

# Energie für (m)eine Stadt

## Planspiel zur Energiewende

Christoph Pels Leusden

# Aufgabenstellung

# So könnte „(m)eine Stadt“ aussehen



Abbildungsnachweis: File:Nassau Luftbild 070.jpg, [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Nassau\\_Luftbild\\_070.jpg&oldid=167023111](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Nassau_Luftbild_070.jpg&oldid=167023111) (last visited August 13, 2019)

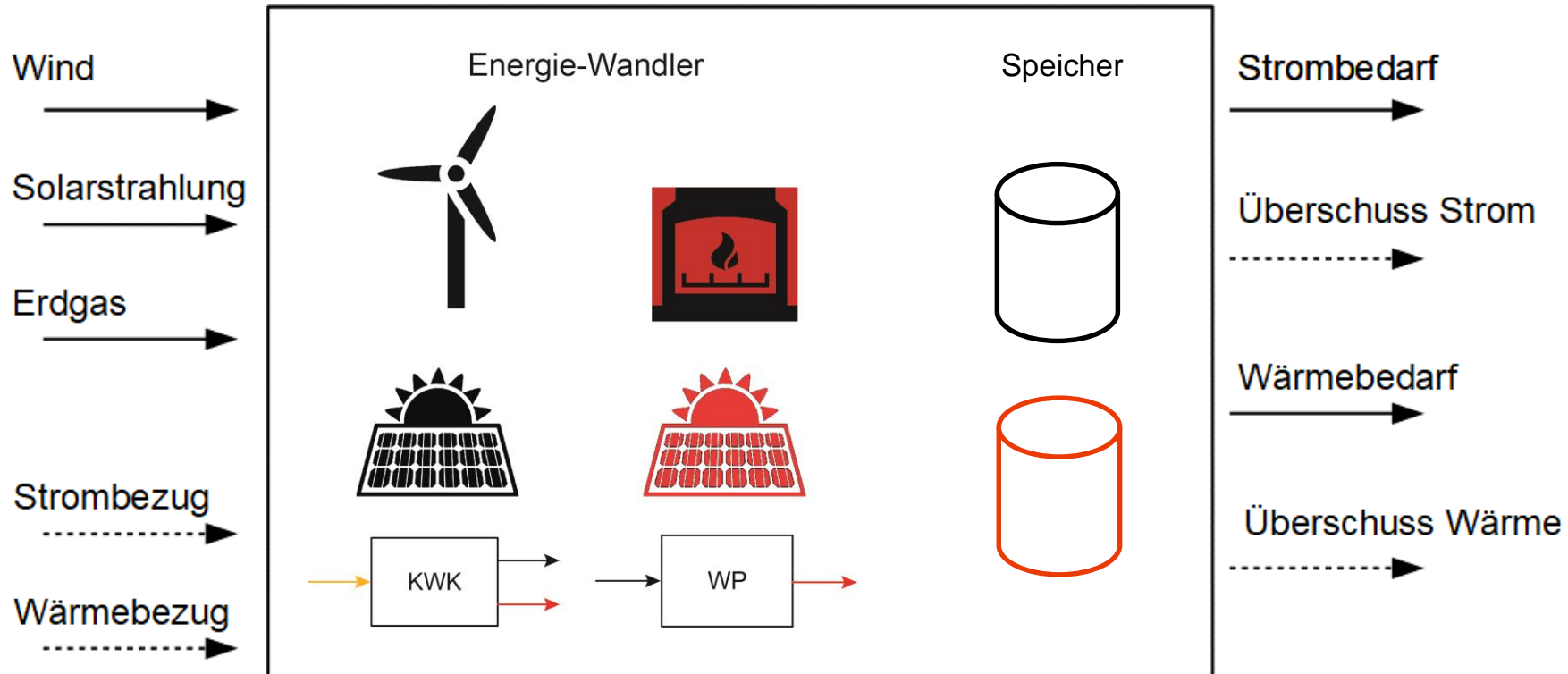
# Inhalt

Forschdorf ist eine imaginäre Kleinstadt in der Mitte Deutschlands mit 10.000 Menschen und einer üblichen Infrastruktur. In diesem Planspiel konzipieren Sie in Teams das neue System zur Versorgung von Forschdorf mit Strom und Wärme. Sie wählen technische Optionen für die Energieversorgung aus (z.B. Wind, Solarenergie, Kraft-Wärme-Kopplung, Wärmepumpen, Speicher). Neben dem CO<sub>2</sub>-Ausstoß und den Kosten achten Sie darauf, dass die Menschen in Forschdorf nicht im Dunkeln sitzen oder frieren müssen. Mit Hilfe unserer Software simulieren und untersuchen wir den Betrieb Ihrer Energiesysteme im Verlauf eines Kalenderjahres. Wie gut gelingt Ihnen die Energiewende in Forschdorf?

# Daten zu Forschdorf

- Lage: Niedersachsen
- 10.000 Einwohner
- 50% wohnen in Einfamilienhäusern, 50% in Mehrfamilienhäusern
- Gewerbegebiet mit 40 Klein-Unternehmen
- 1 Freibad, 1 Schule, 1 Krankenhaus, 2 Altenheime

