

oemof - Lehrprojekt

oemof Grundlagen

Beispiel Energieversorgung eines Quartiers

Christoph Pels Leusden

Jakob Wolf

Janine Last

Revision 2.0

Disclaimer:

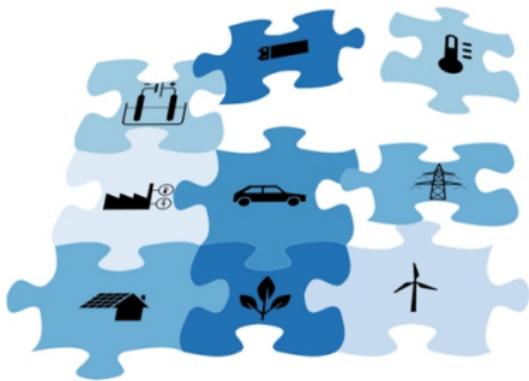
Alle in diesem Lehrprojekt verwendeten Bezüge oder Namen sind erfunden oder wurden zufällig ausgewählt. Eventuelle Gemeinsamkeiten mit realen Orten oder Personen sind zufällig und sind von den Autoren nicht beabsichtigt. Dieses Projekt soll ein fiktives Szenario betrachten.

Lizenz:

Sofern nicht gesondert vermerkt ist der Inhalt dieser Datei lizenziert als Berliner Hochschule für Technik, Lehrprojekt (Präsentation) unter CC BY SA: Creative Commons Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 Internationale Lizenz

Download:

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



Quelle: Energy System Puzzle, Uwe Krien / Reiner Lemoine Institut, Lizenz CC BY 4.0

- Komplexe Interaktion verschiedener Energiesektoren (z.B. Strom, Wärme, Mobilität)
- Zeitlich variable Energieflüsse (Bedarfe, Energieangebote)
- Zusammenwirken unterschiedlicher Verbraucher und Erzeuger
- Transport- und Verteilnetze
- Mehrere kritische Erfolgsfaktoren (z.B. Kosten, Klimaverträglichkeit, Versorgungssicherheit)

1.0 Einleitung

Software-Werkzeuge für die Energiesystem-Modellierung



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

Auswahlkriterien:

- Funktionsumfang, Modellierungsansatz
- Benutzerfreundlichkeit
- Transparenz der Berechnung
- Lizenz-Kosten
- Nutzung über Organisationsgrenzen hinweg

- modularer aufgebaut
- flexibel anpassbar (örtliche und zeitliche Auflösung)
- viele technische Komponenten abbildbar
- lineare Optimierung
- verfügbar unter freier Lizenz
- volle Modellierungs-Transparenz möglich

