

H T  
W A  
G G

**Hochschule Konstanz**  
Fakultät Architektur  
und Gestaltung

# **Klimaschutzszenarien für die Stadt Radolfzell 2022 - 2050**

**Bürgerworkshop**  
**Milchwerk Radolfzell, 31.05.2022**

# Anlass

---

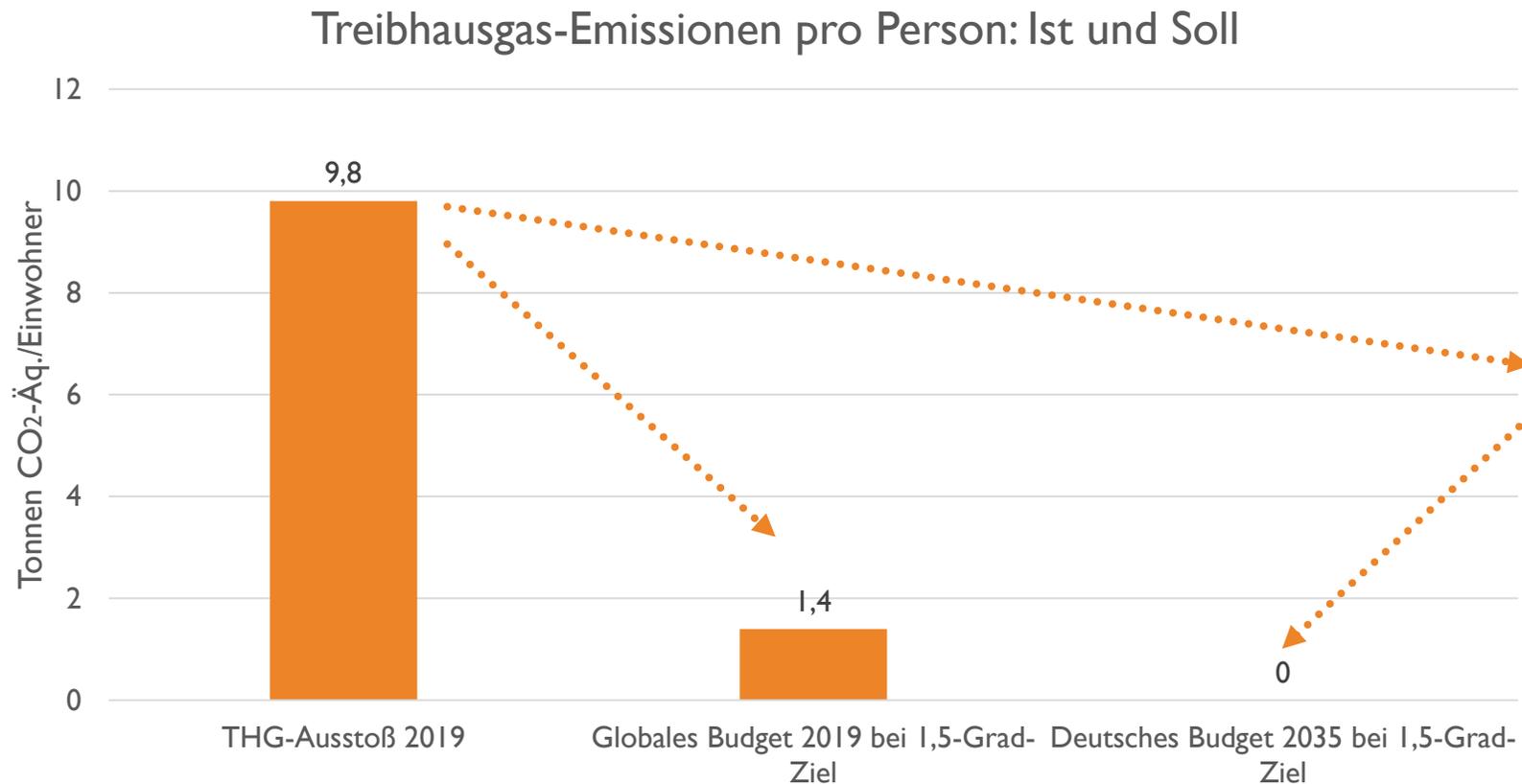
## Herausforderungen:

- Klimawandel
- Artensterben
- Ressourcenverknappung (Energie, Fläche, Boden, Wasser usw.)
- Steigende Energiekosten
- Zunehmende Fluchtursachen

## Ursachen:

- Abhängigkeit von fossilen Energieträgern
- Landnutzungsänderungen (Waldrodungen, Grünlandumbruch)
- Flächenverbrauch und Bodendegradation
- Verschwendung (Lebensmittel, Wasser, Energie usw.)
- u. a.

# Emissionen in Deutschland: Was ist und was sein sollte



Um **Faktor 7** über dem max. verträglichen Ausstoß

Deshalb Reduktion auf Null nötig

Grafik: Eigene Darstellung

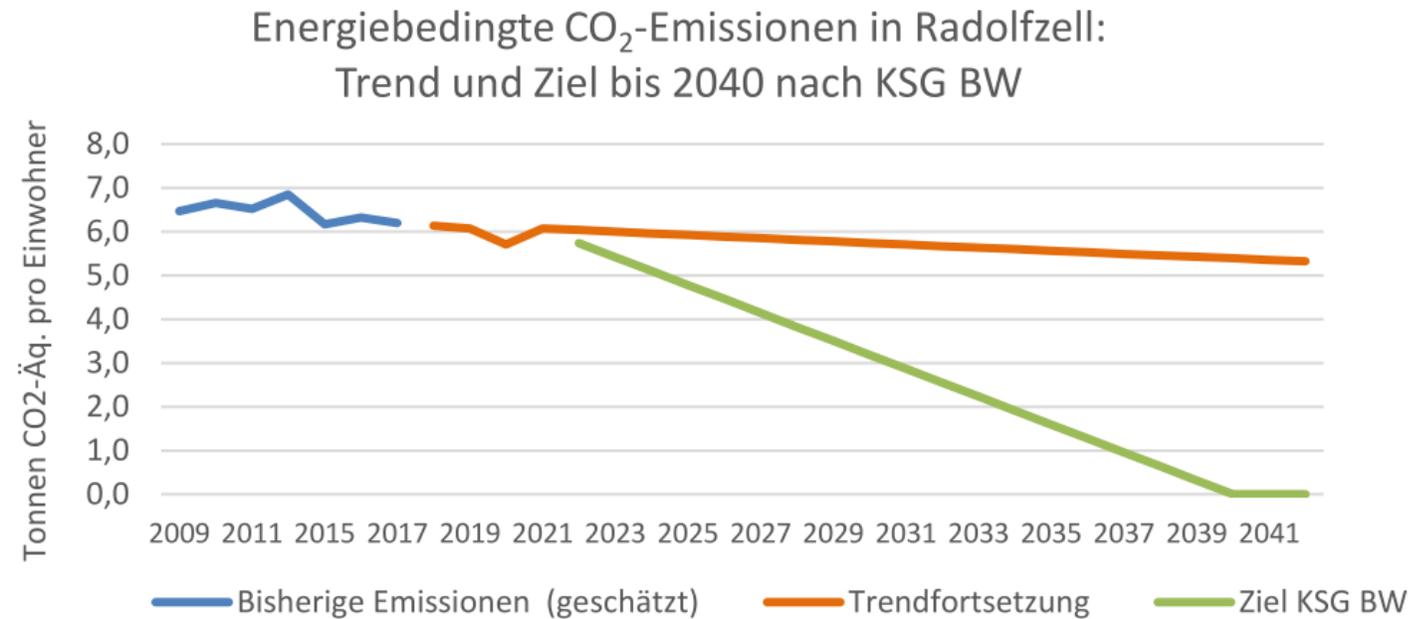
# Treibhausgas-Emissionen in Radolfzell

---

**6,2 Tonnen** pro Einwohner und Jahr

→ Territorialbilanz (keine Verursacherbilanz)

