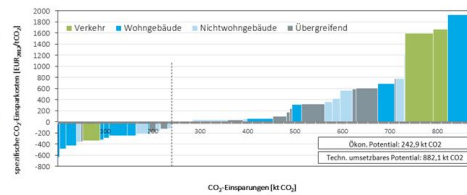


[illegible]

Stuttgart, November 2019

**Markus Stehle**  
**Markus Blesl**  
**Lukasz Brodecki**

# **Haftungsausschluss**

*EN-easy wurde mit größter Sorgfalt und nach bestem Wissen und Gewissen erstellt. Für die Vollständigkeit oder Richtigkeit der Ergebnisse von EN-easy können wir jedoch keine Gewähr übernehmen.*

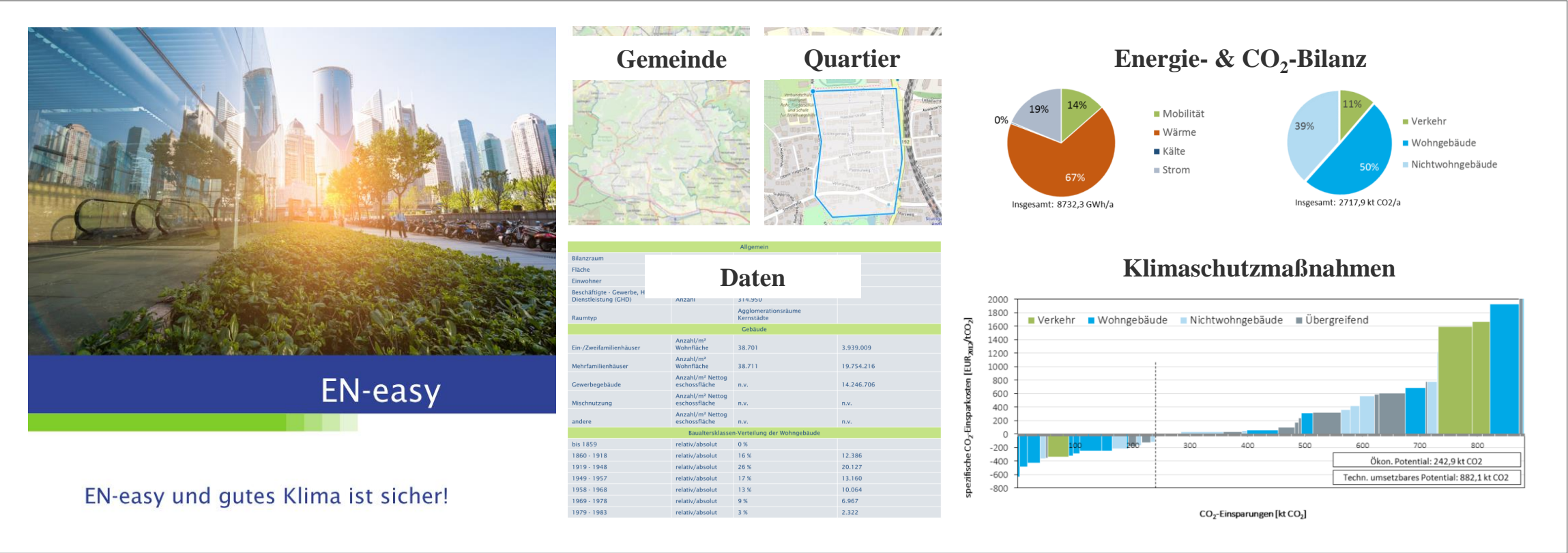
# Inhalt

- Kurzvorstellung
- Anleitung zur Anwendung von EN-easy
  - Startseite
  - Gebietsauswahl
  - Import von Gebäudedaten
  - Berechnung starten
  - Ergebnisse:
    - Online-Grafiken
    - pdf-Ergebnisbericht
- Literatur
- Anhang: Berechnungsparameter (Auswahl)
  - ökonomische Annahmen, Wohngebäude, Nichtwohngebäude, Verkehr, Durchdringungsraten von Maßnahmen

# Kurzvorstellung EN-easy

# EN-easy

Online-Tool zur Bilanzierung von Endenergie- und CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie zur Bewertung von Klimaschutzmaßnahmen auf Quartiers- und Gemeindeebene<sup>1</sup>



Entwicklung am IER in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern Drees & Sommer und Karajan sowie M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH im Rahmen des Verbundvorhabens „Systemanalyse für die städtische Energieplanung mit einem modularen Planungsinstrument – methodische Grundlagen und Fallbeispiele“ (vgl. Blesl et al 2019)

<sup>1</sup> weitere Ausführungen zu EN-easy s. Endbericht Systemanalyse Stadt; u.a. Kap. 4.2 (Blesl et al 2019)

Anleitung zur Anwendung von EN-easy

# Startseite

# Startseite EN-easy

Link: <http://iereasy.ier.uni-stuttgart.de:8080/eneasy-gui/>

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



**DREES &  
SOMMER**



**KARAJAN-INGENIEURE**  
Beraten • Planen  
Ingenieurgesellschaft mbH



**EN-EASY**

und gutes Klima ist sicher!

EN-easy ist ein einfach nutzbares Online-Tool für Stadtplaner, Klimaschutzmanager, Entscheidungsträger und sonstige interessierte Nutzer, um Gemeinden und Quartiere in Bezug auf Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen zu bilanzieren als auch CO<sub>2</sub>-Einsparpotentiale anhand eines Portfolios an Klimaschutzmaßnahmen aufzuzeigen. Ein Ranking der Maßnahmen nach CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten zeigt bereits heute wirtschaftliche Maßnahmen auf. EN-easy wurde im Rahmen des vom BMWi geförderten Projektes "Systemanalyse für die städtische Energieplanung mit einem modularen Planungsinstrument - methodische Grundlagen und Fallbeispiele" in Zusammenarbeit des Instituts für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart, Drees & Sommer, Karajan Ingenieure sowie M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH entwickelt.

Berechnung Starten

1. Berechnung starten

Anleitung zur Anwendung von EN-easy

# Gebietsauswahl



# Gebietsauswahl

(a) Gemeinde oder (b) individuelle Gebietsauswahl (Quartier)

The screenshot displays the EN-easy-Tool web interface. At the top, there are logos for the German Federal Government, Universität Stuttgart IER, Drees & Sommer, and Karajan-Ingenieure. The main area features a map of Central Europe, including Germany, Poland, Czech Republic, and parts of France and Belgium. On the left, a sidebar contains the following text:

**Willkommen beim EN-easy-Tool**

Die Anwendung ermöglicht eine integrierte Analyse der Bedarfsseite (Gebäude, Verkehr) und der Angebots-/Versorgersseite eines Quartiers oder einer Stadt hinsichtlich

- Energie & CO<sub>2</sub>-Bilanz
- CO<sub>2</sub>-Einsparpotential

sowie eine integrierte Bewertung hinsichtlich

- der Klimaschutzmaßnahmen (energetisch, ökonomisch)
- einer CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten-Kurve als Ranking der Maßnahmen nach Euro je Tonne CO<sub>2</sub>-Einsparung

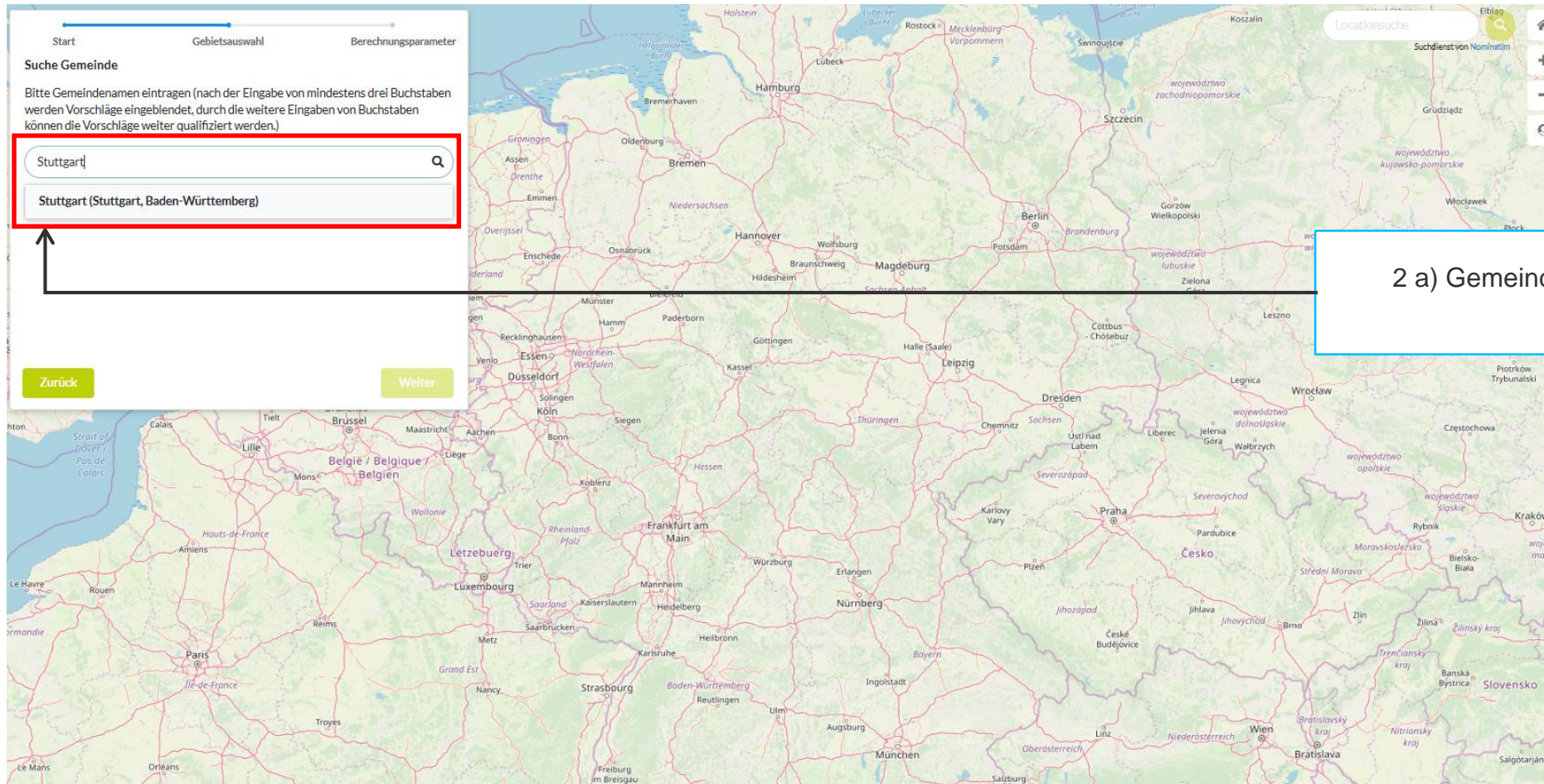
Below the text, there are two buttons: "Suche Gemeinde" (with a magnifying glass icon) and "Untersuchungsgebiet grafisch erfassen" (with a pencil icon). A red box highlights these two buttons. Below the buttons is a "Login" button and a link "Zum Start des Expert-Client (registrierungspflichtig)".

2. Bilanzraum auswählen

- (a) Gemeinde oder
- (b) Untersuchungsgebiet grafisch erfassen



## (a) Gemeinde eingeben und auswählen



2 a) Gemeinde auswählen

## (b) Individuelle Gebietsauswahl (1/2)

**Bilanzraum grafisch erfassen**  
Bilanzraum durch Anklicken der Eckpunkte erfassen. Beenden mit Doppelklick.  
Für Änderungen auf die gewünschte Linie klicken und neue Position anklicken.  
Das erfasste Gebiet muss minimal 10 und kann maximal 10.000 Gebäude enthalten.  
Es kann Gebiete von bis zu vier Gemeinden umfassen.