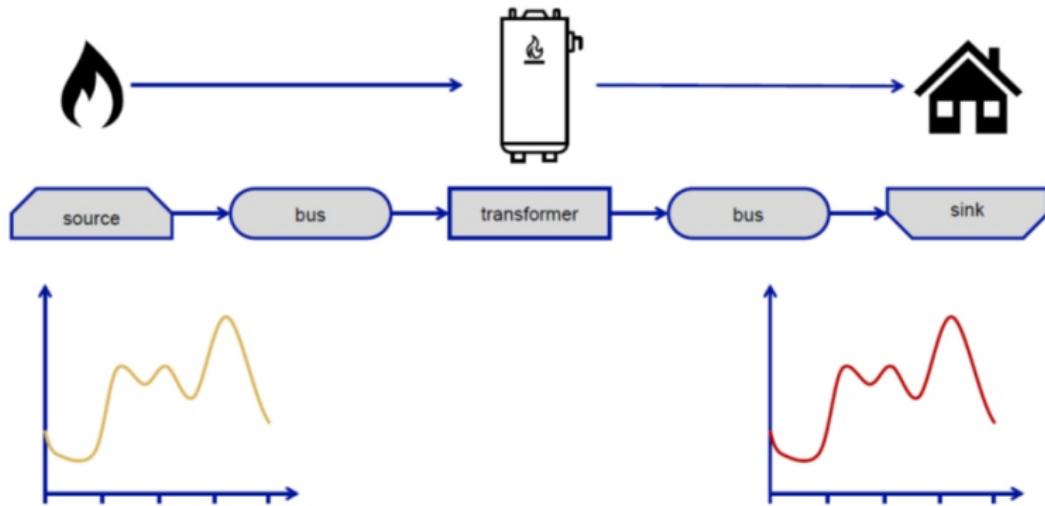


Weitere Informationen: <https://oemof.org/>

- ① Wie definiert man ein Energiesystem und eine Versorgungsaufgabe in oemof?
- ② Wie transferiert man eine Fragestellung in eine oemof-Rechnung?
- ③ Wie definiert man eine Zielfunktion? Was ist der Unterschied zwischen Invest- und Einsatzoptimierung?
- ④ Wie gibt man Randbedingungen vor?
- ⑤ Wie extrahiert man Ergebnisse aus oemof?
- ⑥ Wie analysiert man ein Ergebnis?

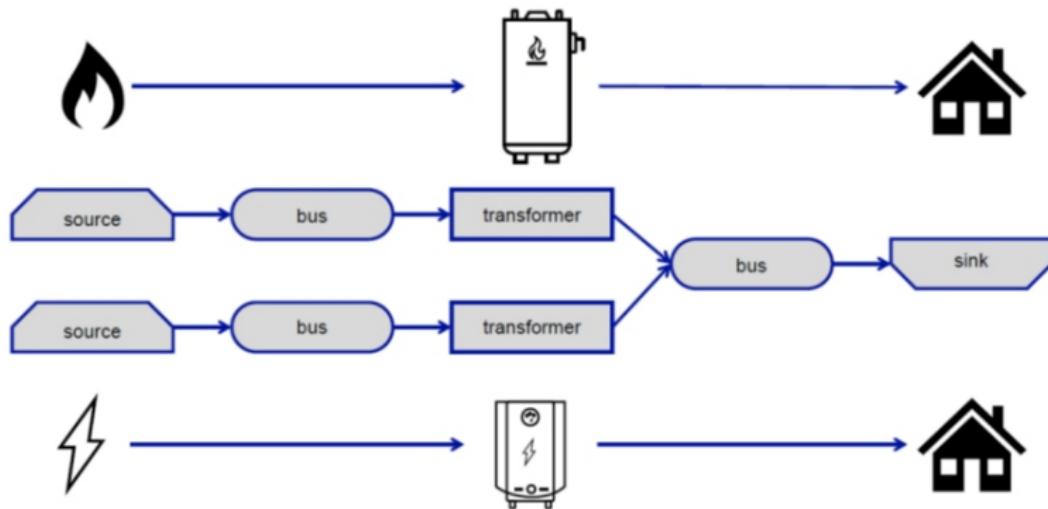
2.1 Strukturierung

Abbildung einer Energiesystems



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

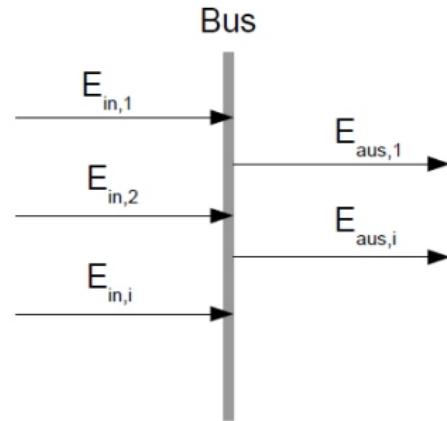
2.1 Strukturierung Optimierung einer Energiesystems



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

2.2 Komponenten Energiebus (bus)

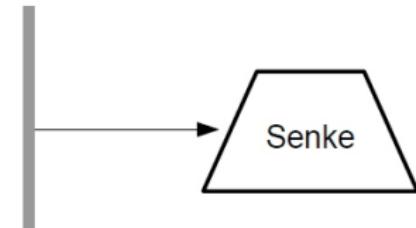
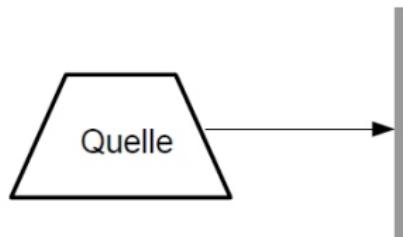
- dient als Sammler und Verteiler von Energieflossen (flows)
- spezifisch für eine Energieart
- verlustfrei
- mind. ein Ein- und Ausgang