# Klimaschutzziel der Landesregierung



Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand: 2021

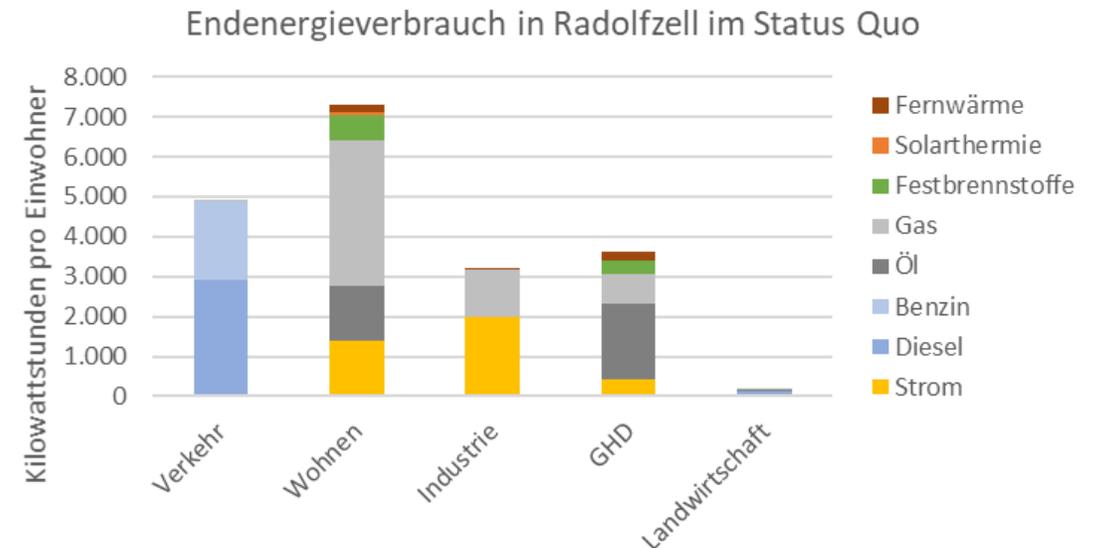
Quellen: Eigene Berechnung n. KEA BW (2021), STL BW (2021), EA Kreis Konstanz (2021), Zensus 2011

# Der Status Quo

## Berechnung des Energiebedarfs

In die Berechnung des Energieverbrauchs fließen u. a. folgende Daten ein:

- Stromverbrauch der Haushalte
- Wohnfläche & Energiestandard
- Heizungsart: Öl, Gas, Strom etc.
- Kfz-Nutzung (Jahresfahrleistung)
- Motorisierung der Kfz
- Energieverbrauch der Industrie
- Gewerbe, Handel und Dienstleistung
- Wirtschaftsweise der Landwirtschaft



Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand: 2021  
 Quellen: Energieagentur Kreis Konstanz; Eigene Berechnung

# Das Klimaschutzscenario: Maßnahmen

## 1. Umstieg auf Bus, Bahn und Fahrrad

- Etwa **34 - 40 Prozent** des Pkw-Verkehrs vermeiden oder auf den Umweltverbund verlagern.

### INFOBOX

- Laut der Studie Mobiles Baden-Württemberg lassen sich 34 Prozent des Pkw-Verkehrs durch eine veränderte Mobilitätskultur vermeiden. (INFAS, 2017)
- Laut einer vom Wuppertal Institut erstellten Studie für Greenpeace kann die Anzahl der Wege mit dem Auto um 50 Prozent reduziert werden. (Greenpeace, 2017)
- In BW haben öffentliche Verkehrsmittel einen Anteil von 10 Prozent am Modal Split. Eine aktuelle Schweizer Studie hält Verkehrssysteme mit einem ÖV-Anteil von 40 Prozent für realisierbar. (VöV, 2021) In diesem Fall könnte der Pkw-Anteil in BW von 59 Prozent wohl halbiert werden.

Quellen: 1) INFAS GmbH. Mobilität in Baden-Württemberg 2017 i.A. des Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg  
2) Greenpeace, 2017. Verkehrswende für Deutschland. Der Weg zu CO<sub>2</sub>-freier Mobilität bis 2035  
3) VöV, 2021. Perspektiven zur Erhöhung des Modalsplit des öffentlichen Verkehrs. VöV Schriften

# Das Klimaschutzscenario: Maßnahmen

## 2. Umstieg auf Elektroautos

- Heutige Verbrenner benötigen ca.  
**70 kWh/100 km**
- Elektro-Autos benötigen nur  
**18 kWh/100 km**

→ Wasserstoff ist eigentlich nur für Dauerfahrer (Vertreter), Lkw, Schiffe und Industrie sinnvoll

### INFOBOX 1

#### Vorteil E-Auto:

99 Prozent aller Pkw-Fahrten sind kürzer als 100 km. (Vgl. MiD, 2017) Elektroautos sind auch auf Kurzstrecken effizient.

#### Vorteil Bahn:

Das 1 Prozent aller Pkw-Fahrten, das länger als 100 km ist, macht 25 Prozent der Fahrleistung aus. (Vgl. MiD, 2017) Davon ließe sich viel auf die Bahn verlagern.

### INFOBOX 2

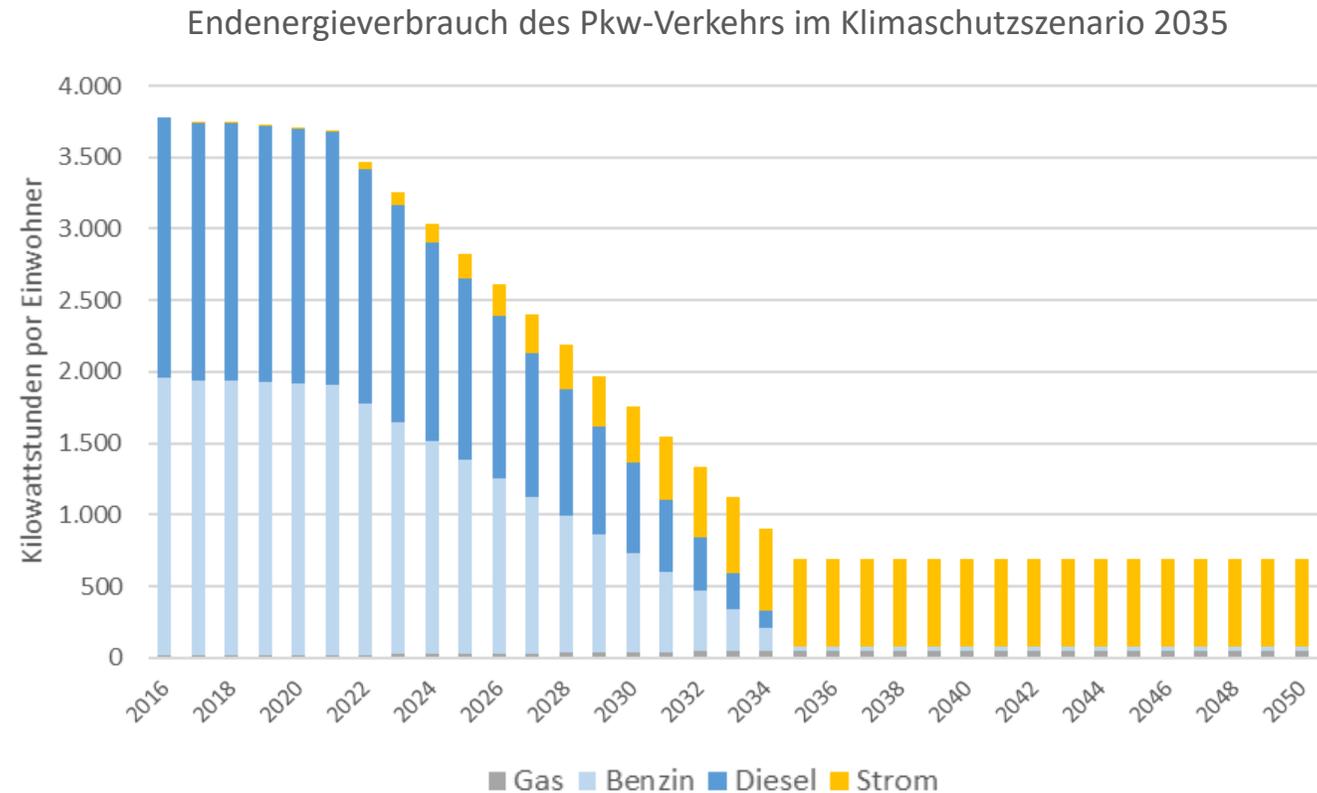
Bei einem Besetzungsgrad von 1,66 Personen pro Pkw würde der Verbrauch von Elektroautos pro Person auf 9 bis 12 kWh für 100 km sinken.

Daher wäre es sinnvoll, z. B. Fahrgemeinschaften von Pendlern zu fördern und Fahrzeuge mit mehreren Insassen im Verkehr zu privilegieren.

# Das Klimaschutzzenario: Effekte der Maßnahmen

Durch den Umstieg auf Umweltverbund und Elektroautos können bis zu **vier Fünftel** des heutigen Energieverbrauchs der Pkw vermieden werden.

**Voraussetzung** für Klimaneutralität ist eine **erneuerbare Stromversorgung!**



Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand: 2021

# Das Klimaschutzscenario: Maßnahmen

## 3. Haushaltsstrom sparen

In Frankfurt erreichten die Haushalte bei „Frankfurt spart Strom“ mit einfachen Maßnahmen eine Einsparung von **23 Prozent**.

