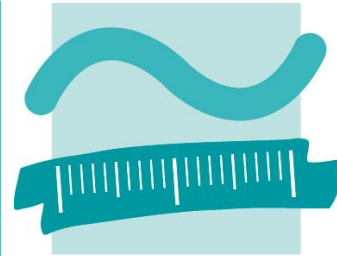


Workshop zur Energiewende:

Energie für Forschdorf Strom und Wärme für eine deutsche Kleinstadt

Silke Köhler
Christoph Pels Leusden
Jakob Wolf



BEUTH HOCHSCHULE
FÜR TECHNIK
BERLIN

University of Applied Sciences

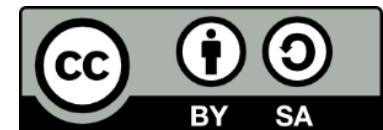
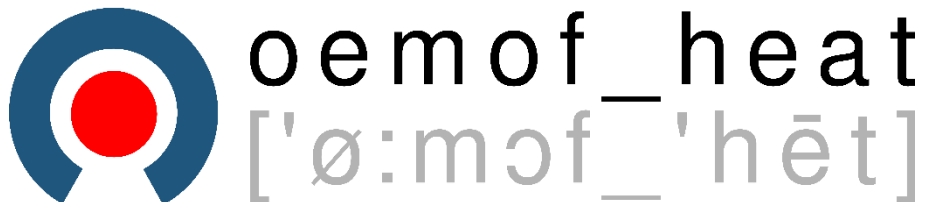


Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Beuth Hochschule für Technik Berlin

- Gegründet 1971 als Technische Fachhochschule Berlin
- Über 12.000 Studierende in mehr als 70 Studiengängen
- Eine der größten Fachhochschulen Deutschlands
- Größtes Angebot an ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen in Berlin-Brandenburg



Copyright: Beuth Hochschule Berlin

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.

Lizenz



Sofern nicht gesondert vermerkt ist der Inhalt dieser Datei lizenziert als Beuth Hochschule für Technik Berlin, Energie-Workshop (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/)

Download

<https://github.com/oemof-heat/workshop>

Der Workshop

Forschdorf ist eine imaginäre Kleinstadt in der Mitte Deutschlands mit 10.000 Menschen und einer üblichen Infrastruktur. In dem Workshop konzipiert ihr in Teams das neue System zur Versorgung von Forschdorf mit Strom und Wärme. Ihr wählt technische Optionen für die Energieversorgung aus (z.B. Wind, Solarenergie, Kraft-Wärme-Kopplung, Wärmepumpen, Speicher). Neben dem CO₂-Ausstoß und den Kosten achtet ihr darauf, dass die Menschen in Forschdorf nicht im Dunkeln sitzen oder frieren müssen. Mit Hilfe unserer Software simulieren und untersuchen wir den Betrieb eurer Energiesysteme im Verlauf eines Kalenderjahres. Wie gut gelingt Euch die Energiewende in Forschdorf?

So könnte Forschdorf aussehen



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

Die Daten zu Forschdorf

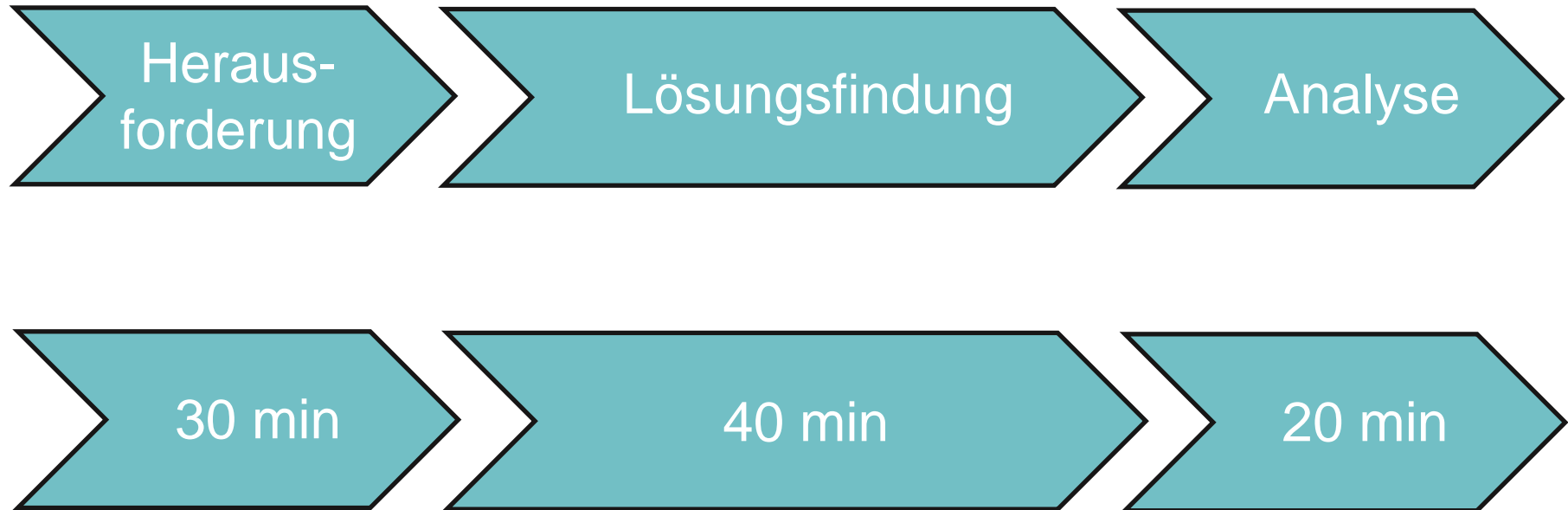
- Lage: Niedersachsen
- 10.000 Einwohner
- 50% wohnen in Einfamilienhäusern, 50% in Mehrfamilienhäusern
- Gewerbegebiet mit 40 Klein-Unternehmen
- 1 Freibad, 1 Schule, 1 Krankenhaus, 2 Altenheime