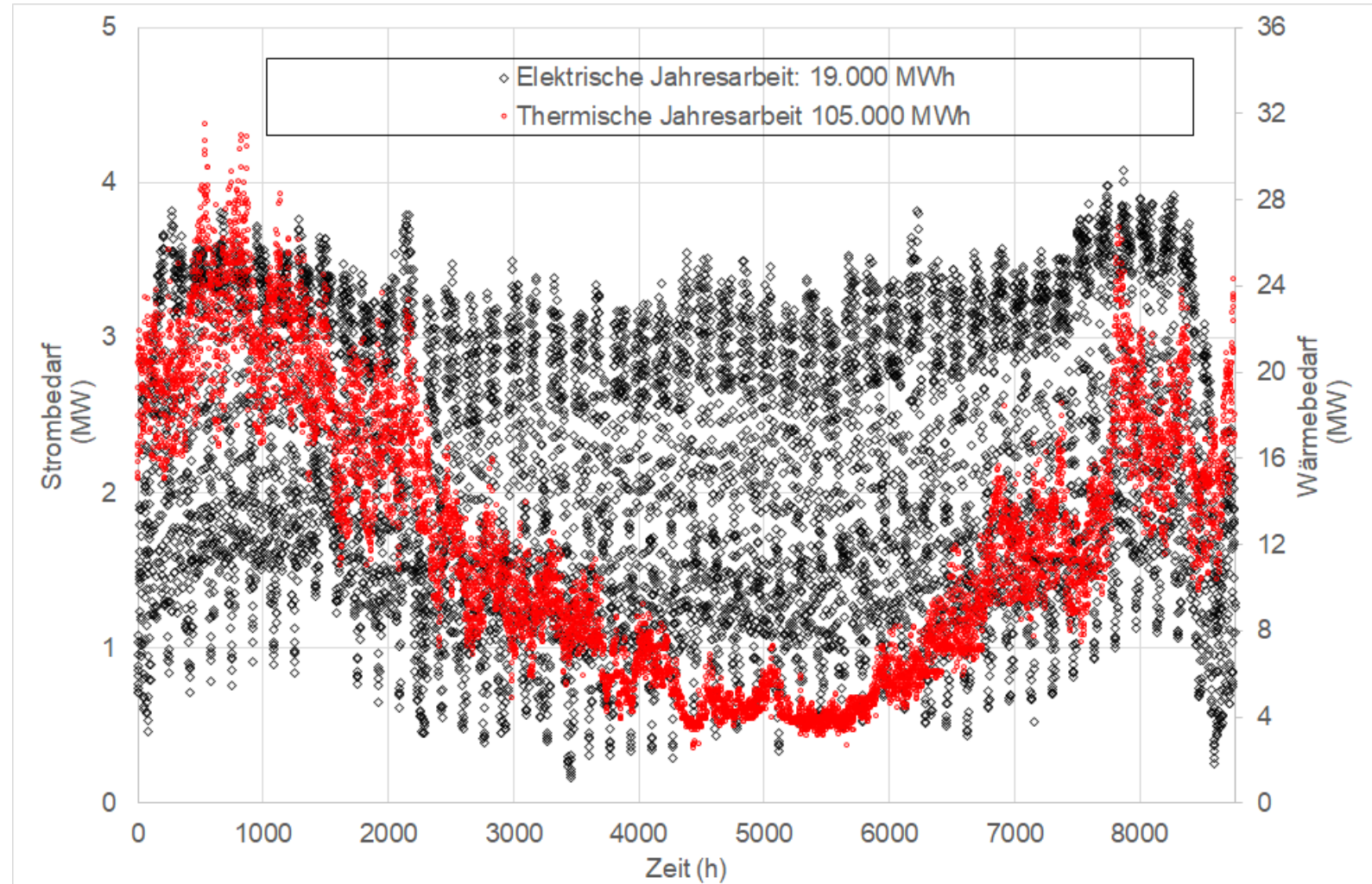
# Aufgabe



1. Wie viel kostet die Energieversorgung pro Jahr?
2. Wie viel CO<sub>2</sub> wird dabei emittiert?
3. Welcher Anteil am Bedarf kann vom System gedeckt werden?