Quelle: Stadt Frankfurt am Main, 2015. „Frankfurt spart Strom“. Ergebnis Stromsparprämie. Stand August 2015

URL: <http://www.frankfurt-spart-strom.de/stromsparpraemie/ergebnis/>

### INFOBOX

Die Stromerzeugung aus Photovoltaik findet zu rund drei Vierteln im Sommerhalbjahr statt. Der größere Teil des erwarteten Bedarfs entsteht jedoch im Winterhalbjahr. Da es bei der saisonalen Speicherung immer zu erheblichen Verlusten kommt, ist der Strombedarf umso höher, je mehr Strom im Winter verbraucht und dafür gespeichert werden muss. Günstig sind daher auch Maßnahmen, die speziell im Winter Strom sparen oder unvermeidbaren Stromverbrauch vom Winter in den Sommer verlagern.

# Das Klimaschutzszenario: Maßnahmen

---

## 4. Gebäudesanierung

Etwa **60 Prozent** des Wärmebedarfs können durch Gebäudesanierung eingespart werden.

Laut dena sind 50 – 60 kWh/m<sup>2</sup> ein realistischer Zielwert.

Quelle: dena, 2016. Auswertung von Verbrauchskennwerten energieeffizienter Wohngebäude. Seite 3

# Das Klimaschutzzenario: Maßnahmen

## 5. Wärmepumpen ersetzen die meisten Öl- und Gasheizungen

Mehr als **66 Prozent** des verbleibenden  
Wärmebedarfs können durch  
Wärmepumpen eingespart werden.

Wärmepumpen machen aus **1 kWh** Strom  
mehr als **3 kWh** Wärme.

### INFOBOX

Wärmepumpen erhöhen den Strombedarf im Winter. Da Photovoltaik ca. 75 Prozent ihrer Produktion im Sommer liefert, muss sie durch andere Energiequellen ergänzt werden. Je vielfältiger der Mix erneuerbarer Energien ist, desto geringer ist der Speicherbedarf, was wiederum auch die Speicherverluste des Systems reduziert.

Als Ergänzung besonders günstig sind Windenergie und Bioenergie, da Windenergie den größten Teil ihres Ertrags im Winterhalbjahr liefert und Biomasse-BHKW Wärme und Strom genau dann liefern können, wenn die Wärmepumpen Strom benötigen.

# Das Klimaschutzscenario: Maßnahmen

## 6. Elektrifizierung der Produktion in Industrie und Gewerbe

Wo möglich, sollen herkömmliche  
Produktionssysteme durch **strombasierte  
Systeme** ersetzt werden, wie etwa durch  
heiße Wärmepumpen.

### Beispiel:

#### Die heißeste Wärmepumpe der Welt

„Ein norwegisches Konsortium hat eine industrielle Wärmepumpe gebaut, die eine Temperatur von bis zu 180 Grad Celsius erreichen kann. Sie kann bei verschiedenen industriellen Prozessen eingesetzt werden, die auf Dampf als Energieträger angewiesen sind, und kann den Energieverbrauch einer Fabrik um 40 bis 70 Prozent senken, da sie die Rückgewinnung von Niedertemperatur-Abwärme ermöglicht.“

Quelle: PV magazine, 20. August 2021

# Das Klimaschutzszenario: Maßnahmen

## 7. Andere Energiepflanzen

Energiepflanzen der 2. Generation können **ökologisch** den **gleichen Energieertrag** liefern wie konventioneller Mais, aber gleichzeitig als **Bienenweide** dienen, **Lebensraum** bieten und **Böden** sowie **Gewässer** schützen.

Z. B.: Sida, Miscanthus, Silphie, Sonnenblume, Hirschgras, Wildblumenmischungen



Miscanthus. Foto: Eigene Aufnahme

### INFOBOX

Energiepflanzen der 2. Generation können unter anderem zum Humusaufbau beitragen. Jährliches Pflügen ist ebenso unnötig wie chemischer Pflanzenschutz. Nach ihrer Nutzung können die aufgewendeten 10 bis 20 Prozent der Ackerflächen daher produktiver sein als davor. Dies gilt umso mehr, wenn mit ihrer Hilfe der Klimawandel eingedämmt werden kann. Die Beeinträchtigung durch einen ungebremsten Klimawandel ist im Vergleich dazu voraussichtlich deutlich größer und mit Sicherheit irreversibel.

# Das Klimaschutzszenario: Maßnahmen

## 8. Photovoltaik

Radolfzell hat wenig Windenergie,  
aber viele Dachflächen für  
Photovoltaik.

### INFOBOX

Laut Energieatlas liegt das Dachflächenpotenzial Radolfzells mit ca. 18 m<sup>2</sup> pro Person leicht unter dem Durchschnitt des Landes Baden-Württemberg.

Lokale Analysen ergeben zwar häufig ein Potenzial, das über der Schätzung des Energieatlasses liegt. Dennoch reicht die Dachflächen-Photovoltaik alleine nicht aus, um den zukünftigen Strombedarf zu decken, der deutlich über dem heutigen Bedarf liegen wird.

Wichtig ist es daher, einen hohen Anteil des Potenzials auszuschöpfen und z. B. durch Freiflächenphotovoltaik zu ergänzen.

# Das Klimaschutzscenario: Maßnahmen

## 9. Agri-Photovoltaik

Agri-Photovoltaik auf Grünland oder Ackerland liefert **hohe Energieerträge** und kann in heißen Sommern die Ackerflächen vor Hitze und Austrocknung schützen.

**Annahme: 5 Prozent** der landwirtschaftlichen Nutzfläche für Agri-PV

### INFOBOX: Ernährungssicherheit

Jedes Jahr geben fast 3.600 landwirtschaftliche Betriebe auf. Agri-PV und Energiepflanzen können ein wichtiges zweites wirtschaftliches Standbein für Landwirte sein und so zur Ernährungssicherheit beitragen.

Die Ertragseinbußen, die sich aus einer Nutzung von Agri-PV auf 5 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzflächen ergeben würde, entsprechen ca. 0,7 Prozent des Gesamtertrags im Gebiet der Stadt Radolfzell. (Eigene Berechnung n. STL BW und Fraunhofer ISE)

Scheitern wir beim Klimaschutz, sinken die globalen Erträge der wichtigsten Nutzpflanzen (Mais, Weizen, Reis, Soja) mit jedem weiteren Grad Erwärmung wahrscheinlich um 3 bis 7 Prozent. Diese liefern bisher rund drei Viertel der Kalorien, die weltweit verbraucht werden. (Vgl. ZALF, 2017: Landwirtschaftliche Erträge im Einfluss des Klimawandels)

---

# Mögliche Synergieeffekte der Energiewende

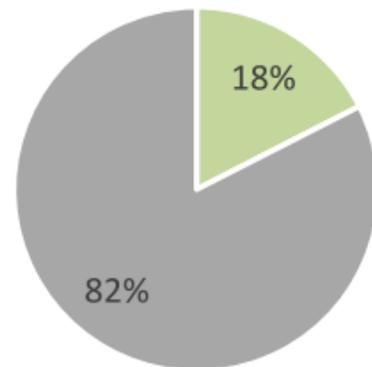
---

# Das Klimaschutzscenario: Synergieeffekte

## Umstellung auf Energiepflanzen der 2. Generation

Erosionsschutz durch mehrjährige Pflanzen im Szenario  
Klimaneutralität

Ein Plus von mehr als  
17 Prozentpunkten  
gegenüber dem  
Status Quo.



- Flächenanteil mehrjähriger Ackerkulturen
- Flächenanteil einjähriger Ackerkulturen

Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand: 2021  
Quelle: Eigene Schätzung

# Das Klimaschutzscenario: Synergieeffekte

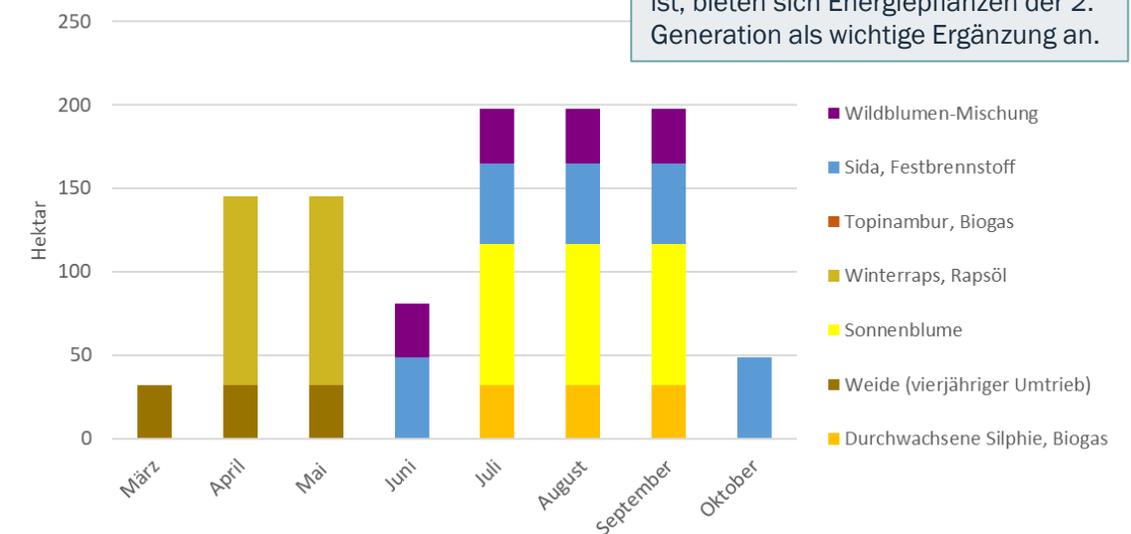
## Umstellung auf Energiepflanzen der 2. Generation

Bei gleicher Fläche ist bezogen auf die gesamte Ackerfläche eine Vervielfachung der Insektenweidepotenziale möglich.

