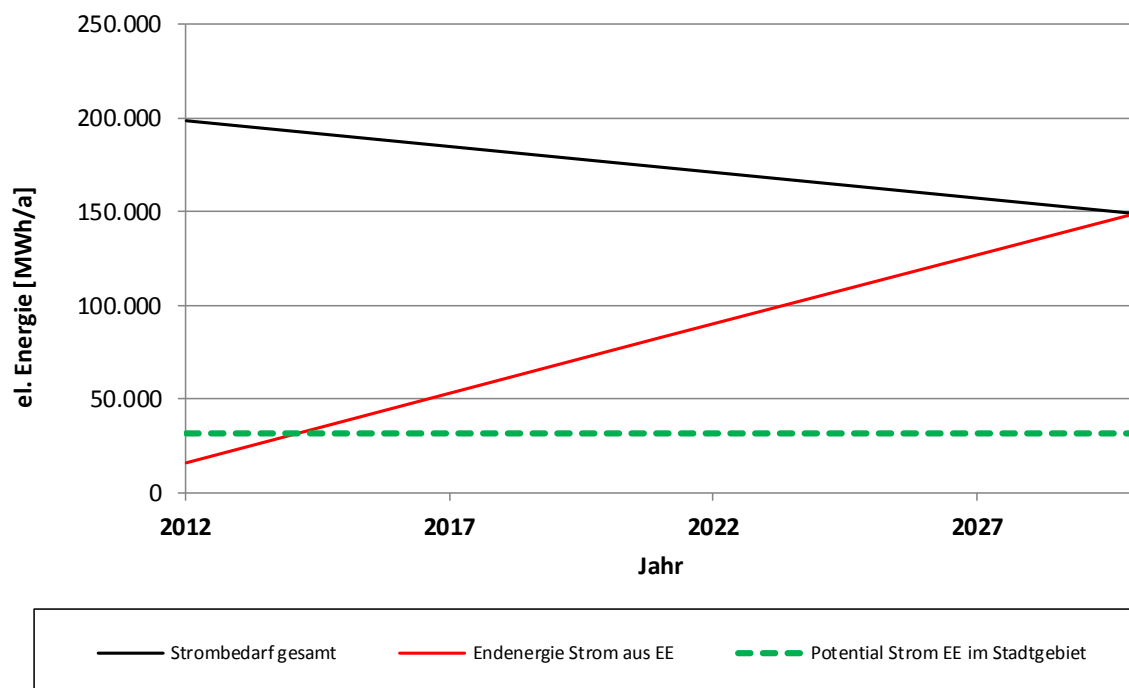


Abbildung 22: Entwicklung des elektrischen Energiebedarfes und –potentials

In Abbildung 23 ist der gesamte Wärmebedarf im Stadtgebiet Forchheim für die einzelnen Jahre dargestellt. Durch Wärmedämmmaßnahmen und Effizienzsteigerung kann der Wärmebedarf von aktuell rund 425.860 MWh auf rund 319.770 MWh im Jahr 2030 gesenkt werden. Zudem wird die thermische Endenergie aus Erneuerbaren Energieträgern dargestellt (rote Linie), welche im Zieljahr 2030 die komplette Wärmeversorgung darstellen soll. Die grüne Linie zeigt das Wärmepotential aus Erneuerbaren Energien im Stadtgebiet, welche aus technischer, rechtlicher und ökologischer Sicht als realistisch umsetzbar angesehen wird.

Das ermittelte Wärmepotential aus heutiger Sicht wird bei beständigem Ausbau der Nutzung in den nächsten Jahren erschlossen sein. Unter der Berücksichtigung der beschriebenen Einsparpotentiale sowie dem Ausbaupotential an erneuerbaren Energien verbleibt im Jahr 2030 ein Restbedarf von rund 278.353 MWh an thermischer Endenergie pro Jahr bestehen.

Ein weiterer Ausbau des eigenen Anteils an Erneuerbaren Energien im Wärmebereich ist jedoch z.B. durch eine stärkere Nutzung von oberflächennaher Geothermie oder der Abwärmenutzung insbesondere größerer Industriebetriebe möglich. Zudem sollte der Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung, wenn ökologisch und ökonomisch sinnvoll einsetzbar, weiter forciert werden. Zudem besteht die Möglichkeit, den übrigen Wärmebedarf z.B. durch den Zukauf von Biomethan, Biomasse etc. von außerhalb des Gemeindegebietes zu decken.

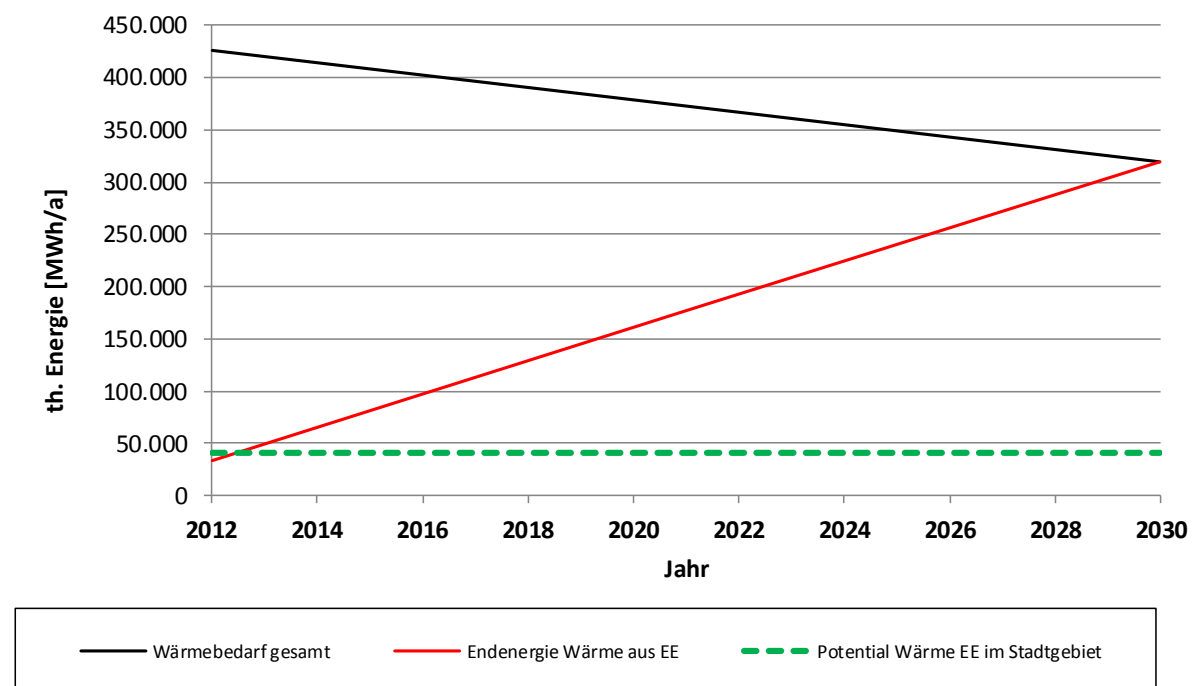


Abbildung 23: Entwicklung des thermischen Energieverbrauchs und –potentials

## 7 Ausarbeitung von Detailmaßnahmen

### 7.1 Straßenbeleuchtung

Die Straßenbeleuchtung soll in Forchheim kostengünstig erneuert und umgebaut werden, mit dem Ziel einer Absenkung des Energieverbrauchs und der damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Reduzierung.

Dazu werden in der folgenden Potentialanalyse die mögliche CO<sub>2</sub>-Einsparung sowie die wirtschaftlichen Auswirkungen durch eine Umrüstung der bestehenden Leuchten ermittelt. Grundlage bildet eine von der Stadt Forchheim zur Verfügung gestellte umfangreiche straßenzugsweise Datenerfassung der Bestandsanlagen. Die mechanische Prüfung der Masten auf Standsicherheit und eine Überprüfung des Zustandes der elektrischen Anlagenteile jeder Leuchte bilden weitere Kriterien zur Erstellung einer Prioritätenliste. Diese, auf Grundlage der Potentialanalyse, der mechanischen und elektrischen Bewertung erstellte, Prioritätenliste bildet wiederum die Grundlage für einen konkreten Sanierungsfahrplan.

Nach Auswertung der Bestandsdaten sind im Stadtgebiet Forchheim bei 382 Straßenzüge insgesamt 6.852 Leuchtmittel (Stand: Juli 2014) installiert. Eine detaillierte Aufstellung der Straßenbeleuchtung im Ist-Zustand ist in Tabelle 11 aufgeführt.

**Tabelle 11: Die Straßenbeleuchtung im Ist-Zustand in der Stadt Forchheim**

[Quelle: Stadtwerke Forchheim]

Bezeichnung	Anzahl	Kategorie	Bezeichnung	Anzahl	Kategorie
Dulux EL ?	6		LED	118	LED
HIE 70W	18	Metaldampf	T 26 16W	6	Leuchtstoffröhre
HIT Uvr 70W/830	8	Metaldampf	T26 18 W	40	Leuchtstoffröhre
HIT-DE 150W	14	Metaldampf	T26 36W	574	Leuchtstoffröhre
HM E 50W	518	Quecksilberdampf	T26 58W	1145	Leuchtstoffröhre
HM E 80W	1214	Quecksilberdampf	T38-Us 40W (36W)	1236	Leuchtstoffröhre
HM E 125W	157	Quecksilberdampf	T38-U 65W ( 58W)	149	Leuchtstoffröhre
HM E 150W	3	Quecksilberdampf	TC-L 40W	29	Leuchtstoffröhre
HM E 250W	10	Quecksilberdampf	TCS 9W	72	Leuchtstoffröhre
HS E 50W	63	Natriumdampf	TCS 36W	21	Leuchtstoffröhre
HS E 70W	343	Natriumdampf	TC-SEL 11W	518	Leuchtstoffröhre
HS E 150W	109	Natriumdampf	TC-TSE 15W	56	Leuchtstoffröhre
HS E 250W	40	Natriumdampf	Unbekannt	16	
HS T 50W	77	Natriumdampf			
HS T 70W	186	Natriumdampf			
HS T 100W	45	Natriumdampf			
HS T 150W	10	Natriumdampf			
HS T 250W	43	Natriumdampf			
HS T 400W	8	Natriumdampf			
			<b>Gesamt</b>	<b>6852</b>	



Als Ergebnis geht eine, von den Einsparpotentialen abhängige Prioritätenliste, für die Lampentypen Quecksilberdampfhochdrucklampen, Natriumdampfhochdrucklampen sowie Leuchtstoff-röhren hervor. Die Darstellung der Umrüstung auf LED-Technik erfolgt durch eine konkrete Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, bei der die folgenden Annahmen zu Grunde gelegt werden:

- Es werden die reinen Umrüstungskosten der Lampen sowie die Montagekosten berücksichtigt
- Die Kosten im IST-Zustand enthalten die reinen Stromkosten ohne jährlichen Wartungsaufwand
- Stromkosten: 20 Cent/kWh
- Betrachtungszeitraum: 20 Jahre
- Ein möglicherweise notwendiger Austausch der Masten ist darin nicht enthalten

Im Anschluss an den Energienutzungsplan ist eine straßenweise Aufbereitung und Priorisierung der Daten angedacht, bei der auch der Zustand des Mastes Beachtung findet. Unter Einbindung der elektrischen und mechanischen Prüfung der Straßenbeleuchtung ist somit eine detaillierte Definition von priorisierten Bereichen möglich, welche vorrangig ausgetauscht werden sollten.