Das Ziel

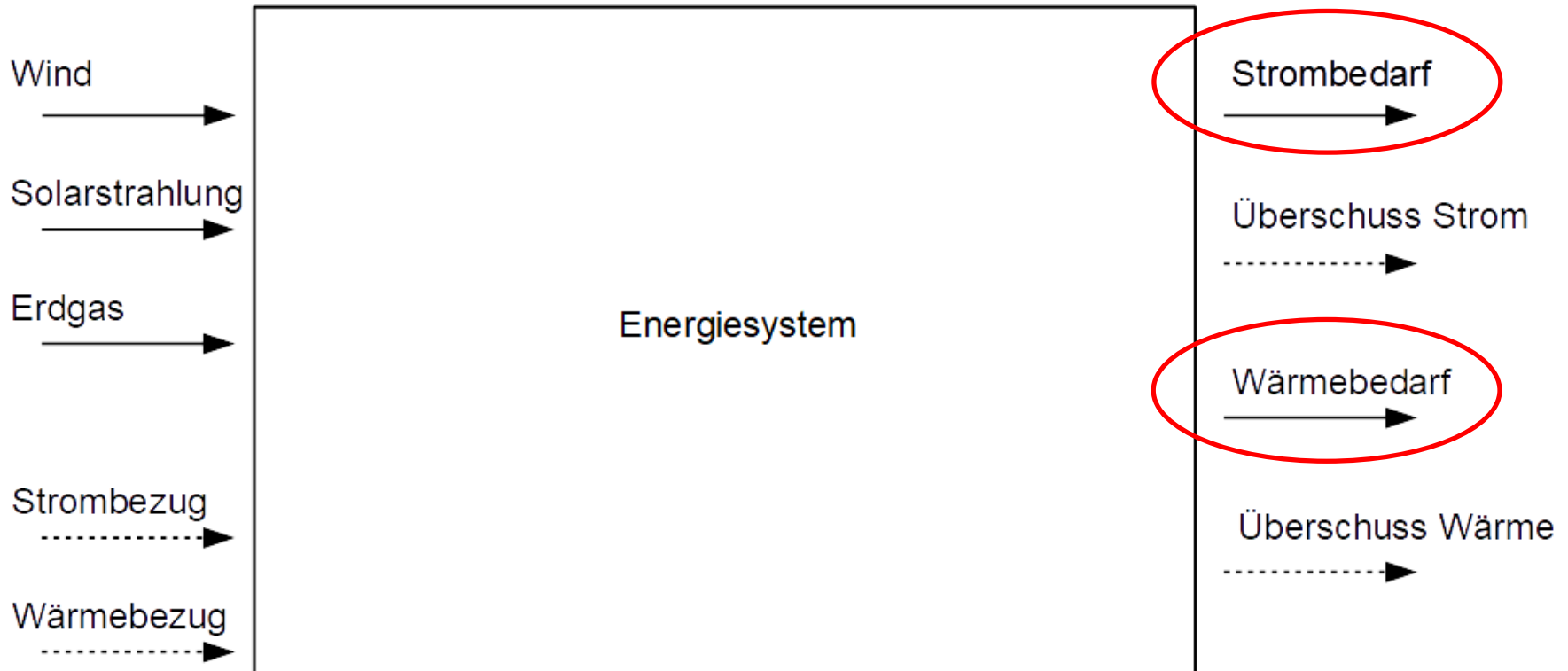


- Wie viel kostet die Energieversorgung von Forschdorf pro Jahr?
- Wie viel CO₂ wird emittiert?
- Welcher Anteil am Bedarf kann vom System gedeckt werden?

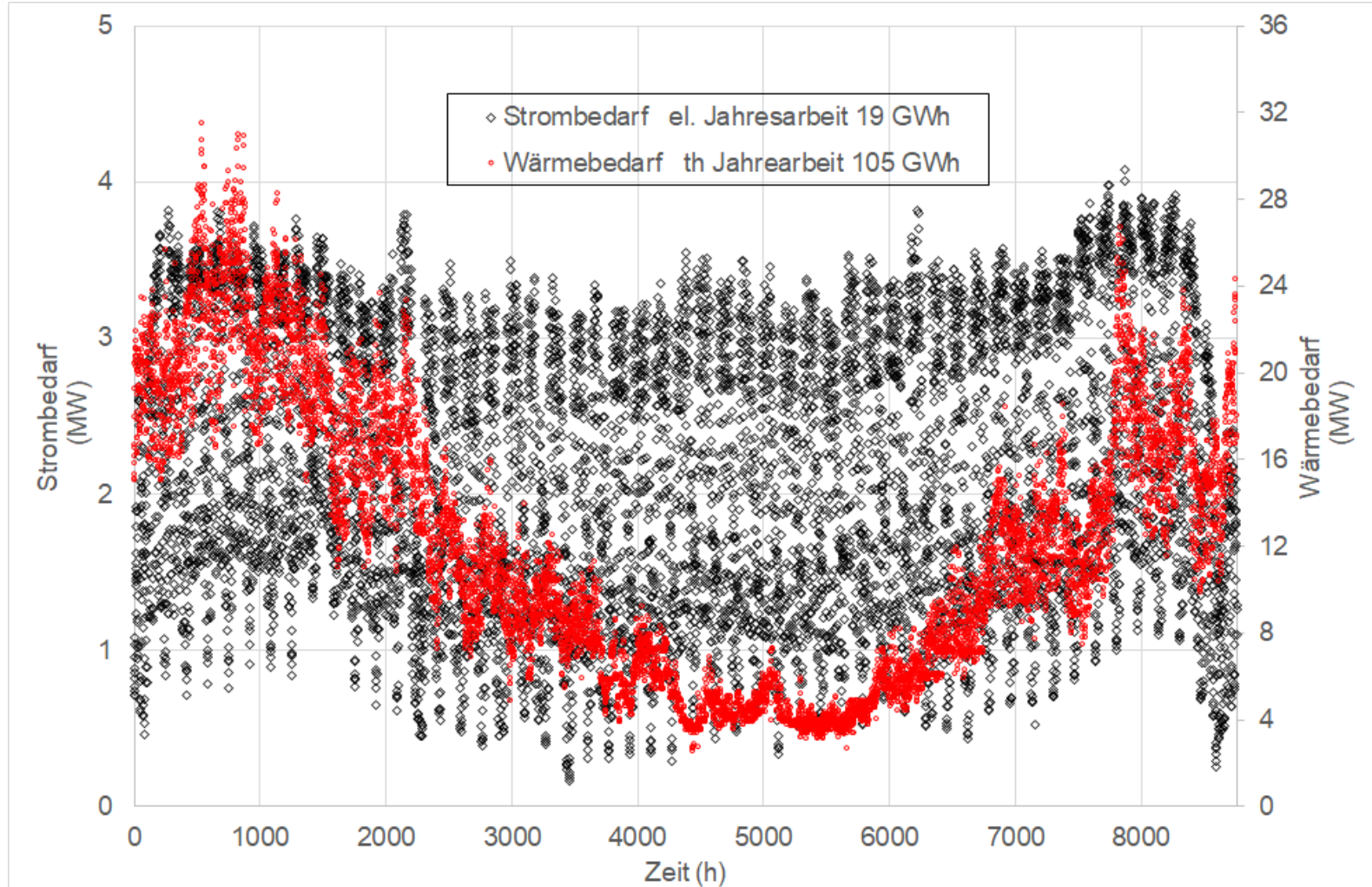
Der Ablauf



Was soll das System liefern?