**Erfassen** **Ändern**

**1. Gemeinde eingeben**

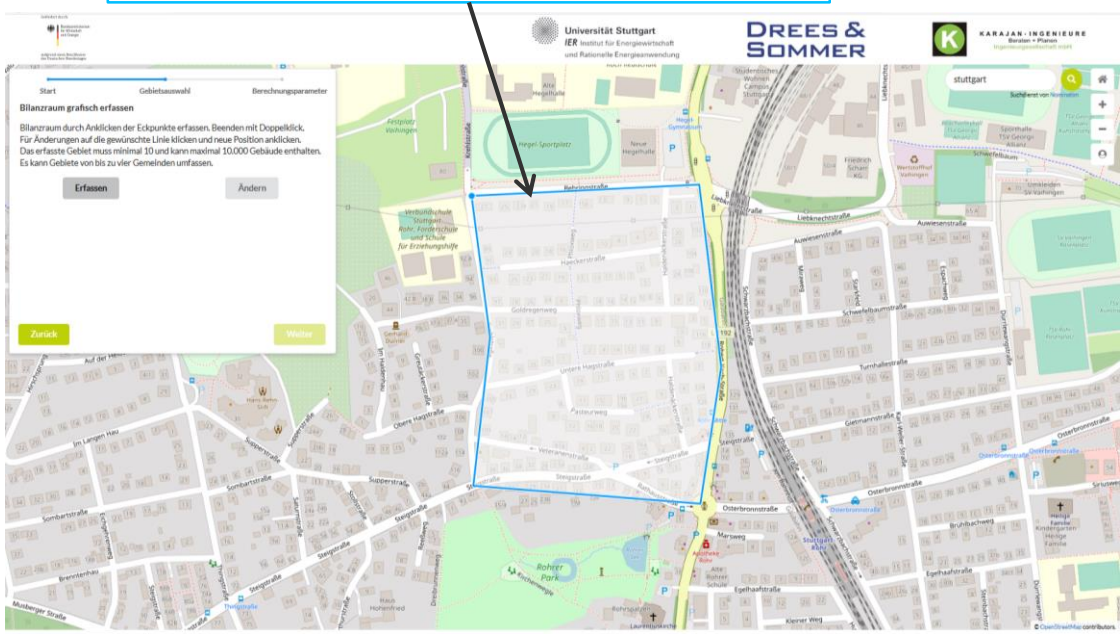
**2. Gebiet erfassen (höhere Auflösung der Karte durch Zoomen)**

**Höhere Auflösung der Karte durch Zoomen**

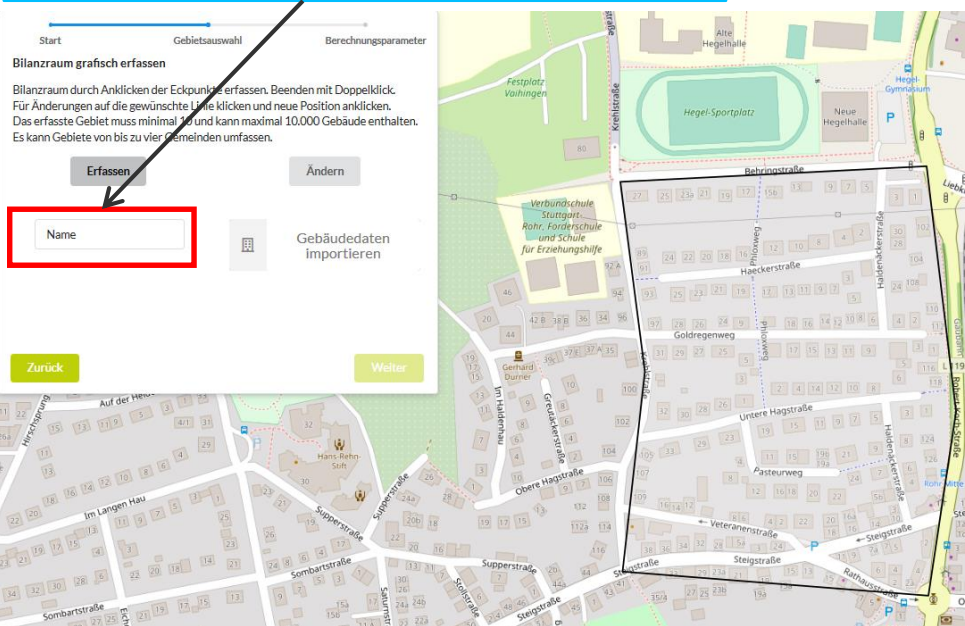


# (b) Individuelle Gebietsauswahl (2/2)

## 3. Gebiet erfassen durch Setzen der Eckpunkte



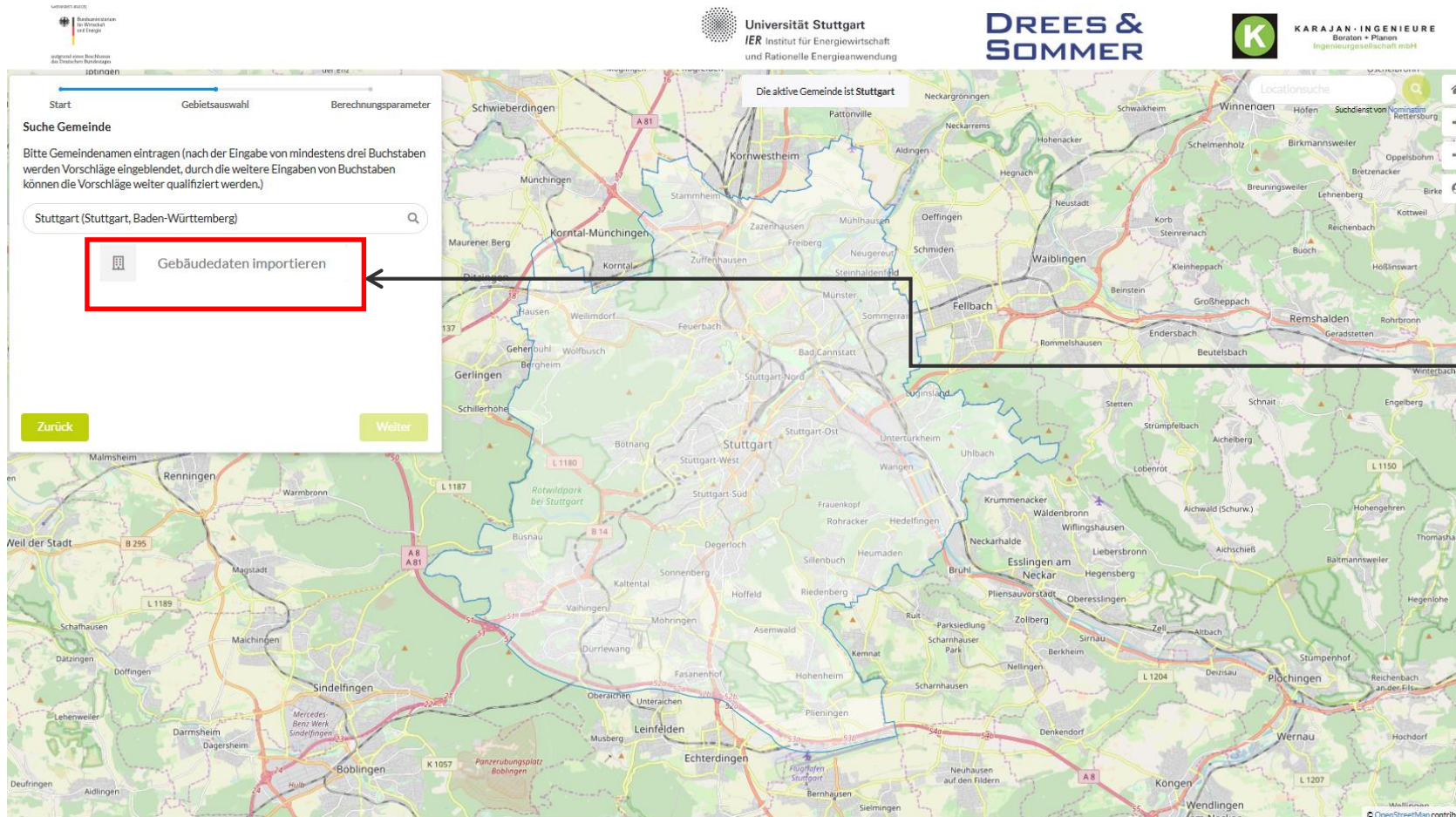
## 4. Benennung des Quartiers



Anleitung zur Anwendung von EN-easy

# **Import von Gebäudedaten**

# Gebäudedaten importieren



Anleitung zur Anwendung von EN-easy

# Berechnung starten



# Übersichtsfenster Berechnungsparameter und Berechnung starten

Start Gebietsauswahl Berechnungsparameter

Sie können vor der Berechnung optional die

Berechnungsparameter ändern

oder sofort die

Berechnung starten

Optional: „Berechnungsparameter ändern“

„Berechnung starten“

5% Berechnung läuft

Berechnung läuft und kann je nach Serverbelastung einige Minuten dauern

Zurück



# Berechnungsparameter ändern: Wohngebäude

Erweiterung des Zensus-2011-Datensatzes um Neubauten

Eingabe durchschnittliche Wohnfläche  
Einfamilienhaus bzw.  
Mehrfamilienhaus

Eingabe der Anzahl des Gebäudetyps  
je Baualtersklasse

**Berechnungsparameter für Stuttgart**

**Wohngebäude**

Nahwärme

**i** Hier können Wohngebäude, die nach 2010 errichtet wurden, eingetragen werden und die Zensus-2011-Daten ergänzen. Im Weiteren können geplante Neubaugebäude mit in die EN-easy-Analyse mitaufgenommen werden.

<b>Wohnfläche Neubau Einfamilienhaus [m²] *</b>	<b>Anzahl Gebäude Einfamilienhäuser im Neubau (ab 2016)</b>
<input type="text" value="150"/>	<input type="text" value="Anzahl Gebäude Einfamilienhäuser im Neubau (ab 2016)"/>
<b>Wohnfläche Neubau Mehrfamilienhaus [m²] *</b>	<b>Anzahl Gebäude Mehrfamilienhäuser im Neubau (2010-2015)</b>
<input type="text" value="600"/>	<input type="text" value="Anzahl Gebäude Mehrfamilienhäuser im Neubau (2010-2015)"/>
<b>Anzahl Gebäude Einfamilienhäuser im Neubau (2010-2015)</b>	<b>Anzahl Gebäude Mehrfamilienhäuser im Neubau (ab 2016)</b>
<input type="text" value="Anzahl Gebäude Einfamilienhäuser im Neubau (2010-2015)"/>	<input type="text" value="Anzahl Gebäude Mehrfamilienhäuser im Neubau (ab 2016)"/>

**Berechnung starten** **Schließen**

# Berechnungsparameter ändern: Nahwärme

**Berechnungsparameter für Stuttgart**

Wohngebäude

**Nahwärme**

**i** Hier können eigene Daten zur Nahwärmeversorgung eingegeben werden. Diese ersetzen die Werte aus der Datenbank.

Eingabe gelieferte und erzeugte Nahwärmemenge

<b>Gelieferte Nahwärme [kWh/a]</b>	<b>Anteil Kraft-Wärme-Kopplung (Energieträger: Erdgas) [kWh/a]</b>
Gelieferte Nahwärme	Anteil Kraft-Wärme-Kopplung (Energieträger: Erdgas)
<b>Erzeugte Nahwärme [kWh/a]</b>	<b>Anteil Spitzenlastkessel (Energieträger: Erdgas) [kWh/a]</b>
Erzeugte Nahwärme	Anteil Spitzenlastkessel (Energieträger: Erdgas)