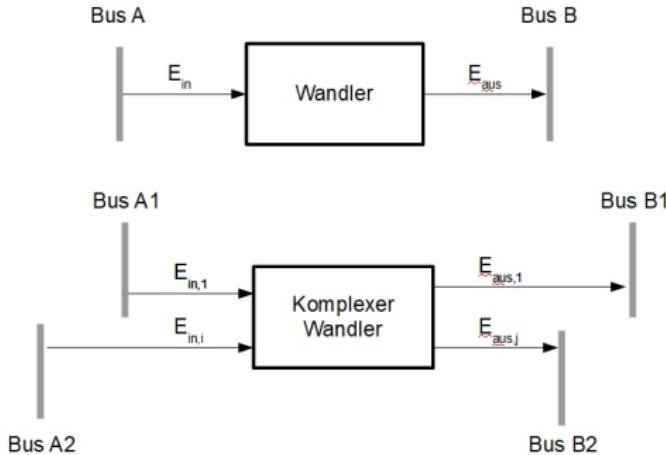
2.2 Komponenten

Quelle (source) und Senke (sink)

- dienen als Start (source) bzw. Endpunkt (sink) von Energieflüssen
- spezifisch für eine Energieart
- verlustfrei
- genau ein Aus- bzw. Eingang



2.2 Komponenten Energie-Wandler (transformer)

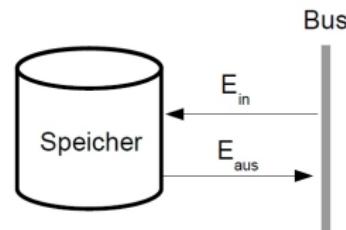


- bilden die Energiewandlungsprozesse ab, die durch technische Komponenten eines Systems umgesetzt werden
- können durch Parameter charakterisiert werden (z.B. Wirkungsgrad)
- mind. ein Ein- und Ausgang
- Beispiele: Motor, Windkraftanlage, PV-Modul, Elektrolyse

2.2 Komponenten

Energiespeicher (generic storage)

- bilden Abhängigkeiten von Energiefüssen (Leistung) und Energiemengen (Speicherkapazität) ab
- spezifisch für eine Energieart
- können durch Parameter charakterisiert werden (z.B. Wirkungsgrad, Speicherverluste)
- in der Regel ein Aus- bzw. Eingang vom identischen Bus



Aufgabe 1.1: Abbildung Energiesystem

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

2.3 Berechnungsmodi

Unterschied Einsatz- und Investoptimierung

	Einsatzoptimierung	Investitionsoptimierung
Ausgangssituation	<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?

2.3 Berechnungsmodi

Beispiel Einsatzoptimierung

Energieversorgung einer Kleinstadt



Fritz Geller-Grimm, Luftaufnahme von Nassau, Rheinland-Pfalz, CC-BY 3.0

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

Aufgabe 1.2: Abbildung Energiesystem

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.

