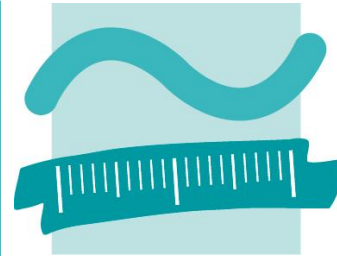


Lehrprojekt:

Energieversorgung eines Quartiers

Christoph Pels Leusden
Jakob Wolf
Janine Last



BEUTH HOCHSCHULE
FÜR TECHNIK
BERLIN

University of Applied Sciences

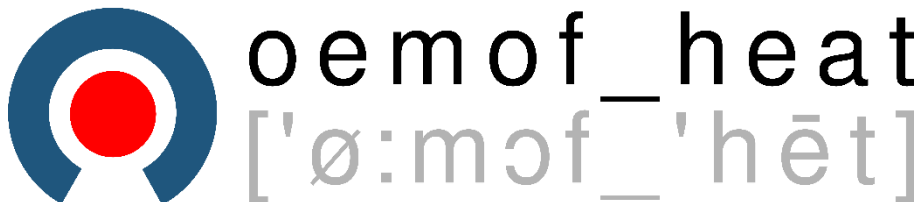


Gefördert durch:



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

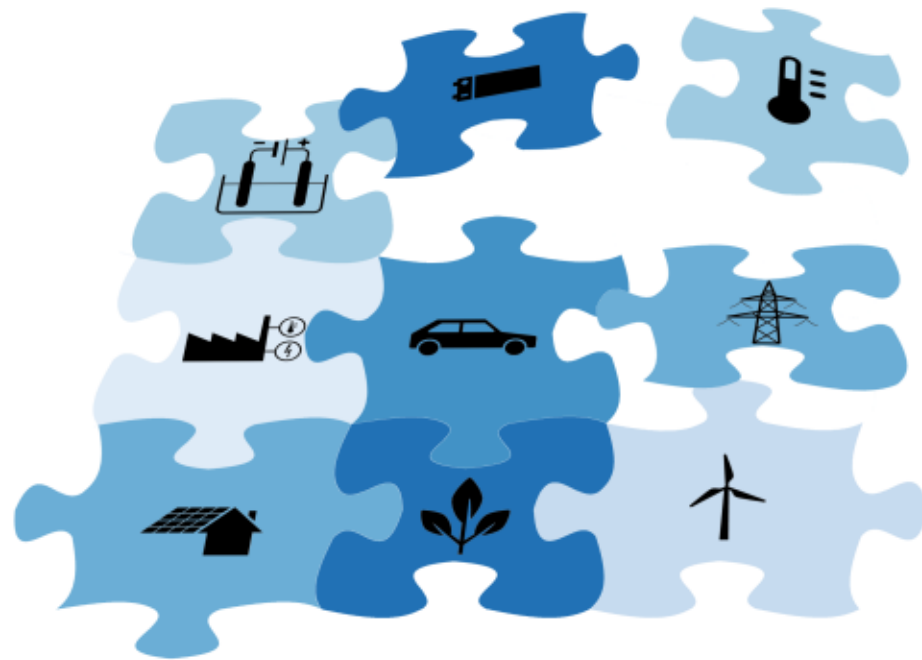
Sofern nicht gesondert vermerkt ist der Inhalt dieser Datei lizenziert als Beuth Hochschule für Technik Berlin, Energie-Workshop (Präsentation) unter CC BY SA: [Creative Commons Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 Internationale Lizenz](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Download

https://github.com/oemof-heat/educational_project

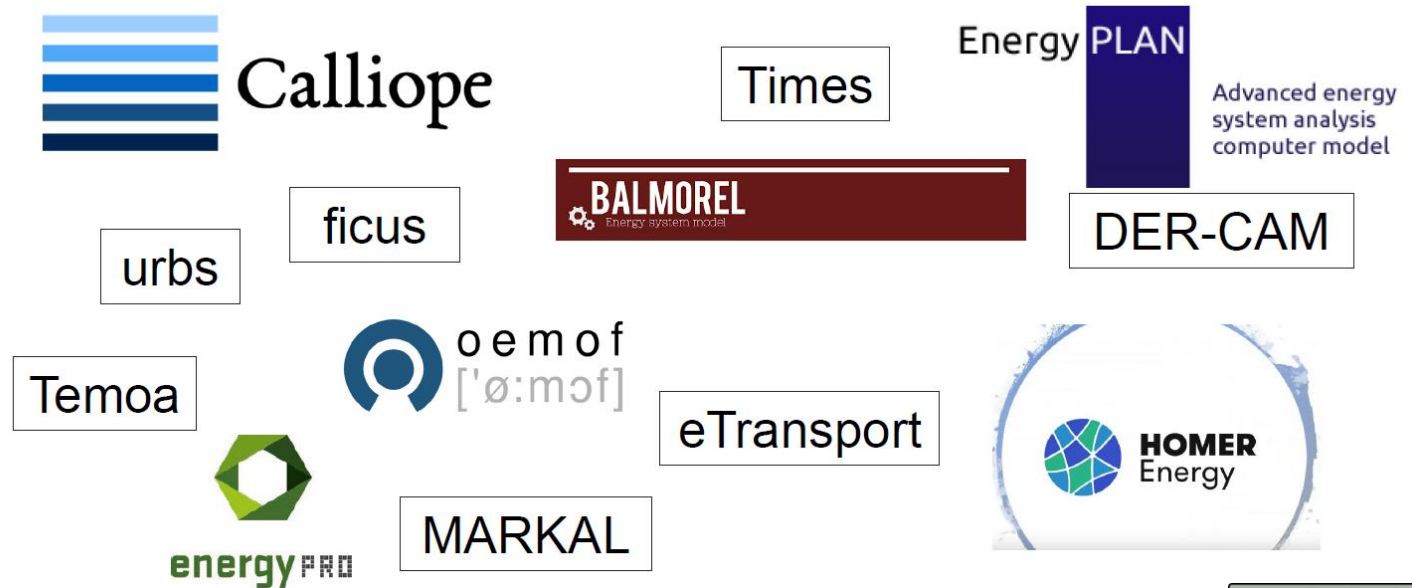


Warum Energiesystem-Modellierung?



- Zusammenspiel verschiedener Sektoren (Strom, Wärme, Brennstoffe)
- Unterschiedliche Verbraucher (Haushalt, Industrie, Mobilität, Gewerbe)
- Variables EE-Angebot
- Neues Technologien
- Transport- und Verteilnetze (sektorabhängig)
- Kosten, Klimaschutz, Versorgungssicherheit

Werkzeuge



Quelle: Klemm, Christian, FH Münster, lizenziert unter CC-BY-SA-NC



Auswahlkriterien

- Funktionsumfang, Modellierungsansatz
- Lizenz-Kosten
- Transparenz der Berechnung
- Benutzerfreundlichkeit
- Weitergabemöglichkeit