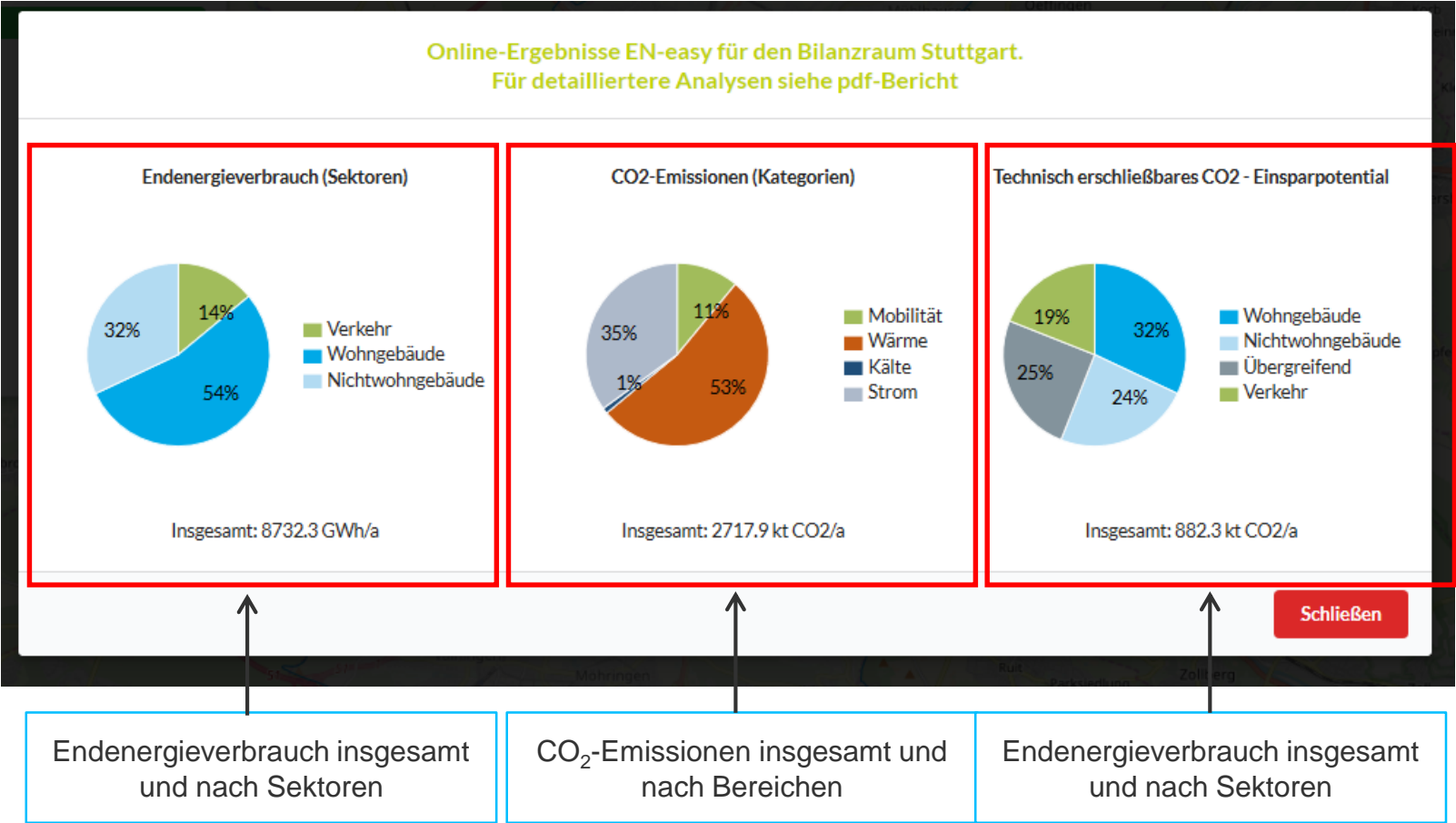
Eingabe Anteil Kraft-Wärme-Kopplung und Spitzenkessel

**Berechnung starten** **Schließen**

Anleitung zur Anwendung von EN-easy

# Ergebnisse: Online-Grafiken

# Ergebnisse: Online-Grafiken

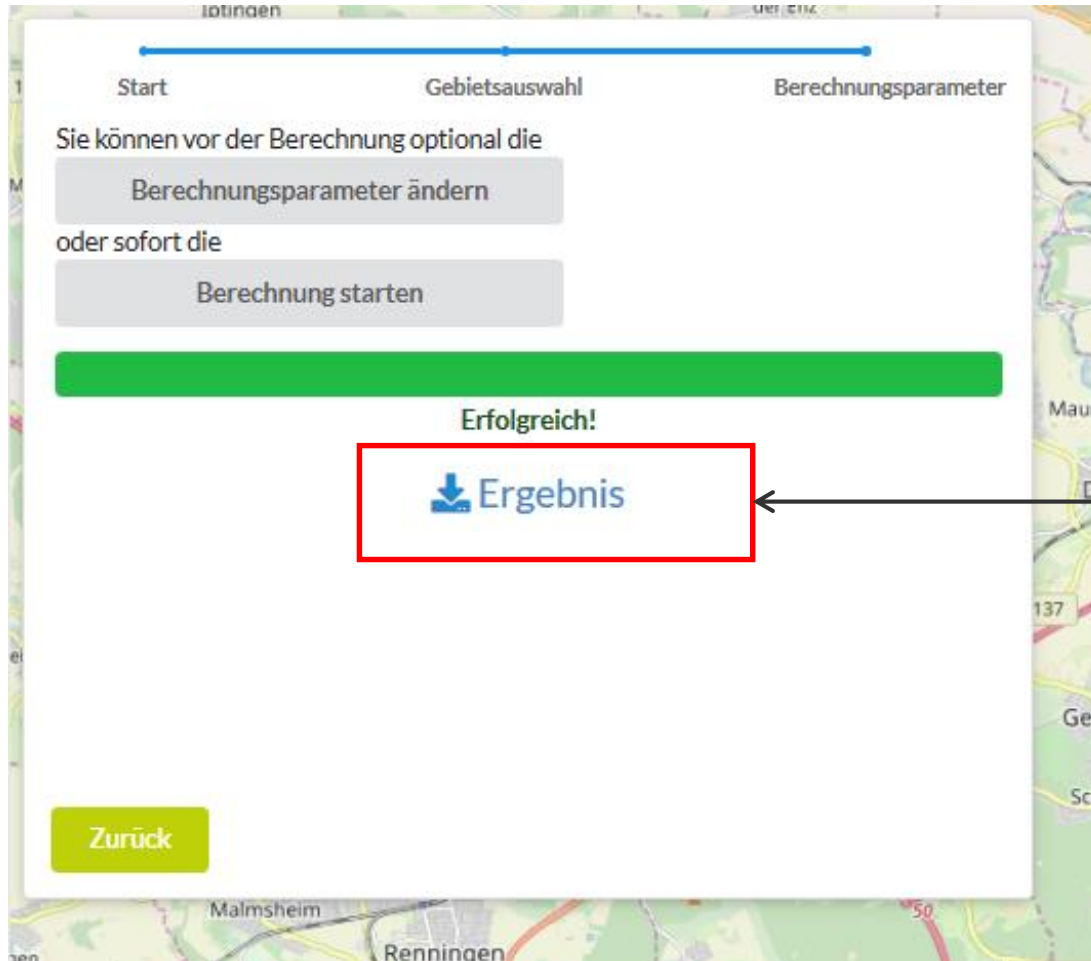


Anleitung zur Anwendung von EN-easy

# **Ergebnisse: pdf-Ergebnisbericht**

# Ergebnisse: pdf-Ergebnisbericht

Ergebnisbericht öffnen

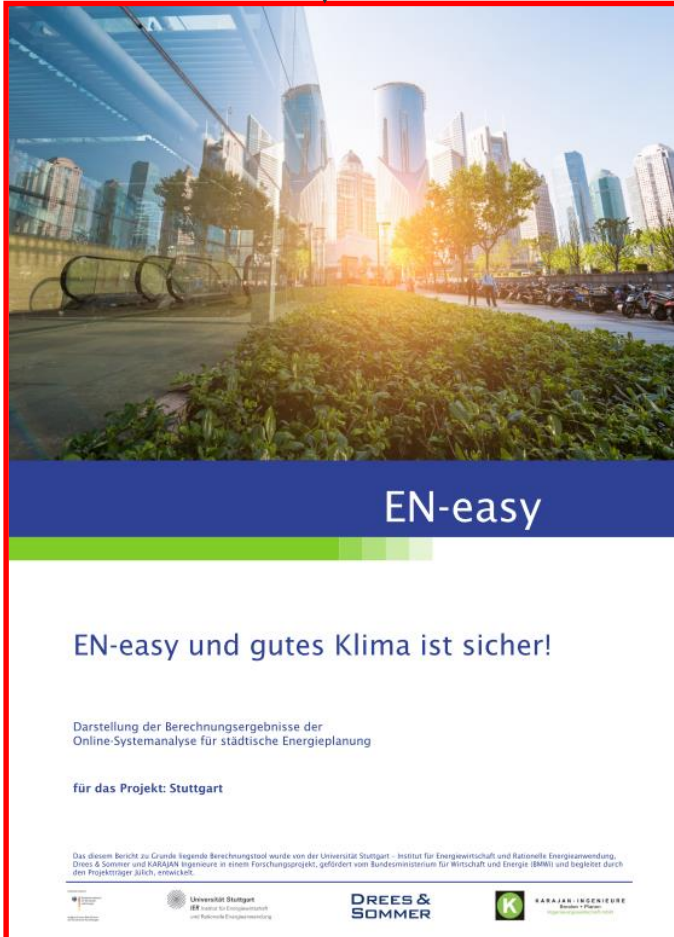


Öffnen des pdf- Ergebnisberichts durch Anklicken von „Ergebnis“

# Titelseite und Inhaltsverzeichnis

Ergebnisse: pdf-Ergebnisbericht

Titelseite Ergebnisbericht



Inhaltsverzeichnis

Inhalt	
<b>1 Energie- &amp; CO<sub>2</sub>-Bilanz . . . . .</b>	<b>3</b>
1.1 Endenergieverbrauch 8732,3 GWh/a . . . . .	5
1.2 CO <sub>2</sub> -Emissionen 2717,9 kt CO <sub>2</sub> /a . . . . .	5
<b>2 CO<sub>2</sub>-Einsparpotential 882,3 kt CO<sub>2</sub>/a . . . . .</b>	<b>6</b>
2.1 Technisch umsetzbare und wirtschaftliche Einsparpotentiale	6
2.2 CO <sub>2</sub> -Einsparpotential nach Sektoren . . . . .	6
<b>3 Klimaschutzmaßnahmen nach Sektoren, Kosten und Einsparpotential . . . . .</b>	<b>7</b>
3.1 Allgemein . . . . .	7
3.2 Maßnahmen sortiert nach Wirtschaftlichkeit . . . . .	7
3.3 Maßnahmen sortiert nach CO <sub>2</sub> -Einsparpotential . . . . .	8
<b>4 Anhang . . . . .</b>	<b>10</b>
4.1 Bilanzierungsmethode . . . . .	12
4.2 Industriesektor . . . . .	12
4.3 Klimaschutzmaßnahmen-Kurzbeschreibung . . . . .	12
4.4 Glossar . . . . .	15

Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz

CO<sub>2</sub>-Einsparpotential

Klimaschutzmaßnahmen:  
Kosten und Einsparpotential

Anhang:

- Bilanzierungsmethode
- Industriesektor
- Beschreibung Klimaschutzmaßnahmen
- Glossar

# 1 Energie- & CO<sub>2</sub>-Bilanz

Ergebnisse: pdf-Ergebnisbericht; S.3 oben

## 1 Energie- & CO<sub>2</sub>-Bilanz

Bilanzraum Stuttgart



Kennzahlen in der Übersicht:

- Energiebilanz<sup>1</sup>
- CO<sub>2</sub>-Bilanz<sup>1</sup>,
- CO<sub>2</sub>-Einsparpotential<sup>1</sup>

<sup>1</sup> endenergiebasierte Territorialbilanz: Wohngebäude, Nichtwohngebäude, Pkw-Verkehr; Nicht berücksichtigt sind: Energieverbräuche von Industrie und des restlichen Verkehrs (Straßenverkehr: Güter (Lkw); Schienenverkehr, Luftverkehr)