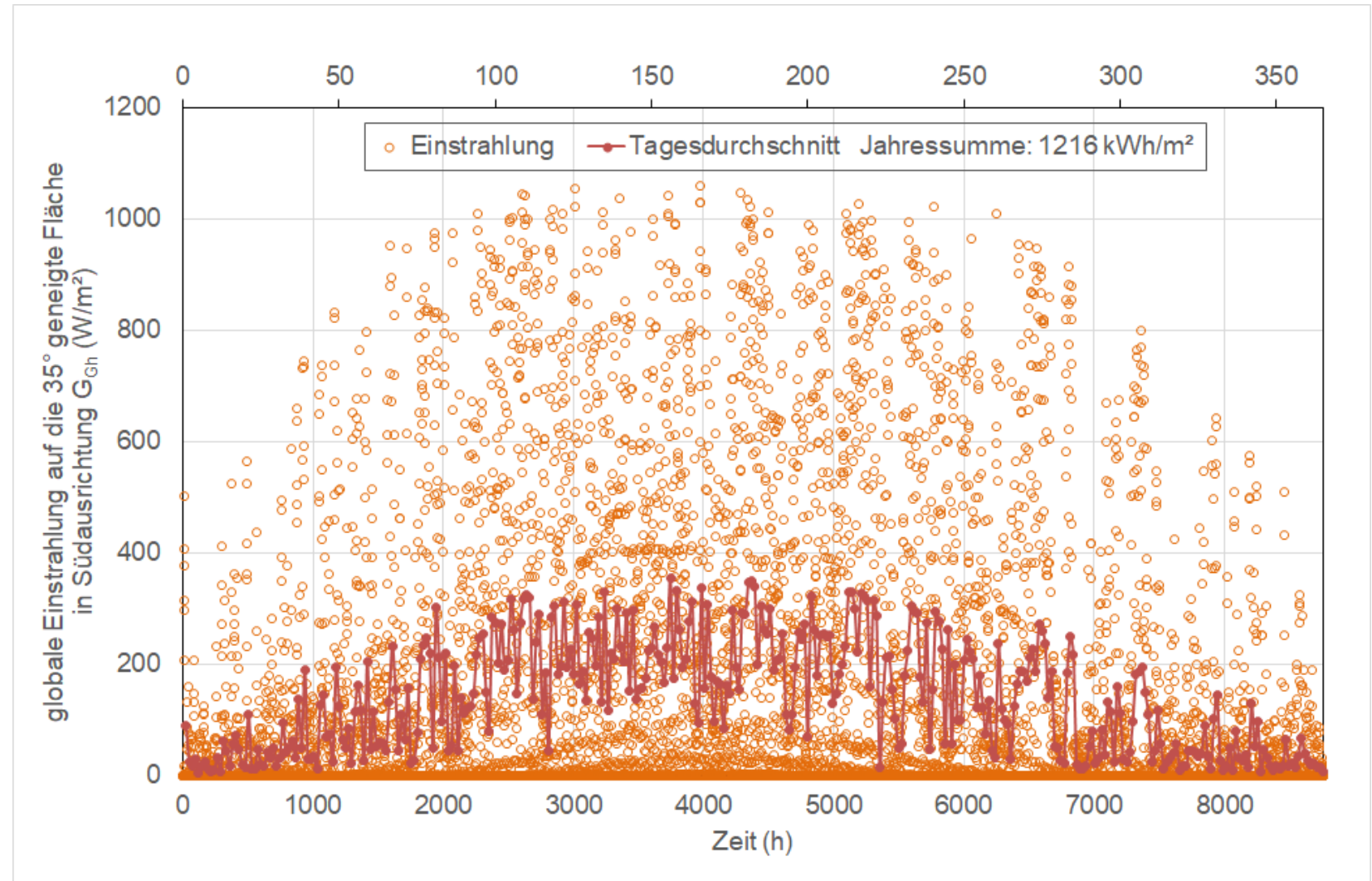


# Bedarf an elektrischer und thermischer Energie



Daten: Eigene Berechnungen basierend auf Strommarktdaten Deutschland für 2015 von Bundesnetzagentur - [www.smard.de](http://www.smard.de) (Strom); Stadtwerke Flensburg GmbH, District heating network data for the city of Flensburg from 2014-2016 (Wärme)

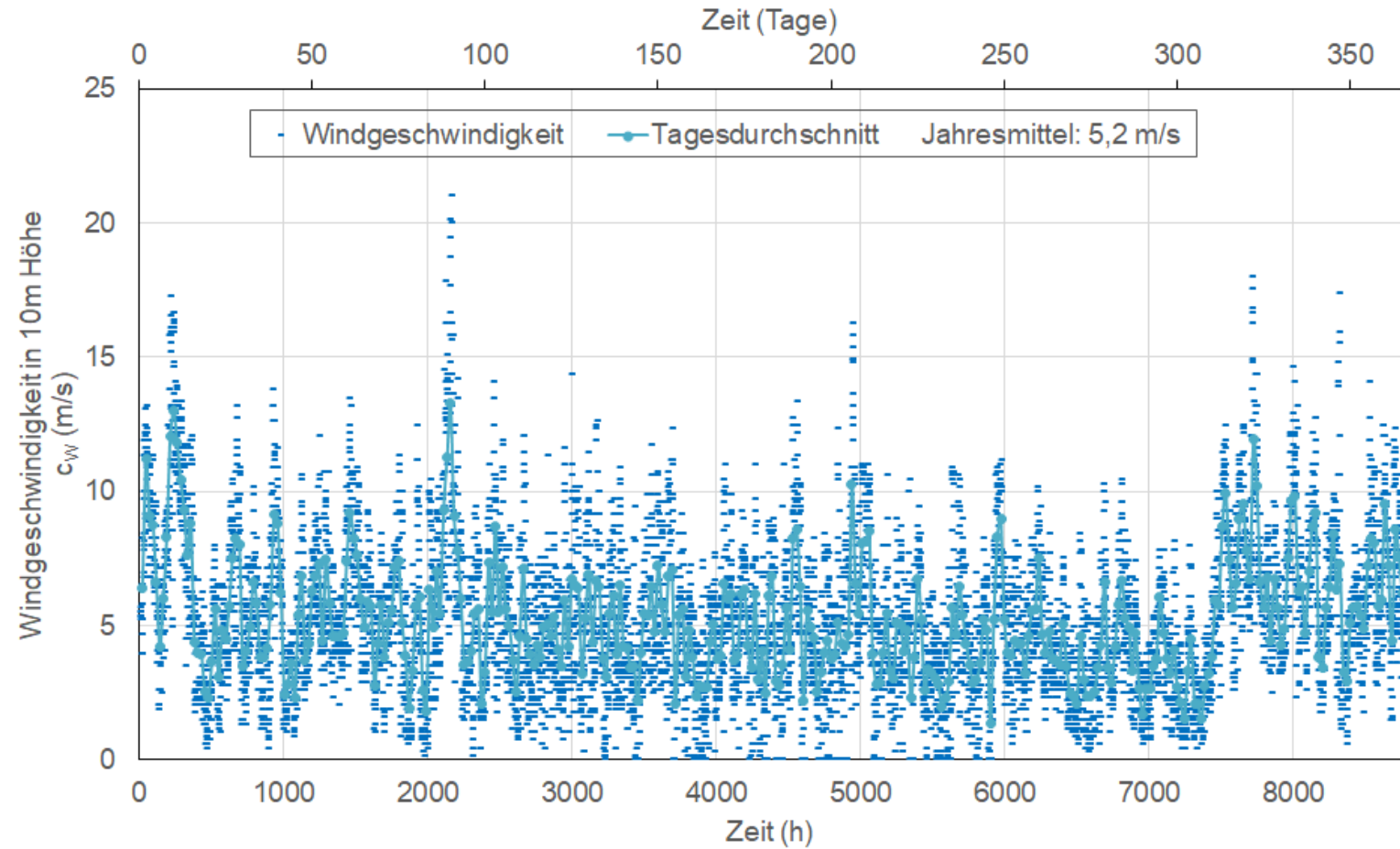
# Solare Einstrahlung



Daten: Strahlungsdaten aus eigener Berechnungen basierend auf DWD Climate Data Center (CDC)

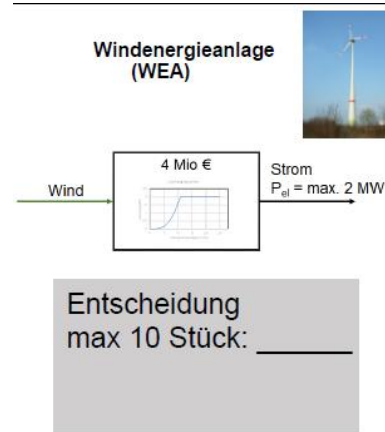


# Windgeschwindigkeit

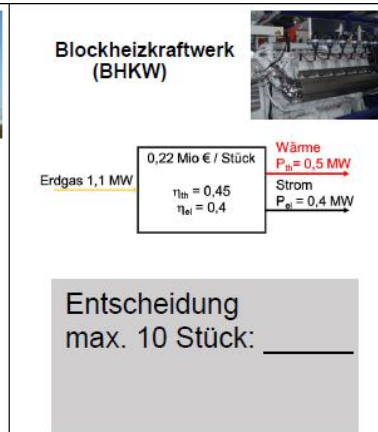


Daten: Windgeschwindigkeit von DWD Climate Data Center (CDC);