Invest-Optimierung einer Strom- und Wärmeversorgung für ein Quartier

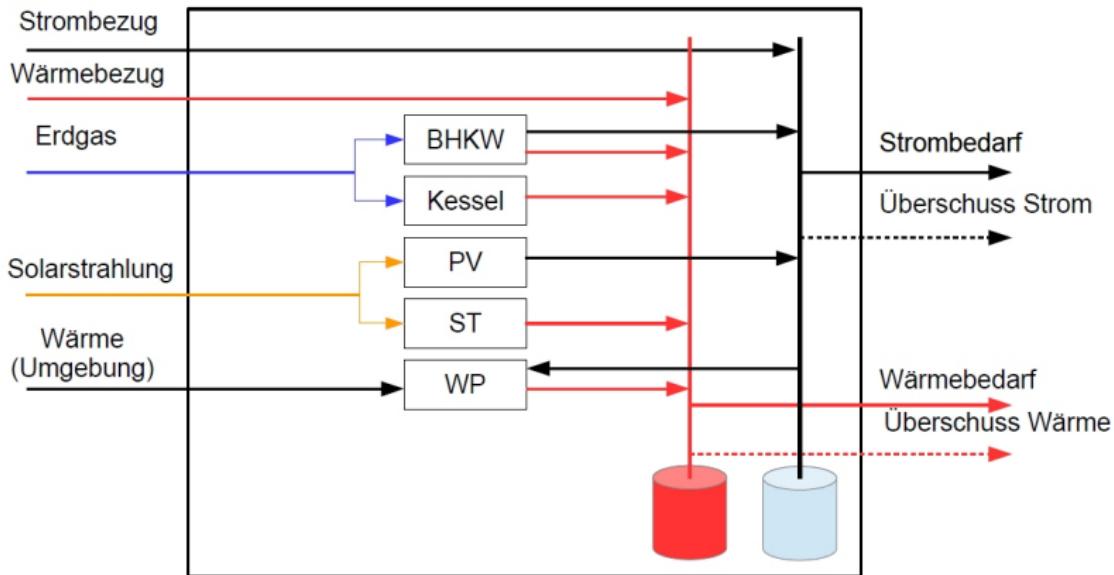
Als Lehrbeispiel für den Einsatz von oemof wird im vom BMWi geförderten Projekt oemof_heat eine Szenario einer Quartiersversorgung untersucht. Das Energiesystem wird als Investoptimierungsaufgabe programmiert, wobei die technischen Komponenten vorgegeben werden. Es sollen übliche und vereinfachende Annahmen getroffen werden, so dass die Teilnehmer an der Lehreinheit eine überschaubare Anzahl an Eingaben vornehmen müssen. Ferner sollen typische Werte für einzugebende Größen vorgeschlagen werden.

Um flexibel verschiedene Größenordnungen von Quartieren untersuchen zu können, werden die Bedarfe für elektrische und thermische Energie normiert vorgegeben (0-100%). Es werden dann zwei Kennzahlen definiert, mit denen der absolute Energiebedarf für eine zubetrachtende Quartier aus den normierten Werten berechnet werden kann. Die Solarstrahlung wird mit typischen Werten für einen Standort in Deutschland angenommen (Braunschweig, geneigte Fläche, Südausrichtung).

Das Ergebnis der Optimierung ergibt einerseits ein optimiertes Energiesystem (Dimension der eingesetzten Technologien) als auch den optimierten Betrieb während des untersuchten Zeitraums (hier: ein Kalenderjahr). Zielfunktion sind die Gesamtkosten. Optional kann noch ein CO₂-Preis mitberücksichtigt werden.

Zur Installation der notwendigen Code-Bestandteile finden Sie Erläuterungen auf: [Link](#)

3.0 Energieversorgung eines Quartiers Energiesystem



Aufgabe 1.3: Strom- und Wärme im Quartier

Definieren Sie ein Wohnquartier mit folgenden Festlegungen und Kennzahlen:

- ① Legen Sie die Anzahl von Einfamilienhäusern (EFH) und Mehrfamilienhäusern (MFH) mit w Wohneinheiten fest.
- ② Legen Sie den spezifischer Bedarf an elektrischer Energie fest.
- ③ Legen Sie den spezifischen Raumwärmebedarf (abhängig vom Gebäudezustand) sowie Wärmebedarf für Brauchwasser fest.
- ④ Bestimmen Sie auf Basis Ihrer Annahmen den Jahresbedarf an elektrischer und thermischer Energie.