# 1 Energie- & CO<sub>2</sub>-Bilanz

Ergebnisse: pdf-Ergebnisbericht; S.3 unten

Allgemein			
Bilanzraum		Stuttgart	
Fläche	ha	20961,8	
Einwohner	Anzahl	588.838	
Beschäftigte - Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD)	Anzahl	314.950	
Raumtyp		Agglomerationsräume Kernstädte	
Gebäude			
Ein-/Zweifamilienhäuser	Anzahl/m <sup>2</sup> Wohnfläche	38.701	3.939.009
Mehrfamilienhäuser	Anzahl/m <sup>2</sup> Wohnfläche	38.711	19.754.216
Gewerbegebäude	Anzahl/m <sup>2</sup> Nettogeschossfläche	n.v.	14.246.706
Mischnutzung	Anzahl/m <sup>2</sup> Nettogeschossfläche	n.v.	n.v.
andere	Anzahl/m <sup>2</sup> Nettogeschossfläche	n.v.	n.v.
Baualtersklassen-Verteilung der Wohngebäude			
bis 1859	relativ/absolut	0 %	
1860 - 1918	relativ/absolut	16 %	12.386
1919 - 1948	relativ/absolut	26 %	20.127
1949 - 1957	relativ/absolut	17 %	13.160
1958 - 1968	relativ/absolut	13 %	10.064
1969 - 1978	relativ/absolut	9 %	6.967
1979 - 1983	relativ/absolut	3 %	2.322

Allgemeine Daten zum Bilanzraum<sup>1</sup>:

- Fläche in Hektar
- Anzahl der Einwohner
- Beschäftigte im Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistung (GHD)
- BBSR-Raumtyp<sup>2</sup>

Gebäudedaten zum Bilanzraum<sup>1</sup>:

- Gebäudetypen: Ein-/Zweifamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser, Gewerbegebäude, Mischnutzung, andere
- Anzahl (3. Spalte) und Wohnfläche<sup>3</sup> bzw. Nettogeschossfläche<sup>4</sup> (4. Spalte)

Baualtersklassen-Verteilung der Wohngebäude<sup>1</sup>:

- Relativ (3. Spalte)
- Absolut (4. Spalte)

<sup>1</sup> Datengrundlage Zensus 2011; <sup>2</sup> Datengrundlage Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR); <sup>3</sup> Durchschnittswerte aus Zensus 2011; <sup>4</sup> spezifische Kennwerte Nettogeschossfläche je Beschäftigten

# 1 Energie- & CO<sub>2</sub>-Bilanz

Ergebnisse: pdf-Ergebnisbericht; S.4

1984 - 1994	relativ/absolut	8 %	6.193
1995 - 2001	relativ/absolut	3 %	2.322
2002 - 2009	relativ/absolut	6 %	4.645
2010 - 2015	relativ/absolut	0 %	
ab 2016	relativ/absolut	0 %	
Gesamt	relativ/absolut	100 %	77.412
Endenergiebilanz			
Nach Endverbraucher	8732,3 GWh/a	Nach Anwendung	8732,3 GWh/a
Haushalte	54 %	Wärme	67 %
GHD	32 %	Strom	19 %
Verkehr (nur Pkw)	14 %	Verkehr	14 %
Industrie	nicht betrachtet	Kälte	0,00
CO <sub>2</sub> -Bilanz			
Nach Endverbraucher	2717948,2 t CO <sub>2</sub> /a	Nach Anwendung	2717948,2 t CO <sub>2</sub> /a
Haushalte	50 %	Wärme	53 %
GHD	38 %	Strom	35 %
Verkehr (nur Pkw)	11 %	Verkehr	11 %
Industrie	nicht betrachtet	Kälte	0,01
Kennzahlen			
Endenergieverbrauch je Einwohner	14.830	kWh/Einwohner a	
Haushalte	8.027	kWh/Einwohner a	
GHD	8.849	kWh/Beschäftigten a	
CO <sub>2</sub> -Ausstoß je Einwohner	4,6	t/Einwohner a	
Haushalte	2,3	t/Einwohner a	
GHD	3,3	t/Beschäftigten a	

Fortsetzung Baualtersklassen-Verteilung der Wohngebäude<sup>1</sup>:

- Relativ (3. Spalte)
- Absolut (4. Spalte)

Endenergiebilanz nach Endverbraucher und nach Anwendung

CO<sub>2</sub>-Bilanz nach Endverbraucher und nach Anwendung

Spezifische Kennzahlen nach Einwohner und Beschäftigten

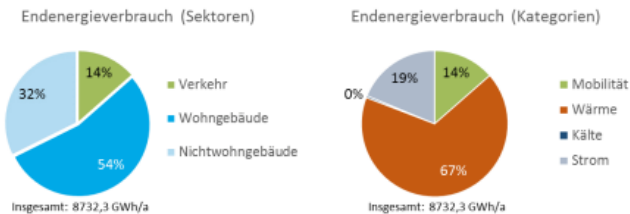
- Endenergieverbrauch je Einwohner
- Endenergieverbrauch je Beschäftigten
- CO<sub>2</sub>-Ausstoß je Einwohner
- CO<sub>2</sub>-Ausstoß je Beschäftigten

# 1 Energie- & CO<sub>2</sub>-Bilanz,

Ergebnisse: pdf-Ergebnisbericht; S.5-6

## 1.1 Endenergieverbrauch 8732,3 GWh/a

Der Endenergieverbrauch (EEV) des Bilanzraumes Stuttgart beläuft sich auf 8732,3 GWh/a bezogen auf das Jahr 2012. Darunter fällt der Endenergieverbrauch der Wohngebäude (Haushalte) und der Nichtwohngebäude (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)) als auch des Pkw-Verkehrs. Nicht Bestandteil der Bilanzierung sind der Güterverkehr und die Industrie. Der Anteil der Wohngebäude am EEV beträgt 54%, während Nichtwohngebäude und Verkehr für 32% bzw. 14% verantwortlich sind. 67% des Endenergieverbrauches entfällt auf den Wärmebereich, während Strom und Mobilität 19% bzw. 14% ausmachen.

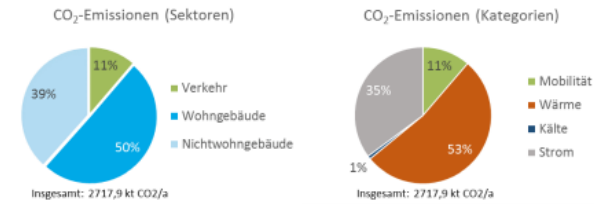


Endenergie-  
verbrauch des  
Bilanzraums

## 1.2 CO<sub>2</sub>-Emissionen 2717,9 kt CO<sub>2</sub>/a

Die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Bilanzraumes betragen im Ausgangszustand 2717,9 kt CO<sub>2</sub>/a. Je Einwohner beläuft sich der CO<sub>2</sub>-Ausstoß auf 4,6 t/Einwohner. Die Wohngebäude emittieren 50% der CO<sub>2</sub>-Emissionen, während die Nichtwohngebäude und der Verkehr 38% bzw. 11% ausstoßen. Aufgrund des spezifisch höheren Emissionsfaktors weist der Bereich Strom mit 35% einen höheren Anteil an den CO<sub>2</sub>-Emissionen aus als am Endenergieverbrauch. Wärme/Kälte und Mobilität tragen mit 54% bzw. 11% zum CO<sub>2</sub>-Ausstoß bei.

CO<sub>2</sub>-  
Emissionen  
des  
Bilanzraums



## 2 CO<sub>2</sub>-Einsparpotential 882,3 kt CO<sub>2</sub>/a

### 2.1 Technisch umsetzbare und wirtschaftliche Einsparpotentiale

Die Potentiale zur CO<sub>2</sub>-Vermeidung durch die ausgewählten Maßnahmen summieren sich auf 882,3 t CO<sub>2</sub>/a. Somit können die CO<sub>2</sub> Emissionen bis zum Jahr 2030 um 32% auf ein Niveau von 1835,7 t CO<sub>2</sub> pro Jahr gedrückt werden. Das gesamte CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenzial beträgt daher 882,3 t CO<sub>2</sub> und ist mit 242,9 t auf wirtschaftlich durchführbare Maßnahmen zurückzuführen.

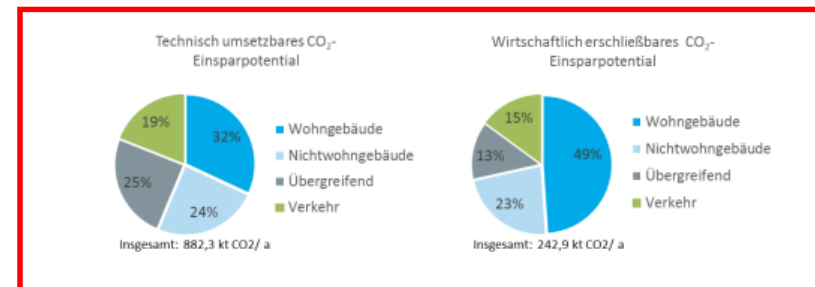
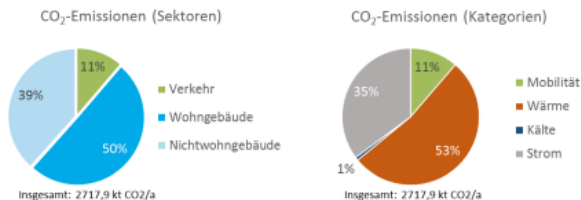


### 2.2 CO<sub>2</sub>-Einsparpotential nach Sektoren

Das technisch umsetzbare CO<sub>2</sub>-Einsparpotential beläuft sich auf 882,3 kt CO<sub>2</sub>/a, wovon 28% wirtschaftlich erschließbar sind. Klimaschutzmaßnahmen im Gebäudebereich haben einen Anteil von 49% (Wohngebäude) bzw. 23% (Nichtwohngebäude) an den wirtschaftlichen Maßnahmen. Übergreifende Maßnahmen und Verkehrsmaßnahmen stellen mit 14% bzw. 15% den verbleibenden Anteil an den wirtschaftlichen Klimaschutzmaßnahmen.

## 2 CO<sub>2</sub>-Einsparpotential<sup>1</sup>

Ergebnisse: pdf-Ergebnisbericht; S.6-7



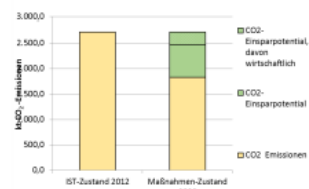
CO<sub>2</sub>-Einsparpotential:

- Technisch<sup>1</sup>
- Wirtschaftlich<sup>2</sup>

### 2 CO<sub>2</sub>-Einsparpotential 882,3 kt CO<sub>2</sub>/a

#### 2.1 Technisch umsetzbare und wirtschaftliche Einsparpotentiale

Die Potentiale zur CO<sub>2</sub>-Vermeidung durch die ausgewählten Maßnahmen summieren sich auf 882,3 t CO<sub>2</sub>/a. Somit können die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahr 2030 um 32% auf ein Niveau von 1835,7 t CO<sub>2</sub> pro Jahr gedrückt werden. Das gesamte CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenzial beträgt daher 882,3 t CO<sub>2</sub> und ist mit 242,9 t auf wirtschaftlich durchführbare Maßnahmen zurückzuführen.



#### 2.2 CO<sub>2</sub>-Einsparpotential nach Sektoren

Das technisch umsetzbare CO<sub>2</sub>-Einsparpotential beläuft sich auf 882,3 kt CO<sub>2</sub>/a, wovon 28% wirtschaftlich erschließbar sind. Klimaschutzmaßnahmen im Gebäudebereich haben einen Anteil von 49% (Wohngebäude) bzw. 23% (Nichtwohngebäude) an den wirtschaftlichen Maßnahmen. Übergreifende Maßnahmen und Verkehrsmaßnahmen stellen mit 14% bzw. 15% den verbleibenden Anteil an den wirtschaftlichen Klimaschutzmaßnahmen.