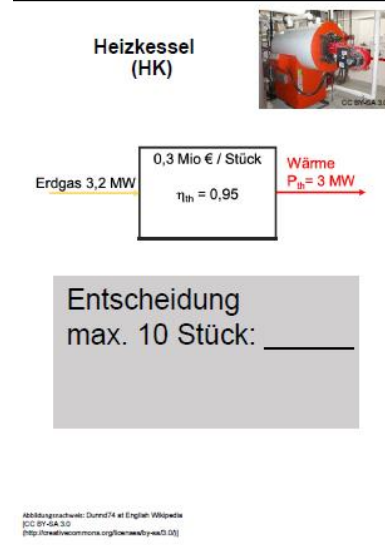
# Quartett der technischen Optionen



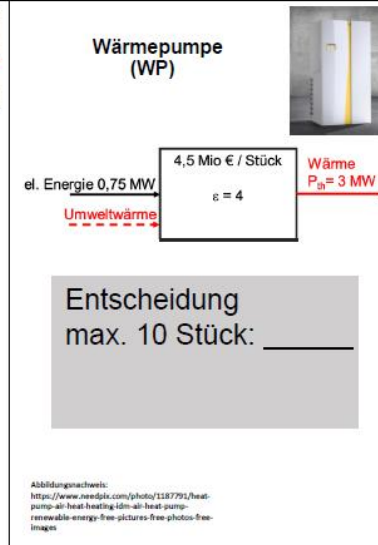
Abbildungsnachweis: Maelin  
([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Berlin\\_Windkraftanlage\\_Parkow.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Berlin_Windkraftanlage_Parkow.JPG)), „Berlin Windkraftanlage Parkow“, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>



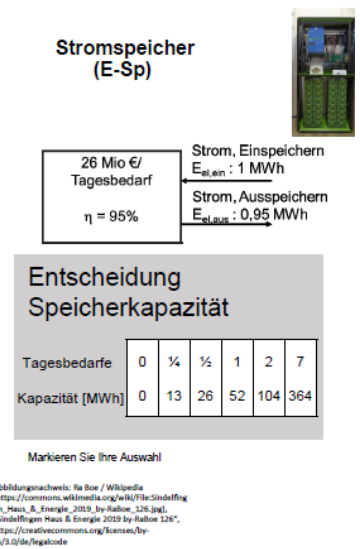
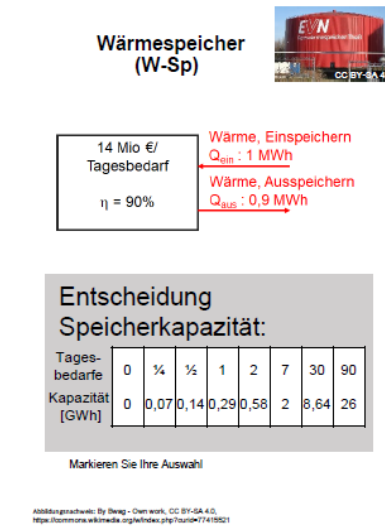
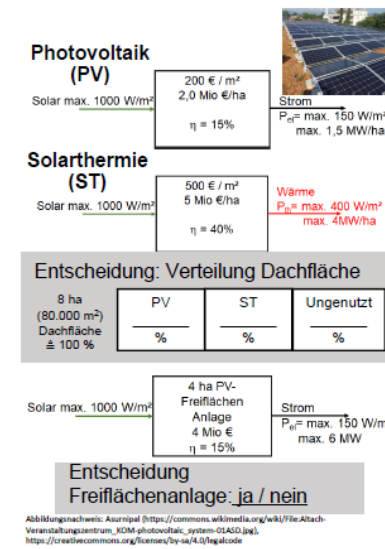
Abbildungsnachweis: CNPP  
([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BHKW\\_Bad\\_Stebens\\_2010-1.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BHKW_Bad_Stebens_2010-1.JPG)), „BHKW Bad Stebens 2010-1“, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>



Abbildungsnachweis: Durrend 74 at English Wikipedia  
([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HK\\_30.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HK_30.jpg))



Abbildungsnachweis:  
<https://www.neadix.com/photo/1518791/heat-pump-air-heat-heating-idm-air-heat-pump-renewable-energy-free-pictures-free-photos-free-images>



**Team:** \_\_\_\_\_

WEA \_\_\_\_\_ Stück  
BHKW \_\_\_\_\_ Stück  
Kessel \_\_\_\_\_ Stück  
WP \_\_\_\_\_ Stück