### Vorteile im Vergleich zu Energiepflanzen der 1. Generation und den meisten Nahrungspflanzen

- Größere biologische Vielfalt
- Mehr wertvolle Bienen-/Insektenweide
- Mehr geeigneter Lebensraum für Wildtiere
- Mehr Schutz für Tiere auch im Winter
- Selbst im konventionellen Anbau sehr geringer Bedarf an chemischen Pflanzenschutzmitteln.
- Geringer Stickstoffbedarf
- Kaum Bedarf an chemischen Düngemitteln
- Erosionsschutz: Wurzeln schützen auch im Winter

Möglicher Blühkalender für Nektar produzierende Energie- & Ölpflanzen im Klimaschutzscenario



Darstellung und Berechnung: HTWG Konstanz – Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand: Mai 2022

# Das Klimaschutzscenario: Synergieeffekte

---

## Solar-Gründächer

### Vorteile

- **Kühlwirkung** der Begrünung an Sommertagen:  
→ Hitzeschutz in Hitzewellen
- **Regenwasserrückhaltung**: Speichervolumen von 36 Litern pro Quadratmeter (Kiesdächer verfügen oft über weniger als 10 Liter/m<sup>2</sup>)
- Mehr **Lebensraum und Nahrung** für Insekten und Vögel

### Nachteil

- Reduzierter Stromertrag aufgrund größerer Abstandsflächen zwischen den Modulen.

**Aber:** Um 4 Prozent höherer Wirkungsgrad der Module durch Verdunstungskühlung

(Vgl. Zinco: Dachbegrünung erhöht Erträge der Photovoltaik)

# Das Klimaschutzscenario: Synergieeffekte

---

## Biotop-Photovoltaikanlagen

### Vorteile

- Hoher Energieertrag
- Große Chance für den Artenschutz
- Chance, Artenschutz und Wirtschaftlichkeit zu verbinden.
- Große Chance für den Klimaschutz
- Geringerer Zeitaufwand für Errichtung
- Keine Bodenversiegelung
- Vollständig rückbaubar

### Nachteile

- Mehr Pflegeaufwand
- Etwas höhere Kosten als bei normalen Freiflächen-PV-Anlagen

---

# Treibhausgasneutralität

## Das Wann ist entscheidend

---

# Das verbleibende Budget

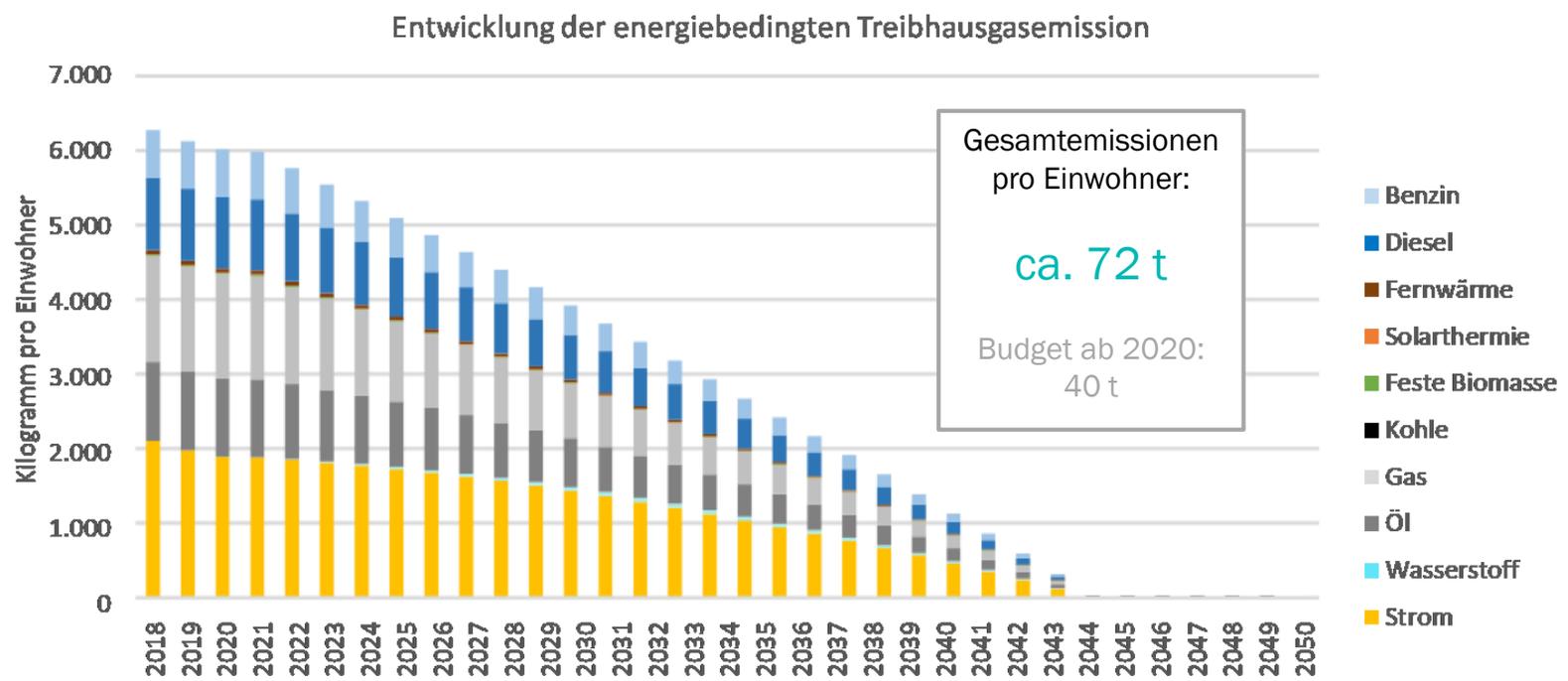
---

Beim **1,5-Grad-Ziel** stehen seit dem Jahr 2020 pro Person noch ca.