CO<sub>2</sub>-Einsparpotential<sup>1</sup>

### 3 Klimaschutzmaßnahmen nach Sektoren, Kosten und Einsparpotential

#### 3.1 Allgemein

Das gesamte wirtschaftlich umsetzbare CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzial beläuft sich auf ca. 242,9 kt CO<sub>2</sub>. Das technisch umsetzbare CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzial beträgt 882,3 kt CO<sub>2</sub>. Dies entspricht im Zieljahr 2030 einer CO<sub>2</sub>-Minderung um 32 % gegenüber dem Basisjahr 2012 infolge der ausgewählten Klimaschutzmaßnahmen. Die Verteilung der CO<sub>2</sub>-Einsparpotentiale sowie deren Kosten und damit die Relevanz der betrachteten Bereiche für die Klimaziele werden in der CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten-Kurve dargestellt.

#### 3.2 Maßnahmen sortiert nach Wirtschaftlichkeit

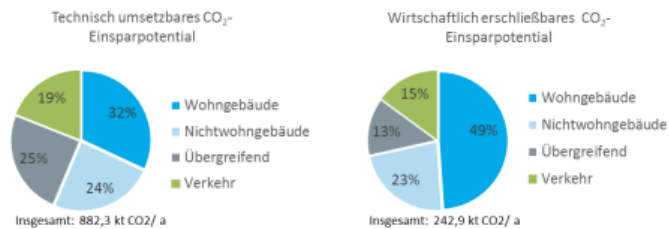
Die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten-Kurve sortiert die Klimaschutzmaßnahmen nach Wirtschaftlichkeit (spezifische CO<sub>2</sub>-Einsparkosten) von links nach rechts aufsteigend, während die horizontale Achse das CO<sub>2</sub>-Einsparpotential ausweist. Klimaschutzmaßnahmen mit negative CO<sub>2</sub>-Einsparkosten stellen bereits heute wirtschaftliche Maßnahmen dar (links der gestrichelten Linie). Die Summe der CO<sub>2</sub>-Einsparpotentiale der wirtschaftlichen Maßnahmen werden als ökonomisches Potential angegeben. Das technisch umsetzbare Potential stellt das gesamte CO<sub>2</sub>-Einsparpotential bei Umsetzung aller Maßnahmen dar, unter Berücksichtigung der unterstellten Durchdringung einer Maßnahme bis 2030 (z.B. wird von einer 1 %-Sanierungsquote ausgegangen). Die Zuordnung der Maßnahmen zu den Säulen in der Abbildung erfolgt über die nachfolgende Tabelle in gleicher Sortierung, d.h. die Säule ganz links in der Abbildung entspricht der ersten Maßnahme in der tabellarischen Auflistung der Maßnahmen, die zweite Säule der zweiten Maßnahme, usw. Die nachfolgende Tabelle zeigt die TOP-10 der Maßnahmen in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit. Eine komplette Tabelle ist im Anhang dargestellt.

<sup>1</sup> technisch umsetzbares Potential unter Berücksichtigung von Durchdringungsraten der Maßnahmenpotentiale bis 2030 gegenüber 2012 (vgl. Blesl et al 2019); s. [Anhang](#)

<sup>2</sup> negative CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten

# 3 Klimaschutzmaßnahmen nach Sektoren, Kosten und Einsparpotential

Ergebnisse: pdf-Ergebnisbericht; S.7-9



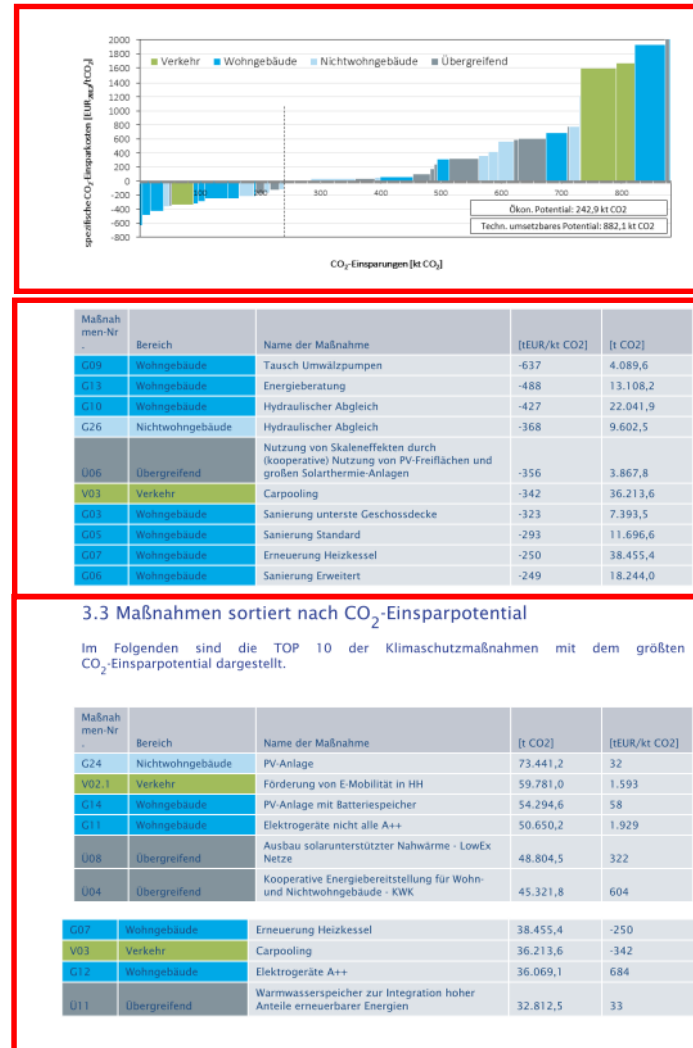
## 3 Klimaschutzmaßnahmen nach Sektoren, Kosten und Einsparpotential

### 3.1 Allgemein

Das gesamte wirtschaftlich umsetzbare CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzial beläuft sich auf ca. 242,9 kt CO<sub>2</sub>. Das technisch umsetzbare CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzial beträgt 882,3 kt CO<sub>2</sub>. Dies entspricht im Zieljahr 2030 einer CO<sub>2</sub>-Minderung um 32 % gegenüber dem Basisjahr 2012 infolge der ausgewählten Klimaschutzmaßnahmen. Die Verteilung der CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale sowie deren Kosten und damit die Relevanz der betrachteten Bereiche für die Klimaschutzziele werden in der CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten-Kurve dargestellt.

### 3.2 Maßnahmen sortiert nach Wirtschaftlichkeit

Die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten-Kurve sortiert die Klimaschutzmaßnahmen nach Wirtschaftlichkeit (spezifische CO<sub>2</sub>-Einsparkosten) von links nach rechts aufsteigend, während die horizontale Achse das CO<sub>2</sub>-Einsparpotential ausweist. Klimaschutzmaßnahmen mit negative CO<sub>2</sub>-Einsparkosten stellen bereits heute wirtschaftliche Maßnahmen dar (links der gestrichelten Linie). Die Summe der CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale der wirtschaftlichen Maßnahmen werden als ökonomisches Potential angegeben. Das technisch umsetzbare Potential stellt das gesamte CO<sub>2</sub>-Einsparpotential bei Umsetzung aller Maßnahmen dar, unter Berücksichtigung der unterstellten Durchdringung einer Maßnahme bis 2030 (z.B. wird von einer 1 %-Sanierungsquote ausgegangen). Die Zuordnung der Maßnahmen zu den Säulen in der Abbildung erfolgt über die nachfolgende Tabelle in gleicher Sortierung, d.h. die Säule ganz links in der Abbildung entspricht der ersten Maßnahme in der tabellarischen Auflistung der Maßnahmen, die zweite Säule der zweiten Maßnahme, usw. Die nachfolgende Tabelle zeigt die TOP-10 der Maßnahmen in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit. Eine komplette Tabelle ist im Anhang dargestellt.



CO<sub>2</sub>-Vermeidungskostenkurve: Abbildung

- Von links nach rechts aufsteigende Sortierung [EUR/t CO<sub>2</sub> Vermeidung]
- Breite der Säule gibt das technisch umsetzbare CO<sub>2</sub>-Einsparpotential an
- Farben widerspiegeln unterschiedliche Sektoren:
  - Grün = Verkehr
  - dunkelblau = Wohngebäude
  - Hellblau = Nichtwohngebäude
  - Grau = übergreifende Maßnahmen

CO<sub>2</sub>-Vermeidungskostenkurve: Tabelle

- TOP 10 Maßnahmen nach Wirtschaftlichkeit

CO<sub>2</sub>-Einsparpotential: Tabelle

- TOP 10 Maßnahmen nach CO<sub>2</sub>-Einsparpotential

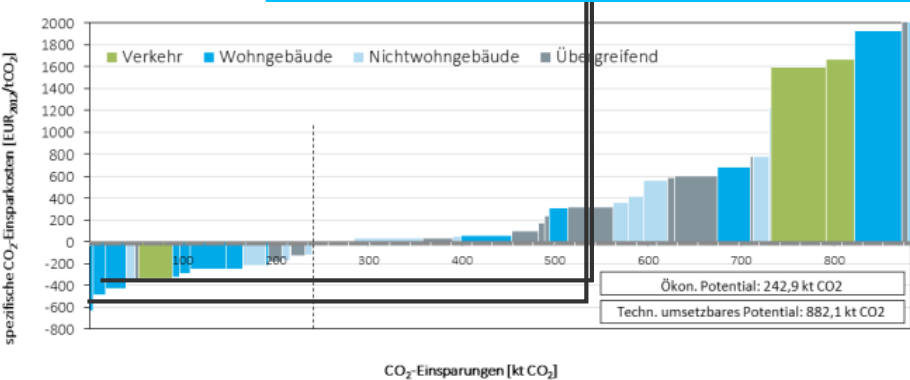
# 4 Anhang

S.10-12: Detaillierte Darstellung der CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten: Abbildung und Tabelle