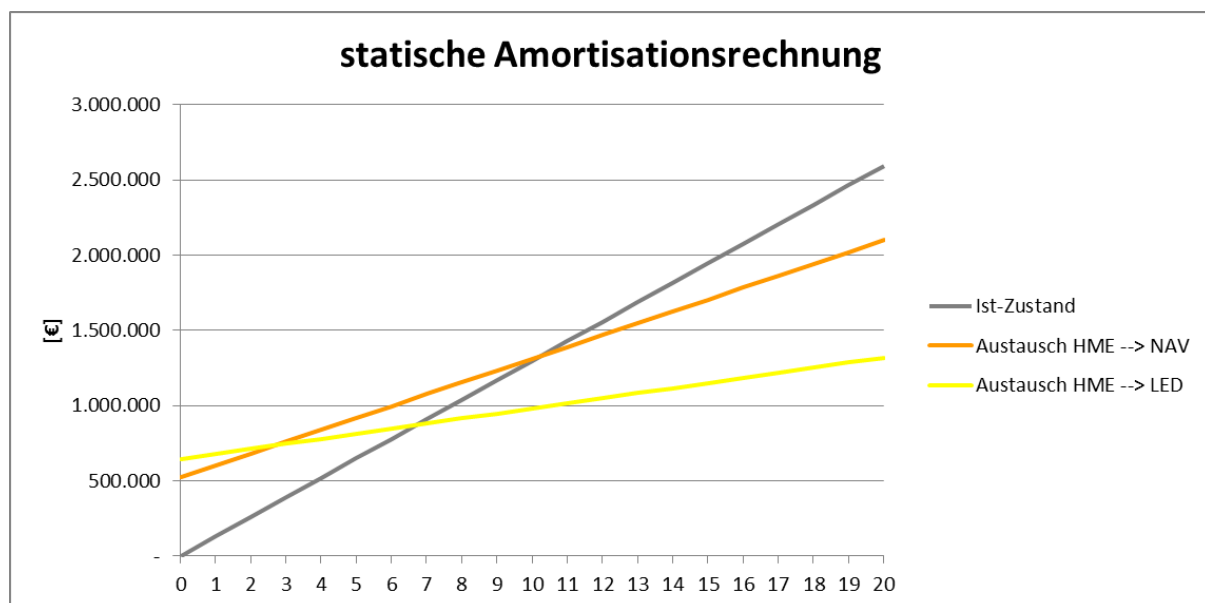
Die Prioritätenliste zur Umrüstung von Quecksilberdampfhochdrucklampen ist in Tabelle 12 dargestellt.

**Tabelle 12: Prioritätenliste Quecksilberdampflampen**  
[Quelle: Stadtwerke Forchheim]

Bezeichnung [-]	Leistung Lampe [W]	Leistung Vorschaltgerät [W]	Anzahl [Stück]	Stromverbrauch [kWh/a]
HM E 50W	50	9,0	518	123.776
HM E 80W	80	9,0	1.214	437.586
HM E 125W	125	12,0	157	87.111
<b>Gesamt</b>			<b>1.889</b>	<b>648.474</b>

Durch Austausch der Quecksilberdampfhochdrucklampen auf Natriumdampfhochdrucklampen kann der Stromverbrauch um 39% bzw. rund 255 MWh gesenkt werden. Bei Umrüstung auf LED-Technik ist eine Einsparung in Höhe von 74% möglich, was rund 480 MWh an elektrischer Energie entspricht.

In Abbildung 24 sind die resultierenden Amortisationszeiten über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren dargestellt.



**Abbildung 24: Statische Amortisationsrechnung Quecksilberdampfhochdrucklampen [Eigene Berechnungen]**

Aus Abbildung 24 wird ersichtlich, dass sich die Umrüstung von Quecksilberdampfhochdrucklampen auf LED-Technik nach rund 7-8 Jahren amortisiert hat.

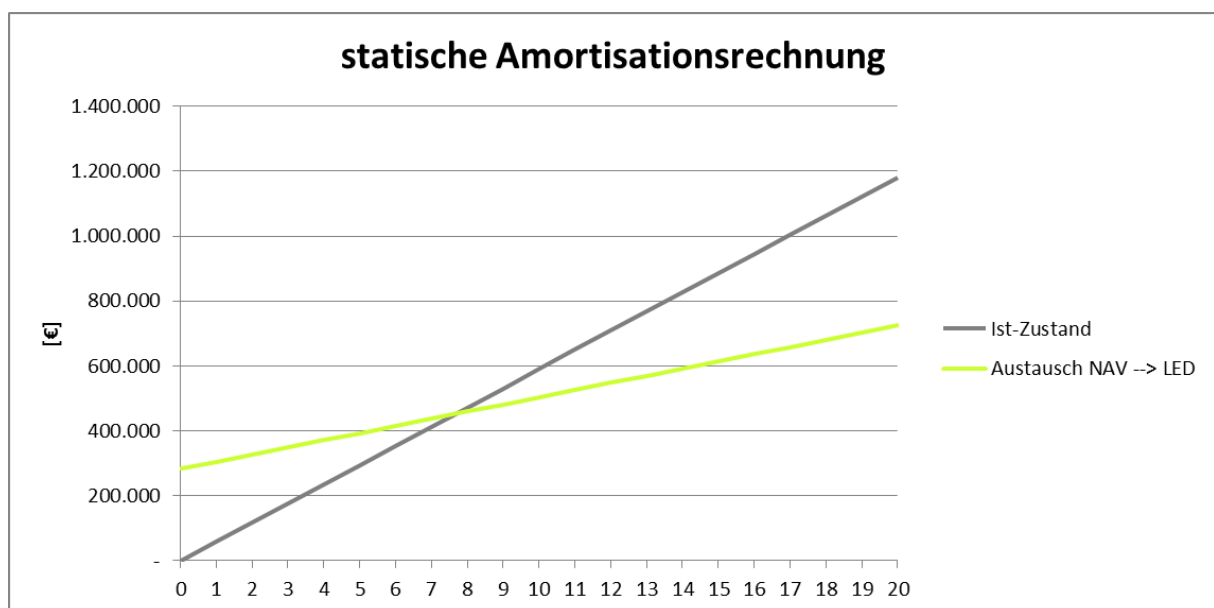
Die Prioritätenliste zur Umrüstung von Natriumdampfhochdrucklampen ist in Tabelle 13 dargestellt.

**Tabelle 13: Prioritätenliste Natriumhochdruckdampflampen**  
[Quelle: Stadtwerke Forchheim]

Bezeichnung [-]	Leistung Lampe [W]	Leistung Vorschaltgerät [W]	Anzahl [Stück]	Stromverbrauch [kWh/a]
HS E 50W	50	12,0	140	35.154
HS E 70W	70	13,0	529	177.823
HS E 150W	125	20,0	119	81.932
<b>Gesamt</b>			<b>788</b>	<b>294.909</b>

Bei Umrüstung auf LED-Technik ist eine Stromeinsparung in Höhe von 63% bzw. rund 184 MWh möglich, was einer CO<sub>2</sub>-Einsparung in Höhe von 104 Tonnen pro Jahr entspricht.

In Abbildung 25 sind die resultierenden Amortisationszeiten über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren dargestellt.



**Abbildung 25: Statische Amortisationsrechnung Natriumdampfhochdrucklampen [Eigene Berechnungen]**

Aus Abbildung 25 wird ersichtlich, dass sich die Umrüstung von Natriumdampfhochdrucklampen auf LED-Technik nach rund 8-9 Jahren amortisiert hat.



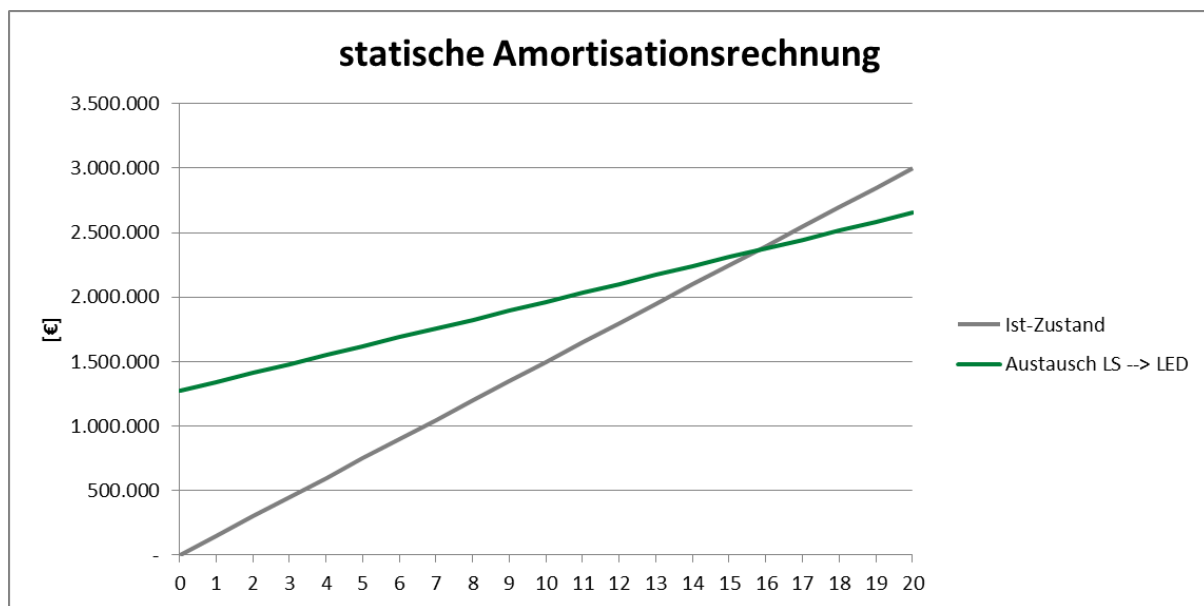
Die Prioritätenliste zur Umrüstung von Leuchtstoffröhren ist in Tabelle 14 dargestellt.

**Tabelle 14: Prioritätenliste Leuchtstoffröhren**  
[Quelle: Stadtwerke Forchheim]

Bezeichnung [-]	Leistung Lampe [W]	Leistung Vorschaltgerät [W]	Anzahl [Stück]	Stromverbrauch [kWh/a]
TC-SEL 11W	36	10,0	1.810	337.203
T26/T38 36W	56	15,0	1.294	372.090
T26/T38 58W	11	8,0	518	39.860
<b>Gesamt</b>			<b>3.622</b>	<b>749.153</b>

Bei Umrüstung auf LED-Technik ist eine Stromeinsparung in Höhe von 54% bzw. rund 404 MWh möglich, was einer CO<sub>2</sub>-Einsparung in Höhe von 229 Tonnen pro Jahr entspricht.

In Abbildung 26 sind die resultierenden Amortisationszeiten über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren dargestellt.