**40 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent**

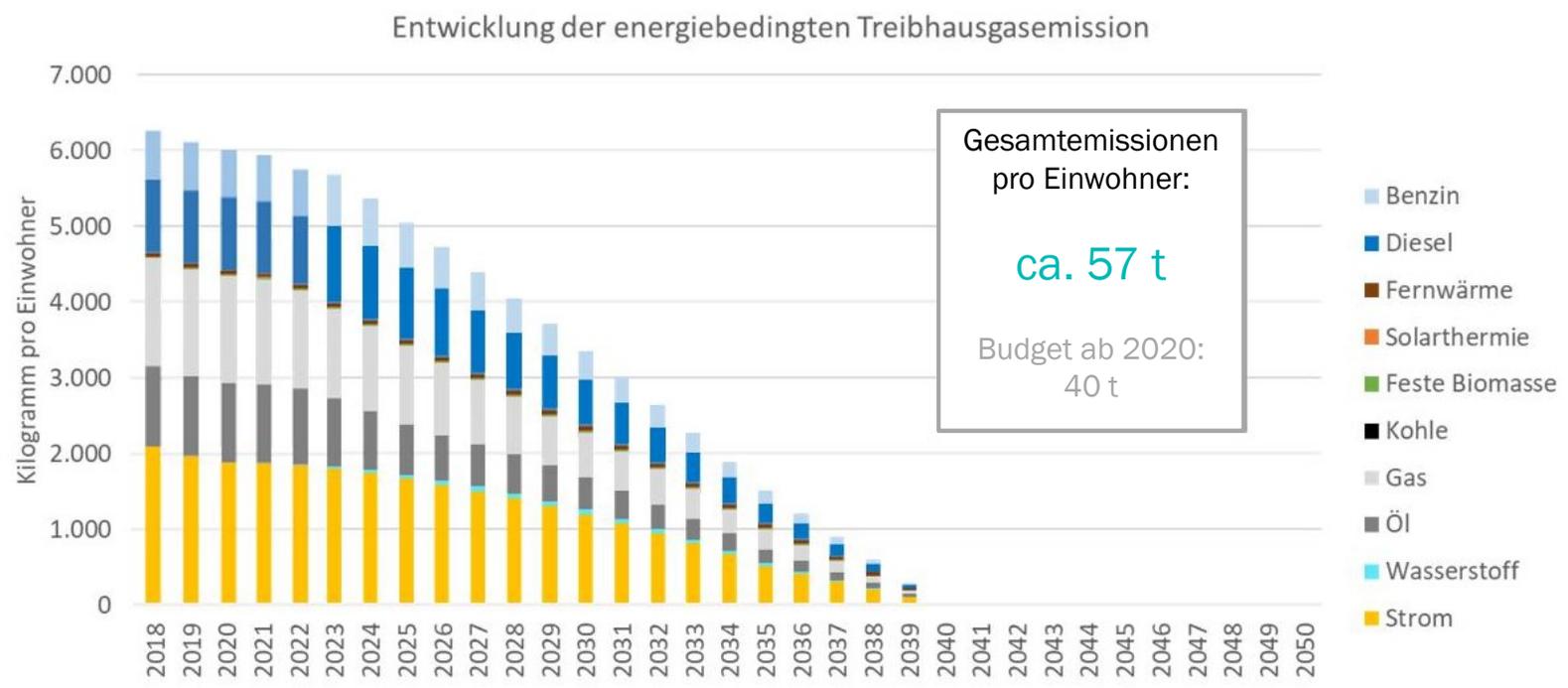
als Budget zur Verfügung

# Das Klimaschutzzenario: Klimaneutralität im Jahr 2045



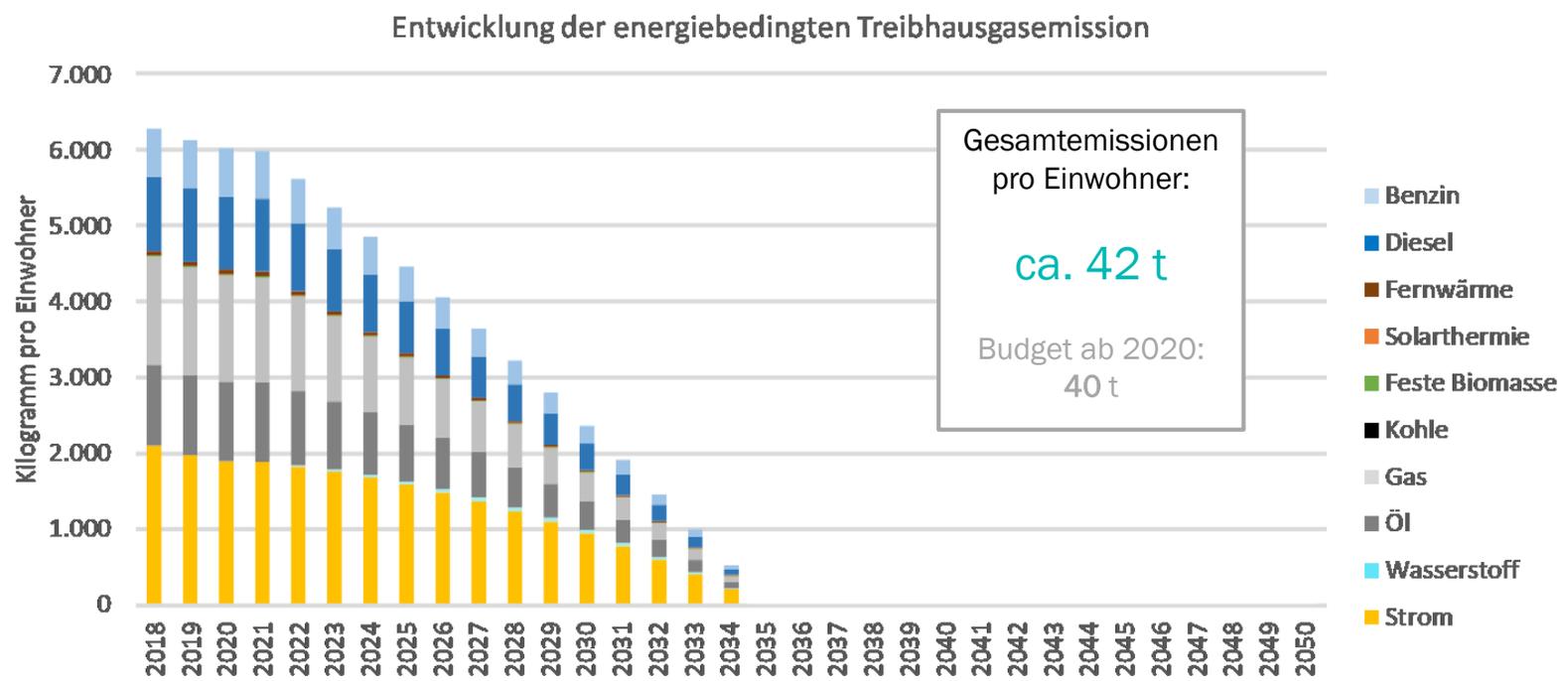
Grafik und Berechnung: BUND Nürtingen/Forum Zukunftsfähiges Nürtingen, April 2022

# Das Klimaschutzzenario: Klimaneutralität im Jahr 2040



Grafik und Berechnung: BUND Nürtingen/Forum Zukunftsfähiges Nürtingen, April 2022

# Das Klimaschutzzenario: Klimaneutralität im Jahr 2040



Grafik und Berechnung: BUND Nürtingen/Forum Zukunftsfähiges Nürtingen, April 2022