Zuordnung Säulen in Abbildung zu Maßnahmeneschreibung in Tabelle

4 Anhang

1. Säule von links entspricht 1. Eintrag in der Tabelle, 2. Säule entsprechend dem 2. Eintrag usw.



Maßnahmen-Nr.	Bereich	Name der Maßnahme	[tEUR/kt CO2]	[t CO2]	U05	Übergreifend	Kooperative Energiebereitstellung für Wohn- und Nichtwohngebäude - Wärmepumpen	775	2.055,9
C09	Wohngebäude	Tausch Umwälzpumpen	-637	4.089,6	G34	Nichtwohngebäude	Einrichtung eines Monitoring- und Steuerkonzepts	780	17.258,1
G13	Wohngebäude	Energieberatung	-488	13.108,2	G29	Nichtwohngebäude	Bezug regeneratives Heizöl	1.221	1.873,1
G10	Wohngebäude	Hydraulischer Abgleich	-427	22.041,9	V02.1	Verkehr	Förderung von E-Mobilität in HH	1.593	59.781,0
G26	Nichtwohngebäude	Hydraulischer Abgleich	-368	9.602,5	V02.2	Verkehr	Förderung von E-Mobilität in GHD	1.669	30.393,0
U06	Übergreifend	Nutzung von Skaleneffekten durch (kooperative) Nutzung von PV-Freiflächen und großen Solarthermie-Anlagen	-356	3.867,8	G11	Wohngebäude	Elektrogeräte nicht alle A++	1.929	50.650,2
V03	Verkehr	Carpooling	-342	36.213,6	U03	Übergreifend	Demand-Side-Management im Verkehr - GHDI	2.078	7.248,9
G03	Wohngebäude	Sanierung unterste Geschossdecke	-323	7.393,5	G25	Nichtwohngebäude	Tausch Umwälzpumpen	2.245	102,8
G05	Wohngebäude	Sanierung Standard	-293	11.696,6	G38	Wohngebäude	Nutzung regeneratives Heizöl	3.070	1.935,1
G07	Wohngebäude	Erneuerung Heizkessel	-250	38.455,4	G36	Nichtwohngebäude	Reduzierung des Kältebedarfs durch aktive Nachtlüftung (ggf. inkl. BTA)	4.695	487,2
G06	Wohngebäude	Sanierung Erweitert	-249	18.244,0	G35	Nichtwohngebäude	Optimierung des außenliegenden Sonnenschutzes	4.795	146,2
G23	Nichtwohngebäude	Erneuerung Heizungsanlage	-218	25.129,4					
C02	Wohngebäude								
U02	Übergreifend								
G21	Nichtwohngebäude								
C01	Wohngebäude								
U07	Übergreifend								
G19	Nichtwohngebäude								
G17	Nichtwohngebäude	Energieaudit geringinvestiv	-34	3.816,0					
V01.1	Verkehr	Umweltverbund für HH	0	22.261,1					
V01.2	Verkehr	Umweltverbund für GHD	0	18.997,9					
G24	Nichtwohngebäude	PV-Anlage	32	73.441,2					
U11	Übergreifend	Warmwasserspeicher zur Integration hoher Anteile erneuerbarer Energien	33	32.812,5					
G28	Nichtwohngebäude	Sanierung Wärme-/Kälteverteilung	51	8.658,8					
G14	Wohngebäude	PV-Anlage mit Batteriespeicher	58	54.294,6					
G04	Wohngebäude	Sanierung Außenwand	82	446,6					
G10	Übergreifend	Batteriespeicher	103	28.214,3					
U09	Übergreifend	Abwasserwärmenutzung	171	7.082,1					
U01	Übergreifend	Förderung von PV-Carports	238	5.108,2					
G08	Wohngebäude	Erneuerung Heizkessel + Solar	309	19.539,5					
U08	Übergreifend	Ausbau solarunterstützter Nahwärme - LowEx Netze	322	48.804,5					
G27	Nichtwohngebäude	Sanierung Wärme-/Kälteübergabe	358	16.022,8					
G15	Nichtwohngebäude	Sanierung NWG einfach	420	16.288,7					
G16	Nichtwohngebäude	Sanierung NWG komplett	567	25.957,3					
G12	Übergreifend	Straßenbeleuchtung	590	8.117,9					
U04	Übergreifend	Kooperative Energiebereitstellung für Wohn- und Nichtwohngebäude - KWK	604	45.321,8					
G12	Wohngebäude	Elektrogeräte A++	684	36.069,1					

Letzte Säule von links entspricht dem letzten Eintrag der Tabelle.



# 4 Anhang

## S.12-15: Kurzbeschreibung der Klimaschutzmaßnahmen

G-01 bis G-06	Sanierung der Gebäudehülle in Wohngebäuden	Reduktion des jährlichen Heizwärmebedarfs durch die Sanierung der Gebäudehülle (Außenwand, Fenster, Dach, Kellerdecke) oder durch eine Komplettsanierung Standard bzw. Komplettsanierung erweitert.
G-07 bis G-08	Erneuerung von Erzeugungsanlagen / Anlagentechnik	Austausch bestehender Wärmeerzeuger durch Investitionen in effiziente/neue Geräte
G-09 bis G-10	Austausch von Umwälzpumpen und Durchführung eines hydraulischen Abgleichs	Neue regelbare Umwälzpumpen bieten in Verbindung mit einem hydraulischen Abgleich großes Einsparpotenzial in Heizungssystemen.
G11 bis G-12	Austausch der Elektrogeräte	Durch den Austausch der Elektrogeräte hin zu einer effizienteren Variante, kann der Strombedarf maßgeblich gesenkt werden
G-13	Energieberatung	Reduktion des Energieverbrauches in Wohngebäuden durch eine energietechnische Optimierung im Rahmen einer Energieberatung
G-14	Nutzung einer PV-Anlage	Die Anwendung einer PV-Anlage zur gebäudeinternen Stromproduktion dient zur Senkung des Strombezugs
G-37	Neubau im KfW Effizienzhaus 40 Standard	Um den Heizenergiebedarf zu senken, wird bei Neubauten ein verbesserter Baustandard von KfW 40 statt KfW 70 angenommen. Hierbei ändert sich die spezifische Heizlast im Gebäude.
G-38	Bezug regeneratives Heizöl	Die Nutzung von regenerativem Heizöl anstelle von herkömmlichem Heizöl dient dazu, die lokalen Netto-CO2-Emissionen zu senken. Durch die Maßnahme kommt es zu keiner Energieeinsparung, sondern nur zu einer Verbesserung der CO2-Bilanz.
Nichtwohngebäude-Maßnahmen		
G-15 bis G-16	Sanierung der Gebäudehülle in Nichtwohngebäuden	Reduktion des jährlichen Heizwärmebedarfs durch die Sanierung der Gebäudehülle (Außenwand, Fenster, Dach, Kellerdecke)
G-17 bis G-22	Energieaudit, Betriebsoptimierung, Querschnitts-Technologien, Energieberatung	Reduktion des Energieverbrauches in Nichtwohngebäuden durch eine energietechnische Optimierung. Dies kann im Rahmen einer Energiedienstleistung, einer Betriebsoptimierung oder einer Energieberatung, jeweils in verschiedenen Ausprägungen, stattfinden.
G-23	Erneuerung Wärmeerzeugung	Erneuerung der Heizungsanlage in zwei Stufen. In Stufe 1 wird die bestehende Anlage gegen eine neue, dem derzeitigen Stand der Technik entsprechende, ausgetauscht. In Stufe 2 wird zusätzlich ein Teil der benötigten Wärme durch Solarthermie bereitgestellt.
G-24	Nutzung PV-Anlage	Die Anwendung einer PV-Anlage zur gebäudeinternen Stromproduktion dient zur Senkung des Strombezugs aus dem öffentlichen Netz.
G-25 bis G-26	Austausch der Umwälzpumpen und Hydraulischer Abgleich der Heizungsanlage	Austausch der Umwälzpumpen der Heizungsanlagen, wodurch der Strombedarf zum Betrieb der Heizungsanlagen reduziert wird. Durch die Optimierung des Heizungssystems mit Hilfe des hydraulischen Abgleichs können die Verluste im Netz reduziert werden wodurch wiederum die Effizienz der Anlage steigt.
G-27 bis G-28	Erneuerung Wärme- bzw. Kälteverteilung und Übergabe	Austausch bestehender Wärme und Kälteerzeuger sowie der Verteilung durch Investitionen in effiziente/neue Geräte
G-29	Nutzung regeneratives Heizöl	Die Nutzung von Regenerativem Heizöl anstelle von vollständig fossilem dient dazu, die Netto-CO2-Emissionen zu senken.
G-30	Nutzung regenerativer Wärmesenken zur Gebäudekühlung	Nutzung von z. B. Erdsonden zur Bereitstellung von Wärmesenken
G-31	Bau nach optimierter Green-Building-Planung	Verschärfter Baustandard mit reduziertem Primärenergiebedarf
G-32	Einsatz von Niedertemperatur-Flächenheizungen	Reduktion der Verluste durch Temperaturabsenkung der Wärmebereitstellung und Wärmeverteilung in Neubauten

U-07	Temperaturabsenkung von Wärmenetzen zur Effizienzsteigerung	Effizienzsteigerung durch Integration moderner Wärmeerzeugungsanlagen. Zusätzliche Reduktion des Primärenergieverbrauchs und des CO2-Ausstoßes, durch Absenkung der Temperaturen in netzgebundenen Wärmeversorgungs-konzepten von Standard (90°C Vorlauf/60°C Rücklauf) auf Niedertemperatur-Nahwärmeversorgung (60°C/45°C) Damit sind Effizienzvorteile entlang der Wärmebereitstellungskette verbunden.
U-08	Ausbau solar-unterstützter Nahwärme - LowEx Netze	Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Wärme in der Nahwärmeversorgung durch die Nutzung von Freiflächen-Solarthermie-Anlagen. Zusätzlich zum Potential von U04 & U-11 des technischen Potentials zur Nahwärmebereitstellung erschlossen wird.
U-09	Abwasserwärmenutzung	Dekarbonisierung der Wärmeversorgung durch Abwasserwärmenutzung mittels Wärmepumpen gegenüber konventionellen Heizungssystemen
U-10	Batteriespeicher	Mit stationären elektrischen Speichersystemen kann der Eigenverbrauch von photovoltaisch erzeugtem Strom erhöht werden. Die lokale Emissionsreduktion ergibt sich dabei aufgrund des gestiegenen Eigennutzungsanteils und der somit verminderten Stromexporte ins übergreifende Netz.
U-11	Warmwasserspeicher	Durch Wärmespeicher können höhere Anteile dargebotsabhängiger erneuerbarer Energien in das Nahwärmesystem integriert werden.
U-12	Austausch der Straßenbeleuchtung gegen LED-Leuchten	Die Straßenbeleuchtung hat einen relevanten Anteil am kommunalen Stromverbrauch. Hier besteht Stromesparpotenzial durch Modernisierung alter Leuchten.
U-13	Quartiers- / Klimaschutz-manager	Ziel der Maßnahme ist die Etablierung eines Klimaschutzmanagers, der Umsetzung der verschiedenen Maßnahmen innerhalb des Bilanzraums steuert und fachlich-inhaltlich unterstützt, begleitet und deren Wirksamkeit überprüft.

→ Weitere Erläuterungen zu den Maßnahmen siehe **Endbericht Systemanalyse Stadt** (Blesl et al 2019)

- 4.1 Bilanzierungsmethode
- Als Bilanzierungsmethode wird für die privaten Haushalten (Wohngebäude) als auch für den GHD-Sektor (Nichtwohngebäude) eine endenergiebasierte Territorialbilanz verwendet. Hierbei werden alle im Bilanzraum entstehenden Endenergieverbräuche und CO<sub>2</sub>-Emissionen (auch durch Strombezug verursachte CO<sub>2</sub>-Emissionen) berücksichtigt. Für den Verkehr hingegen wird eine Verursacherbilanz angewendet. In der Verursacherbilanz werden auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die auf die Arbeitnehmer, die nicht aus der Bevölkerung des Bilanzraumes stammen (Pendler) zurückzuführen sind, unabhängig ob die Treibhausgase innerhalb oder außerhalb des Bilanzraumes entstehen, berücksichtigt.
- 4.2 Industriesektor
- Der Industrie-Sektor wird in der Energiebilanz standardmäßig nicht berücksichtigt, da der Energieverbrauch stark branchenabhängig ist und große regionale Unterschiede hinsichtlich der Industrieansiedlung existieren. Eine durchschnittliche Betrachtung für eine Kommune / ein Quartier birgt daher für diesen Bereich eine große Fehleranfälligkeit.
- 4.3 Klimaschutzmaßnahmen-Kurzbeschreibung

Bezeichnung	Bereich oder Name der Maßnahme	Kurzbeschreibung
Wohngebäude-Maßnahmen		