Randbedingungen: Bedarfe



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

Energie / Arbeit $E = m * g * h$

$$\text{kg} * \text{m/s}^2 * \text{m} = \text{Nm} = \text{J}$$

Energie = Leistung * Zeit

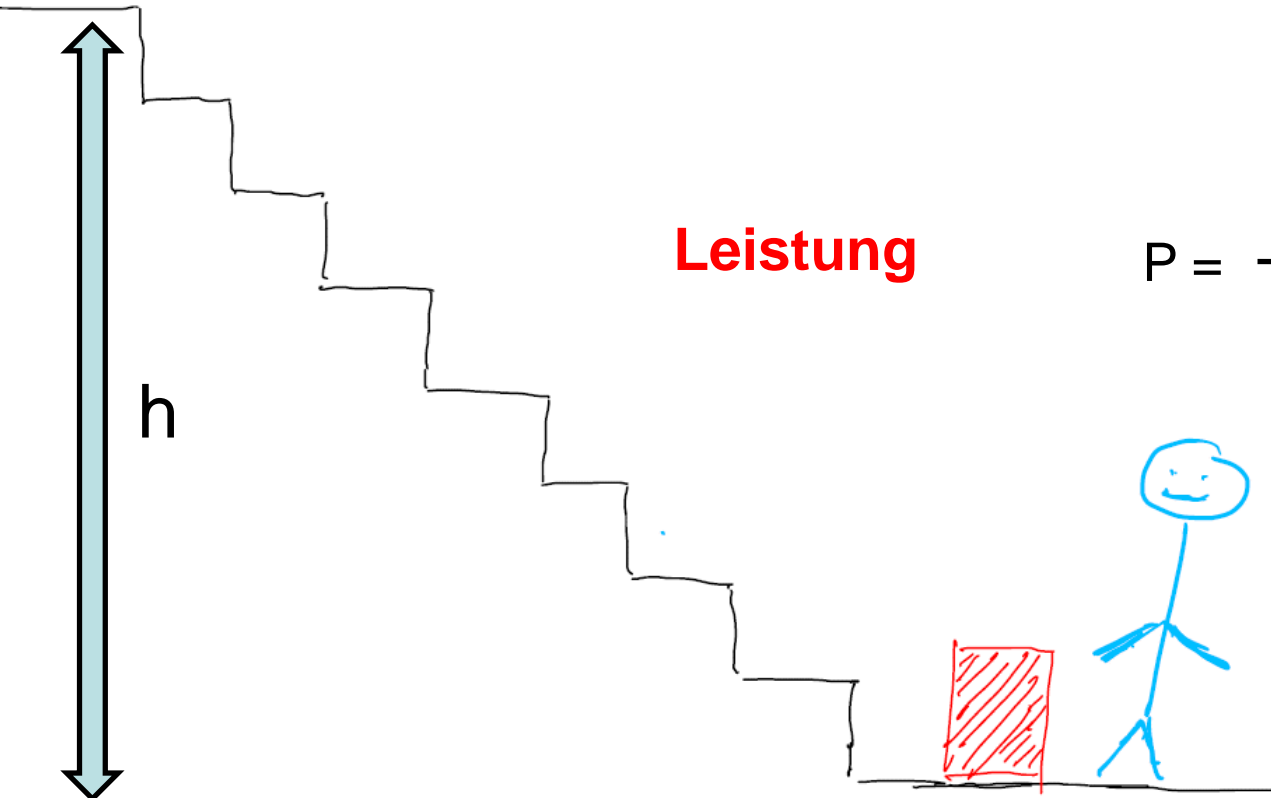
$$E = P * t$$

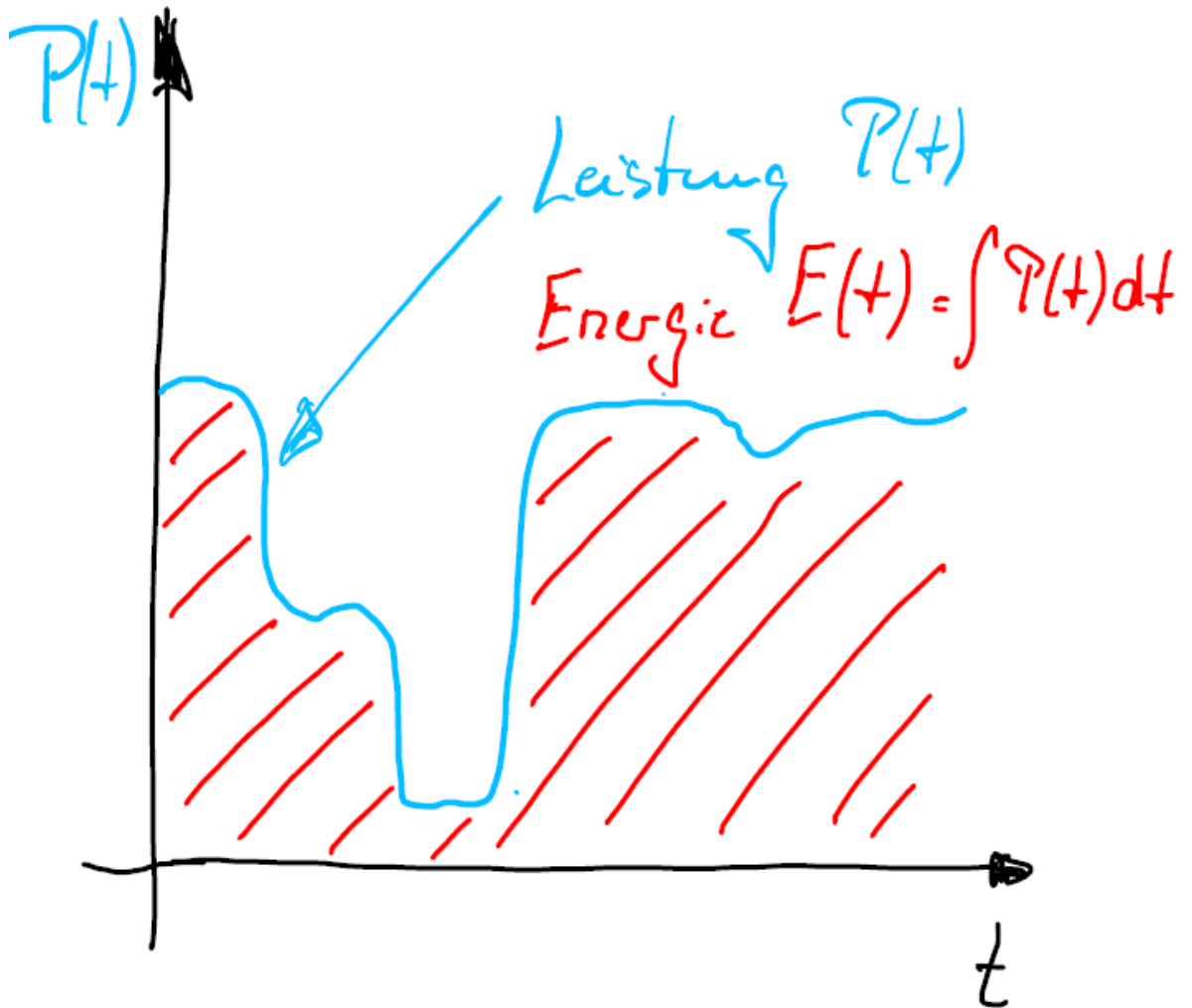
$$\text{J} = \text{W} * \text{s}$$

Leistung

$$P = \frac{E}{t} = \frac{\text{Energie}}{\text{Zeit}}$$