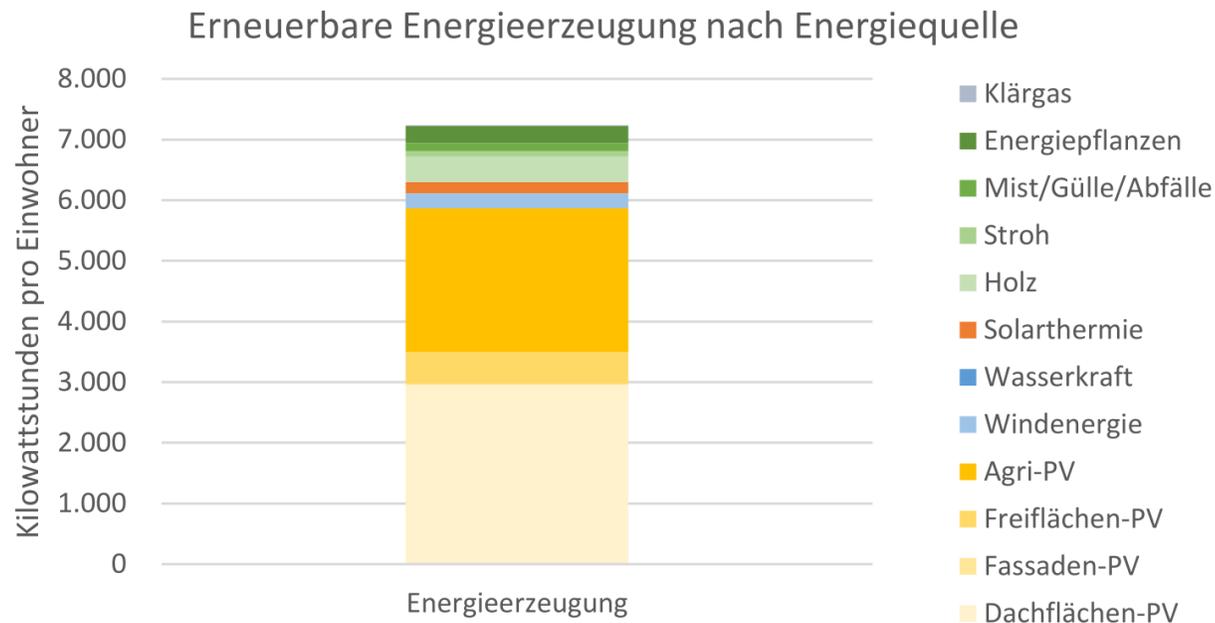
---

# Energiemix der Zukunft

## Wie viel Energie können wir nutzen?

---

# Erneuerbare Energiepotenziale in Radolfzell



**Gesamtpotenzial:**  
7,3 MWh/Person

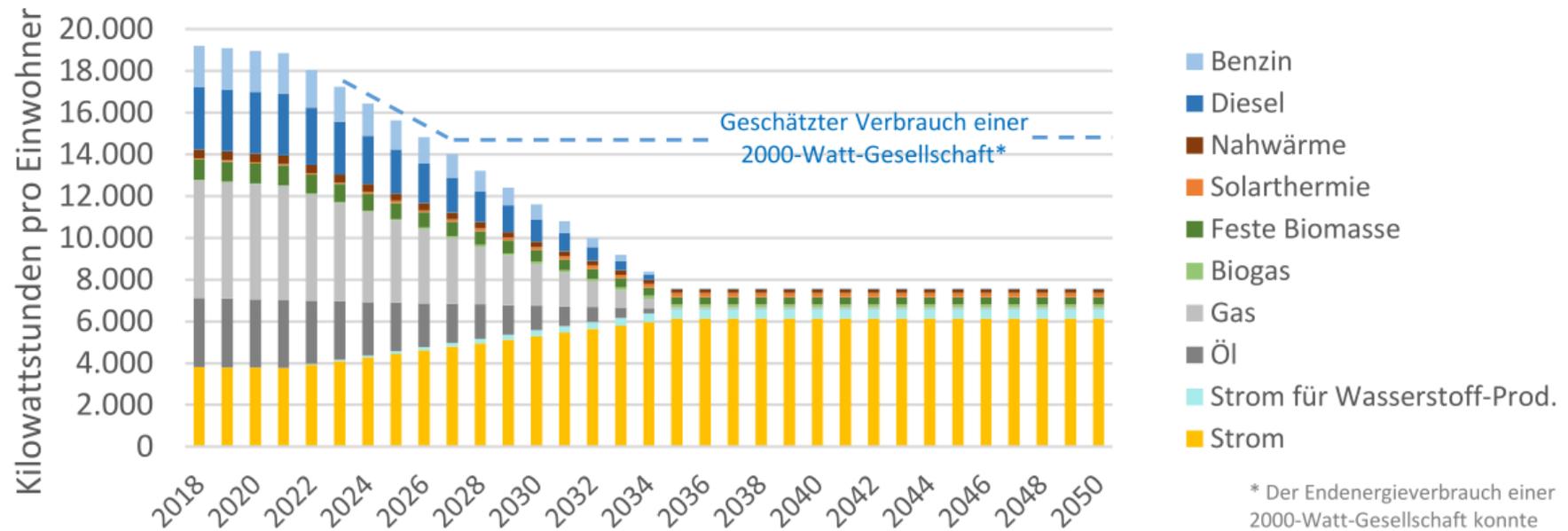
→ weniger als  
**38 Prozent**  
des heutigen  
Endenergieverbrauchs.

Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand 2021

Quellen: Eigene Berechnung

# Entwicklung des Energieverbrauchs im Klimaschutzzenario 2035:

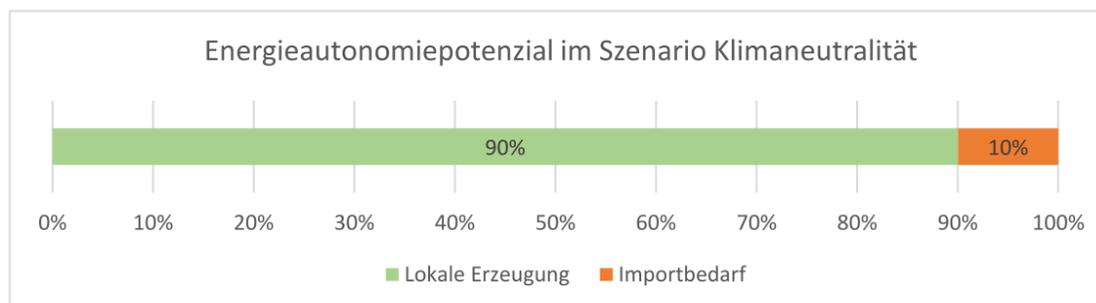
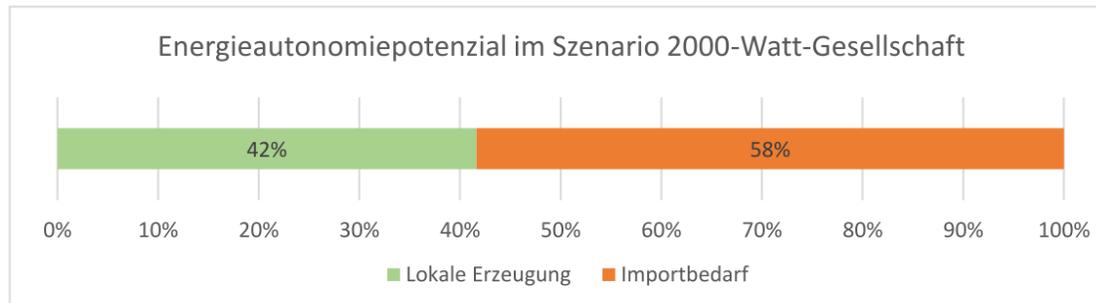
Energieverbrauch: Szenario Klimaneutralität 2035 im Vergleich



Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand: 2021  
 Quellen: Energieagentur Kreis Konstanz; Eigene Berechnung

\* Der Endenergieverbrauch einer 2000-Watt-Gesellschaft konnte nur geschätzt werden, da der Gesamtprimärenergiefaktor von vielen Faktoren abhängig ist.

# Vergleich mit der 2000-Wattgesellschaft



## INFOBOX

Beim Konzept der 2000-Wattgesellschaft ging man noch davon aus, dass ein geringer Anteil des Energiebedarfs weiterhin aus fossilen Quellen gedeckt wird.

Schöpft man jedoch die Potenziale der Elektrifizierung (z. B. Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge) und der Gebäudesanierung weitgehend aus und nutzt zudem auch Freiflächenphotovoltaik (z. B. Agri-PV), können deutlich höhere Autonomiegrade erreicht werden.

Dies reduziert die Importabhängigkeit deutlich, wodurch auch die Kaufkraftverluste gesenkt und die lokale Wertschöpfung gesteigert werden können.