Dachfläche

	PV	ST	Ungenutzt
%	%	%	%

Solar (Freifläche 4ha):  
ja ☐ nein ☐

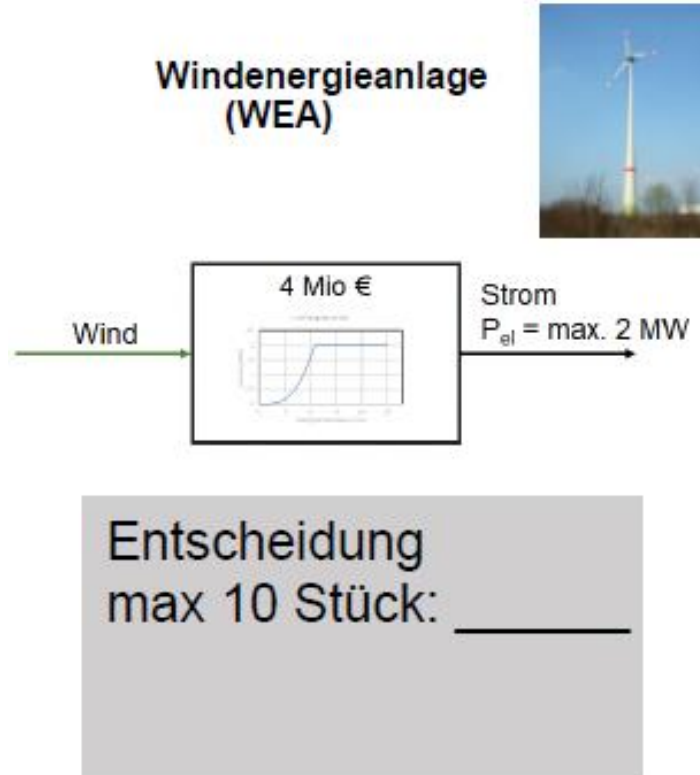
Speicherkapazität Strom

Tagesbedarfe	0	¼	½	1	2	7
Kapazität [MWh]	0	13	26	52	104	364

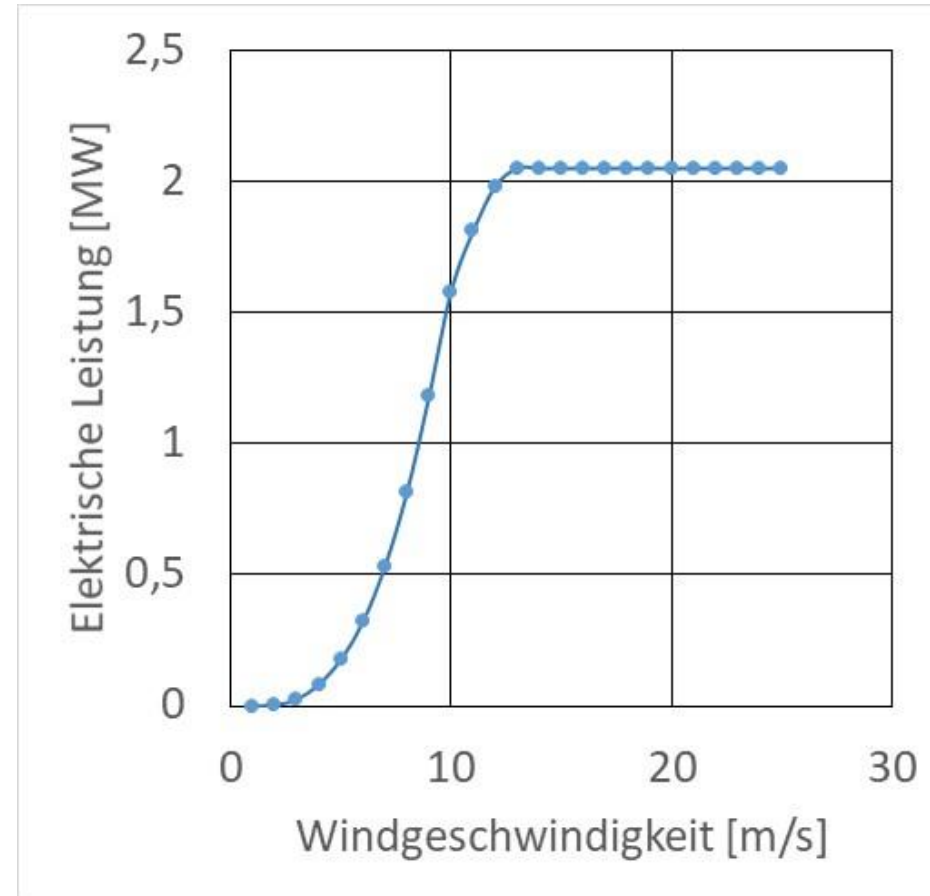
Speicherkapazität Wärme

Tagesbedarfe	0	¼	½	1	2	7	30	90
Kapazität [GWh]	0	0,07	0,14	0,29	0,58	2,0	8,6	26

# Windenergieanlage



Abbildungsnachweis: Mazblin  
([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Berlin\\_Windkraftanlage\\_Pankow.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Berlin_Windkraftanlage_Pankow.JPG)), „Berlin Windkraftanlage Pankow“, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>



# Photovoltaik (PV) und Solarthermie (ST)

## Photovoltaik (PV)

Solar max. 1000 W/m<sup>2</sup>

200 € / m<sup>2</sup>  
2,0 Mio €/ha  
 $\eta = 15\%$



Strom  
 $P_{el} = \text{max. } 150 \text{ W/m}^2$   
max. 1,5 MW/ha

## Solarthermie (ST)

Solar max. 1000 W/m<sup>2</sup>

500 € / m<sup>2</sup>  
5 Mio €/ha  
 $\eta = 40\%$

Wärme  
 $P_{th} = \text{max. } 400 \text{ W/m}^2$   
max. 4MW/ha

## Entscheidung: Verteilung Dachfläche

8 ha  
(80.000 m<sup>2</sup>)  
Dachfläche  
≙ 100 %

PV	ST	Ungenutzt
_____ %	_____ %	_____ %

Solar max. 1000 W/m<sup>2</sup>

4 ha PV-  
Freiflächen  
Anlage  
4 Mio €  
 $\eta = 15\%$

Strom  
 $P_{el} = \text{max. } 150 \text{ W/m}^2$   
max. 6 MW

## Entscheidung

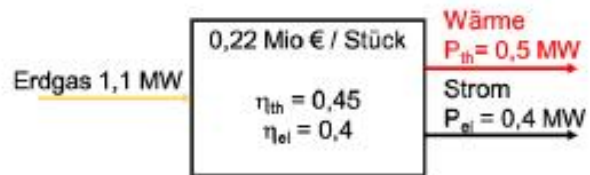
Freiflächenanlage: ja / nein

Abbildungsnachweis: Asurnipa! ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Altach-Veranstaltungszentrum\\_KOM-photovoltaic\\_system-01ASD.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Altach-Veranstaltungszentrum_KOM-photovoltaic_system-01ASD.jpg)),  
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>



# Blockheizkraftwerk (BHKW), Heizkessel, Wärmepumpe

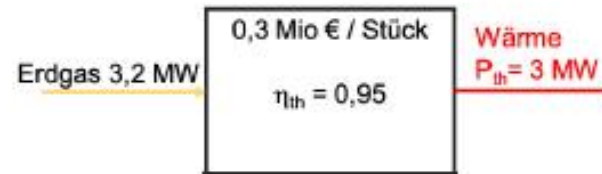
Blockheizkraftwerk (BHKW)