$$\frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W}$$





$$1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$$

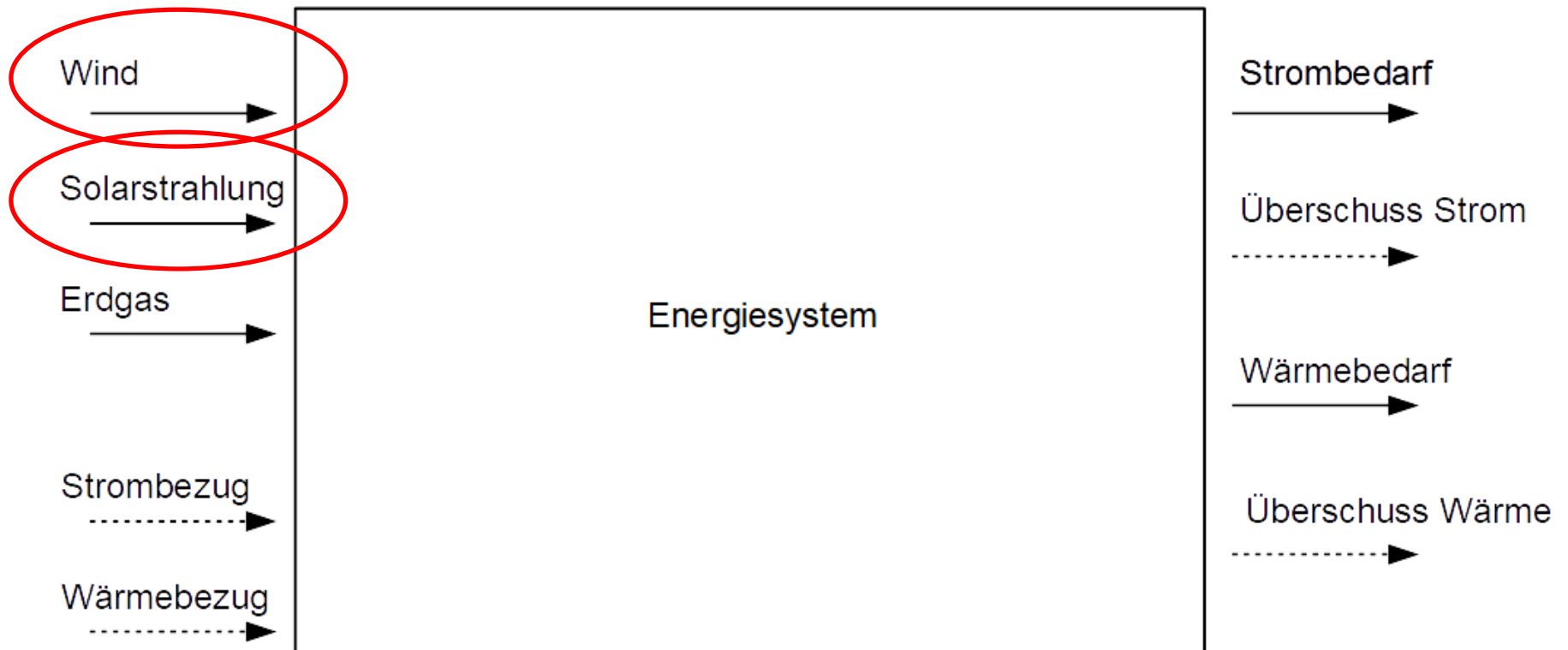
$$3600 \text{ J} = 1 \text{ Wh}$$

$$3,6 \cdot 10^6 \text{ J} = 1 \text{ kWh}$$

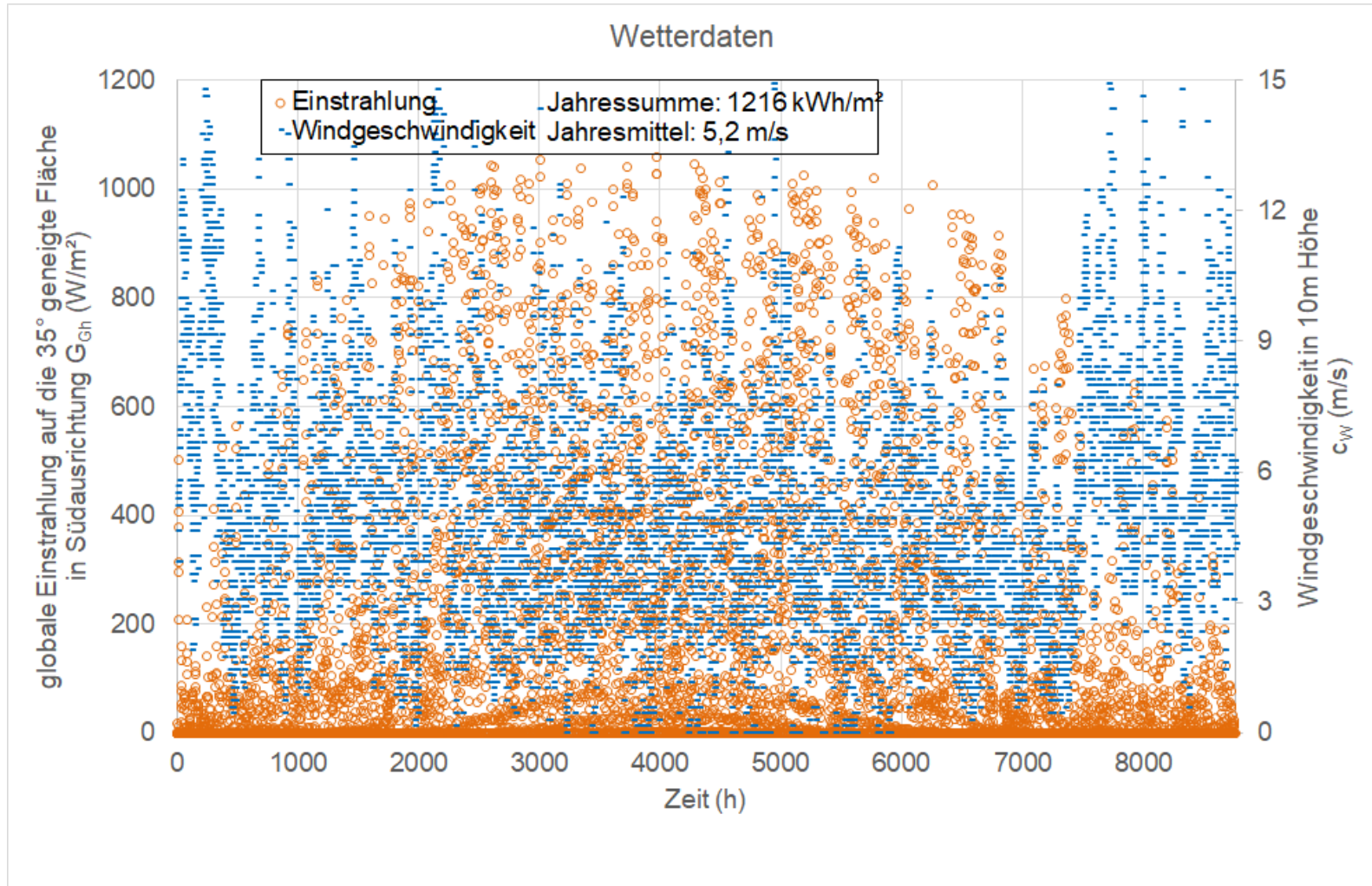
$$3,6 \cdot 10^9 \text{ J} = 1 \text{ MWh}$$

$$3,6 \cdot 10^{12} \text{ J} = 1 \text{ GWh}$$

Welche Ressourcen stehen zur Verfügung?