**Abbildung 26: Statische Amortisationsrechnung Leuchtstoffröhren [Eigene Berechnungen]**

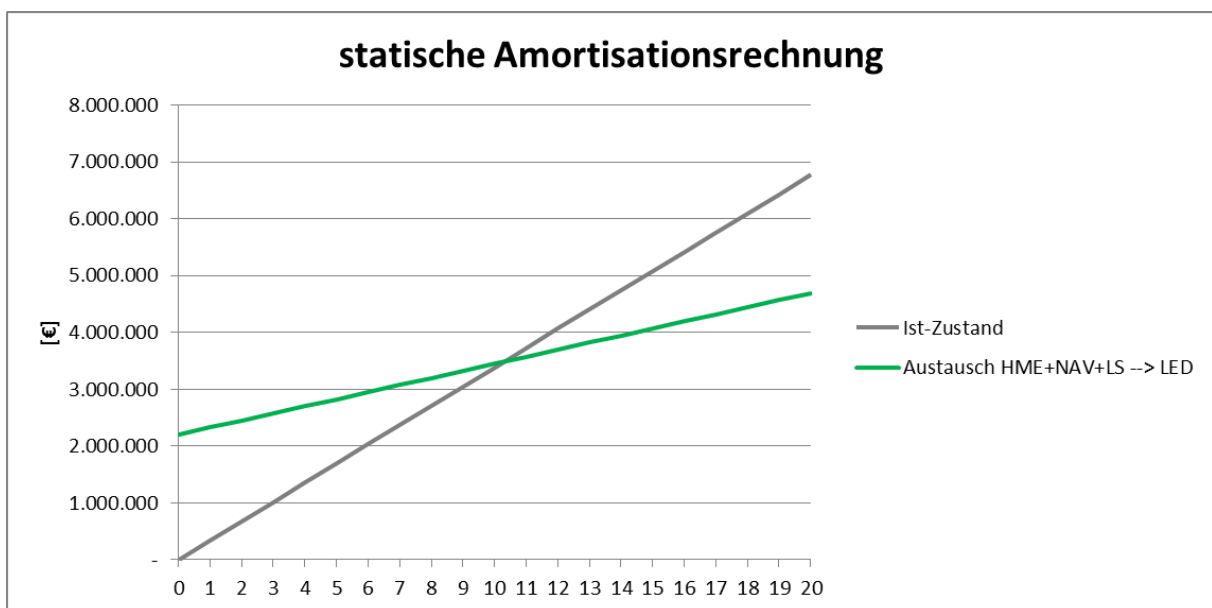
Aus Abbildung 26 wird ersichtlich, dass sich die Umrüstung von Leuchtstoffröhren auf LED-Technik nach rund 15-16 Jahren amortisiert hat.

**Zusammenfassung:**

Mit der von der Stadt Forchheim zur Verfügung gestellten umfangreichen Datengrundlage war es möglich eine detaillierte Analyse der energetischen und finanziellen Einsparpotentiale im Sektor der Straßenbeleuchtung zu erstellen.

Durch Umsetzung aller Prioritätenlisten ist im Stadtgebiet Forchheim eine Stromeinsparung in Höhe von 63 % bzw. 1.069 MWh möglich. Somit können 605 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr eingespart werden.

Aus Abbildung 27 wird ersichtlich, dass sich die Investitionen der LED-Umrüstung nach 10-11 Jahren bezahlt machen.



**Abbildung 27: Statische Amortisationsrechnung Natriumdampfhochdrucklampen [Eigene Berechnungen]**

## 7.2 Sanierung Wohngebäude

Im Rahmen der Erstellung des Energienutzungsplanes für die Stadt Forchheim wurde eine wirtschaftliche Betrachtung energetischer Sanierungen von Wohngebäuden erstellt. Dazu werden, in Anlehnung an die EnEV, für unterschiedliche Baualtersklassen jeweils zwei typische Bauformen von Wohngebäuden herangezogen und die durch Sanierungsmaßnahmen an der wärmeübertragenden Gebäudehülle erzielbare Einsparung an Heizenergie berechnet.

Gebäudetyp 1: zwei Vollgeschosse (EG & 1.OG), Keller und Dachboden unbeheizt

Gebäudetyp 2: ein Vollgeschoss + Dachausbau, Keller unbeheizt

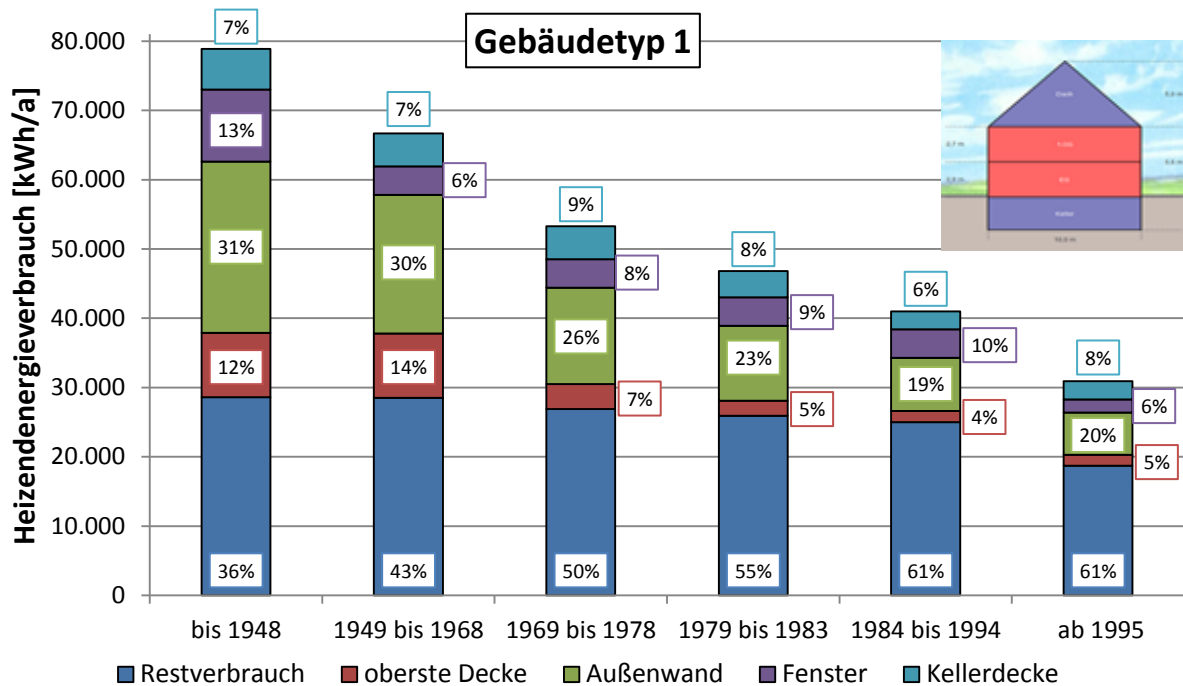
Um eine für Forchheim „individuell“ passende Betrachtung zu erstellen, werden zusätzlich ein typisches Reihenhaus am John-F.-Kennedy-Ring und ein typisches Wohnhaus aus dem Gebiet Lichteneiche detailliert betrachtet.

Insgesamt stammen rund 75 % des Forchheimer Wohnungsbestandes aus für energetische Sanierungen relevanten Baujahren (vor 1983). Bei einer entsprechenden Sanierungsrate lässt sich der thermische Energieverbrauch im Stadtgebiet merklich senken (siehe 4.3). Die ermittelten Einsparpotentiale an Heizenergie und die anschließende wirtschaftliche Betrachtung sollen den Eigentümern von Wohngebäuden als Orientierungshilfe bei der Planung zukünftiger Sanierungsmaßnahmen dienen.

Um die Güte der wärmeübertragenden Hüllfläche des jeweiligen Gebäudes möglichst genau abzubilden, wird eine Einteilung in folgende Baualtersklassen (BAK) vorgenommen:

Baualtersklasse I	bis 1948
Baualtersklasse II	1949 bis 1968
Baualtersklasse III	1969 bis 1978
Baualtersklasse IV	1979 bis 1983
Baualtersklasse V	1984 bis 1994
Baualtersklasse VI	ab 1995

Abbildung 28 zeigt exemplarisch die Einsparpotentiale von energetischen Sanierungsmaßnahmen bei Gebäudetyp 1 für die verschiedenen Bauteile der wärmeübertragenden Hüllfläche in der jeweiligen Baualtersklasse. Der angegebene jährliche Heizendenergieverbrauch für Beheizung und Warmwasser errechnet sich nach den Vorgaben der EnEV.



**Abbildung 28: Die Einsparpotentiale bei Gebäudetyp 1 [eigene Berechnungen]**

Mit den in Abbildung 28 angegebenen prozentualen Einsparpotentialen können Eigentümer anhand des tatsächlichen Verbrauchs des Gebäudes die zu Erwartende Heizenergieeinsparung abschätzen und über die Wirtschaftlichkeit einer Sanierung entscheiden.

Auf eine Darstellung für die weiteren untersuchten Gebäude wird in diesem Bericht verzichtet. Die genauen Angaben sind den gesonderten Berichten im Anhang zu entnehmen.

## **Zusammenfassung der Ergebnisse**

Die Empfehlungen zur Durchführung von Sanierungsmaßnahmen werden entsprechend den sich jeweils ergebenden Amortisationszeiten in kurzfristige (unter 10 Jahre), in mittelfristige (zwischen 10 und 20 Jahre) und langfristige Maßnahmen (zwischen 20 und 30 Jahre) eingeteilt. Die Amortisationszeiten gelten für einen einwandfreien Zustand der jeweiligen Bauteile und beziehen sich auf einen Wärmepreis von 9 Cent/kWh. Die Amortisationszeiten der Maßnahmen bei beschädigten Dämmungen oder undichten Fenstern liegen wesentlich niedriger. Die Ergebnisse der Sanierungsbetrachtung der vorgestellten Gebäudetypen in verschiedenen Baualtersklassen lassen für die Sanierungsmaßnahmen folgende Schlüsse zu:

### **Dämmung der obersten Geschossdecke (massive Bauweise bei Gebäudety 1)**

Bei den vor 1968 erstellten Gebäuden ist von einer kurzfristigen Amortisation auszugehen. Ab Baujahr 1969 ergeben sich schon langfristige Amortisationszeiten. Die Durchführung der Maßnahme wird deshalb vor allem für vor 1969 erstellte Gebäude empfohlen. Bei jüngeren Gebäuden ist es ratsam, eine Vor-Ort-Beratung durch einen Sachverständigen durchführen zu lassen.

### **Dämmung der Dachflächen und der in Holzbauweise erstellten obersten Geschossdecke (Gebäudety 2, Reihenhaus & Wohnhaus Lichteneiche)**

Für bis 1968 erbaute Gebäude ergeben sich kurzfristige, für die zwischen 1969 und 1983 erstellten Gebäude mittelfristige Amortisationszeiten. Die Möglichkeit zur Durchführung der Maßnahme sollte deshalb für vor 1983 erstellte Gebäude überprüft werden.

### **Dämmung der Außenwände**

Die Maßnahme amortisiert sich bei bis zum Jahr 1978 erstellten Gebäuden in einem vertretbaren Rahmen. Die Montage eines Wärmedämmverbundsystems sollte deshalb bis zu Baualtersklasse III (1969 bis 1978) in Erwägung gezogen werden.