Typische Kennzahlen:

- Wohnflächen: $A_{EFH} = 150m^2$; $A_{MFH} = w \cdot 80m^2$
- Personenzahl: $PZ_{EFH} = 4$; $PZ_{MFH} = w \cdot 3$
- El. Energiebedarf: $E_{el,EFH} = 4000kWh/a$; $E_{el,MFH} = w \cdot 2500kWh/a$
- Raumwärmebedarf: $q_{EFH} = 50 - 150kWh/m^2 \cdot a$; $q_{MFH} = 40 - 120kWh/m^2 \cdot a$
- Energie für Brauchwasser: $E = 750 - 900kWh/Person \cdot a$

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:

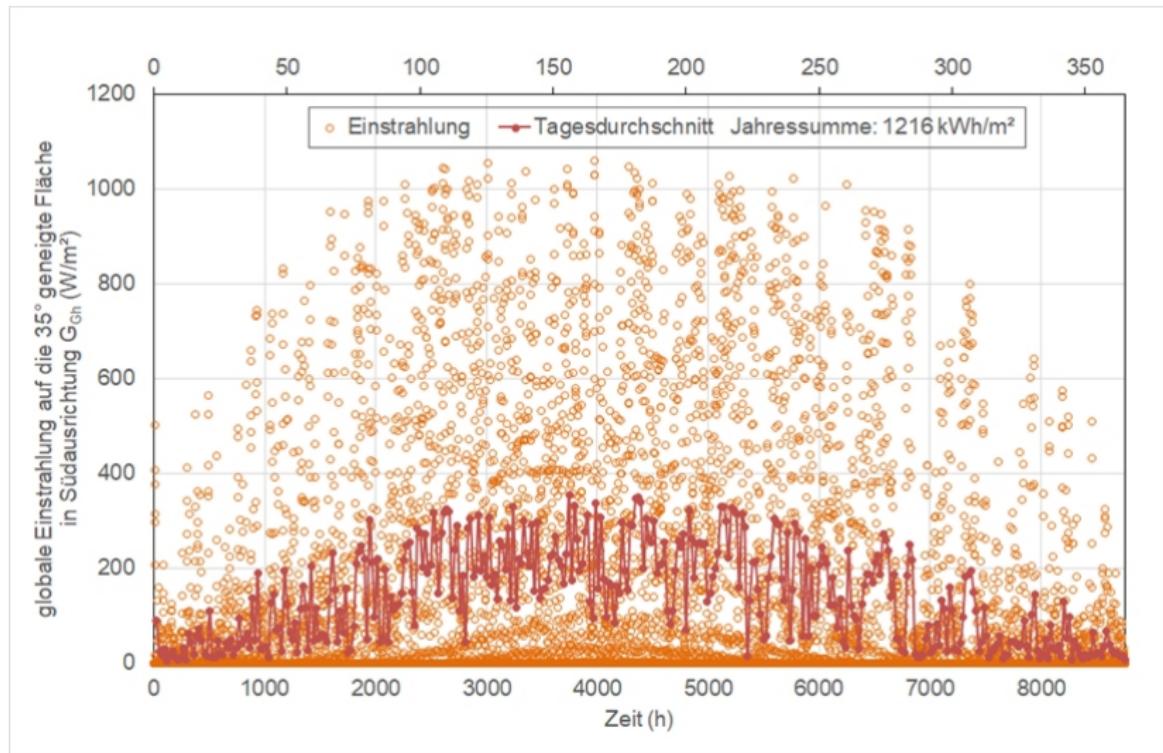
$$P(t) = P^*(t) \cdot \frac{W_{el}}{\sum_i^n P^*(t_i) \cdot \Delta t}$$

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

- Verlustfreie Verteilung
- konstante Preise für Erdgas, Strombezug, Wärmebezug
- kein Ertrag bei Strom- und Wärmeüberschuss
- konstanter CO₂ Preis
- keine Begrenzung bei bezogenen Mengen für Strom, Wärme und Umgebungswärme

3.0 Energieversorgung eines Quartiers

Randbedingungen Solar Einstrahlung



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

3.0 Energieversorgung eines Quartiers

Welche Daten werden bei der Investoptimierung 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

3.0 Energieversorgung eines Quartiers

Beispiel Eingabedatei I

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 Solarthermieanlage
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 Solarthermieanlage
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

3.0 Energieversorgung eines Quartiers

Beispiel Eingabedatei II

23 A_min_PV	0 m2	Mindestflaeche der Solaranlage
24 A_min_Sol	250 m2	Mindestflaeche der Solarthermieanlage
25 min_Gaskessel	0 kW	Mindestgroesse des Gaskessels
26 max_Gaskessel	inf kW	Maximalgroesse des Gaskessels
27 min_BHKW	0 kW	Mindestgroesse 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 Solarthermieanlage
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 Fernwaeme

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.