Entscheidung  
max. 10 Stück: \_\_\_\_\_

Abbildungsnachweis: ChNPP  
([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BHKW\\_Bad\\_Steben\\_2010-1.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BHKW_Bad_Steben_2010-1.JPG)), „BHKW Bad Steben 2010-1“, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>

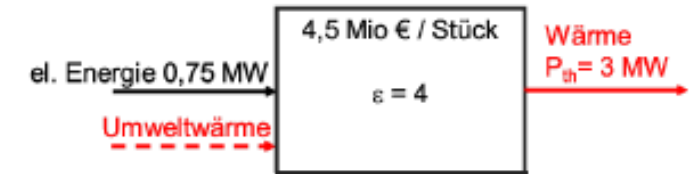
Heizkessel (HK)



Entscheidung  
max. 10 Stück: \_\_\_\_\_

Abbildungsnachweis: Durnd74 at English Wikipedia  
[CC BY-SA 3.0  
(<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)]

Wärmepumpe (WP)

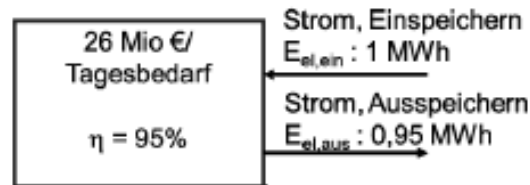


Entscheidung  
max. 10 Stück: \_\_\_\_\_

Abbildungsnachweis:  
<https://www.gettyimages.com/photo/1187791/heat-pump-air-heat-heating-idm-air-heat-pump-renewable-energy-free-pictures-free-photos-free-images>

# Speicher für elektrische und thermische Energie

## Stromspeicher (E-Sp)



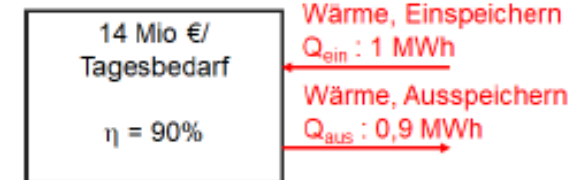
### Entscheidung Speicherkapazität

Tagesbedarfe	0	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	2	7
Kapazität [MWh]	0	13	26	52	104	364

Markieren Sie Ihre Auswahl

Abbildungsnachweis: RaBoe / Wikipedia  
([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sindelfingen\\_Haus\\_8\\_Energie\\_2019\\_by-RaBoe\\_126.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sindelfingen_Haus_8_Energie_2019_by-RaBoe_126.jpg)),  
„Sindelfingen Haus & Energie 2019 by-RaBoe 126“,  
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/legalcode>

## Wärmespeicher (W-Sp)



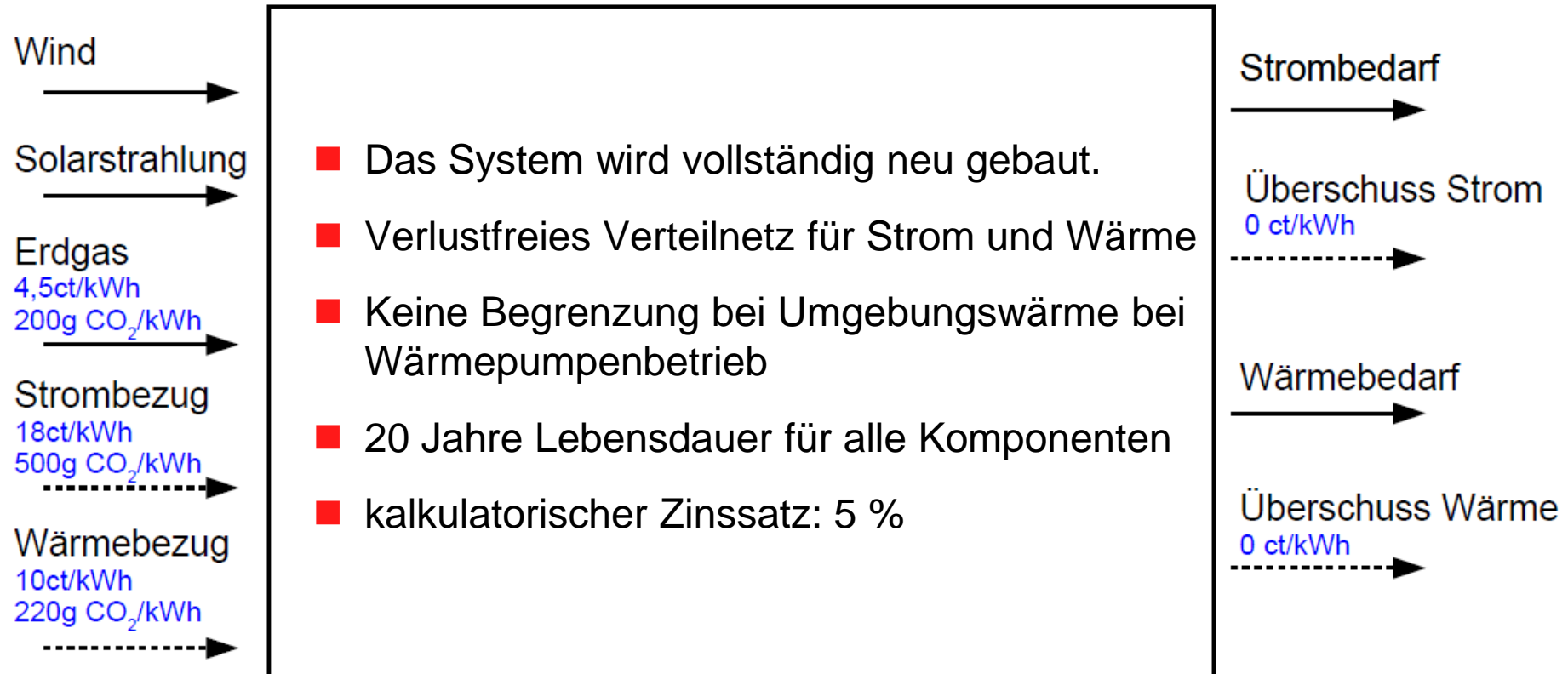
### Entscheidung Speicherkapazität:

Tagesbedarfe	0	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	2	7	30	90
Kapazität [GWh]	0	0,07	0,14	0,29	0,58	2	8,64	26

Markieren Sie Ihre Auswahl

Abbildungsnachweis: By Beag - Own work, CC BY-SA 4.0,  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/index.php?curid=77415521>

# Annahmen und Kennzahlen



- Wie viel kostet die Energieversorgung von Forschdorf pro Jahr?
- Wie viel CO<sub>2</sub> wird emittiert?
- Welcher Anteil am Bedarf kann vom System gedeckt werden?