Das Berechnungswerkzeug

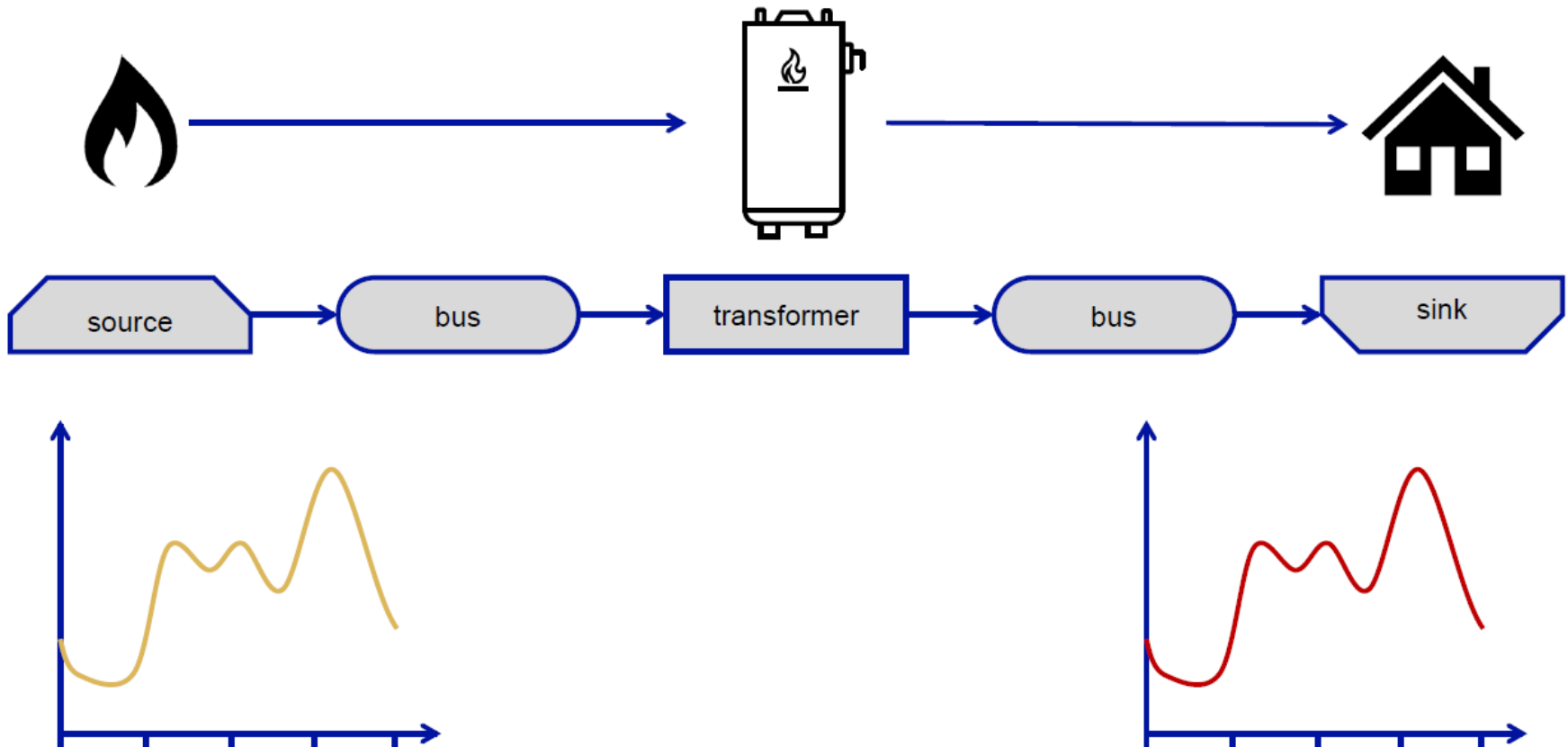
- oemof: open energy system modelling framework
- modularer aufgebaut
- flexibel anpassbar (örtliche und zeitliche Auflösung)
- viele technische Komponenten abbildbar
- lineare Optimierung
- verfügbar unter freier Lizenz
- volle Modellierungs-Transparenz möglich



Weitere Infos im Webinar:

https://oemof.files.wordpress.com/2018/01/2018_01_10_webinar_oemof.pdf

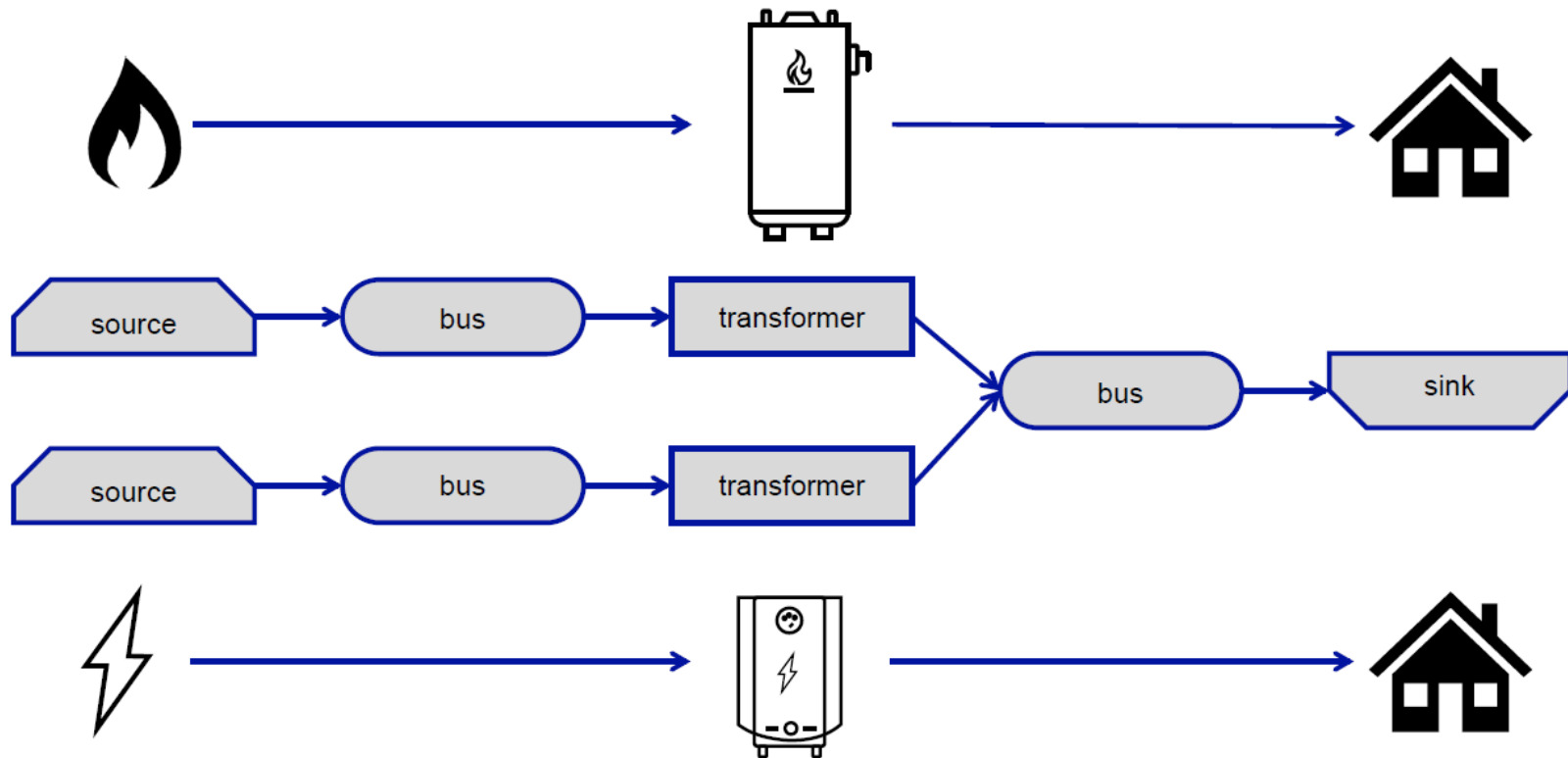
Oemof: Abbildung eines Energiesystems



Quelle: Klemm, Christian, FH Münster, lizenziert unter CC-BY-SA-NC



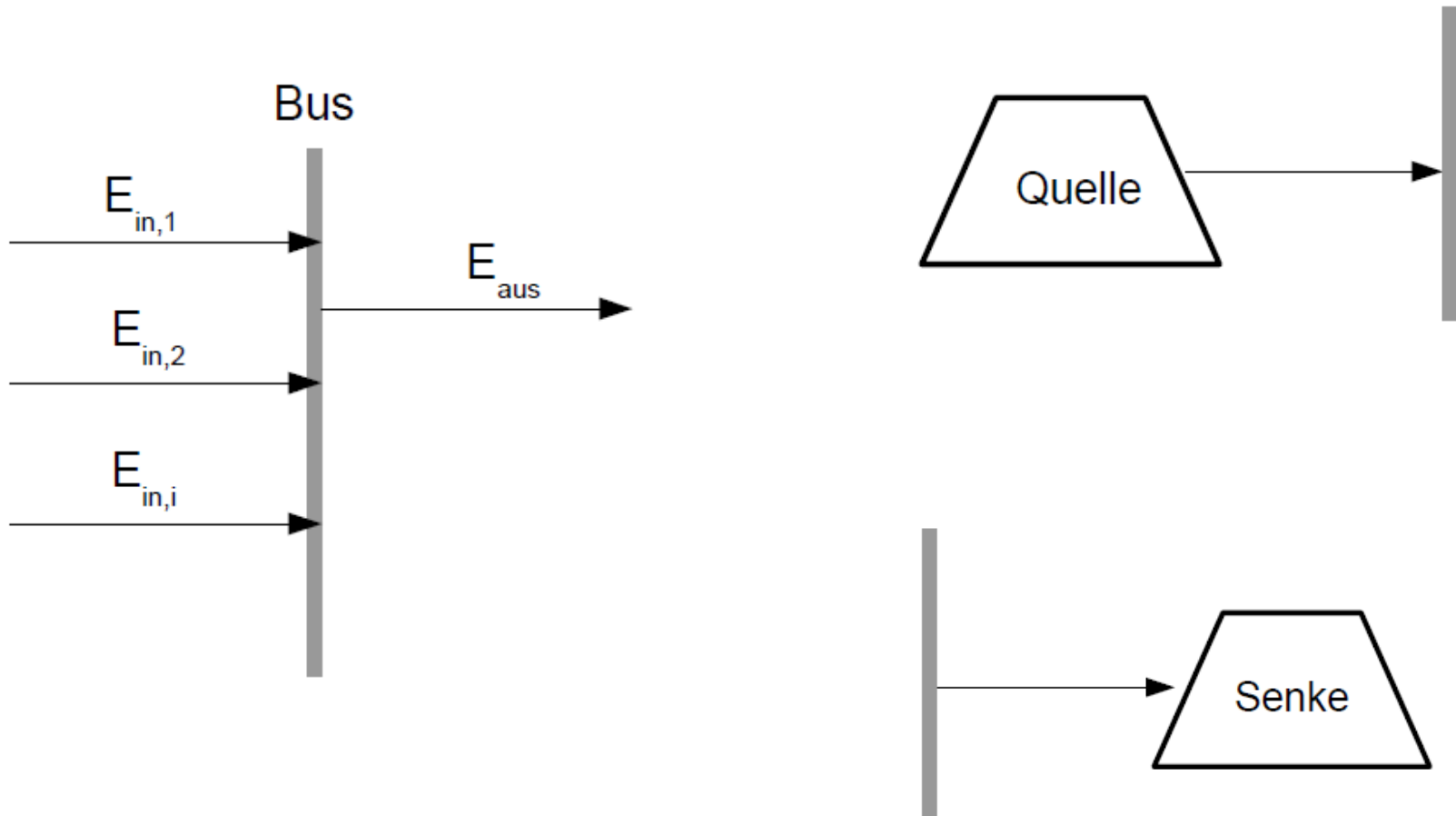
oemof: Optimierung eines Energiesystems



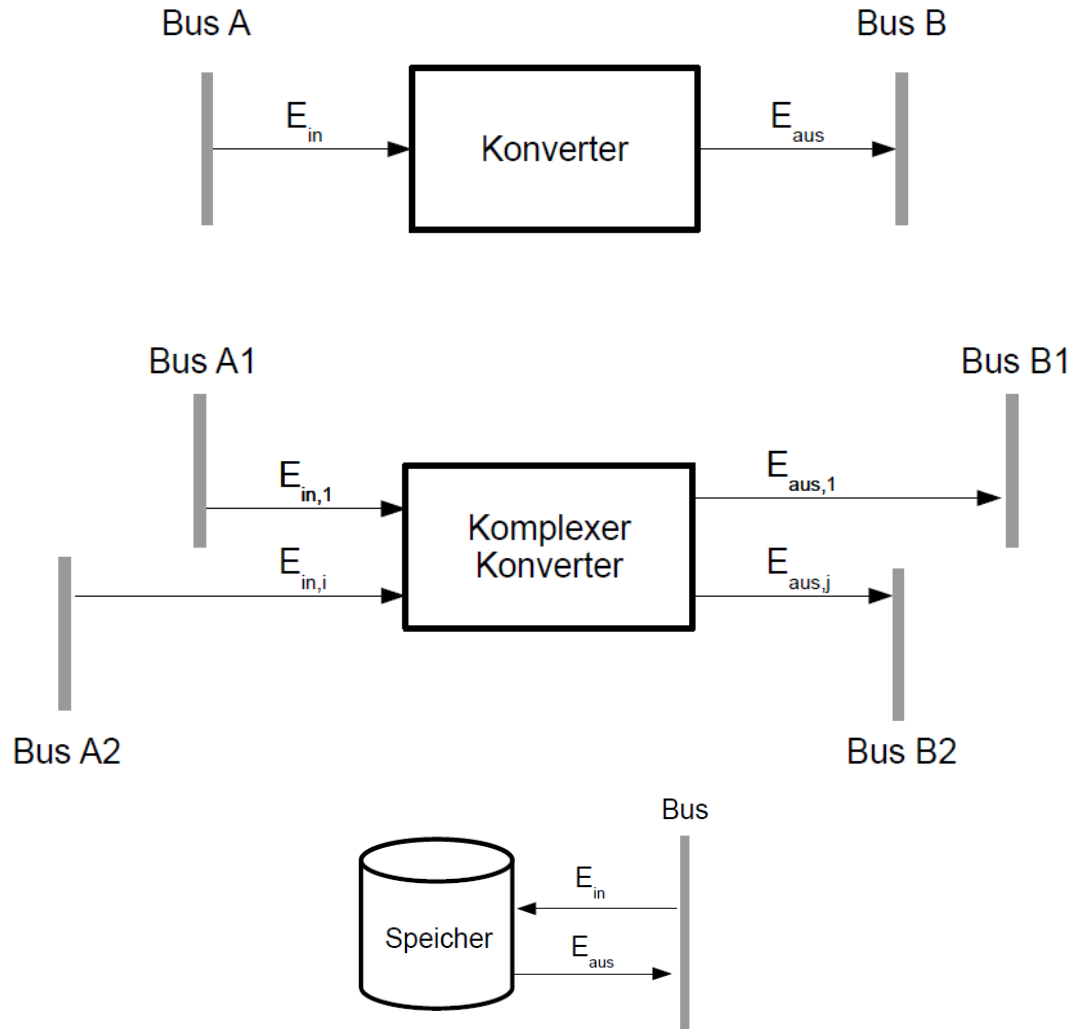
Quelle: Klemm, Christian, FH Münster, lizenziert unter CC-BY-SA-NC



oemof-Komponenten: Energiebus als Sammler und Verteiler



oemof-Komponenten: Energiewandler und -speicher



Übungsaufgabe 1

Ein Mehrfamilienhaus nutzt zur Wärme- und Stromversorgung eine PV-Anlage und eine Wärmepumpe. Im Keller steht außerdem ein 1000 Liter-Pufferspeicher. Es besteht ein Netzanschluss an das elektrische Versorgungsnetz.

1. Zeichnen Sie eine sinnvoll Struktur wie das Energiesystem aus oemof-Komponenten abgebildet werden könnte.
2. Überlegen Sie welche Kennzahlen erforderlich wären, um die Eigenschaften des Energiesystems zu beschreiben.

Zwei Typen der Energie-Systemmodellierung:

	Einsatzoptimierung	Investitionsoptimierung
Ausgangs-situation	<ul style="list-style-type: none">■ Versorgungsaufgabe bekannt■ Ressourcen bekannt■ Energiesystem gegeben	<ul style="list-style-type: none">■ Versorgungsaufgabe bekannt■ Ressourcen bekannt■ Mögliche Komponenten des Energiesystems gegeben
Ergebnis	<ul style="list-style-type: none">■ Wie wird Versorgung erbracht?■ Welche Ressourcen werden genutzt?■ Welche Komponenten sind wann in Betrieb?	<ul style="list-style-type: none">■ Aus welche Komponenten besteht das Energiesystem?■ Wie wird Versorgung erbracht?■ Welche Ressourcen werden genutzt?■ Welche Komponenten sind wann in Betrieb?