## **Fenstertausch**

Ein Austausch amortisiert sich bei einem einwandfreien Zustand der Bestandsfenster nur bei den einfach verglasten Holzfenstern der Baualtersklasse I. Haben die Bestandsfenster bis Baualtersklasse V (1984 bis 1994) einen Alu- oder Stahlrahmen, und somit einen mit  $4,3 \text{ W/m}^2\text{K}$  weit höheren U-Wert als die hier angesetzten Fenster mit Holzrahmen, ist eher von einer Amortisationszeit in wirtschaftlichem Rahmen auszugehen.

Die Bestandsfenster eines Gebäudes sollten jedoch nicht allein über ihren U-Wert, sondern viel mehr nach ihrem Zustand in Bezug auf Dichtheit beurteilt werden. Bei undichten Fenstern sind die Amortisationszeiten kürzer als in den jeweiligen Tabellen angegeben. Ferner ist vor allem bei bis zum Jahr 1968 erstellten Gebäuden darauf zu achten, dass bei einem Tausch der U-Wert des neuen Fensters den der Außenwand nicht unterschreitet. Deshalb sollte bei Gebäuden dieser Baualtersklasse bei einem Fenstertausch auch immer die Möglichkeit zur Montage eines Wärmedämmverbundsystems in Erwägung gezogen werden.

Nach einem Fenstertausch ist auf einen ausreichenden Luftwechsel zu achten. Eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung kann helfen, Schäden durch nicht ausreichendes Lüften zu vermeiden.

## **Dämmung der Kellerdecke**

Die Dämmung der Unterseiten der Decken von unbeheizten Kellerräumen stellt vor allem bei bis ins Jahr 1983 erbauten Wohngebäuden eine sinnvolle Möglichkeit zur Reduzierung des Heizenergieverbrauchs dar. Bei nach 1983 errichteten Gebäuden amortisiert sich die Maßnahme immer noch in einem langfristigen Rahmen von 20 bis 25 Jahren.

## **Heizungsanlage**

Generell sollten Heizkessel ab einem Alter von mehr als 20 Jahren ausgetauscht werden. Die Durchführung des hydraulischen Abgleich der Heizungsanlage ist eine sich kurz- bis mittelfristig amortisierende und somit sinnvolle Maßnahme. Werden die Heizkreise über stufengeregelte Umwälzpumpen versorgt wird empfohlen diese gegen elektronisch geregelte, hocheffiziente Umwälzpumpen zu ersetzen. Die Umstellung von Heizöl auf Erdgas sollte ab einem Heizölverbrauch von mehr als 2.000 Litern in Erwägung gezogen werden.

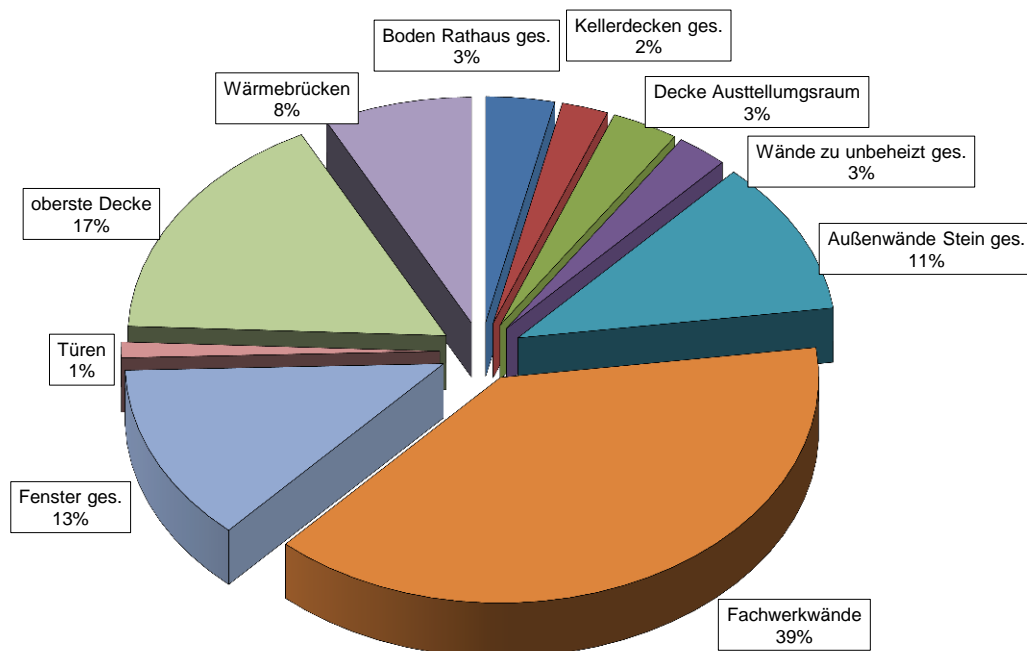
Die ausführliche Ausarbeitung ist als eigenständiges Kapitel im Anhang enthalten.

### 7.3 Sanierung Rathaus

Ähnlich wie bei der Betrachtung der Wohngebäude im vorigen Kapitel werden auch für das Rathaus Forchheim Energieeinsparpotentiale durch Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle ermittelt und bewertet.

Mit dem Bau des Rathauses Forchheim wurde um 1400 begonnen. Über die Jahrhunderte wurde das Gebäude erweitert und umgebaut. Das Gebäude steht unter Denkmalschutz. Der Zustand der Bausubstanz wird im Laufe der nächsten Jahre von Experten der UNI Bamberg begutachtet.

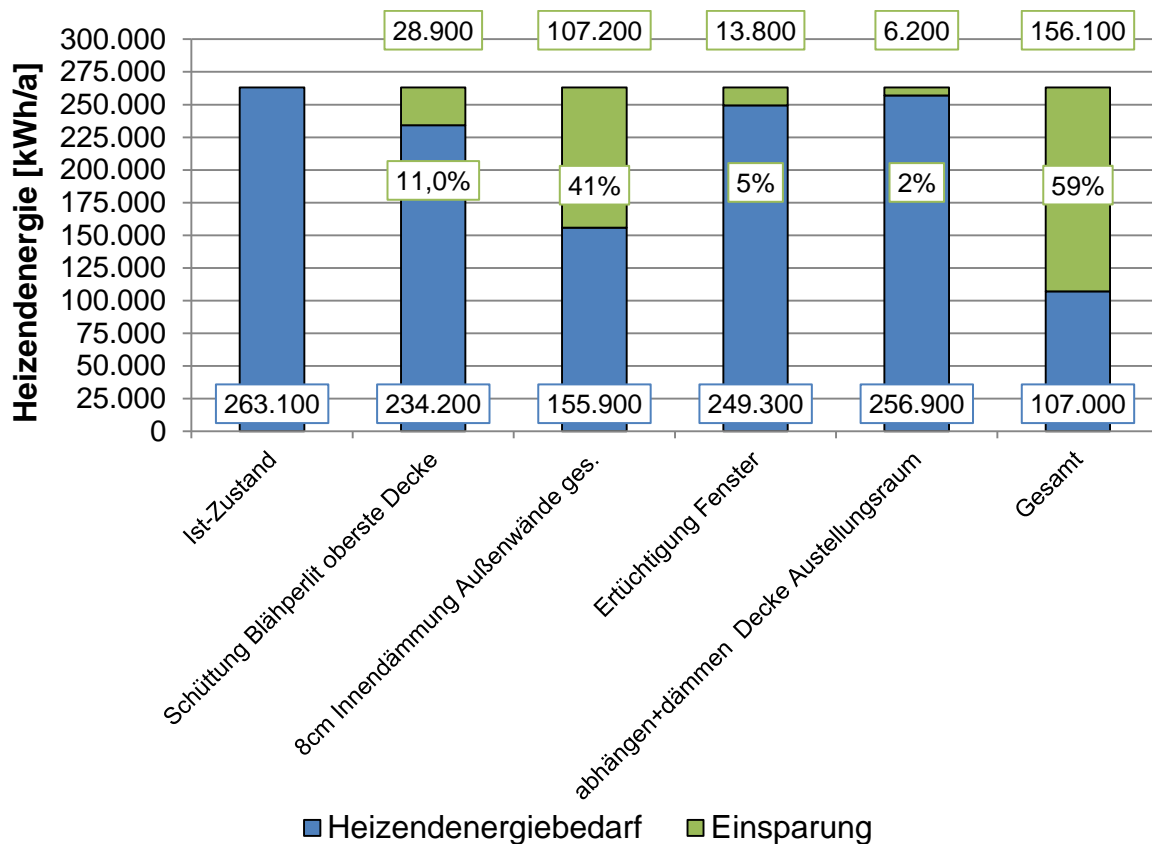
Abbildung 29 zeigt die Aufteilung der Wärmeverluste über die Gebäudehülle auf die einzelnen Hüllflächenelemente.



**Abbildung 29: Die Aufteilung der Transmissionsverluste**

Wie in obiger Abbildung ersichtlich ist, weisen die Außenwände mit insgesamt ca. 50 % den größten Anteil an den Transmissionsverlusten des Gebäudes auf. Die Fenster und die oberste Decke machen zusammen rund 30 % der Wärmeverluste über die Gebäudehülle aus. Die ausgewählten Sanierungsmaßnahmen orientieren sich deshalb an diesen Bauteilen. Für die Decke des unbeheizten Ausstellungsraumes wird ebenfalls eine Sanierung berücksichtigt.

Abbildung 30 zeigt die energetischen Auswirkungen der einzelnen Sanierungsmaßnahmen bezogen auf das Gesamtgebäude dargestellt.



**Abbildung 30: Die Einsparpotentiale der einzelnen Sanierungsmaßnahmen in Bezug auf den Gesamtheizenergieverbrauch**

Wie aus obiger Darstellung ersichtlich wird, weist die Montage Innenwanddämmung mit einer möglichen Reduktion des Heizenergieverbrauchs von insgesamt ca. 41 % das größte Potential aller vorgestellten Sanierungsmaßnahmen auf. Eine Ertüchtigung der Fenster ermöglicht eine Einsparung von rund 5 % des Gesamtheizenergieverbrauchs im Vergleich zum Ist-Zustand. Eine Dämmung der obersten Geschosdecke reduziert den Heizenergieverbrauch um ca. 11 %. Die Dämmung der Ausstellungsraumdecke spart rund 2 % des Energieverbrauchs für Heizzwecke ein.



**Vorgehensempfehlung für bauliche Sanierungsmaßnahmen:**

1. Ertüchtigung der undichten oder in sonst einer Weise beschädigten Fensterelemente. Der Zustand der Bestandsfenster sollte zuvor durch einen Sachverständigen überprüft werden. Im Zuge dessen sollte eine Kostenabschätzung erfolgen.
2. Die Montage einer Innenwanddämmung spart zwar über 40 % des momentanen Heizenergieverbrauchs ein, bringt aber auch Probleme mit sich. Neben der Verringerung der Nutzfläche ist vor allem die mögliche Schädigung der Bausubstanz (vor allem die Tragbalken der Holzbalkendecke) ein Grund von dieser Maßnahme abzusehen. Falls doch gewünscht, sollte die Planung nicht ohne die vorherige Konsultierung eines Sachverständigen des Denkmalamts erfolgen.
3. Der Ersatz der Sandschüttung in der obersten Geschossdecke durch eine Schüttung aus Blähperlit sollte vorgenommen werden. Eine vorherige Abstimmung mit dem Denkmalamt ist auch hier sinnvoll.