# Ablauf

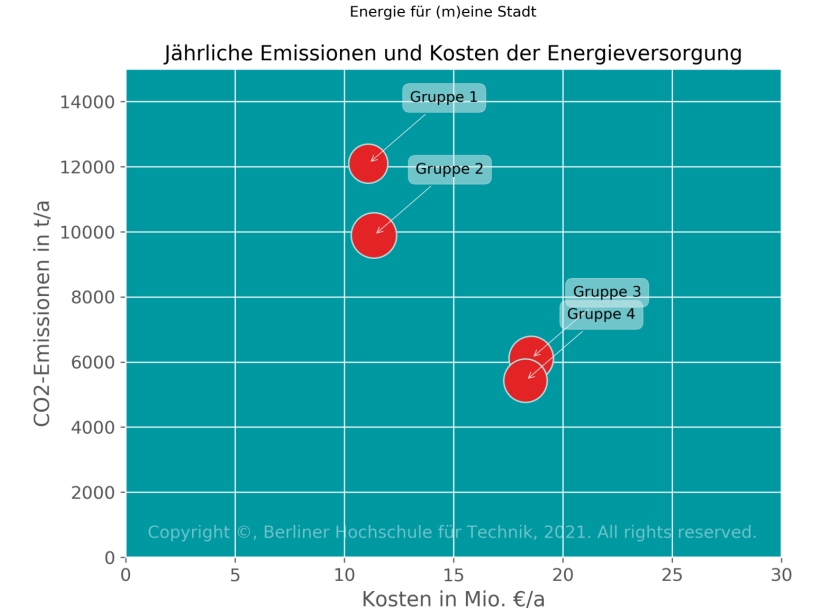


# Wie ist der Ablauf des Planspiels



Team: \_\_\_\_\_

WEA	_____	Stück						
BHKW	_____	Stück						
Kessel	_____	Stück						
WP	_____	Stück						
Dachfläche								
PV	ST	Ungenutzt						
_____	_____	_____						
%	%	%						
Solar (Freifläche 4ha):								
ja	<input type="radio"/>	nein <input type="radio"/>						
Speicherkapazität Strom								
Tagesbedarfe	0	¼	½	1	2	7		
Kapazität [MWh]	0	13	26	52	104	364		
Speicherkapazität Wärme								
Tagesbedarfe	0	¼	½	1	2	7	30	90
Kapazität [GWh]	0	0,07	0,14	0,29	0,58	2,0	8,6	26