Beispiel Einsatzoptimierung

Strom und Wärmeversorgung einer deutschen Kleinstadt mit 10.000 Einwohnern



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)

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

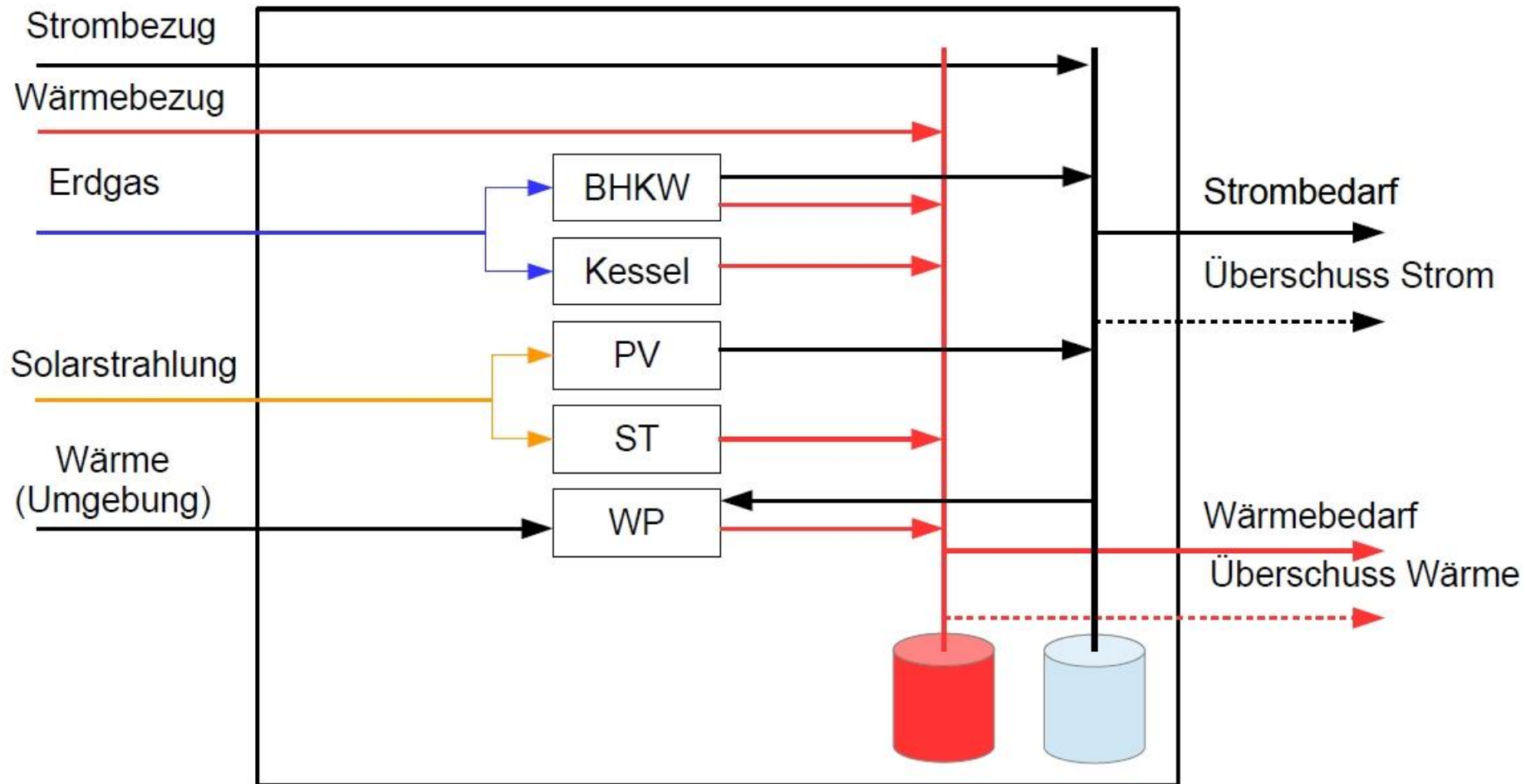
Übungsaufgabe 2

Es soll die Wärme- und Stromversorgung eines Quartiers geplant werden (Investitionsoptimierung). Dazu soll ein kosten-optimales Energiesystem gefunden werden. Folgende technische Optionen stehen zur Verfügung:

- Gaskessel
- Blockheizkraftwerk
- PV-Anlage
- Solarthermie-Anlage
- Wärmepumpe
- Wärmespeicher
- Stromspeicher

1. Zeichnen Sie eine sinnvoll Struktur wie das Energiesystem aus oemof-Komponenten abgebildet werden könnte.
2. Überlegen Sie welche Kennzahlen erforderlich wären, um die Eigenschaften des Energiesystems zu beschreiben.

Energiesystem für das Quartier



Übungsaufgabe 3

Definieren Sie das Quartier:

1. Anzahl von Einfamilienhäusern (EFH) und Mehrfamilienhäusern (MFH) inkl. typische Wohnfläche und Personenzahl, z.B.
 $A_{\text{EFH}} = 150 \text{ m}^2$; $PZ_{\text{EFH}} = 4$
 $A_{\text{MFH}} = 6 \times 80 \text{ m}^2$ $PZ_{\text{MFH}} = 6 \times 3$
2. Festlegung spezifischer Bedarf an elektrischer Energie, z.B.
EFH: 4000 kWh/a
MFH: 6 x 2500 kWh/a
3. Festlegung spezifischer Raumwärmebedarf (stark abhängig von Sanierungsgrad des Quartiers) sowie Wärmebedarf für Brauchwasser, z.B.
EFH: $q_{\text{EFH}} = 50 - 150 \text{ kWh} / (\text{m}^2 \times \text{a})$
MFH: $q_{\text{MFH}} = 40 - 120 \text{ kWh} / (\text{m}^2 \times \text{a})$
Brauchwasser: 750 – 900 kWh / (Person x a)
4. Bestimmen Sie den Jahresbedarf an elektrischer und thermischer Energie.

Wie ist die zeitliche Variation des Bedarfs?

Parameter Einheit Erläuterung

$P^*(t)$	%	normierte elektrische Bedarfsleistung (gegebene Zeitreihe)
$Q^*(t)$	%	normierte thermische Bedarfsleistung (gegebene Zeitreihe)
W_{el}	kWh	elektrische Jahresarbeit (festzulegende Kennzahl)
W_{th}	kWh	thermische Jahresarbeit (festzulegende Kennzahl)
Δt	h	Länge des Zeitschritts der Zeitreihe
n	1	Anzahl der Zeitschritte

Die absoluten Werte für die Bedarfsleistung kann dann berechnet werden:

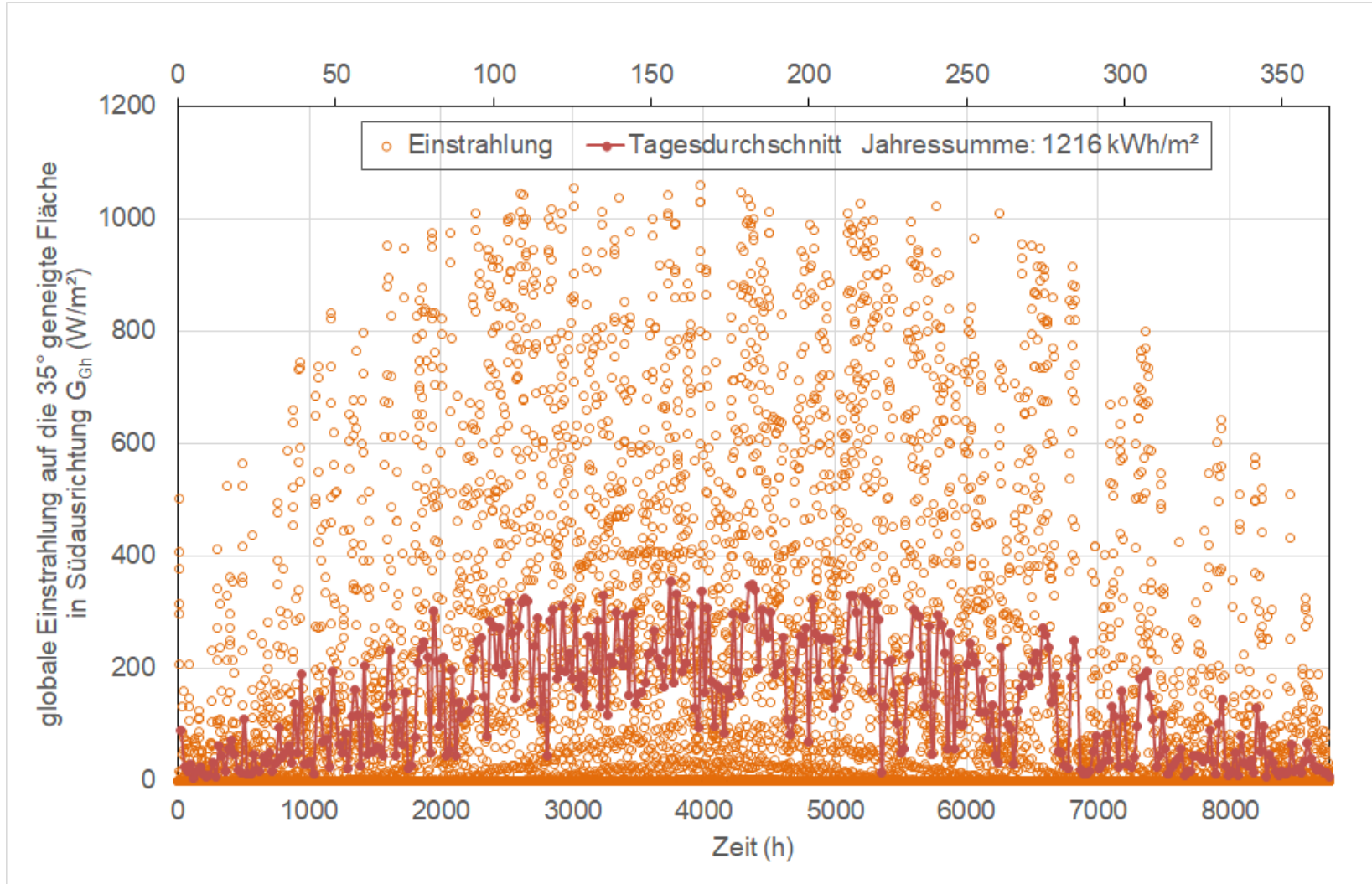
$$P(t) = P^*(t) \cdot \frac{W_{el}}{\sum_i^n P^*(t_i) \cdot \Delta t}$$