**Weitere Vorgehensempfehlungen:**

1. Der Wärmeerzeuger wurde bereits im Jahr 2010 erneuert. Schwachstelle der Heizungsanlage sind die ungedämmten Rohrleitungen. Generell ist die Heizungsverteilung nicht mehr zeitgemäß. Eine Erneuerung sollte aber nur im Zuge einer Generalsanierung erfolgen.
2. Eine Schulung und somit Sensibilisierung in Bezug auf energiesparende Gebäudenutzung (z.B. richtiges Lüften) der Mitarbeiter des Rathauses kann helfen den Energieverbrauch ohne Kostenaufwand zu verringern
3. Das Rathaus Forchheim weist mit rund 65 t/a CO<sub>2</sub>-Ausstoß für Heizzwecke auf. Da eine Umstellung auf Biomasse aus Platzgründen nicht möglich ist und sonstige energetische Maßnahmen nur im Zuge einer Generalsanierung sinnvoll sind, kann die Umstellung von Erdgas auf Biomethan bzw. von konventionellem Strom auf Ökostrom den CO<sub>2</sub>-Ausstoß wesentlich reduzieren

Die ausführliche Ausarbeitung ist als eigenständiges Kapitel im Anhang enthalten.

## 7.4 Gasspeicherung

An der Biomethananlage in Eggolsheim sind Verdichter installiert, welche dafür vorgesehen sind das erzeugte Biomethan bei Bedarf in die vorgelagerte Netzebene zu drücken (Wenn die Abnahme im Netz der SW Forchheim nicht ausreichend ist). Da die Stadtwerke Forchheim im Jahr 2013 mit der Fa. Wellpappe einen großen Erdgasabnehmer, welcher auch produktionsbedingt im Sommer eine hohe Leistung abnimmt, gewinnen konnten, werden die Verdichter nun nur wenige Stunden im Jahr benötigt. Da solche Verdichter auch für Gasspeicher benötigt werden wird nun geprüft ob sich eine Gasspeicherung für die Stadtwerke Forchheim wirtschaftlich darstellen lässt. Ziel wäre eine Speicherung für Tageszeitliche Spitzenleistungen um die Höchstbestelleistung von der vorgelagerten Netzebene zu reduzieren und somit den Leistungspreis zu reduzieren.

### 7.4.1 Erdgasbezugsleistung

Grundlage für Berechnungen zur Gasspeicherung stellt der Erdgasbezug aus der vorgelagerten Netzebene dar. In den folgenden Abbildungen sind die Erdgaslastgänge (1 h Bezugsleistungswerte) der Jahre 2011 bis 2013 dargestellt.

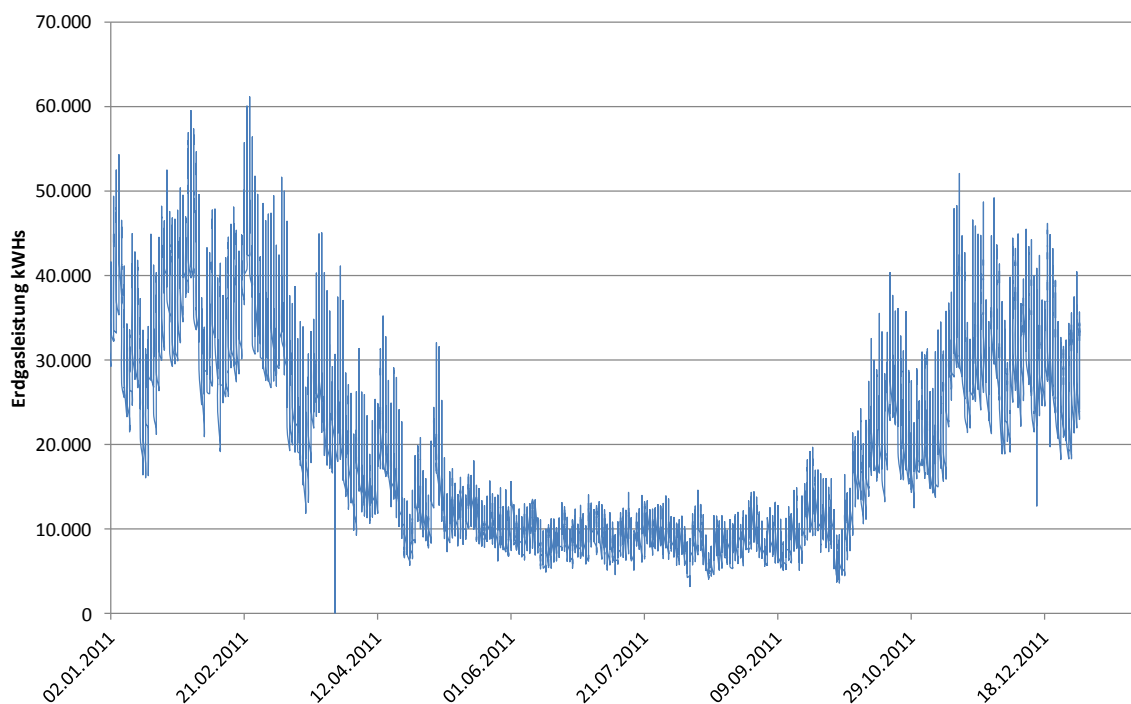


Abbildung 31: Erdgaslastgang (Bezug Netz SW) des Jahres 2011

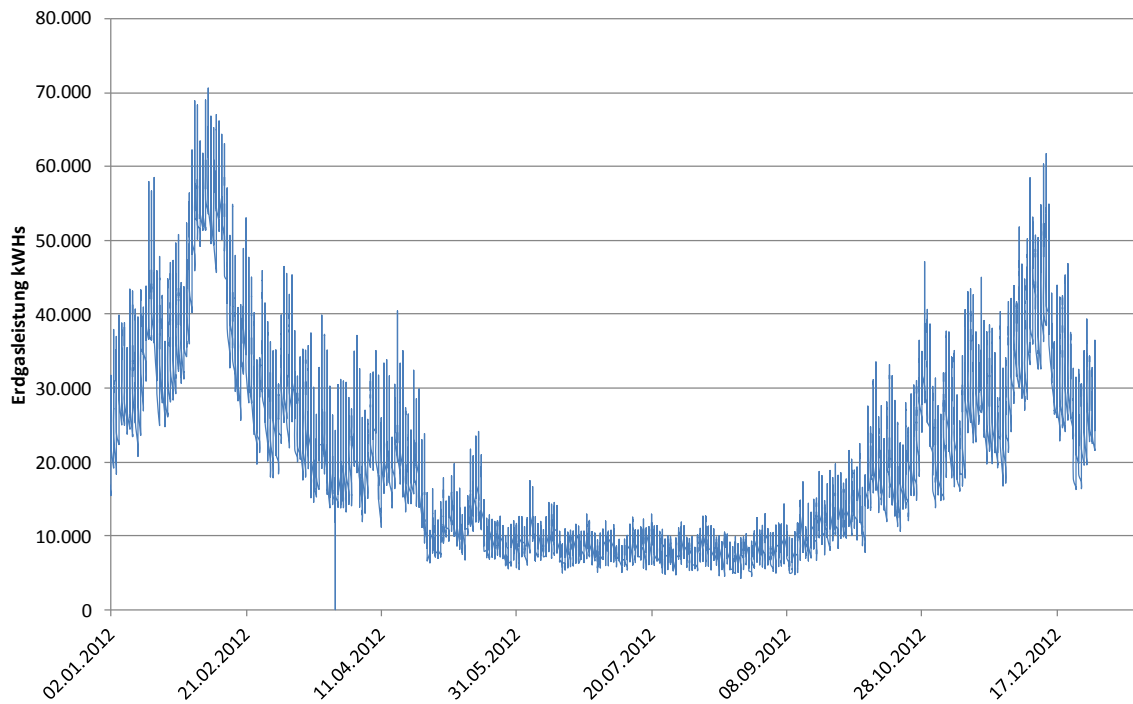


Abbildung 32: Erdgaslastgang (Bezug Netz SW) des Jahres 2012

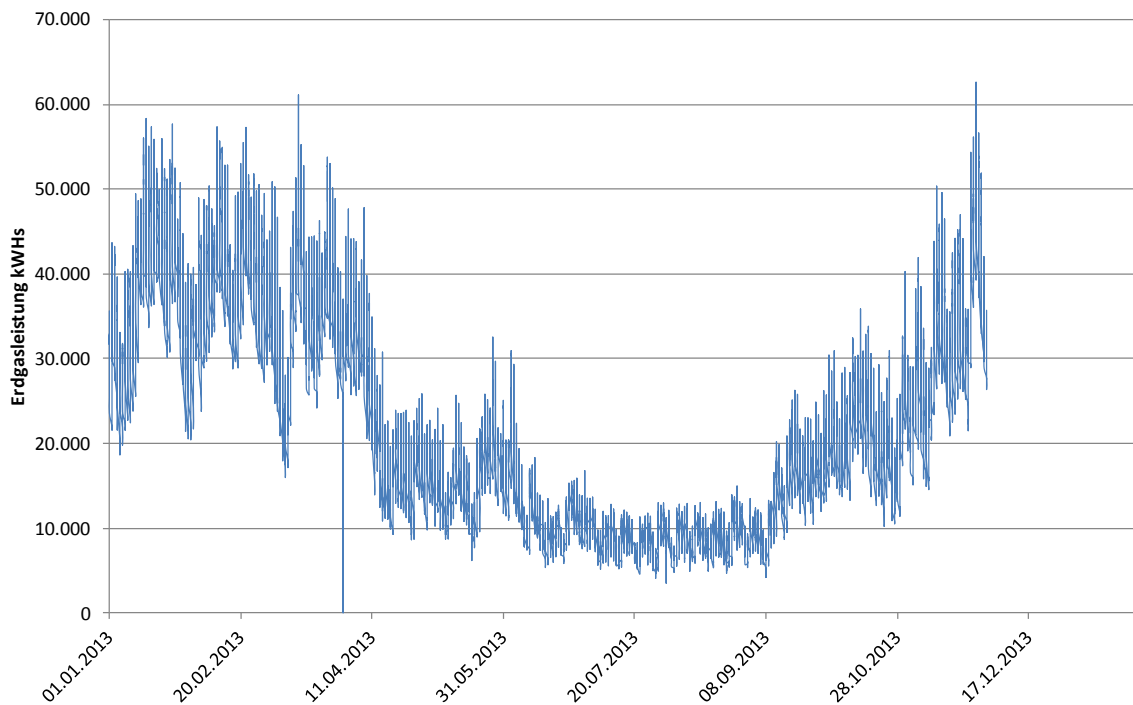


Abbildung 33: Erdgaslastgang (Bezug Netz SW) des Jahres 2013 (bis Nov)