Randbedingungen: Wetterdaten



Daten: Windgeschwindigkeit von DWD Climate Data Center (CDC); Strahlungsdaten aus eigene Berechnungen basierend auf DWD Climate Data Center (CDC); Details und MET_Energie-Workshop.pdf

Weitere Randbedingungen

- Erdgas (Kosten: 4,5 ct/kWh)
- Netzstrom (Kosten: 18 ct/kWh)
- Wärmebezug (Kosten: 10 ct/kWh)
- Nutzbare Dachfläche: 80.000 m²
- Freifläche für Photovoltaik-Anlage: 40.000 m²
- Umgebungswärme für Wärmepumpen: keine Begrenzung

Die Annahmen:

- Das System wird neu gebaut und es ist keine bestehende Technik zu integrieren.
- Es gibt ein verlustfreies Verteilnetz für Strom und Wärme in der Stadt.
- Unterversorgung wird durch Netzbezug ausgeglichen, dessen Kosten und CO₂-Emissionen aber berücksichtigt werden.
- Energieüberschüsse werden ins Netz abgegeben, ergeben aber keinen Ertrag.
- oemof optimiert den Betrieb Ihres Energiesystems während eines einjährigen Zeitraums und ermittelt so den kostengünstigsten Betrieb


Das Berechnungswerkzeug

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



Die Optionen

Windenergieanlage (WEA)




Wind → 4 Mio € → Strom $P_{el} = \text{max. } 2 \text{ MW}$

Entscheidung max 10 Stück: _____

Abbildungsnachweis: Machb
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Berlin_Windkraftanlage_Park.jpg, Berlin: Windkraftanlage
Park.jpg", <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/legende>

Blockheizkraftwerk (BHKW)




Erdgas $1,1 \text{ MW}$ → $0,22 \text{ Mio € / Stück}$ → Wärme $P_{th} = 0,5 \text{ MW}$
 $\eta_{th} = 0,45$ → Strom $P_{el} = 0,4 \text{ MW}$
 $\eta_{el} = 0,4$

Entscheidung max. 10 Stück: _____

Abbildungsnachweis: CNRP
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BHKW_Ba_4_Sistem_2010-1.JPG, BHKW Ba 4 System 2010-1", <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/legende>

Heizkessel (HK)




Erdgas $3,2 \text{ MW}$ → $0,3 \text{ Mio € / Stück}$ → Wärme $P_{th} = 3 \text{ MW}$
 $\eta_{th} = 0,95$

Entscheidung max. 10 Stück: _____

Abbildungsnachweis: Durni74 at English Wikipedia
[CC-BY-SA-3.0] <https://commons.wikimedia.org/licenses/by-sa/3.0/>

Wärmepumpe (WP)




el. Energie $0,75 \text{ MW}$ → $4,5 \text{ Mio € / Stück}$ → Wärme $P_{th} = 3 \text{ MW}$
 $\epsilon = 4$
Umweltwärme

Entscheidung max. 10 Stück: _____

Abbildungsnachweis:
<https://www.neef.de/photos/1387791/heat-pump-air-heat-heating-10m-air-heat-pump-renewable-energy-free-pictures-free-photos-free-images>

Solarthermie (ST) Photovoltaik (PV)



Solar max. 1000 W/m^2 → 266 € / m^2 → Strom $P_{el} = \text{max. } 150 \text{ W/m}^2$
 $\eta = 15\%$ max. $1,5 \text{ MW/ha}$
Solar max. 1000 W/m^2 → 500 € / m^2 → Wärme $P_{th} = \text{max. } 400 \text{ W/m}^2$
 $\eta = 40\%$ max. 4 MW/ha

Entscheidung max. $8 \text{ ha} = 80.000 \text{ m}^2$


0 / PV ST	0 / PV ST	0 / PV ST	0 / PV ST
0 / PV ST	0 / PV ST	0 / PV ST	0 / PV ST

4 ha PV-Freiflächen Anlage 10 Mio € → Strom $P_{el} = \text{max. } 150 \text{ W/m}^2$
 $\eta = 15\%$ max. 6 MW

Entscheidung Freiflächenanlage: ja / nein

Abbildungsnachweis: Ausrupal https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ablach-Veranstaltungszentrum_KOM-photovoltaik_system-GSAD.jpg, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/legende>

Wärmespeicher (W-Sp)



14 Mio € / Tagesbedarf → Wärme, Einspeichern $Q_{ein} = 1 \text{ MWh}$
 $\eta = 90\%$ → Wärme, Ausspeichern $Q_{aus} = 0,9 \text{ MWh}$


Entscheidung Speicherkapazität - Tagesbedarfe:

0	1/4	1/2	1	2	7	30	90
---	-----	-----	---	---	---	----	----

Markieren Sie Ihre Auswahl

Abbildungsnachweis: By Bweg - Own work, CC-BY-SA-4.0, <https://commons.wikimedia.org/licenses/by-sa/4.0/>

Stromspeicher (E-Sp)



26 Mio € / Tagesbedarf → Strom, Einspeichern $E_{el, ein} = 1 \text{ MWh}$
 $\eta = 95\%$ → Strom, Ausspeichern $E_{el, aus} = 0,95 \text{ MWh}$

Entscheidung Speicherkapazität - Tagesbedarfe:

0	1/4	1/2	1	2	7
---	-----	-----	---	---	---

Markieren Sie Ihre Auswahl

Abbildungsnachweis: Ra Box / Wikipedia
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stindelfing_Pneu_Ra_Box.jpg, Example 2013, by RaBox, 126.jpg, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/legende>

Team: Entscheidungen

WEA _____ Stück
BHKW _____ Stück
Kessel _____ Stück
WP _____ Stück
Solar (1 Feld = ha)