$$Q(t) = Q^*(t) \cdot \frac{W_{th}}{\sum_i^n Q^*(t_i) \cdot \Delta t}$$

Annahmen zur Vereinfachung der Rechnung

- Verlustfreier Energietransport
- Konstante Preise für Strom-, Wärme- und Gasbezug
- Kein Ertrag für Überschüsse
- Konstanter CO₂-Preis
- Keine Begrenzungen bei bezogenen Energiemengen (auch Umgebungswärme)

Randbedingungen: Solare Einstrahlung



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

Welche Daten werden für eine Investitionsoptimierung benötigt?

Bedarfe:

- Jahresbedarf Strom und Wärme
- Zeitreihen-Faktoren

Energiesystem:

- Konverter: Wirkungsgrade, spezifische Kosten, spezifische CO₂-Emissionen
- Speicher: Einspeicher- bzw. Ausspeicherverluste, Selbstentladerate
- Lebensdauern, Größenbegrenzungen (Min / Max)

Annahmen und Umgebungsbedingungen:

- Kosten Strom- bzw. Wärmebezug, Gas, CO₂
- Zinsen
- Solare Einstrahlung

oemof-Eingabe Teil 1 (Beispieldatensatz)

id	var_name	value	unit	comment
1	W_el	400000	kWh	el. Jahresarbeit
2	W_th	1800000	kWh	th. Jahresarbeit
3	vc_gas	0.03	Euro/kWh	spez. Kosten für Erdgas
4	vc_CO2	0.15	Euro/kWh	spez. Kosten für CO2-Emissionen
5	vc_el	0.4	Euro/kWh	spez. Kosten für Strom aus dem Netz
6	vc_th	0.3	Euro/kWh	spez. Kosten für Fernwärme
7	capex_PV	800	Euro/kW	spez. Investitionskosten der Solaranlage
8	capex_Sol	1000	Euro/kW	spez. Investitionskosten der Solarthermieranlage
9	capex_Gaskessel	100	Euro/kW	spez. Investitionskosten des Gaskessels
10	capex_BHKW	400	Euro/kW	spez. Investitionskosten des BHKW
11	capex_Waermepumpe	900	Euro/kW	spez. Investitionskosten der Waermepumpe
12	capex_Stromspeicher	800	Euro/kWh	spez. Investitionskosten des Stromspeichers
13	capex_Waermespeicher	20	Euro/kWh	spez. Investitionskosten des Waermespeichers
14	cf_PV	0.15		Wirkungsgrad der Solaranlage
15	cf_Sol	0.7		Wirkungsgrad der Solarthermieranlage
16	cf_Gaskessel	0.9		thermischer Wirkungsgrad des Gaskessels
17	cf_BHKW_el	0.4		el. Wirkungsgrad des BHKW
18	COP_Waermepumpe	3.5		Wirkungsgrad der Waermepumpe
19	cf_Stromspeicher_ein	0.95		Einspeicherwirkungsgrad des Stromspeichers
20	cf_Stromspeicher_aus		1	Ausspeicherwirkungsgrad des Stromspeichers
21	cf_Waermespeicher_ein	0.95		Einspeicherwirkungsgrad des Waermespeichers
22	cf_Waermespeicher_aus		1	Einspeicherwirkungsgrad des Waermespeichers

Hinweis: Diese Werte bilden kein konkretes Energiesystem ab und stellen keine allgemein gültigen oder empfohlenen Werte da. In einzelnen Fällen wurden bewusst besonders hohe oder niedrige Werte angesetzt, um technologische Optionen in der Optimierung zu berücksichtigen.

oemof-Eingabe Teil 2 (Beispieldatensatz)

23 A_min_PV	0 m2	Mindestflaeche der Solaranlage
24 A_min_Sol	250 m2	Mindestflaeche der Solarthermieranlage
25 min_Gaskessel	0 kW	Mindestgroesse des Gaskessels
26 max_Gaskessel	inf kW	Maximalgroesse des Gaskessels
27 min_BHKW	0 kW	Mindestgroese des BHKW
28 max_BHKW	inf kW	Maximalgroesse des BHKW
29 min_Waermepumpe	0 kW	Mindestgroesse der Waermepumpe
30 max_Waermepumpe	inf kW	Maximalgroesse der Waermepumpe
31 min_Stromspeicher	0 kWh	Mindestgroesse des Stromspeichers
32 max_Stromspeicher	inf kWh	Maximalgroesse des Stromspeichers
33 min_Waermespeicher	0 kWh	Minimalgroesse des Waermespeichers
34 max_Waermespeicher	inf kWh	Maximalgroesse des Waermespeichers
35 n_PV	20 Jahre	Lebenszeit der Solaranlage
36 n_Sol	20 Jahre	Lebenszeit der Solarthermieranlage
37 n_Gaskessel	20 Jahre	Lebenszeit des Gaskessels
38 n_BHKW	20 Jahre	Lebenszeit des BHKW's
39 n_Waermepumpe	20 Jahre	Lebenszeit der Waermepumpe
40 n_Stromspeicher	20 Jahre	Lebenszeit des Stromspeichers
41 n_Waermespeicher	20 Jahre	Lebenszeit des Waermespeichers
42 wacc	0.04	gewichtete durchschnittliche Kapitalkosten
43 A_Kollektor_gesamt	2000 m2	Gesamte maximale Kollektorflaeche für PV und Solarthermie
44 lr_Stromspeicher	0	Verlustrate Stromspeicher
45 isl_Stromspeicher	0.5	Anfangsladestand Stromspeicher
46 lr_Waermespeicher	0.03	Verlustrate Waermespeicher
47 isl_Waermespeicher	0.5	Anfangsladestand Waermespeicher
48 emission_gas	202 g/kWh	spez. Emissionen Erdgas
49 emission_el	537 g/kWh	spez. Emissionen Strom aus dem Netz
50 emission_th	280 g/kWh	spez. Emissionen Fernwaerme

Hinweis: Diese Werte bilden kein konkretes Energiesystem ab und stellen keine allgemein gültigen oder empfohlenen Werte da. In einzelnen Fällen wurden bewusst besonders hohe oder niedrige Werte angesetzt, um technologische Optionen in der Optimierung zu berücksichtigen.

Übungsaufgabe 4

1. Passen Sie den Eingabe-Datensatz so an, dass das von Ihnen definierte Quartier berechnet werden kann.
2. Treffen Sie falls erforderlich weitere Annahmen, um alle erforderlichen Eingabeparametern zu definieren.
3. Führen Sie eine Optimierungsrechnung mit oemof durch.