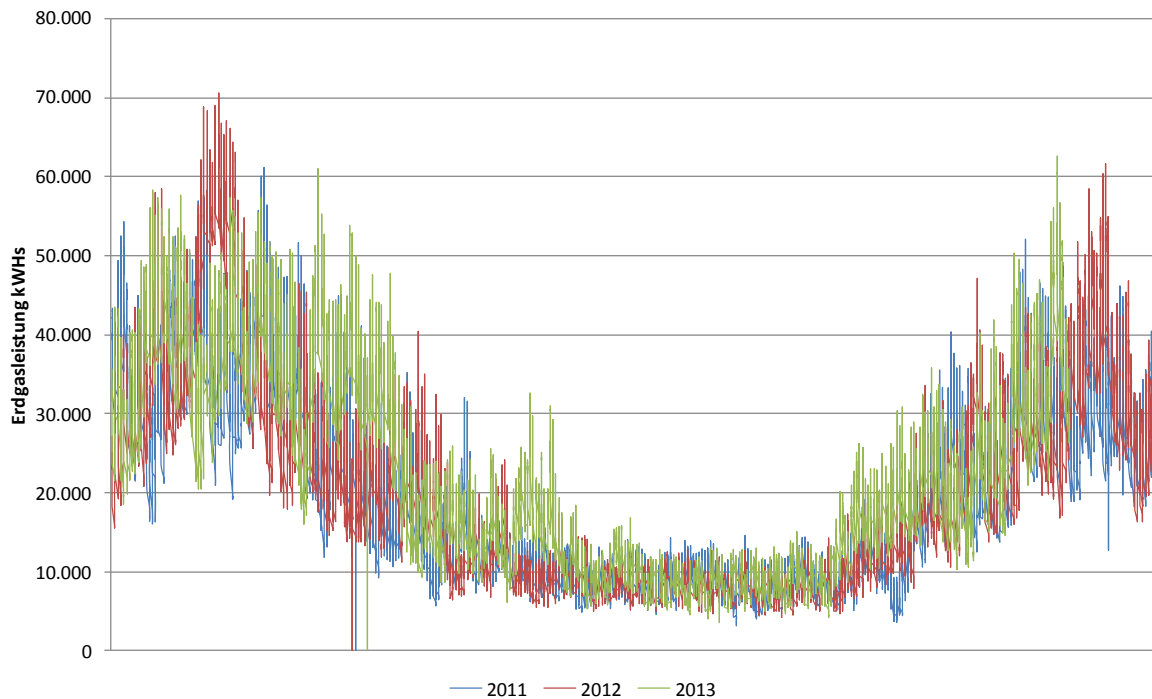


Abbildung 34: Erdgaslastgang (Bezug Netz SW) der Jahre 2011 bis 2013

Es lässt sich erkennen, dass Spitzenleistungen von knapp über 70.000 kW aufgetreten sind. Prinzipiell kann eingestuft werden, dass ab 50.000 kW von Spitzen gesprochen werden kann.

## 7.4.2 Vertragliche Randbedingungen

Um wirtschaftliche Effekte der Gasspeicherung bewerten zu können, muss die Vertragssituation für den Erdgasbezug bekannt sein. Hier werden die Bezugspreise, sowie die Vereinbarungen über die Leistungsspitzen geregelt. Die wesentlichen Vertragsinhalte sind:

- Erdgasbezug von der Open Grid Regional GmbH
- Bestellte Kapazität (Menge und Leistung) wird jedes Jahr neu hochgerechnet und dann verhandelt
- Im Jahr 2013 Bestelleistung: 62.851 kW (kWh/h)
- Tagesleistungspreis 0,01714 €/(kW d)

- z.B. Feb 2013:  $62.851\text{kW} \times 0,01714\text{€}/(\text{kW d}) \times 28\text{d} = 30.163 \text{ €}$
- Bei Überschreitung der bestellten Leistung erfolgt Strafzahlung: doppelter (bzw. 4x) Tagesleistungspreis über die Mehrkapazität
- Aber: Bei Voranmeldung einer erhöhten Leistung erfolgt keine Strafzahlung  
-> Aufgrund der Bezugsprognosen ist bisher keine Strafzahlung erfolgt

### 7.4.3 Technische Randbedingungen

Zur Speicherung von Erdgas gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- Jahreszeitliche Bedarfsschwankung: Unterirdische Speicheranlagen
- Tageszeitliche Verbrauchsspitze: oberirdische Metallspeicher (Niederdruck- und Hochdruckspeicher)
  - Kugelspeicher (2-10 bar – in Einzelfällen bis 20 bar)
  - Röhrenspeicher (bis zu 100 bar)

Ziel wäre es eine Speicherung für tageszeitliche Spitzen zu erreichen. Hierfür werden in der Regel Röhrenspeicher verwendet. Röhrenspeicher bestehen aus Stahlrohren (meist bis max. DN 1600) welche in nebeneinander angeordnet werden (Länge variabel) und miteinander verschaltet werden. Die Röhren werden dabei in ca. 2-3 Meter Tiefe verlegt. Die Verlegung unter der Erde reduziert große Temperaturschwankungen (Tag/Nacht), die zu Kondenswasser-Niederschlag auf der Eisenoberfläche führen können. Um ein Rosten der Rohre zu vermeiden/reduzieren werden die Rohre außen „kathodisch“ vor Korrosion geschützt.

### 7.4.4 Beispielrechnung

Im Jahr 2013 war die häufigste Überschreitung der Marke von 50.000 kW im Januar. Der Lastgang von 14 bis 30 Januar ist in Abbildung 35 dargestellt. Als rote Linie ist die Leistung von 50.000 kW dargestellt. Der Wert von 50.000 kW wird meist in der Zeit von 6:00 Uhr und 12:00 Uhr überschritten und meist nur für 4-6 Stunden pro Tag. Dies ist auch nochmals in Tabelle 15 dargestellt

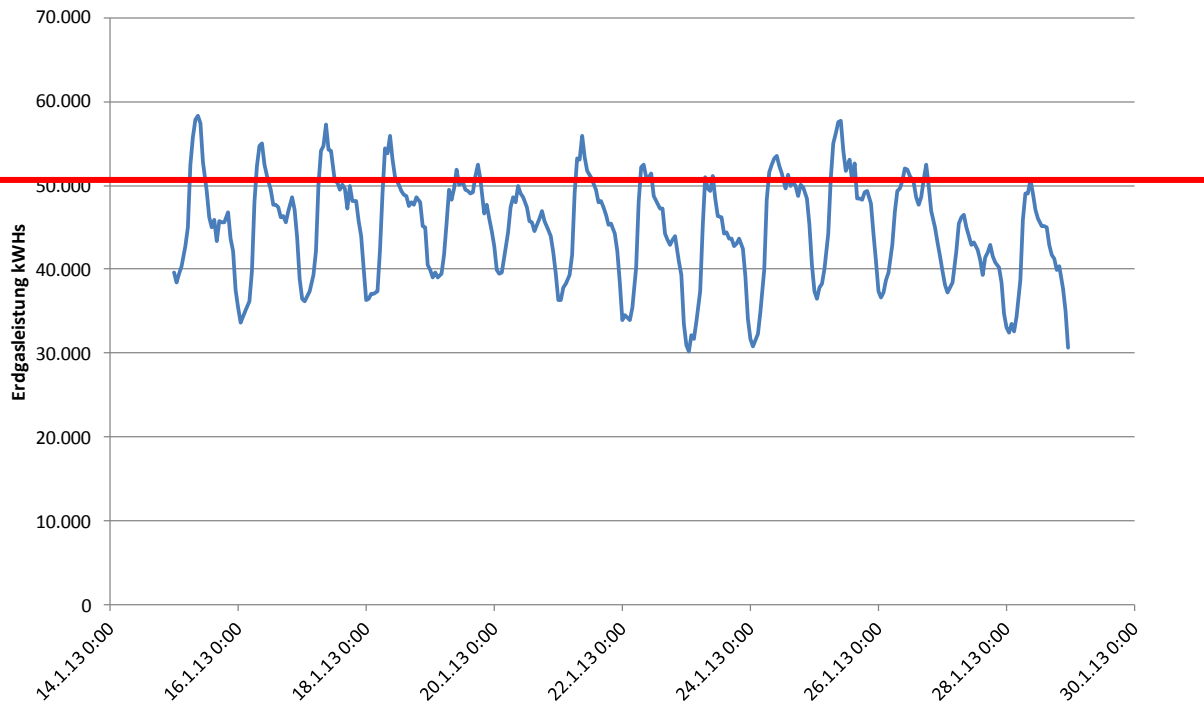


Abbildung 35: Erdgaslastgang von 14. Bis 30. Januar 2013

Tabelle 15: Erdgaslastgang vom 15. Bis 16. Januar 2013

	Bezug KW	über 50.000	Summe über 50.000 "Ausspeisung"	Einspeisung bis 50.000	Summe "Einspeisung"
15.1.13 0:00	39.667	0			
15.1.13 1:00	38.446	0			
15.1.13 2:00	39.454	0			
15.1.13 3:00	40.384	0			
15.1.13 4:00	42.758	0			
15.1.13 5:00	45.009	0			
15.1.13 6:00	52.467	2.467			
15.1.13 7:00	55.771	5.771			
15.1.13 8:00	57.876	7.876			
15.1.13 9:00	58.324	8.324			
15.1.13 10:00	57.440	7.440			
15.1.13 11:00	52.826	2.826			
15.1.13 12:00	49.320	0	34.705	680	
15.1.13 13:00	46.207	0		3.793	
15.1.13 14:00	45.009	0		4.991	
15.1.13 15:00	45.838	0		4.162	
15.1.13 16:00	43.396	0		6.604	
15.1.13 17:00	45.670	0		4.330	
15.1.13 18:00	45.658	0		4.342	
15.1.13 19:00	45.614	0		4.386	
15.1.13 20:00	46.733	0		3.267	
15.1.13 21:00	43.710	0		6.290	
15.1.13 22:00	42.108	0		7.892	
15.1.13 23:00	37.517	0		12.483	
16.1.13 0:00	35.344	0		14.656	
16.1.13 1:00	33.642	0		16.358	
16.1.13 2:00	34.415	0		15.585	
16.1.13 3:00	35.064	0		14.936	
16.1.13 4:00	36.106	0		13.894	
16.1.13 5:00	39.779	0		10.221	
16.1.13 6:00	48.044	0		1.956	150.828
16.1.13 7:00	52.389	2.389			
16.1.13 8:00	54.741	4.741			

In der Spalte „über 50.000“ sind die Stunden und Leistungswerte angegeben bei denen die 50.000 kW Marke überschritten wird. Diese sind in der folgenden Spalte aufsummiert um aufzuzeigen wieviel kWh aus dem Speicher entnommen werden müssten um die Spitze bei 50.000 kW zu kappen. In der nächsten Spalte ist aufgezeigt für wieviele Stunden die Leistung unter 50.000 kW liegt. Hieraus kann abgeleitet werden ob eine ausreichende Menge an Gas wieder eingespeichert werden kann um die Spitzen am nächsten Tag wieder kappen zu können.

Diese Auswertung zeigt, dass Reduktion der Bestelleistung auf 50.000 kW durchaus machbar wäre.