Aufgabe 1.4: Strom- und Wärme im Quartier

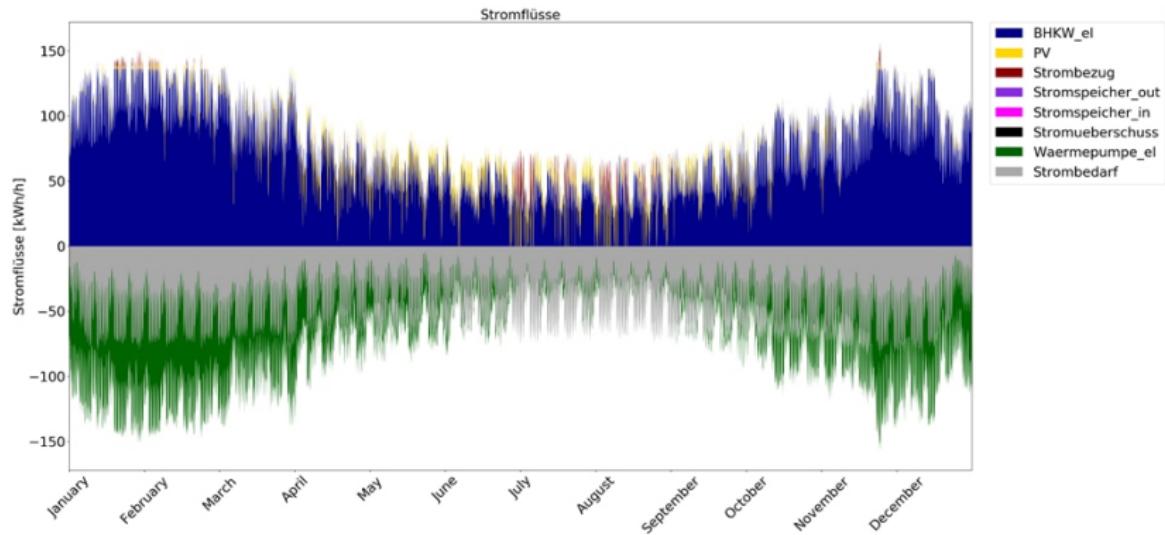
- ① Passen Sie den Eingabe-Datensatz so an, dass das von Ihnen definierte Quartier berechnet werden kann.
- ② Treffen Sie falls erforderlich weitere Annahmen, um alle erforderlichen Eingabeparametern zu definieren.
- ③ Führen Sie eine Optimierungsrechnung mit oemof durch.