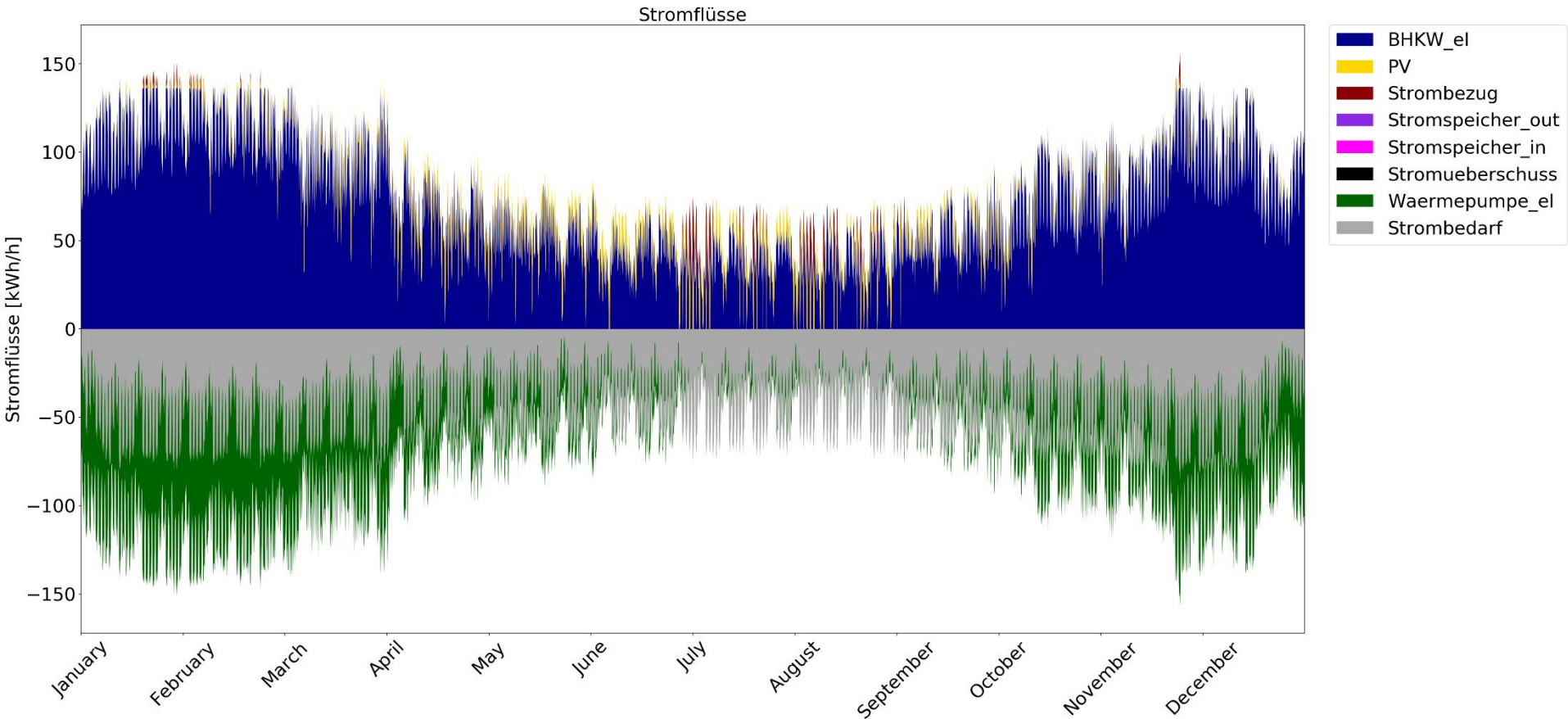
Installation und Rechnung

Siehe „MET_Installation-Guide-1.0“

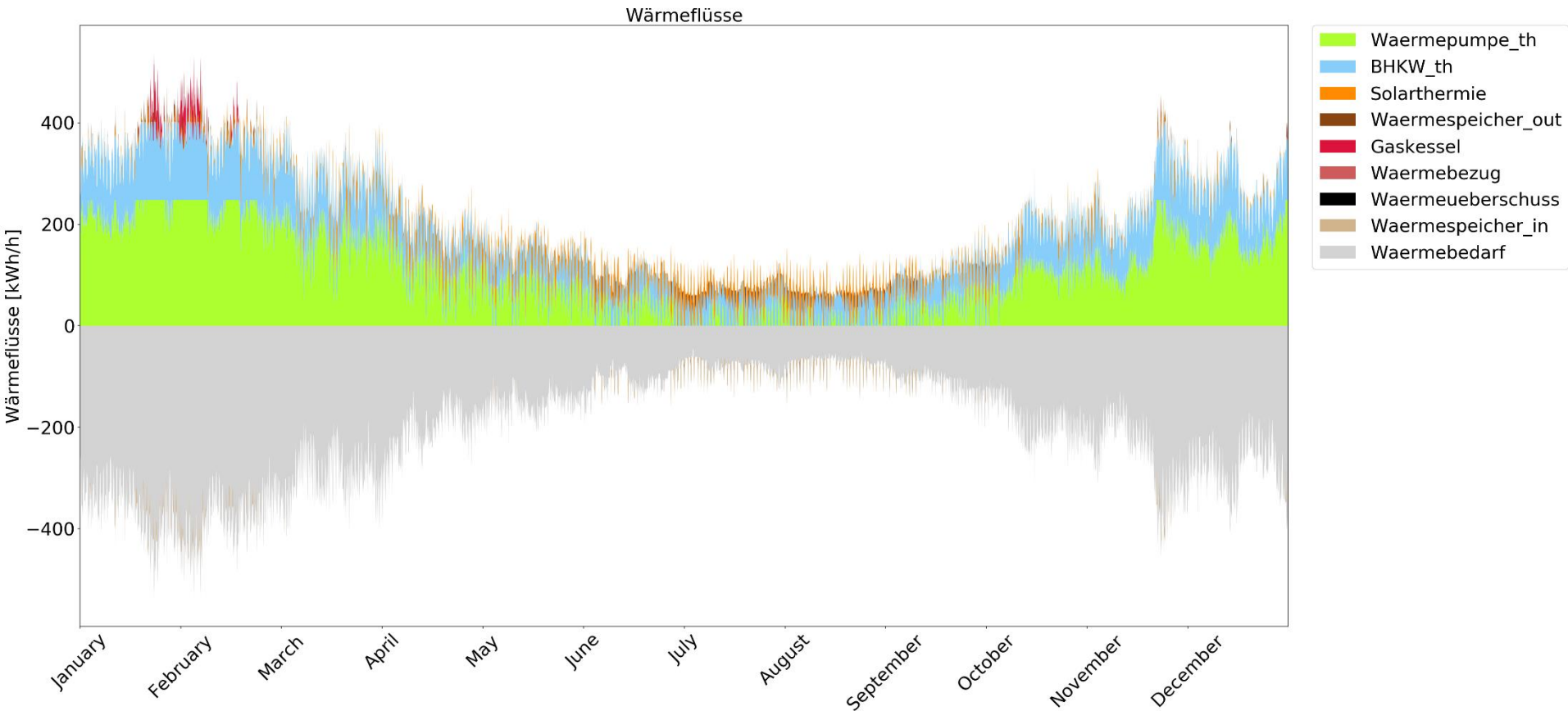
Die Ergebnisse: Energiesystem

Gesamtkosten in Tsd. Euro/a	332.9	Einsatz der Speicher	
CO2-Emissionen_t/a	318.1	Stromspeicher Vollzyklen	Kein Stromspeicher installiert.
Deckungsgrad	0.9915985162849611	Gesamtstrom aus Speicher/Gesamtstrombedarf	Kein Stromspeicher installiert.
Investitionsgroesse_PV_kW	262.5	Waermespeicher Vollzyklen	118.93930546314618
dazu benoetigte Flaeche_m2	1750.0	Gesatmwaerme aus Speicher/Gesamtwaermebedarf	0.046750698538595994
Investitionsgroesse_Solarthermie_kW	175.0	CO2-Emissionen	
dazu benoetigte Flaeche_m2	250.0	Durch Gaskessel_t/a	2.8
Investitionsgroesse_Gaskessel_kW	55.5	Durch BHKW_t/a	311.5
Investitionsgroesse_BHKW_kW	153.5	Durch zugekauften Strom_t/a	3.5
Investitionsgroesse_Waermepumpe_kW	247.9	Durch zugekaufte Waerme_t/a	0.2
Investitionsgroesse_Stromspeicher_kWh	0.0	Kosten	
Investitionsgroesse_Waermespeicher_kWh	206.3	Anteilige Investitionskosten in Tsd. Euro/a	50.0
Strom		davon fuer PV	15.5
Gesamtbedarf_Strom_MWh	400.0	davon fuer Solarthermie	12.9
Stromueberschuss_MWh	0.0	davon fuer Gaskessel	0.4
Gesamtstromerzeugung inkl. WP_MWh	671.4	davon fuer's BHKW	4.5
davon aus PV	47.9	davon fuer Waermepumpe	16.4
davon aus BHKW	616.9	davon fuer Stromspeicher	0.0
davon zugekauft	6.6	davon fuer Waermespeicher	0.3
Waerme		Betriebskosten in Tsd. Euro/a	282.9
Gesamtbedarf_Waerme_MWh	1800.0	davon fuer Gaseinkauf	46.7
Waermeueberschuss_MWh	0.1	davon fuer CO2_Emissionen	233.4
Gesamtwaermeerzeugung_MWh	1806.0	davon fuer Stromzukauf	2.6
davon aus Solarthermie	149.0	davon fuer Waermezukauf	0.2
davon aus Gaskessel	12.5	Deckungsgrad	
davon aus BHKW	694.0	Autarkie_el	0.9835120330851665
davon aus Waermepumpe	949.9	Autarkie_th	0.9996849994847556
davon zugekauft	0.6		