Mit folgenden Randbedingungen könnte ein Speicher dimensioniert werden:

Netzdruck	2,5 bar
Max Druck Kompressor	55 bar
Röhrenspeicher	
DN	1.400 mm
Länge	140 m
Stück	6
GeoVolumen	1.292 m <sup>3</sup>
Max. Speichervolumen	28.433 m <sup>3</sup>
	316.463 kWh <sub>H<sub>s</sub></sub>
	316 MWh <sub>H<sub>s</sub></sub>

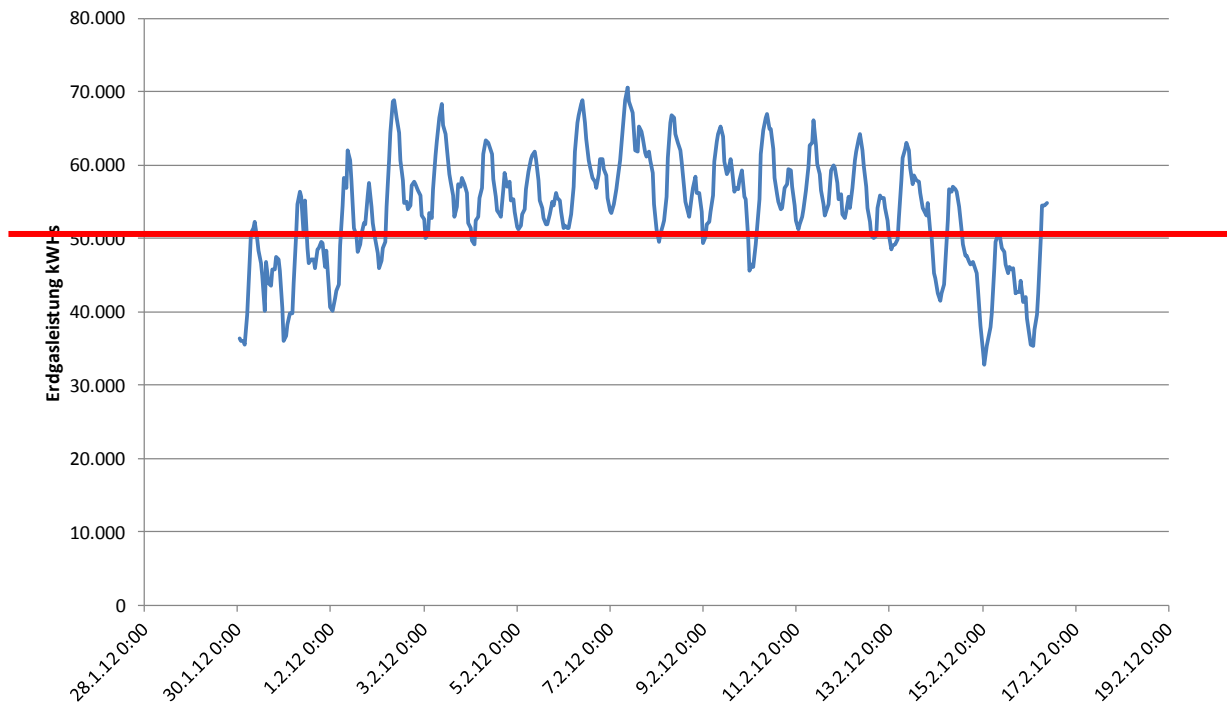
Diese Beispielanlage wäre ausreichend um die oben dargestellte Spitzenreduzierung zu erreichen.

Die Analyse der Lastgänge zeigt, dass im Februar 2012 Spitzenleistungen von über 70.000 kW aufgetreten sind. In der folgenden Aufstellung sind die Gradtagzahlen sowie die Außentemperaturen für Januar bis März für das Jahr 2012 und das langjährige Mittel dargestellt. Es zeigt sich deutlich, dass der Februar 2012 ein außergewöhnlich kalter Februar war. Die Abweichung der GTZ liegt bei 1,25.

Monat	2012				langjähriges Mittel *			
	Gradtagzahl		Außen-	Außentemp.	Gradtagzahl		Außen-	Außentemp.
	G20/15 [Kd]	Heiztage [d]	temperatur [°C]	an Heiztagen [°C]	G20/15 [Kd]	Heiztage [d]	temperatur [°C]	an Heiztagen [°C]
Januar 2012	565	31	1,8	1,8	619	31	0,0	0,0
Februar 2012	679	29	-3,4	-3,4	540	28	0,9	0,9
März 2012	403	31	7,0	7,0	474	31	4,7	4,7

In Abbildung 36 ist der Erdgaslastgang von Februar 2012 dargestellt. Die rote Linie markiert wieder die 50.000 kW Marke.





**Abbildung 36: Erdgaslastgang Februar 2012**

Die Analyse des Lastgangs zeigt, dass eine Unterschreitung von 50.000 kW von 2.2 bis 14.2 für lediglich 19 Stunden auftritt. Eine Reduktion auf 50.000 kW wäre hier nicht möglich.

Um dennoch eine Einstufung der Wirtschaftlichkeit einer Gasspeicheranlage zu erreichen wird eine Beispiel Berechnung durchgeführt:

Annahme Einsparung:  $10.000 \text{ kW} \times 0,01714 \text{ €} \times 365 \text{ d} = 62.500 \text{ €/a}$  (abzüglich Betriebskosten: Strom, Heizen, Kühlen, Bedienung, Wartung usw...)

- Investkosten 1 bis 2 Mio € (schwer möglich Richtpreise abzufragen, von vielen Randbedingungen abhängig)
- 

Fazit: Nach aktuellen Vertragsbedingungen lässt sich der Aufbau einer Erdgasspeicherung nur schwer wirtschaftlich darstellen (Amortisation >20 Jahre)

### 7.4.5 Zusammenfassung

Nach aktuellen Randbedingungen lässt sich der Aufbau einer Erdgasspeicherung nur schwer wirtschaftlich darstellen. Bei sich ändernden Bezugskonditionen kann sich hier aber schnell eine neue Situation einstellen.

Wenn das Thema weiter verfolgt wird sind folgende Punkte detailliert zu klären:

- Längerfristige Auswertung der aktuellen Lastgänge
- nötig Bestelleistung 2015: 71.500 kW
- Ermittlung der technischen Grenzen der Verdichter
- Berücksichtigung der Verbrauchsprognosen
- Abklären von Vertragsmodellen (Strafen, wie lange und wie hoch Überschreitung bei Anmeldung, usw.)
- Detaillierte Auswertung der Lastgänge mit Simulation von Einspeise- und Ausspeisevorgängen (Risiko „extrem“ kalter Monat)
- Ermittlung der wirtschaftlich optimalen Speichergroße
- Technisch nötige Größe
- Baunebenkosten
- Kosten der Röhren
- Vertrag
- Detaillierte Technische Auslegung

## 8 Zusammenfassung

In Kapitel 8 werden die Ergebnisse des integrierten Energienutzungsplanes für die Stadt Forchheim zusammengefasst. Die Stadt Forchheim liegt im Regierungsbezirk Oberfranken mit etwa 30.500 Einwohnern (2011) besitzt eine Fläche von rund 4.400 Hektar.

Das Stadtgebiet wurde kategorisch in die Verbrauchergruppen

- private Haushalte
- kommunale Liegenschaften und
- Gewerbe, Handel, Dienstleistung, Industrie und Landwirtschaft

unterteilt. Für die Darstellung des Endenergieeinsatzes wird die Gruppe GHDIL zusätzlich in „Gewerbe und Kleinindustrie“ und „Großbetriebe“ unterteilt. Die Energieströme jeder Verbrauchergruppe wurden getrennt als leitungsgebundene (Strom, Erdgas), nicht leistungsgebundene (Heizöl, Biomasse, ...) und erneuerbare Energieträger erfasst.

Um eine Einordnung mit, bezüglich des Referenzjahres 1990, formulierten Klimazielen treffen zu können wurde, neben dem aktuellen CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Stadtgebiet Forchheim, auch ein Vergleichswert für das Jahr 1990 gebildet. Es zeigt sich, dass der CO<sub>2</sub>-Ausstoß, einschließlich des Sektors „Verkehr“, bezüglich 1990 um rund 8 Prozent von jährlich rund 10,5 Tonnen pro Einwohner auf rund 9,7 Tonnen reduziert hat.

Basierend auf der umfassenden Energie- und CO<sub>2</sub>-Emissionsbilanz im Ist-Zustand in Kapitel 2 wurden in Kapitel 4 grundsätzliche Potentiale hinsichtlich der Energieeinsparung bzw. der Energieeffizienzsteigerung verbrauchergruppenspezifisch aufgezeigt.

Durch die detailliert beschriebenen Maßnahmen (Erneuerung der Maschinen-, Anlagen- und Antriebstechnik; Effizienzsteigerung der Druckluftsysteme; Optimierung der Lüftungs-, Klima-, Kälte- und Wärmetechnik; Erneuerung der Bestandsbeleuchtung) könnte der Verbrauch an elektrischer Energie in der Verbrauchergruppe „**Gewerbe, Handel, Dienstleistung, Industrie und Landwirtschaft**“ um rund 25 Prozent gesenkt werden, was einer Einsparung von rund 36.094 MWh jährlich entspricht. Im Bereich des thermischen Energieverbrauchs ergeben sich Einsparpotentiale von rund 25 Prozent. Dies entspricht einer Einsparung von rund 47.178 MWh.

In der Verbrauchergruppe „**kommunale Liegenschaften**“ ergeben sich durch die Sanierung der Gebäudehülle, die Erneuerung der Heizungstechnik und der Straßenbeleuchtung die größten Einsparpotentiale. Durch die im integrierten Energienutzungsplan aufgezeigten

Potentiale kann der Verbrauch an elektrischer Endenergie um rund 32 Prozent gesenkt werden, was einer Einsparung von rund 2.220 MWh jährlich entspricht. Der thermische Energiebedarf kann um rund 36 Prozent reduziert werden, was einer Einsparung von rund 4.472 MWh entspricht.

Die größten Einsparpotentiale im Bereich der „**privaten Haushalte**“ ergeben sich durch die Sanierung der Gebäudehülle sowie durch eine Erneuerung der Heiztechnik. In Summe ergeben sich Einsparpotentiale an thermischer Endenergie von rund 24 Prozent, was einer Einsparung von rund 54.441 MWh entspricht. Der elektrische Energiebedarf kann sich durch die beschriebenen Maßnahmen verringern. In Summe ergeben sich Einsparpotentiale an elektrischer Endenergie von rund 25 Prozent, was einer Einsparung von rund 11.835 MWh entspricht.

Die Untersuchung grundsätzlicher Potentiale zur Energieeinsparung bzw. Energieeffizienzsteigerung in Kapitel 4 setzt sich mit dem Ausbaupotential Erneuerbarer Energieformen fort.

Bei der **Nutzung der Sonnenenergie** wird auf die theoretisch nutzbaren Dachflächen zurückgegriffen. Vorrang hat hier der Ausbau von Solarthermieanlagen zur Brauchwasserbereitung. Die restlichen zur Verfügung stehenden Dachflächen werden mit Photovoltaikmodulen zur bevorzugten Eigenstromnutzung belegt. Dadurch könnten zusätzlich rund 5.145 MWh thermische Energie und rund 23.411 MWh an elektrischer Energie bereitgestellt werden.