0 / PV ST	0 / PV ST	0 / PV ST	0 / PV ST
0 / PV ST	0 / PV ST	0 / PV ST	0 / PV ST

Solar (Freifläche 4ha): ja ☐ nein ☐

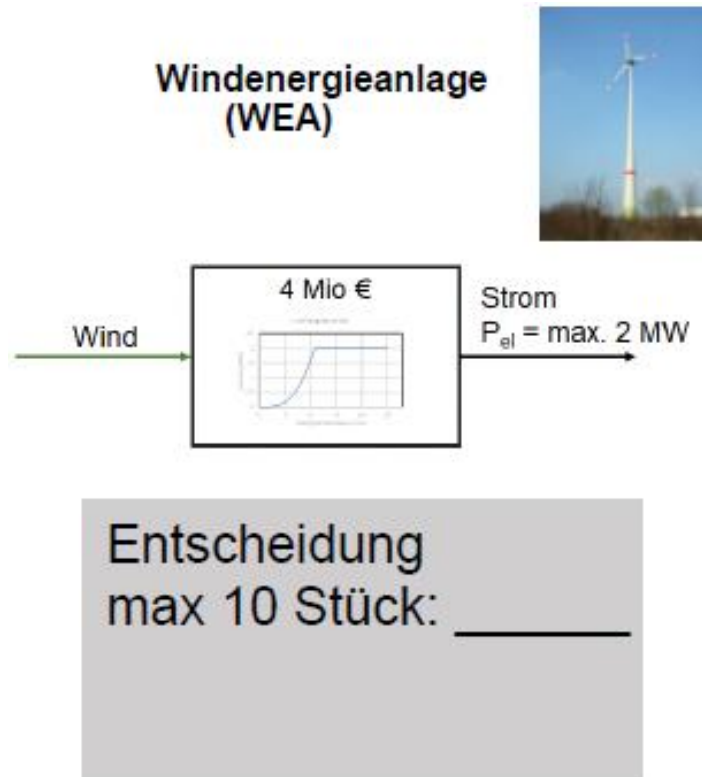
Speicherkapazität: Tagesbedarfe Strom

0	1/4	1/2	1	2	7
---	-----	-----	---	---	---

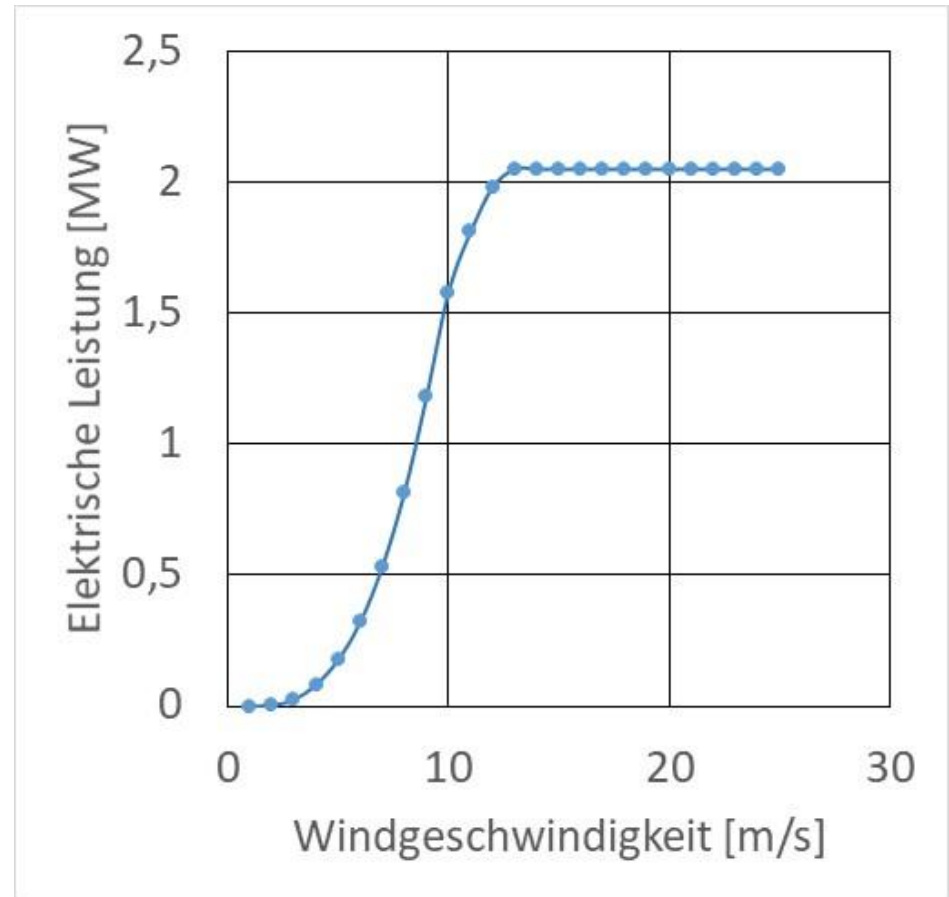
Tagesbedarfe Wärme

0	1/4	1/2	1	2	7	30	90
---	-----	-----	---	---	---	----	----

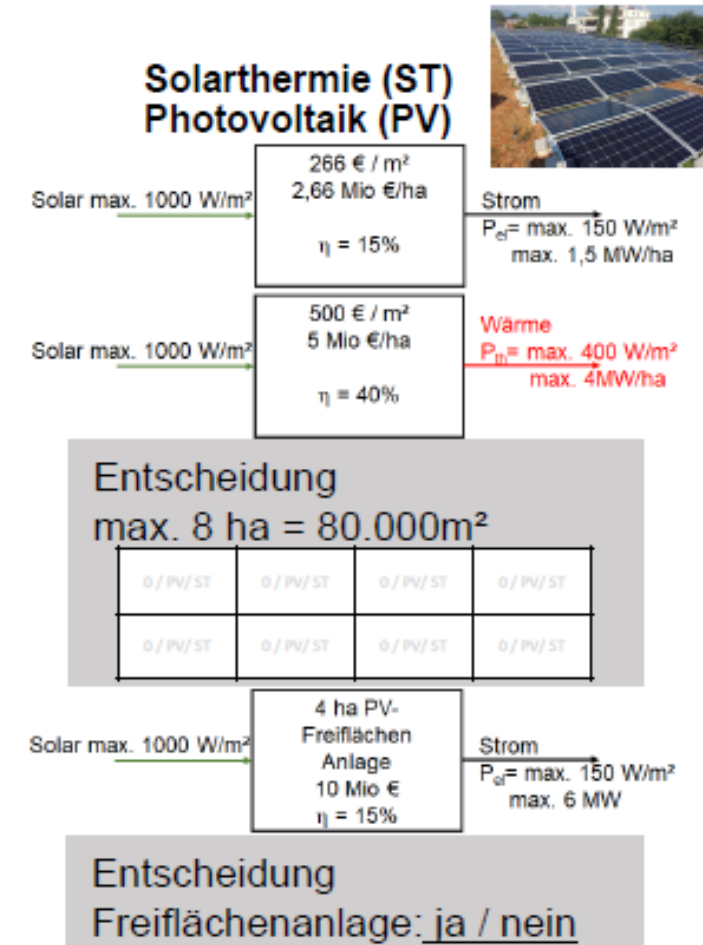
Beispiel Windenergieanlage: WEA



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



Beispiel Windkraftanlage: Solarthermie (ST) und Photovoltaik (PV)



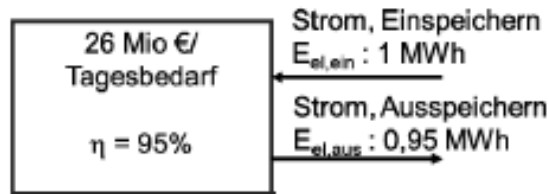
0: Fläche ungenutzt
PV: Fläche für Photovoltaik
ST: Fläche für Solarthermie