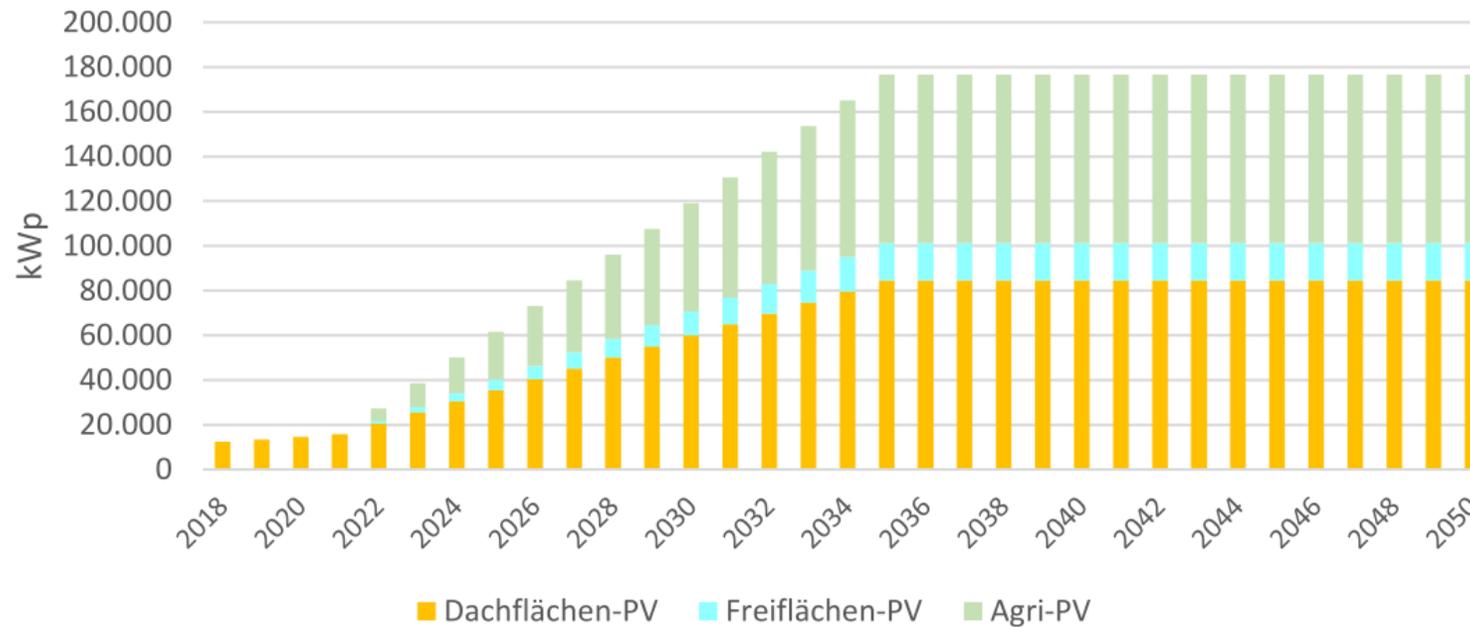
---

# Was heißt das konkret?

---

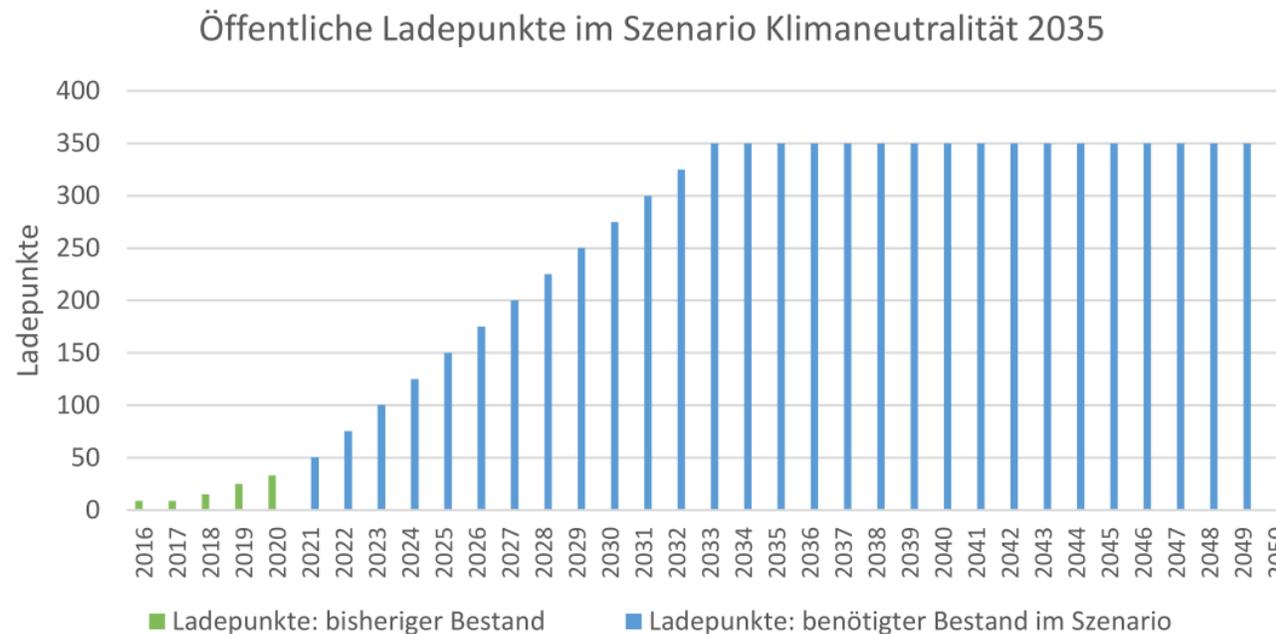
# Ausbau der Photovoltaik

Photovoltaik: Entwicklung der installierten Leistung



Der jährliche Photovoltaik-Zubau muss vervielfacht werden:  
**ca. Faktor 8**

# Ausbau der Ladeeinrichtungen für Elektrofahrzeuge



Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand 2021

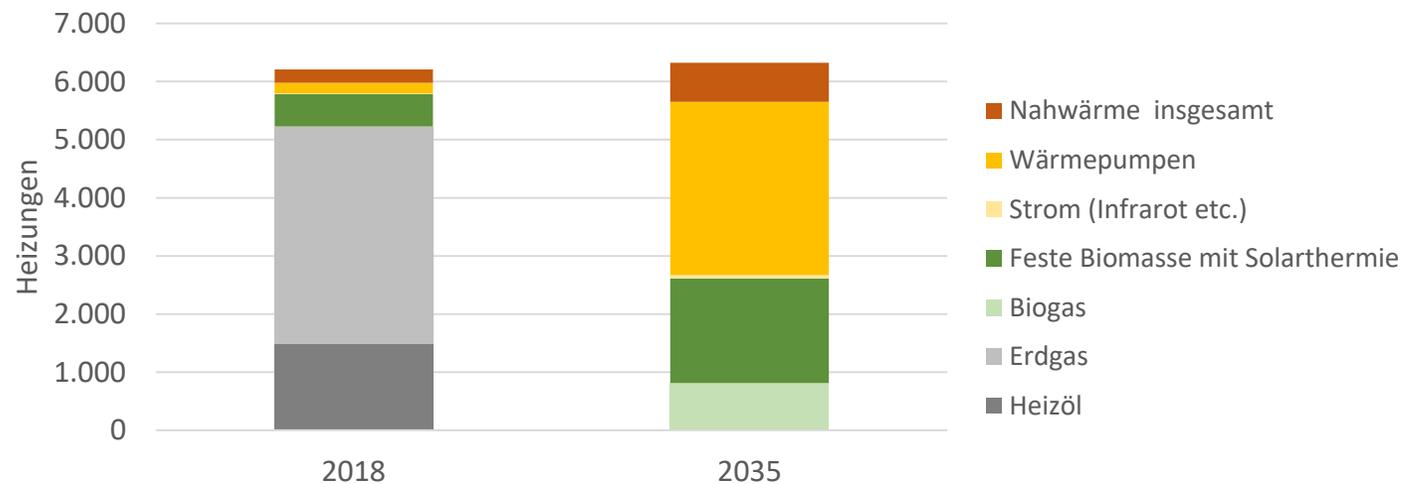
Quellen: Eigene Berechnung

Um **1.000 Elektroautos** auf die Straßen zu bringen, werden ca. **35 öffentliche und halböffentliche Ladeeinrichtungen** benötigt.

Vgl. DLR, 2016, LADEN 2020

# Heizungsaustausch

Veränderung der Gebäudebeheizung



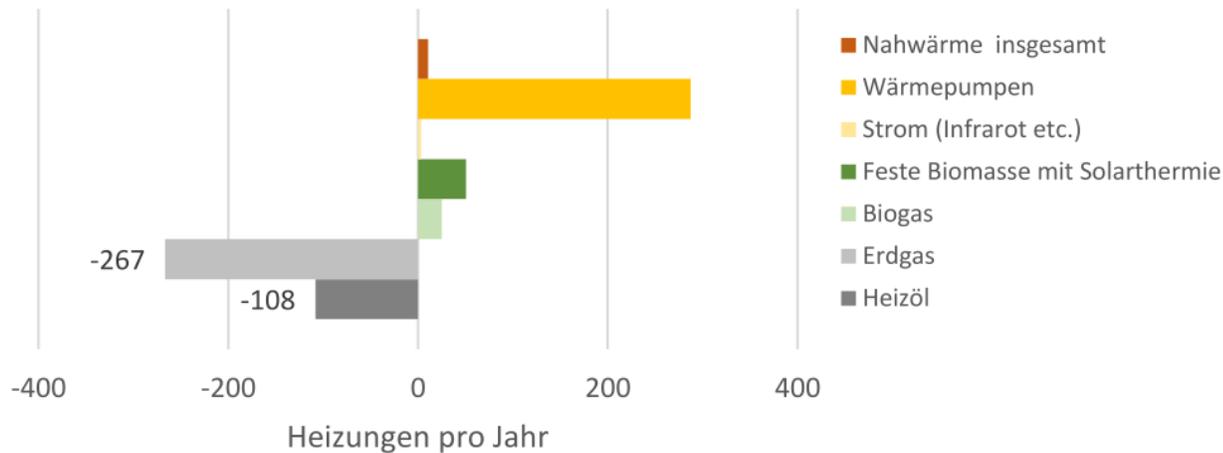
Der Anteil der Wärmepumpen muss von 3 auf **45 – 70 Prozent** gesteigert werden

(je nach Sanierungsgrad der Gebäudehüllen)

Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand 2021  
 Quelle: Eigene Berechnung n. LUBW, 2021; co2online, 2014; Energieagentur Konstanz, 2021;

# Heizungsaustausch

Jährliche Veränderung der Heizungssysteme von Wohngebäuden im Szenario Klimaneutralität 2035 zwischen 2021 und 2035



Pro Jahr müssen  
**ca. 380**  
**Wohngebäude**  
auf erneuerbare Energien  
umgestellt werden