# 4 Anhang

## S.15-17: Glossar

### 4.4 Glossar

Bilanzraum	Als Bilanzraum können Gemeinden oder individuell eingezeichnete Gebiete ausgewählt werden	Gewerbegebäude	Nichtwohngebäude, die zu gewerblichen und/oder industriellen Zwecken genutzt werden (Beispiele: Bürogebäude, Kaufhaus, Fabrik, etc.). Wird nur im Fall der individuellen Gebietsauswahl angegeben.	CO2-Bilanz	Es werden die CO2-äquivalenten direkten Emissionen ausgewiesen. Indirekte Emissionen wie die Vorkette z.B. bei Erdgas-Emissionen sind nicht berücksichtigt.
Fläche	Gibt die Gemeindefläche bzw. des ausgewählten Gebietes in Hektar an	Mischgebäude	Gebäude, die zum Wohnen/Übernachten und gewerblichen/industriellen Zwecken genutzt werden (Beispiele: Wohn- und Bürogebäude, Land- und forstwirtschaftliches Wohn- und Betriesbsgebäude)	CO2-Vermeidungskostenkurve	Um eine Umsetzungsreihenfolge von Klimaschutzmaßnahmen festzulegen, kann das Kriterium der Wirtschaftlichkeit gewählt werden. Daher werden die Maßnahmen aufsteigend nach Kosten, die die Einsparung 1 Tonne CO2 verursachen, sortiert. Bei negativen CO2-Vermeidungskosten ist die Umsetzung einer Klimaschutzmaßnahme bereits wirtschaftlich vorteilhaft. Neben der vertikalen Achse mit Angabe der spezifischen CO2-Einsparkosten wird auf der horizontalen Achse das CO2-Einsparpotential einer Maßnahme berücksichtigt.
Einwohner	Bei Gemeinden stammen die Einwohnerzahlen aus den Zensus 2011-Daten, während bei dem "Freien Bilanzraum" die Einwohner über die Geo-Zensus-Daten ausgegeben werden.	andere	Bauwerke mit Grundriss, die aber keine Gebäude darstellen (z.B. Windkraftanlage, Carport)	Technische umsetzbares CO2-Einsparpotential	Das CO2-Einsparpotential berücksichtigt die technische Umsetzbarkeit bzw. Durchdringung des Maßnahmenpotentials. Hierbei werden konservative Schätzungen angenommen, so dass beispielsweise bei energetischen Sanierungsmaßnahmen von einer Sanierungsquote von ca. 1%/a ausgegangen wird. Im Weiteren sind Kopplungseffekte von Klimaschutzmaßnahmen bzgl. des Einsparpotentials qualitativ berücksichtigt. Z.B. bewirkt die energetische Sanierungsmaßnahmen (G01-G06) eine Reduktion des CO2-Einsparpotentials durch die Umsetzung einer Nahwärmeversorgung (G04)
Beschäftigte - GHD	Die Anzahl der Beschäftigten in den Bereichen Gewerbe, Handel und Dienstleistungen basiert auf den Zensus 2011-Daten. Liegen für eine Gemeinde keine Beschäftigten-Zahlen vor, so werden diese über die Einwohnerzahl und der Beschäftigten-Verteilung in Deutschland grob abgeschätzt. Im Fall der individuellen Gebietsauswahl wird die Anzahl der Beschäftigten über den Anteil der ausgewählten Gewerbegebäude und der gesamten Anzahl der Beschäftigten einer Gemeinde ermittelt.	Baualtersklassen	Die Wohngebäude werden in Baualtersklassen nach IWU (Institut Wohnen und Umwelt) unterschieden. Dazu werden die Zensus-Baualtersklassen entsprechend umgerechnet. Im Fall des "Freien Bilanzraumes" werden Geo-Zensus-Daten zu den Baualtersklassen herangezogen. Da diese Daten z.T. lückenhaft sind, werden die fehlenden Daten durch Hochrechnung der Verteilung abgeschätzt.	Ökonomisches CO2-Einsparpotential	Das ökonomische Potential stellt das CO2-Einsparpotential von Klimaschutzmaßnahmen mit negativen bzw. neutralen CO2-Vermeidungskosten dar.
Ein-/Zweifamilienhäuser	Wohngebäude mit 1-2 Wohnungen	Endenergiebilanz	Die Endenergiebilanz umfasst die Bereiche Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) und den Pkw-Verkehr. Nicht erfasst sind der Industrie-Sektor bzw. der Güter-Straßenverkehr, öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV) oder Flugverkehr.	Klimaschutzmaßnahmen	Maßnahmen, die zur Einsparung von CO2-Emissionen führen (z.B. durch Effizienzsteigerungen, Einsatz erneuerbarer Energien). Unterscheidung der Kategorien Wohngebäude, Nichtwohngebäude, Verkehr und übergreifend. Übergreifende Maßnahmen umfassen mehrere Bereiche (z.B. Strom und Mobilität bei Förderung von PV-Carports) bzw. einen größere Skala (z.B. Wärmeversorgung mehrerer Gebäude, PV-Freiflächenanlage)
Mehrfamilienhäuser	Wohngebäude mit mind. 3 Wohnungen	Haushalte	Der Endenergieverbrauch und die CO2-Emissionen der Haushalte beziehen sich auf die Wohngebäude.	Zeitraum	Das CO2-Einsparpotential in 2030 wird gegenüber dem Basisjahr 2012 der Berechnungen angegeben.
		GHD	Der Endenergieverbrauch und die CO2-Emissionen des Gewerbes, Handels und der Dienstleistungen (GHD) beziehen sich auf die Nichtwohn- bzw. Gewerbegebäude.		
		Verkehr (nur Pkw)	Der Straßenverkehr der Pkw wird auf Basis von MiD-Daten (Mobilität in Deutschland) für den jeweiligen BBSR-Raum (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung) abgeschätzt. Diese ordnen den Gemeinden einen von neun Raumtypen zu. Jeder dieser Raumtypen weist spez. durchschnittliche Fahrleistungen auf Basis der MiD-2008-Daten auf, die für einen Raumtyp charakteristisch sind. Bei den Fahrleistungen werden die Wegezwecke Wohnen und Arbeiten berücksichtigt. Der Freizeitverkehr wird anteilig diesen beiden Gruppen zugeordnet.		
		Industrie	Der Sektor Industrie wird nicht betrachtet		
		Wärme	Der Bereich Wärme umfasst den Endenergieverbrauch für die Anwendungszwecke Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme in den Wohn- und Nichtwohngebäuden. Der jeweilige Endenergieverbrauch wird über Kennzahlen abgeschätzt (z.B. Raumwärmebedarf je m2 Wohnfläche und Effizienz der Heizanlage)		
		Strom	Der Bereich Strom umfasst den Endenergieverbrauch für die Anwendungszwecke von u.a. Beleuchtung, Elektrogeräte in den Wohn- und Nichtwohngebäuden.		
		Verkehr	Der Bereich Verkehr umfasst den Endenergieverbrauch von Pkw für die Anwendungszwecke Wohnen und Arbeiten.		

→ Weitere Erläuterungen siehe auch  
**Endbericht Systemanalyse Stadt**  
(Blesl et al 2019)



# 4 Anhang

## S.18: Kontakt

Experten EN-easy

### Kontakt



**Universität Stuttgart**  
**IER** Institut für Energiewirtschaft  
und Rationelle Energieanwendung

Institut für Energiewirtschaft und  
Rationelle Energieanwendung

Heßbrühlstraße 49a  
70565 Stuttgart

Telefon: +49 (0)711 685 87800  
Telefax: +49 (0)711 685 87873

Email: [www.ier@ier.uni-stuttgart.de](mailto:www.ier@ier.uni-stuttgart.de)



**DREES &  
SOMMER**

Drees & Sommer SE

Obere Waldplätze 13  
70569 Stuttgart

Telefon +49 (0)711 1317 0  
Telefax +49 (0)711 1317 101

Email: [info@dreso.com](mailto:info@dreso.com)  
[www.dreso.com](http://www.dreso.com)



**KARAJAN-INGENIEURE**  
Beratung + Planen  
Ingenieurgesellschaft mbH

KARAJAN - Ingenieure  
Beratung + Planen  
Ingenieurgesellschaft mbH

Schloßstraße 54  
70176 Stuttgart

Telefon: +49 (0)711 669940  
Telefax: +49 (0)711 6699466

Email: [info@karajan.de](mailto:info@karajan.de)  
[www.karajan.de](http://www.karajan.de)

Für weitere Fragen im Bereich Klimaschutz und Energieeffizienz stehen Ihnen auf Forschungsseite Universität Stuttgart - Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung unter +49 (0)711 685 87800 zur Verfügung, sowie als Berater Drees & Sommer unter +49 (0)711 1317 0.

Für Fragen im Bereich Verkehr und Mobilität wenden Sie sich gerne an Karajan Ingenieure unter +49 (0)711 669940.

**Literatur**

# Literatur

(Blesl et al 2019)

M. Blesl, M. Stehle, L. Brodecki, P. Groß, G. Grassl, S. Reiser, J. Karajan, A. Christ und E. Müller, „Systemanalyse für die städtische Energieplanung mit einem modularen Planungsinstrument – methodische Grundlagen und Fallbeispiele,“ Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart; Drees & Sommer Advanced Building Technologies GmbH; Karajan Ingenieure, Stuttgart, 2019.

## **Anhang: Berechnungsparameter (Auswahl)**

Berechnungsparameter

# Ökonomische Annahmen

# Betriebswirtschaftliche Analyse der Maßnahmen nach dem Vollkostenansatz

## Annahmen zur Wahl der Zinssätze und Preisänderungsfaktoren <sup>1</sup>

Der Rahmen der Vollkostenbetrachtung stellt sich wie folgt dar. Der Zeithorizont umfasst 18 Jahre, wobei das Basisjahr 2012 und das Zieljahr 2030 vergleichend betrachtet werden. Die Berechnung des Kapitalwertes von Ein- und Auszahlungen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen, setzt die Wahl eines internen Kalkulationszinssatzes voraus. Dabei wurden die internen Zinssätze in Abhängigkeit der durchführenden Akteure variiert. Für Haushalte wurde eine Abzinsung mit einer Quote von 3 % gewählt, während für den GHD-Sektor 8 % angenommen wurden. Die im Vergleich zum Haushaltssektor höher angesetzten Zinssätze für den GHD-Sektor sollen die unterschiedlichen Zeit- und Risikopräferenzen der Sektoren zum Ausdruck bringen. Dabei impliziert ein hoher Zinssatz eine hohe Zeitpräferenz und einen hohen Risikozuschlag für Investitionen. Beides ist für den wirtschaftlichen Sektor GHD im Vergleich zum Haushaltssektor als ausgeprägter anzunehmen. Investitionen, die die öffentliche Stadtverwaltung betreffen, werden mit 5 % abgezinst.

Im Weiteren werden für den Betrachtungszeitraum Preisänderungsfaktoren für die einzelnen Kostengruppen angenommen:

- Kapitalgebundene Kosten (z.B. Investitionsaufwendung): 1 %
- Bedarfsgebundene Kosten (z.B. Brennstoffkosten): 2 %
- Betriebsgebundene Kosten (z.B. Wartung): 1 %
- Erlöse: 1 %

---

<sup>1</sup> aus Endbericht Systemanalyse Stadt (Blesl et al 2019)

# Betriebswirtschaftliche Analyse der Maßnahmen nach dem Vollkostenansatz

Annahmen zu den Energieträgerpreisen <sup>1</sup>

Tabelle 46: Energieträgerpreise

Basisjahr 2012	Private Haushalte Preis [EUR-ct/kWh]	GHD Preis [EUR-ct/kWh]	Quelle
Strom	26,36	13,77	[61]
Heizöl	8,89	8,89	[61]
Erdgas	7,13	4,58 / 7,13 <sup>11</sup>	[61]
Holz-Pellets	5,50	5,50	[62]
Flüssiggas	4,43	4,43	[63]
Kohle	5,88 <sup>12</sup>	5,88 <sup>12</sup>	[64]

<sup>1</sup> aus Endbericht Systemanalyse Stadt (Blesl et al 2019)

Berechnungsparameter

# Wohngebäude



# Spezifische Wärmebedarfe von Wohngebäuden <sup>1</sup>

**Tabelle 41: Spezifische Wärmebedarfe (Raumwärme + Warmwasser) je Gebäudetyp und Baualtersklasse unter Berücksichtigung bereits sanierter Gebäude (je Baualtersklasse 12,5% von A bis H)**

Spezifischer Heizwärmebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> *a)]			Quelle: IWU [58]
Baualtersklasse	Zeitraum	EFH	MFH
A	bis 1859	168	178
B	1860 - 1918	165	140
C	1919 - 1948	153	156
D	1949 - 1957	170	150
E	1958 - 1968	171	126
F	1969 - 1978	146	132
G	1979 - 1983	117	118
H	1984 - 1994	129	122
I	1995 - 2001	110	98
J	2002 - 2009	80	68
K	2010 - 2015	50	63
L	ab 2016	36	61