Im Bilanzgebiet Stadt Forchheim wird bereits mehr **holzartige Biomasse** genutzt, als nachhaltiger Zuwachs vorhanden ist. Es herrscht somit kein weiteres Ausbaupotential in diesem Bereich.

Die Gesamtpotentiale der **Biogasnutzung** ergeben sich zum einen aus den zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Flächen, welche zur energetischen Nutzung bereitstehen und zum anderen aus den biologischen Abfallmengen, welche im Bilanzgebiet vorhanden sind. Des Weiteren werden noch die Potentiale des Tiergülle herangezogen.

Das errechnete Biogaspotential wird durch die, dem Stadtgebiet angrenzende, Biomethananlage in Eggolsheim bereits vollständig genutzt. Es kann aber als Potential für Kraft-Wärme-Kopplung aus Biomethan wieder dem Bilanzraum zugerechnet werden. Es ergibt sich somit ein nachhaltiges elektrisches Ausbaupotential von rund 4.000 MWh.

Keine Potentiale nach den herangezogenen Kriterien ergeben sich im Bereich der **Windkraft**. Ebenfalls keine Potentiale ergeben sich im Bereich der **Wasserkraft**.

Aufbauend auf die detaillierte Erfassung und Auswertung des Ist- Zustandes, sowie der Ermittlung der Energieeinsparpotentiale und dem Ausbaupotential der erneuerbaren Energien wurden folgende Schwerpunktprojekte definiert und konkret betrachtet:

- Sanierungsmaßnahmen für typische Forchheimer Wohngebäude
- Sanierungskonzept für das Rathaus Forchheim
- Einsparmaßnahmen bei der Straßenbeleuchtung
- Potential der Erdgasspeicherung

Für verschiedene Gebäudetypen und Baualtersklassen wurden Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen und sowohl energetisch als auch wirtschaftlich bewertet. Als Ergebnis liegt der Stadt Forchheim ein Leitfaden vor, mit welchem dem interessierten Bürger schnell ein erster Überblick über für ihn in Frage kommende Sanierungsmaßnahmen und deren Auswirkungen gegeben werden kann.

Für das Rathaus Forchheim wurde unter Einbeziehung aller relevanten, bereits tätigen Akteure (z.B. Uni Bamberg, Architekt Brunk...) ein Sanierungskonzept erarbeitet. Dabei wurde neben baulichen Maßnahmen auch auf die vorhandene Anlagentechnik eingegangen. Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass sich durchaus sinnvolle Maßnahmen zur Energieeinsparung umsetzen lassen können. Da es sich um ein sehr altes und komplexes Bauwerk handelt, sind alle Maßnahmen detailliert zu planen (Einbeziehung der Sachverständigen des Denkmalamtes) und gut aufeinander abzustimmen. Die Umsetzung der Maßnahmen sollte im Rahmen einer Generalsanierung erfolgen.

Von Seiten der Stadtwerke Forchheim wurde eine detaillierte Aufnahme der Straßenbeleuchtung vorangetrieben. Dabei wurden neben den Leuchtmittel und Leistungsdaten auch der technische und optische Zustand mit aufgenommen. Hier liegt nun eine sehr detaillierte und aussagekräftige Datenbasis vor. Darauf aufbauend wurden verschiedene Maßnahmen zur Energieeinsparung (z.B. Umrüstung auf LED) technisch und auch wirtschaftlich betrachtet. Als Ergebnis wurde eine Prioritätenliste erarbeitet anhand welcher die Erneuerung der Straßenbeleuchtung Schritt für Schritt durchgeführt werden kann.

Für eine Optimierung des Erdgasbezuges im Netz der Stadtwerke Forchheim wurde die Möglichkeit der Erdgasspeicherung überschlägig betrachtet. Ziel war es zu bewerten, ob

tageszeitliche Lastschwankungen durch einen Erdgasspeicher ausgeglichen werden können und somit wirtschaftliche Vorteile beim Erdgasbezug entstehen. Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass nach aktuellen Rahmenbedingungen keine wirtschaftliche Erdgasspeicherung erfolgen kann. Es ist aber nun die Grundlage geschaffen um bei sich künftig ändernden Bedingungen eine schnelle Bewertung abzugeben.

Zusammenfassend ergibt sich folgende Maßnahmenempfehlung für die Stadt Forchheim:

- Detaillierte Analyse des kommunalen Gebäudebestandes und Einleiten von Sanierungsmaßnahmen
- Umrüstung der Straßenbeleuchtung auf effizientere Technik
- Forcierung der Öffentlichkeitsarbeit auf dem Sektor der Wohngebäudesanierung und der Energieeinsparung
- Forcierung der Öffentlichkeitsarbeit auf dem Sektor der Nutzung von Solarenergie

## 9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bevölkerungsentwicklung der Stadt Forchheim [Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung] .....	8
Abbildung 2: Flächenverteilung des Stadtgebietes Forchheim [Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung] .....	9
Abbildung 3: Geographische Lage des Stadtgebietes Forchheim [Quelle: <a href="http://www.wikipedia.de">www.wikipedia.de</a> ] .....	10
Abbildung 4: Endenergieeinsatz der einzelnen Energieträger in der Stadt Forchheim .....	20
Abbildung 5: Verteilung des Endenergieeinsatzes in die betrachteten Verbrauchergruppen	21
Abbildung 6: Der Endenergiebedarf und CO <sub>2</sub> -Ausstoß im Ist-Zustand.....	24
Abbildung 7: Der Vergleich des CO <sub>2</sub> -Ausstoßes der Jahre 1990 und 2012.....	26
Abbildung 8: Das Wärmekataster der Stadt Forchheim bei 100 % Anschlussdichte .....	28
Abbildung 9: Das Wärmekataster der Stadt Forchheim bei 80 % Anschlussdichte .....	29
Abbildung 10: Das Wärmekataster der Stadt Forchheim bei 60 % Anschlussdichte .....	30
Abbildung 11: Das Wärmekataster der Stadt Forchheim bei 40 % Anschlussdichte .....	31
Abbildung 12: Die Potentialbetrachtung der energetischen Sanierung von Bestandsgebäuden .....	33
Abbildung 13: Die Einsparpotentiale im Bereich der Beleuchtung [Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt „Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe; eigene Darstellung] .....	38
Abbildung 14: Die Möglichkeiten der Nutzung Erneuerbarer Energiequellen [Quelle: <a href="http://www.wissenschaft-technik-ethik.de">www.wissenschaft-technik-ethik.de</a> ; eigene Darstellung].....	45
Abbildung 15: Für Freiflächen-Photovoltaik geeignete Flächen im Stadtgebiet Forchheim ...	52
Abbildung 16: Die Aufteilung der energetischen und stofflichen Verwertung von Holz [Quelle: Pflüger-Grone Holger; Aspekte der energetischen Holzverwertung].....	56
Abbildung 17: Das Geothermiepotential im Bundesland Bayern [Quelle: <a href="http://www.geothermieprojekte.de">www.geothermieprojekte.de</a> ] .....	63
Abbildung 18: Übersicht über die zur oberflächennahen Geothermie günstigen Gebiete im Stadtgebiet Forchheim [Quelle: Energieatlas Bayern] .....	64

Abbildung 19: Gegenüberstellung des elektrischen Endenergiebedarfs Ist – Ziel 2030 .....	66
Abbildung 20: Gegenüberstellung des thermischen Endenergiebedarfs Ist – Ziel 2030.....	68
Abbildung 21: Die CO <sub>2</sub> -Minderungspotentiale in der Stadt Forchheim.....	70
Abbildung 22: Entwicklung des elektrischen Energiebedarfes und –potentials .....	73
Abbildung 23: Entwicklung des thermischen Energieverbrauchs und –potentials .....	74
Abbildung 24: Statische Amortisationsrechnung Quecksilberdampfhochdrucklampen [Eigene Berechnungen].....	78
Abbildung 25: Statische Amortisationsrechnung Natriumdampfhochdrucklampen [Eigene Berechnungen].....	79
Abbildung 26: Statische Amortisationsrechnung Leuchtstoffröhren [Eigene Berechnungen]	80
Abbildung 27: Statische Amortisationsrechnung Natriumdampfhochdrucklampen [Eigene Berechnungen].....	81
Abbildung 28: Die Einsparpotentiale bei Gebäudetyp 1 [eigene Berechnungen] .....	83
Abbildung 29: Die Aufteilung der Transmissionsverluste .....	86
Abbildung 30: Die Einsparpotentiale der einzelnen Sanierungsmaßnahmen in Bezug auf den Gesamtheizenergieverbrauch.....	87
Abbildung 31: Erdgaslastgang (Bezug Netz SW) des Jahres 2011.....	89
Abbildung 32: Erdgaslastgang (Bezug Netz SW) des Jahres 2012.....	90
Abbildung 33: Erdgaslastgang (Bezug Netz SW) des Jahres 2013 (bis Nov) .....	90
Abbildung 34: Erdgaslastgang (Bezug Netz SW) der Jahre 2011 bis 2013.....	91
Abbildung 35: Erdgaslastgang von 14. Bis 30. Januar 2013.....	93
Abbildung 36: Erdgaslastgang Februar 2012.....	96



## 10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der regenerativen Stromerzeugung in der Stadt Forchheim [Quelle: Stadtwerke Forchheim].....	17
Tabelle 2: Übersicht der regenerativen Wärmeerzeugung in der Stadt Forchheim [Quelle: Stadtwerke Forchheim; Energienutzungsplan für die Stadt Forchheim im Auftrag der Stadtwerke Forchheim; Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle].....	19
Tabelle 3: Die CO <sub>2</sub> -Äquivalente der jeweiligen Energieträger .....	23
Tabelle 4: Energieeffizienzsteigerung in der Maschinen-, Anlagen- und Antriebstechnik [Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt „Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe; eigene Darstellung].....	37
Tabelle 5: Zusammenfassung der verbrauchergruppenspezifischen Einsparpotentiale .....	44
Tabelle 6: Das Potential Erneuerbarer Energien aus Solarthermie und Photovoltaik.....	49
Tabelle 7: Übersicht der Freiflächenausbaupotentiale .....	52
Tabelle 8: Übersicht der Energiebereitstellungspotentiale aus Holz.....	57
Tabelle 9: Zusammenfassung Biogaspotential .....	60
Tabelle 10: Die Potentiale im Bereich der erneuerbaren Energien .....	65
Tabelle 11: Die Straßenbeleuchtung im Ist-Zustand in der Stadt Forchheim [Quelle: Stadtwerke Forchheim].....	75
Tabelle 12: Prioritätenliste Quecksilberdampf lampen [Quelle: Stadtwerke Forchheim].....	78
Tabelle 13: Prioritätenliste Natriumhochdruckdampf lampen [Quelle: Stadtwerke Forchheim] .....	79
Tabelle 14: Prioritätenliste Leuchtstoffröhren [Quelle: Stadtwerke Forchheim] .....	80
Tabelle 15: Erdgaslastgang vom 15. Bis 16. Januar 2013 .....	94