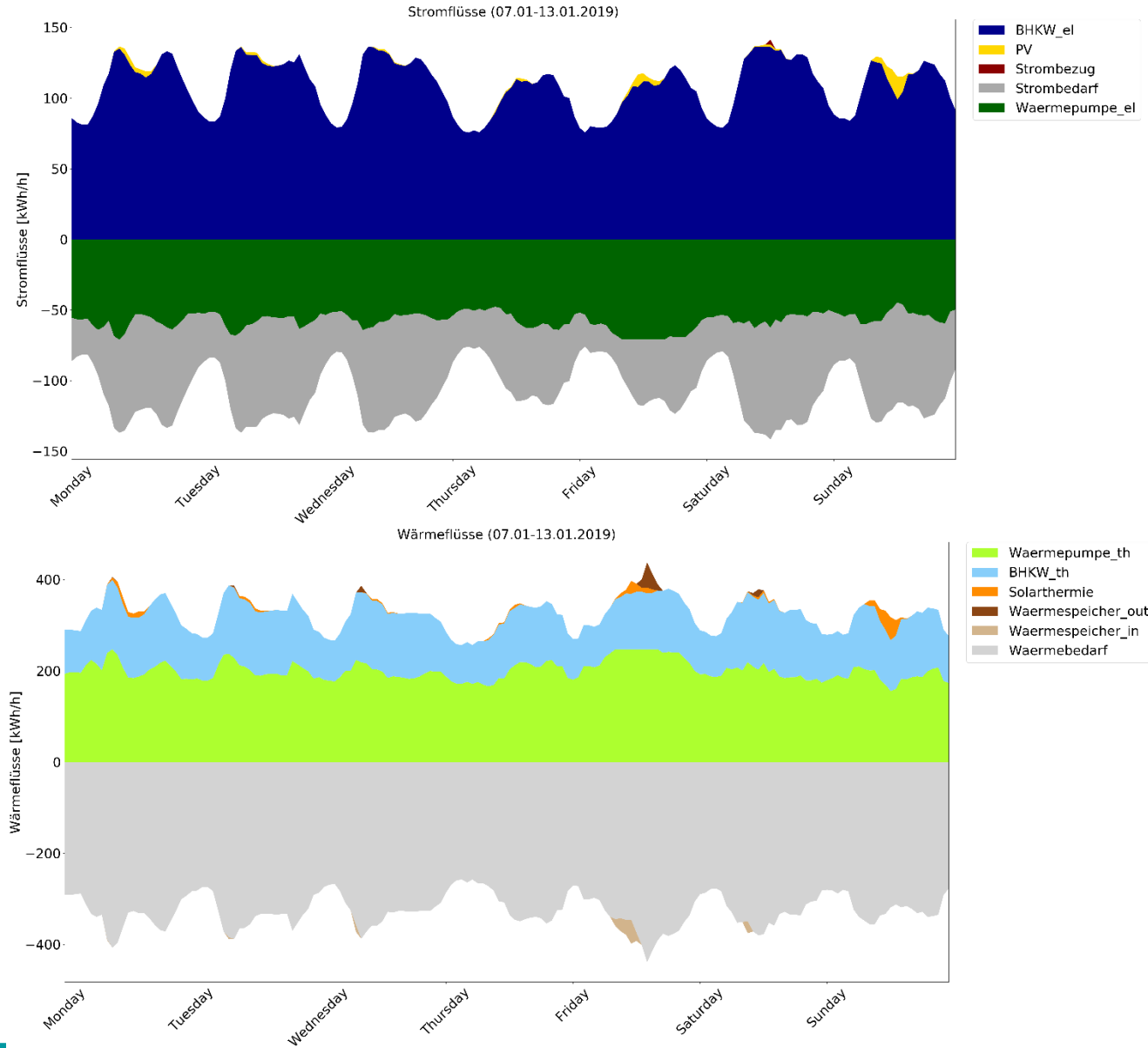
Die Ergebnisse: Zeitreihe Strom



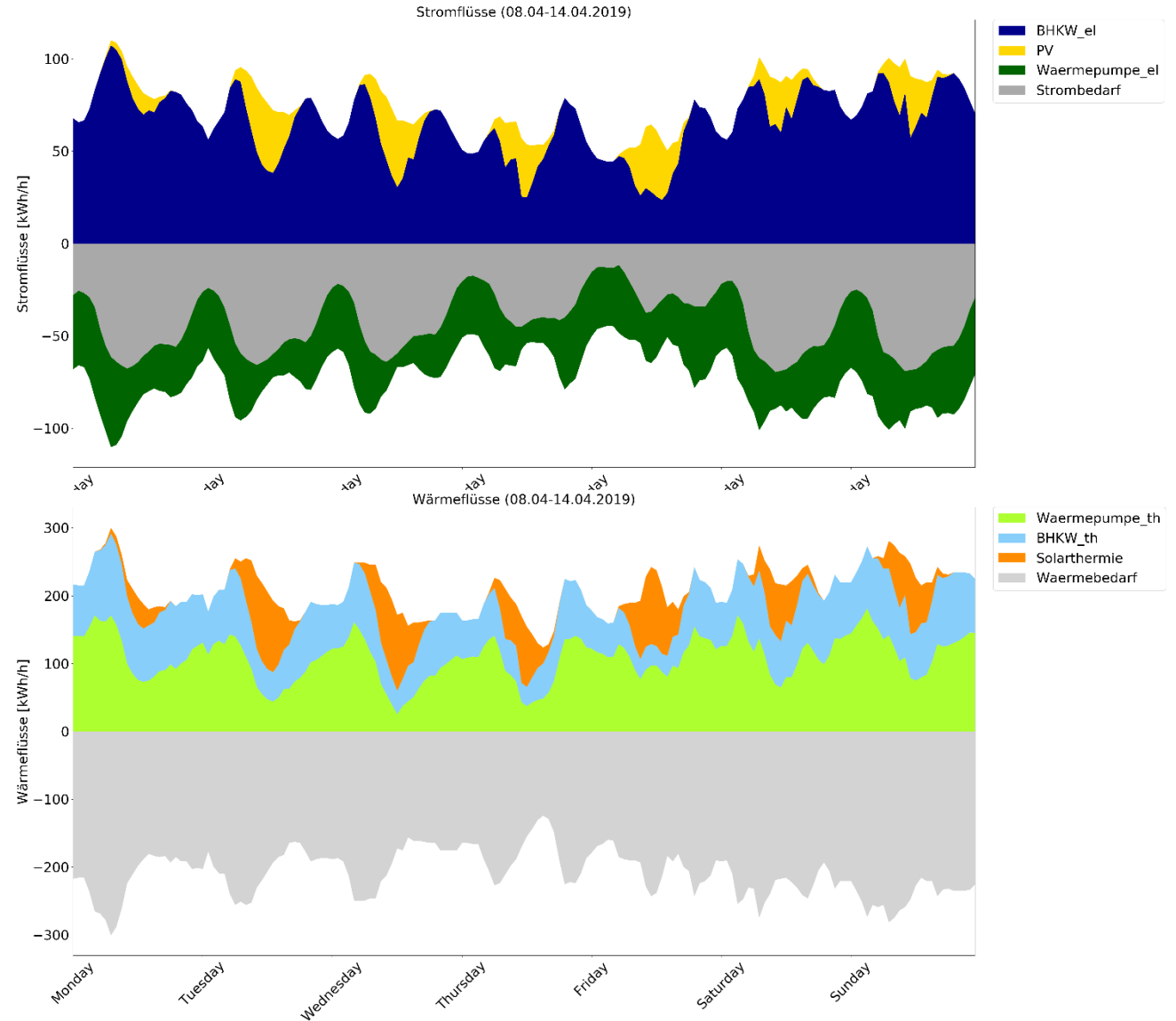
Die Ergebnisse: Zeitreihe Wärme



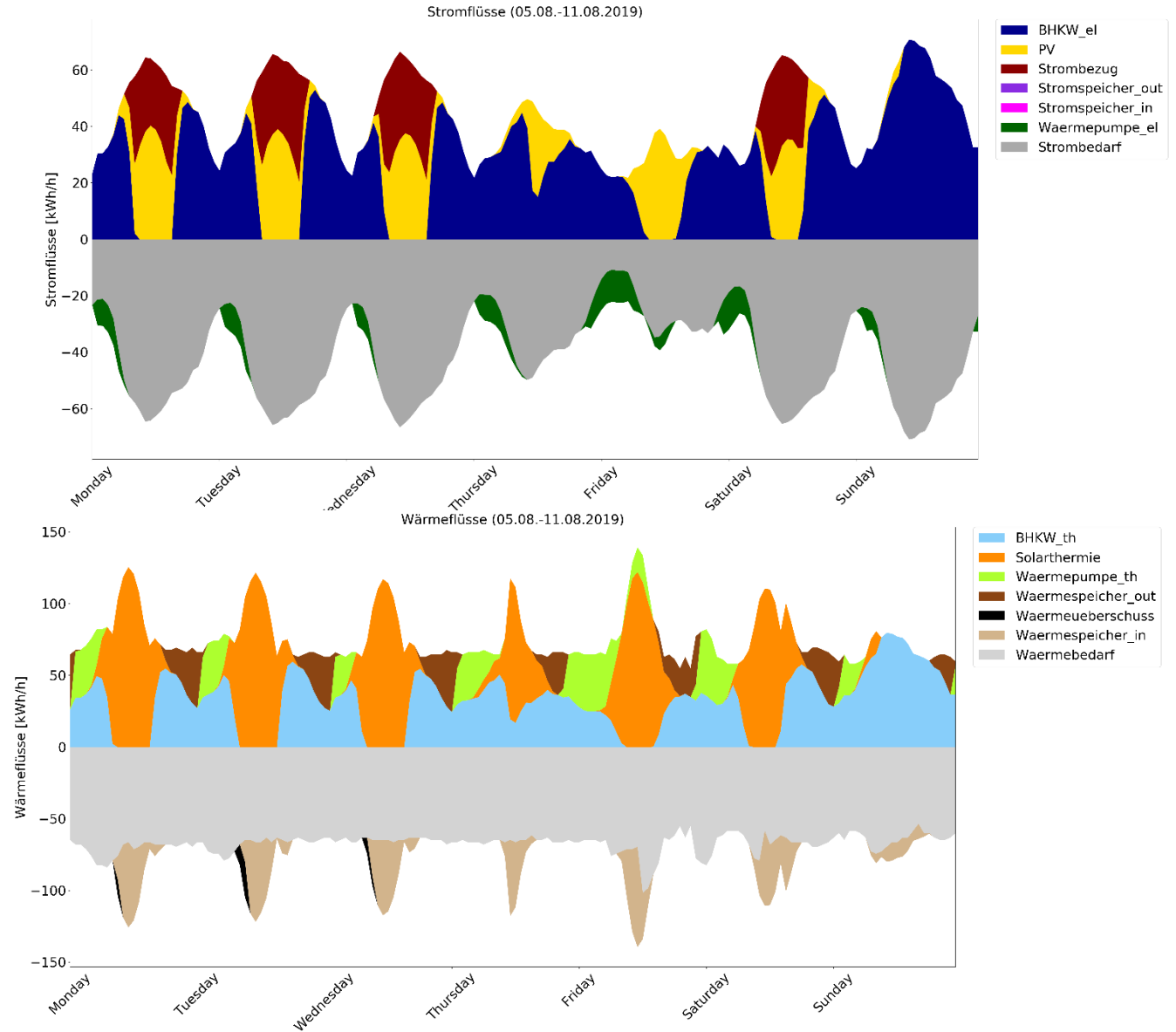
Beispielwoche Winter



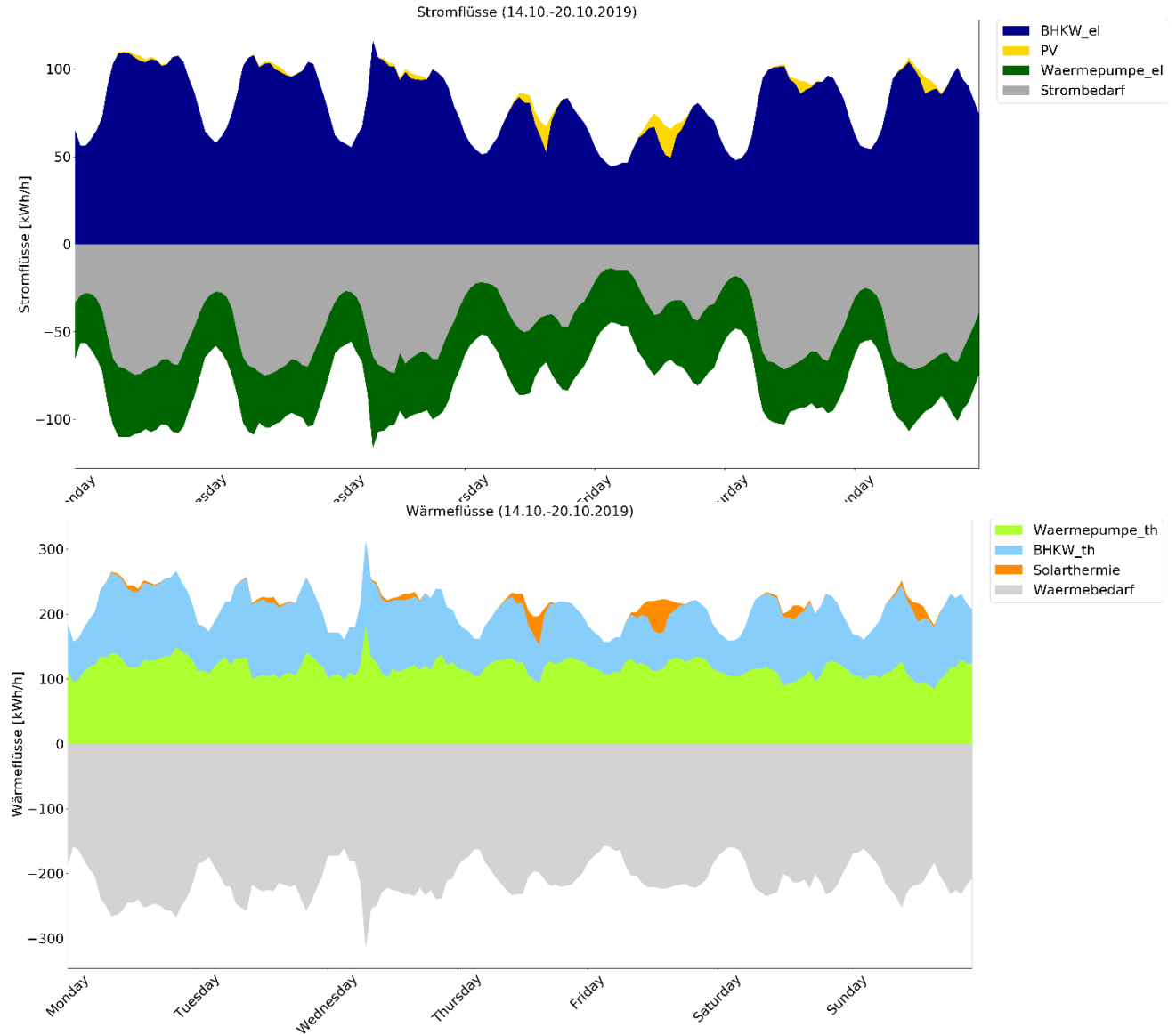
Beispielwoche Frühling



Beispielwoche Sommer



Beispielwoche Herbst



Lernkontrollfragen:

1. Welches sind typische Auswahlkriterien für Software zur Modellierung von Energiesystemen?
2. Aus welchen Elementen lässt sich ein Modell eines Energiesystems konfigurieren?
3. Welche zwei Modellierungstypen gibt es?
4. Was sind typische Daten, die Sie festlegen müssen, um eine Modellrechnung durchzuführen?
5. Welche Vereinfachungen wurden genutzt?
6. Welche Ergebnisse lieferten die Rechnungen?

Mir hat gefallen

Das sollte man anders machen

Ich habe gelernt

Mir ist unklar

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