Grafik: HTWG Konstanz - Fachgebiet Energieeffizientes Bauen. Stand 2021

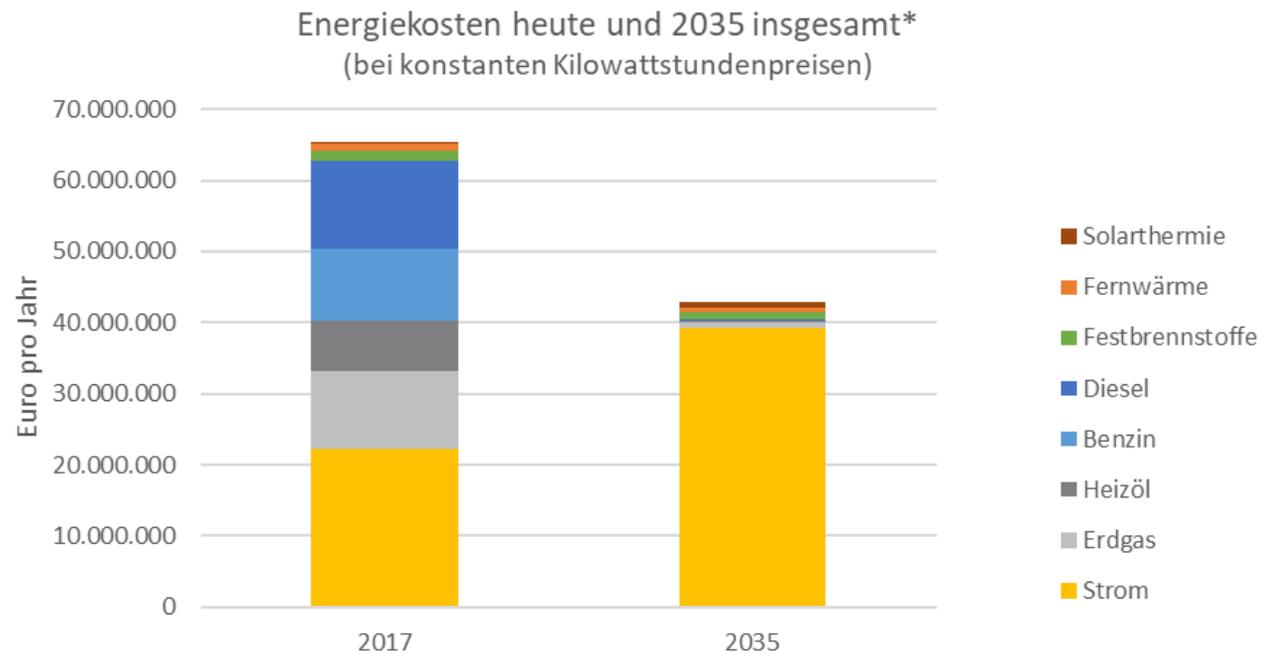
Quelle: Eigene Berechnung n. LUBW, 2021; co2online, 2014; Energieagentur Konstanz, 2021;

---

# Wirtschaftliche Effekte

---

# Endkundenkosten sinken



\*ohne Berücksichtigung eines möglichen Eigenverbrauchs, der zu geringeren Kosten führt

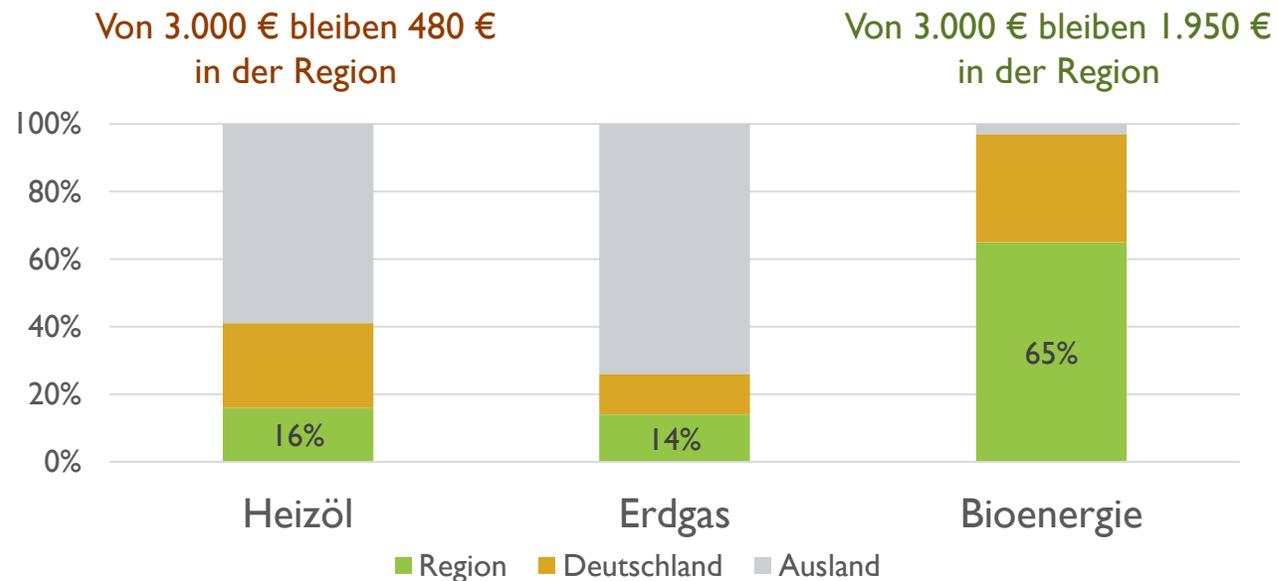
Selbst bei Energiepreisen des Jahres 2020 könnten die Energiekosten um **23 Millionen pro Jahr** gesenkt werden.

Angesichts der heutigen Situation und des möglichen Eigenverbrauchs ist sogar von deutlich größeren Einsparungen auszugehen.

# Was noch ausgegeben wird, bleibt größtenteils in der Region

Erneuerbare Energien bedeuten mehr Wertschöpfung in der Region

## Regionaler Anteil an resultierender Kaufkraft



Quelle: Bene Müller 2008. Regionale Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien  
 Grafik: Eigene Darstellung.

---

# Zusammenfassung: Das Klimaschutzszenario

---

# Zusammenfassung: Maßnahmen

---

- Massiver Photovoltaikausbau
- 20 Prozent geringerer Haushaltsstromverbrauch
- Verkehr: Nutzung von E-Autos
- Verkehr: 40 Prozent weniger Pkw \*, dafür mehr Fahrrad, Bus und Bahn.
- Gebäudedämmung: 60 Prozent Einsparung
- Gebäudeheizung: Umstieg auf Wärmepumpen und Bioenergie (mit hohem Anteil Kraftwärmekopplung)
- Elektrifizierung erheblicher Teile der Produktion
- Landwirtschaft: Ökologische Wirtschaftsweise
- Ernährung: An AGES-Empfehlungen orientiert & Verschwendung vermeidend

\* Potenzial laut Studien: ca. 34 bis 50 Prozent

---

# Zusammenfassung: Auszug aus dem Werkzeugkasten

---

# Werkzeugkasten im Überblick (Auswahl)

## Gebäudeversorgung

---

- Förderung des Photovoltaikausbaus durch günstigen Regelrahmen  
→ Freiflächenphotovoltaik
- Wärmepumpen nutzen
- Gebäude dämmen (Teilsanierung ist besser als nichts!)
- Wärmenetze ausbauen + Biomasse nur im Winter in Kraftwärmekopplung nutzen.  
→ Biomasse kann dann Strom liefern, wenn die Wärmepumpen ihn benötigen.

# Werkzeugkasten im Überblick (Auswahl)

## Mobilität

---

- Stadt der kurzen Wege
- Umweltverbund privilegieren: Von der Autostadt zur Fahrradstadt
- Wohnungstausch organisieren und fördern.  
→ Ziel: Wohnfläche sinnvoller nutzen und Verkehr vermeiden.
- Ausreichende Ladestationen einrichten
- Fahrgemeinschaften fördern.
- Anreize zur Nutzung von Jobbike und Jobticket schaffen.
- Radfahren schnell, sicher und komfortabel machen.
- Hohen Takt im Busverkehr und engmaschiges Haltestellennetz aufbauen.

# Werkzeugkasten im Überblick (Auswahl)

## Konsum

---

- Ernährung umstellen nach gesundheitlichen Empfehlungen  
(z. B. nach AGES Österreich. Ideal wäre: Maximal 20 kg Fleisch pro Person und Jahr)
- Verschwendung vermeiden
- Bioprodukte bevorzugen
- Regional und saisonal einkaufen
- Kleidung und Möbel länger nutzen
- Papier sparen
- Reparaturfähige Produkte bevorzugen
- Prinzip „Cradle to Cradle“ anwenden (Intelligente Kreislaufwirtschaft)

# Mögliche Sofortmaßnahmen

---

- **Nahrungsmittelverschwendung vermeiden**  
(bis zu 30 Prozent der globalen THG-Emissionen gehen auf die Ernährung zurück)
- **Bürgersolarberater werden**  
und Mitbürger informieren
- **Einstellung der Heizungen prüfen:**  
ca. 80 Prozent der Heizungen in Deutschland sind falsch eingestellt  
(Verbraucherzentrale Bundesverband bietet Informationen)
- **Wohnungen tauschen,**  
→ um Wohnraum effizienter zu nutzen und  
→ um Pendelverkehr zu vermeiden.
- **Fahrgemeinschaften bilden**  
(Besetzungsgrad ist entscheidend für Effizienz von Pkw)
- **Strom sparen** (z. B. Standby abschalten)

---

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

HTWG Konstanz  
University of Applied Sciences

FG Energieeffizientes Bauen  
Prof. Dr.-Ing. Thomas Stark  
Sven Simon M.A.

[www.energie.ag.htwg-konstanz.de](http://www.energie.ag.htwg-konstanz.de)