<sup>1</sup> aus Endbericht Systemanalyse Stadt (Blesl et al 2019)

# Spezifische Strombedarfe von Wohngebäuden <sup>1</sup>

Tabelle 43: Spezifische elektrische Strombedarfe je m<sup>2</sup> Wohnfläche in Abhängigkeit des Gebäudetyps und der Baualtersklasse [3, 58]

Spezifischer Strombedarf je Gebäudetyp und Altersklasse [kWh/(m <sup>2</sup> *a)]			
Baualtersklasse	Zeitraum	EFH	MFH
A	bis 1859	36	25
B	1860 - 1918	35	25
C	1919 - 1948	35	25
D	1949 - 1957	35	25
E	1958 - 1968	35	25
F	1969 - 1978	35	25
G	1979 - 1983	35	25
H	1984 - 1994	35	25
I	1995 - 2001	35	25
J	2002 - 2009	35	25
K	2010 - 2015	33	25
L	ab 2016	33	27

<sup>1</sup> aus Endbericht Systemanalyse Stadt (Blesl et al 2019)

Berechnungsparameter

# Nichtwohngebäude

# Berechnungsparameter Nichtwohngebäude <sup>1</sup>

**Tabelle 44: Nettogeschossfläche (NGF) je Beschäftigten nach den Bereichen Handel, Dienstleistung und Gewerbe [35]**

	Handel	Dienstleistung	Gewerbe
Nettogeschossfläche [m²/Beschäftigten]	65,56	29,73	61,70

**Tabelle 45: Spezifischer Bedarfe: Heizwärme, Kälte, Strom, Strombezug Raumluftechnik unterteilt nach Handel, Dienstleistung und Gewerbe und differenziert nach Bestand und Neubau [59, 35, 46]**

Spezifische Bedarfe [kWh/m² a]	Handel		Dienstleistung		Gewerbe	
	Bestand	Neubau	Bestand	Neubau	Bestand	Neubau
Heizwärme	78,9	29,6	126,7	28,2	94,8	43,8
Klimakälte	17,4	30,4	7,6	27,4	3,9	13,2
Strom	69,6		73,2		68,1	
Strombezug Raumluftechnik	34,8		36,6		34,0	

<sup>1</sup> aus Endbericht Systemanalyse Stadt (Blesl et al 2019)

Berechnungsparameter

# Verkehr

# Berechnungsparameter Verkehr

## Beispiel: BBSR-Raumtyp Kernstadt

### MID-Daten der 9 BBSR Raumtypen

Tabelle 56: Agglomerationsraum Kernstadt (eigene Berechnung nach [10])

BBSR Raumtyp:	Agglomerationsraum Kernstadt
Modal Split Anteil MIV Zweck Wohnen:	49,66 %
Wegelänge Zweck Wohnen:	13,77 km
Wegeanzahl Zweck Wohnen:	1,68 Wege
Besetzungsgrad Zweck Wohnen:	1,53 Pers/Fz
Betrachtungszeitraum Zweck Wohnen:	365 Tage
Modal Split Anteil MIV Zweck Arbeit und Ausbildung:	58,07 %
Wegelänge Zweck Arbeit und Ausbildung:	17,88 km
Wegeanzahl Zweck Arbeit und Ausbildung:	1,67 Wege
Besetzungsgrad Zweck Arbeit und Ausbildung:	1,54 Pers/Fz
Betrachtungszeitraum Zweck Arbeit und Ausbildung:	230 Tage
Anteil konventionelle Pkw:	98,42 %
Anteil Wohnbevölkerung:	31,35%
Anteil Arbeiten und Ausbildung:	68,65 %

<sup>1</sup> aus Endbericht Systemanalyse Stadt (Blesl et al 2019)

# Berechnungsparameter Verkehr

## Annahmen zum Referenzfahrzeug

Tabelle 66: Annahmen zum Referenzfahrzeug

Marke/Typ	<i>Golf TDI 4MOTION BlueMotion Technologie Trendline (Diesel)</i>
<i>Anschaffungskosten</i>	22.350 €
<i>Treibstoffpreis</i>	1,18 €/l
<i>Verbrauch /100km</i>	4,9 l
<i>CO<sub>2</sub> g/km</i>	129
<i>Max. Geschwindigkeit</i>	191 km/h
<i>KW/PS</i>	81/110
<i>Hubraum</i>	1598
<i>Zul. Gesamtgewicht (kg)</i>	1930
<i>Versicherung/Jahr</i>	760,25 €
<i>Steuer/Jahr</i>	220 €
<i>Fahrleistung km/Jahr</i>	15.000
<i>Nutzungsdauer</i>	12 Jahre

<sup>1</sup> aus Endbericht Systemanalyse Stadt (Blesl et al 2019)

Berechnungsparameter

# Durchdringungsraten von Klimaschutzmaßnahmen



# Angenommene Durchdringungsraten der Maßnahmenpotentiale zur Abbildung von Akzeptanz und Hemmnissen sowie Kopplungseffekten (bis 2030 gegenüber 2012) <sup>1</sup>

Tabelle 67: Durchdringungsraten der Maßnahmenpotentiale bis 2030 gegenüber dem Basisjahr 2012 für den Gebäudebereich in Metzingen

		Durchdringungs- rate 1. Stufe (Akzeptanz)	maximale positive Kopplung	maximale negative Kopplung	kumulierte Durchdringungs- rate	kumulierte Durchdringungs- rate Korrektur
Name						
Gebäudesanierung Fenster	G-01	3%	100%	90%	3%	3%
Gebäudesanierung Dach	G-02	3%	100%	90%	3%	3%
Gebäudesanierung Untere Geschosssdecke	G-03	3%	100%	90%	3%	3%
Gebäudesanierung Außenwand	G-04	3%	100%	90%	3%	3%
Gebäudesanierung Komplet standard	G-05	3%	100%	90%	3%	3%
Gebäudesanierung Komplet erweitert	G-06	3%	100%	90%	3%	3%
Erneuerung Erzeuger / Anlagentechnik zur Effizienzverbesserung (konventionell)	G-07	50%	110%	50%	28%	28%
Erneuerung Erzeuger / Anlagentechnik zur Effizienzverbesserung (solarförmig)	G-08	25%	110%	50%	14%	14%
Austausch der Umwälzpumpen	G-09	25%	150%	50%	19%	0%
Durchführung eines hydraulischen Abgleichs	G-10	25%	150%	50%	19%	0%
Anschaffung hocheffizienter Elektrogeräte (nicht durchgängig A++)	G-11	65%	110%	100%	72%	25%
Anschaffung hocheffizienter Elektrogeräte (durchgängig A++)	G-12	25%	110%	100%	28%	75%
Energieberatung	G-13	18%	110%	100%	20%	20%
Nutzung PV-Anlage	G-14	18%	125%	90%	20%	41%
Neubau im KfW Effizienzhäus 40 Standard	G-37	9%	110%	100%	10%	20%
Gebäudesanierung einfach	G-15	9%	110%	90%	9%	9%
Gebäudesanierung komplett	G-16	9%	110%	90%	9%	9%
Energieaudit (geringinvestive Maßnahmen)	G-17	3%	125%	100%	4%	4%
Energieaudit (gering- und hochinvestive Maßnahmen)	G-18	3%	125%	100%	4%	4%
Betrieboptimierung	G-19	3%	125%	100%	4%	4%
Optimierung von Querschnittstechnologien	G-20	3%	125%	100%	4%	4%
Energieberatung (niedriger Umsetzungsgrad)	G-21	3%	125%	100%	4%	4%
Energieberatung (hoher Umsetzungsgrad)	G-22	3%	125%	100%	4%	4%
Erneuerung Erzeuger / Anlagentechnik zur Effizienzverbesserung (konventionell)	G-23	75%	110%	50%	41%	41%
Nutzung PV-Anlage	G-24	18%	125%	90%	20%	41%
Austausch der Umwälzpumpen	G-25	75%	110%	50%	41%	0%
Durchführung eines hydraulischen Abgleichs	G-26	75%	110%	50%	41%	0%
Erneuerung Wärme- bzw. Kälteverteilung	G-27	13%	125%	75%	12%	17%
Erneuerung Wärme- bzw. Kälteübergabe	G-28	13%	125%	75%	12%	17%
Bezug regenerativer Wärme	G-29	9%	125%	75%	8%	0%
Nutzung regenerativer Wärmesenken zur Gebäudekühlung	G-30	100%	110%	100%	110%	25%
Bau nach optimierter Green-Building-Planung	G-31	100%	110%	100%	110%	50%
Einsatz von Niedertemperatur-Flächenheizungen	G-32	100%	110%	100%	110%	50%
Einsatz von geregelter natürlicher Lüftung statt RLT	G-33	100%	110%	100%	110%	25%
Energiemonitoring- und Energieregelsystem	G-34	25%	110%	90%	25%	25%
Optimierung des außenliegenden Sonnenschutzes zur Senkung des Kühlbedarfs	G-35	5%	110%	100%	6%	6%
Reduzierung des Kühlbedarfs durch aktive Nachkühlung (ggf. inkl. BTA)	G-36	5%	110%	100%	6%	6%

Tabelle 68: Durchdringungsraten der Maßnahmenpotentiale bis 2030 gegenüber dem Basisjahr 2012 für den Verkehrs- und Übergreifenden Bereich in Metzingen

		Durchdringungs- rate 1. Stufe (Akzeptanz)	maximale positive Kopplung	maximale negative Kopplung	kumulierte Durchdringungs- rate	kumulierte Durchdringungs- rate Korrektur
Name						
Stärkung Umwettbewerb	V-01	50%	100%	50%	25%	25%
Wechsel auf E-Fahrzeuge	V-02	100%	200%	100%	200%	100%
Carpooling im Pendelverkehr	V-03	50%	110%	90%	50%	50%
Verkehrsaufklärung (Mobilitäts-Audit)	V-04	100%	100%	100%	100%	100%
Verkehrsmittelbindung	V-05	100%	100%	100%	100%	100%
Initiative Saubere Stadt/Kommune	V-06	100%	100%	100%	100%	100%
Bike-Storage	V-07	100%	100%	100%	100%	100%
Förderung von PV-Carports	Ü-01	50%	150%	75%	56%	56%
Demand-Management im Verkehr - Haushalte	Ü-02	20%	150%	90%	27%	27%
Demand-Management im Verkehr - GHD	Ü-03	20%	150%	90%	27%	27%
Kooperative Energiebereitstellung für Wohn- und Nichtwohngebäude - KWK	Ü-04	33%	110%	75%	27%	83%
Kooperative Energiebereitstellung für Wohn- und Nichtwohngebäude - Wärmepumpen	Ü-05	33%	110%	75%	27%	83%
Nutzung von Skaleneffekten durch (kooperative) Nutzung von PV-Freiflächen und großen Solarthermie-Anlagen	Ü-06	100%	100%	100%	100%	9%
Effizienzsteigerung in bestehenden Nahwärmenetzen	Ü-07	33%	150%	90%	45%	100%
Ausbau solarer/thermischer Nahwärme - LowEx Netze	Ü-08	33%	150%	90%	45%	100%
Abwasserwärmeverwertung-Wärmepumpen	Ü-09	33%	125%	90%	37%	100%
Stromspeicher zur Integration hoher Anteile erneuerbarer Energien	Ü-10	18%	125%	75%	17%	34%
Wärmespeicher zur Integration hoher Anteile erneuerbarer Energien	Ü-11	33%	110%	75%	27%	100%
Straßenbeleuchtung	Ü-12	75%	150%	100%	113%	100%
Klimaschutzmanager	Ü-13	100%	100%	100%	100%	100%

<sup>1</sup> aus Endbericht Systemanalyse Stadt (vgl. Blesl et al 2019); weitere Erläuterungen zum Ansatz s. Kap. 4.4.2 & 4.4.3