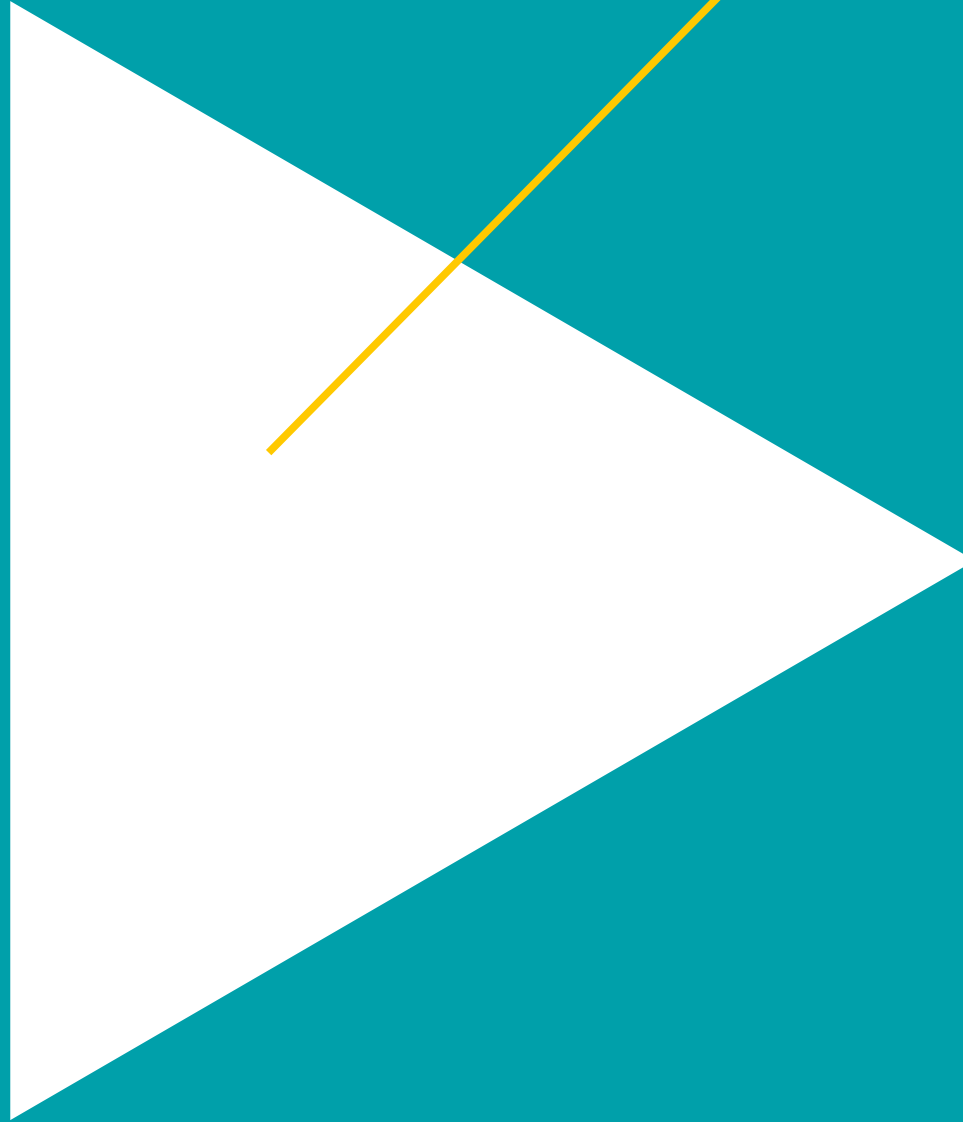


# Berechnungswerkzeug oemof

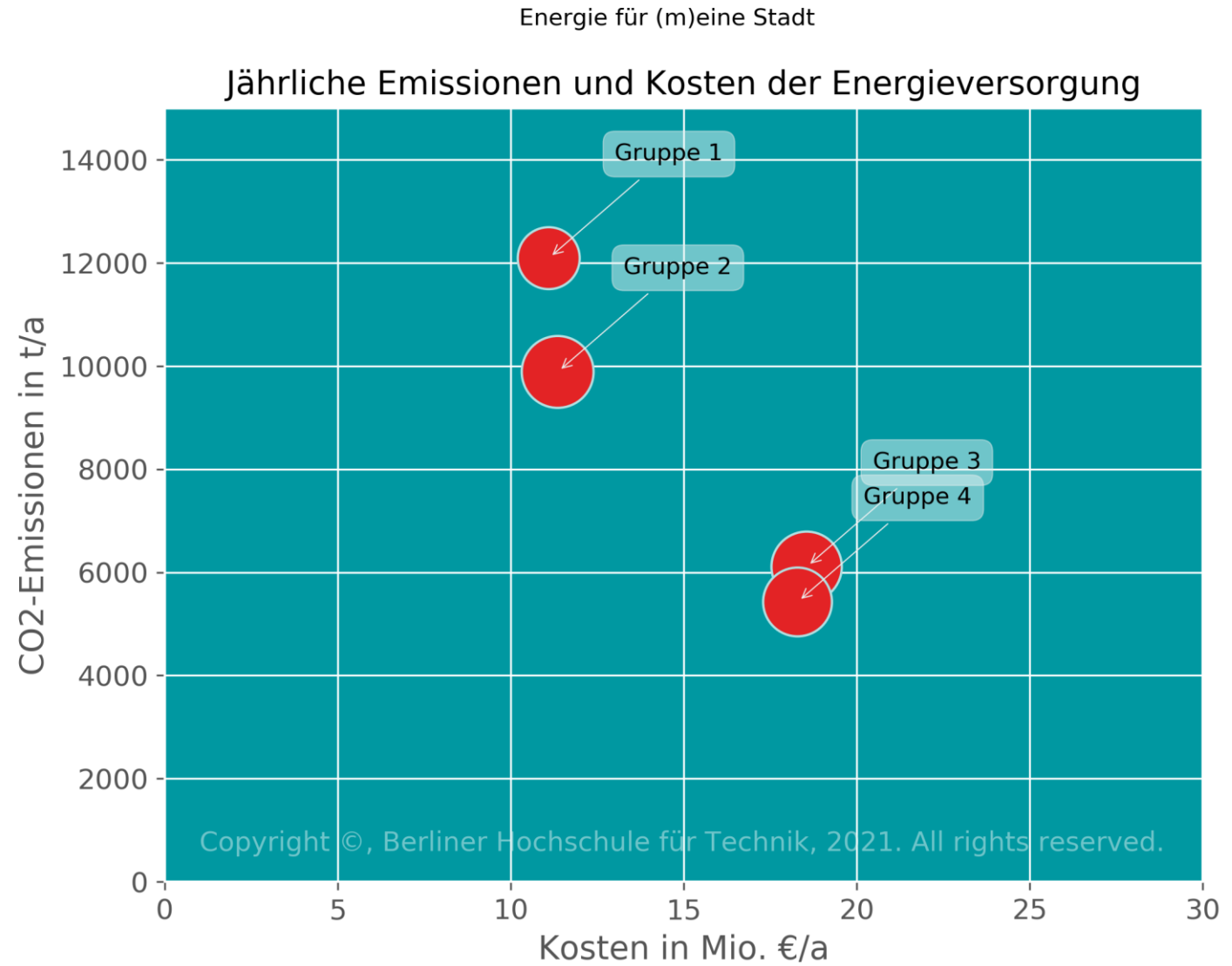


- oemof: open energy system modelling framework
- modularer Aufbau
- lineare Optimierung
- beliebige Zeitschritte (hier: 8760 h pro Jahr)
- verfügbar unter freier Lizenz

# Ergebnisse



# Ergebnisse





**Disclaimer**  
**Förderung**  
**Lizenz**  
**Kontakt**

# Disclaimer

Alle in diesem Workshop verwendeten Namen sind erfunden oder wurden zufällig ausgewählt. Eventuelle Gemeinsamkeiten mit realen Orten oder Personen sind zufällig und sind von den Autoren nicht beabsichtigt. Dieser Workshop soll ein fiktives Szenario betrachten.

# Förderung

Die Entwicklung und das Angebot dieses Planspiels wurde gefördert durch:

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

FKZ 03ET4047B

JOACHIM  
HERZ  
STIFTUNG



**BHT** Berliner Hochschule  
für Technik

**WILHELM UND ELSE  
HERAEUS-STIFTUNG**



# Lizenz



Sofern nicht gesondert vermerkt ist der Inhalt dieser Datei lizenziert als

Berliner Hochschule für Technik

Energie für (m)eine Stadt – Planspiel zur Energiewende (Präsentation)

unter CC BY SA 4.0:

[Creative Commons Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 Internationale Lizenz](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)



# Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Christoph Pels Leusden  
Berliner Hochschule für Technik  
Fachbereich Maschinenbau, Veranstaltungstechnik,  
Verfahrenstechnik

[christoph.pels-leusden@bht-berlin.de](mailto:christoph.pels-leusden@bht-berlin.de)

<https://projekt.bht-berlin.de/planspielenergie/>

# Vielen Dank für Ihr Interesse!





# Anhang