Entscheidung ja/nein
Für Solarthermie-Freifläche
erforderlich

Abbildungsnachweis: Asurnipal (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Altach-Veranstaltungszentrum_KOM-photovoltaic_system-01ASD.jpg),
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>

Beispiel Speicher

Stromspeicher (E-Sp)



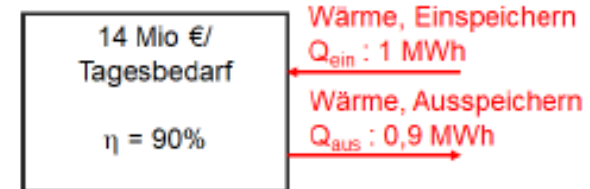
Entscheidung Speicherkapazität - Tagesbedarfe:

0	1/4	1/2	1	2	7
---	-----	-----	---	---	---

Markieren Sie Ihre Auswahl

Abbildungsnachweis: RaBoe / Wikipedia
(https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sindelfingen_Haus_&_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:

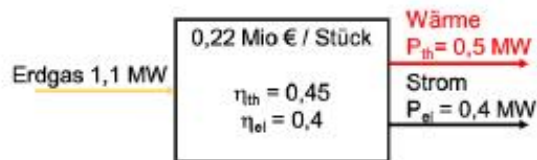
0	1/4	1/2	1	2	7	30	90
---	-----	-----	---	---	---	----	----

Markieren Sie Ihre Auswahl

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

BHKW, Heizkessel, Wärmepumpe

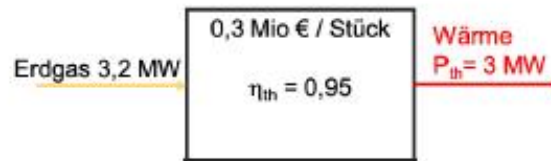
Blockheizkraftwerk (BHKW)



Entscheidung
max. 10 Stück: _____

Abbildungsnachweis: ChNPP
(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>

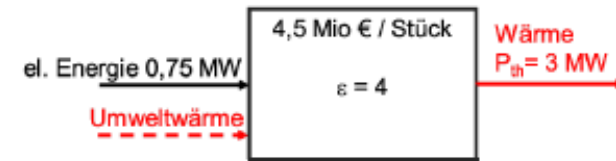
Heizkessel (HK)



Entscheidung
max. 10 Stück: _____

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

Wärmepumpe (WP)



Entscheidung
max. 10 Stück: _____

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

Die Teams und Ihre Entscheidungen

Nummer	Name
1	Moabit
2	Kreuzberg
3	Frohnau
4	Adlershof
5	Wedding
6	Tegel
7	Pankow
8	Treptow

Team: _____
Entscheidungen

WEA _____ Stück
BHKW _____ Stück
Kessel _____ Stück
WP _____ Stück

Solar (1 Feld = ha)

0 / PV / ST	0 / PV / ST	0 / PV / ST	0 / PV / ST
0 / PV / ST	0 / PV / ST	0 / PV / ST	0 / PV / ST

Solar (Freifläche 4ha):

ja ☐ nein ☐

Speicherkapazität:

Tagesbedarfe Strom

0	¼	½	1	2	7
---	---	---	---	---	---

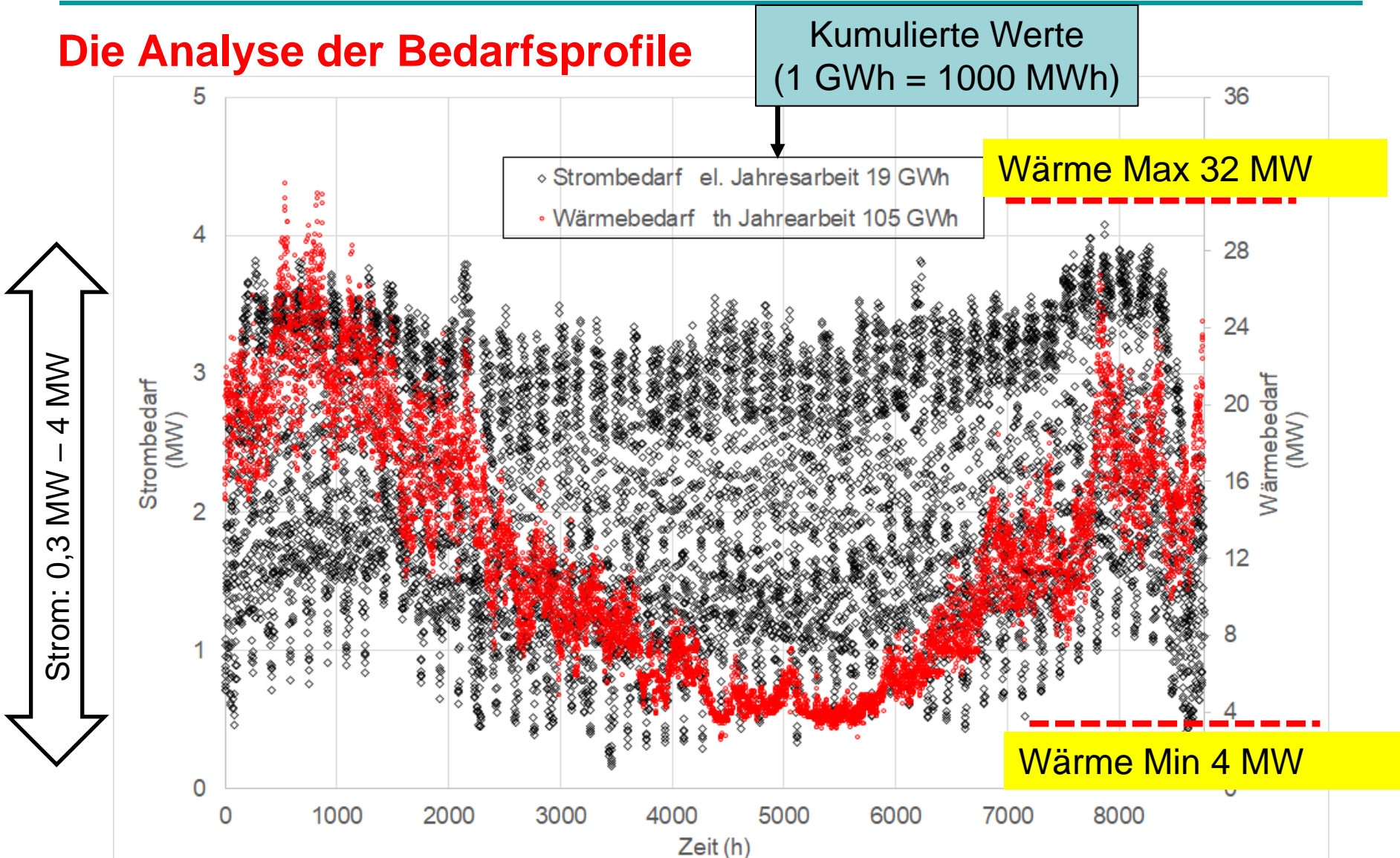
Tagesbedarfe Wärme

0	1/4	1/2	1	2	7	30	90
---	-----	-----	---	---	---	----	----

Ein mögliches Vorgehen

- Stimmt im Team Euer vorrangiges Ziel ab:
 - geringe Kosten
 - möglichst keine CO₂-Emissionen
 - kein Zukauf von Strom und Wärme
- Orientiert Euch an
 - den Maximal- und Minimalwerten des Bedarfs
 - den kumulierten Werten
- Entscheidet über die Optionen zur Stromversorgung.
- Entscheidet über die Optionen zur Wärmeversorgung.
- Schätzt die Speicherbedarfe ab.
- Dabei sein ist alles!
Selbst Experten schaffen in dieser Zeit keine perfekte Lösung!

Die Analyse der Bedarfsprofile

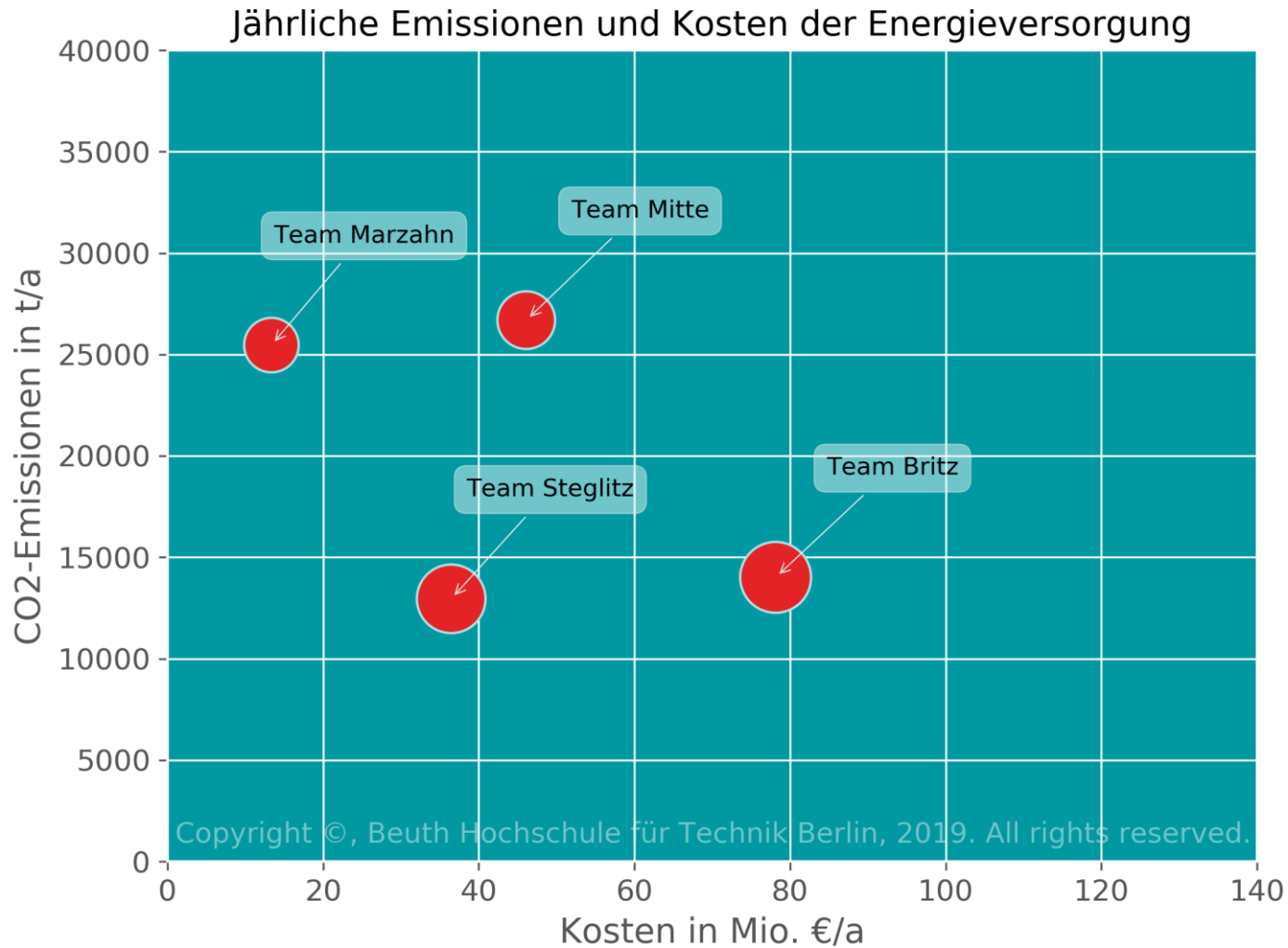


Daten: Eigene Berechnungen basierend auf Strommarktdaten Deutschland für 2015 von Bundesnetzagentur - www.smard.de (Strom); Stadtwerke Flensburg GmbH, District heating network data for the city of Flensburg from 2014-2016 (Wärme); Details und MET_Energie-Workshop.pdf

Die Berechnungsdetails

- Lebensdauer: 20 Jahre einheitlich für alle Komponenten
- kalkulatorischer Zinssatz: 5 %
- spez. CO₂-Emissionen Gas: 200 g/kWh
- spez. CO₂-Emissionen Strombezug: 500 g/kWh
- spez. CO₂-Emissionen Wärmebezug: 220 g/kWh

Die Ergebnisdarstellung



Das Projekt oemof_heat



Erweiterung von oemof für Wärmekomponenten

- Wärmepumpen
- Kollektoren
- Speicher
- Netze

Anwendungen für assoziierte Partner, u.a.

- Energieavantgarde Anhalt
- Innogy (RWE)
- Geoforschungszentrum

Open Science Ansatz

- Software
- Daten

Vernetzung

- weitere oemof - Nutzer
- Weitere Gruppen der
Energiesystemmodellierung

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

FZK 03ET4047B

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Christoph Pels Leusden
Beuth Hochschule Berlin
Fachbereich Maschinenbau, Veranstaltungstechnik, Verfahrenstechnik

christoph.pels-leusden@beuth-hochschule.de

Vielen Dank für Ihren Besuch beim Workshop „Wir bauen uns ein Energiesystem“



Gerhard Mester creator QS:P170,Q1512151 (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:20170313_xl_1911-Karikatur-Gerhard-Mester--Energiespeicher.jpg), <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>

Wir fördern kluge Köpfe für die Stadt der Zukunft!

Die Beuth Hochschule bietet:

- Urbane und ökologische Lösungen
- Innovative Studiengänge
- Praxisorientierung, auch international
- Dialog mit der Wirtschaft

www.beuth-hochschule.de



Copyright: Beuth Hochschule Berlin

Mir hat gefallen

Das sollte man anders machen

Ich habe gelernt

Mir ist unklar