3.0 Energieversorgung eines Quartiers

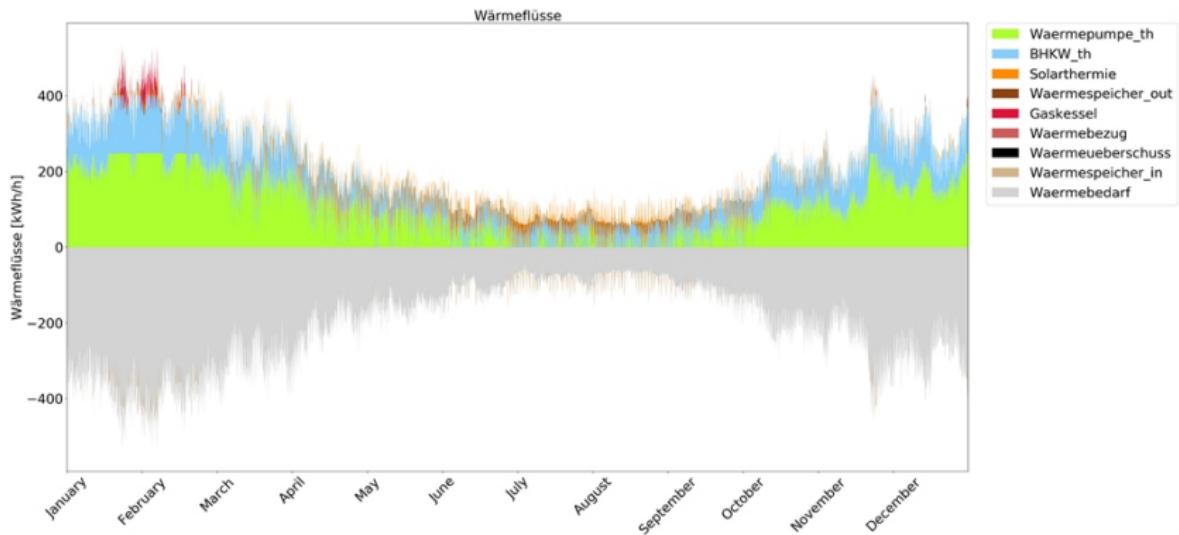
Beispiel Ergebnisdatei

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	Gesamtwaerme 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 zugekaufte 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 Waermzukauf	0.2
davon aus Gaskessel	12.5	Deckungsgrad	
davon aus BHKW	694.0	Autarke_el	0.9835120330851665
davon aus Waermepumpe	949.9	Autarke_th	0.9996849994847556
davon zugekauft	0.6		

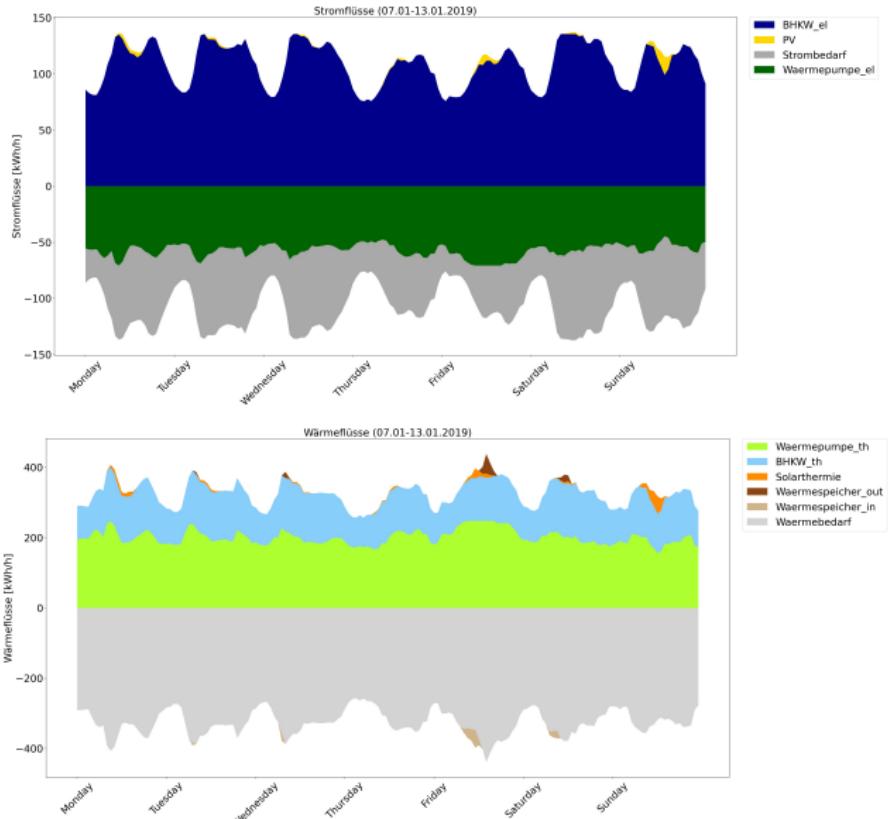
3.0 Energieversorgung eines Quartiers Beispiel Ergebnis Zeitreihe Strom (Jahr)



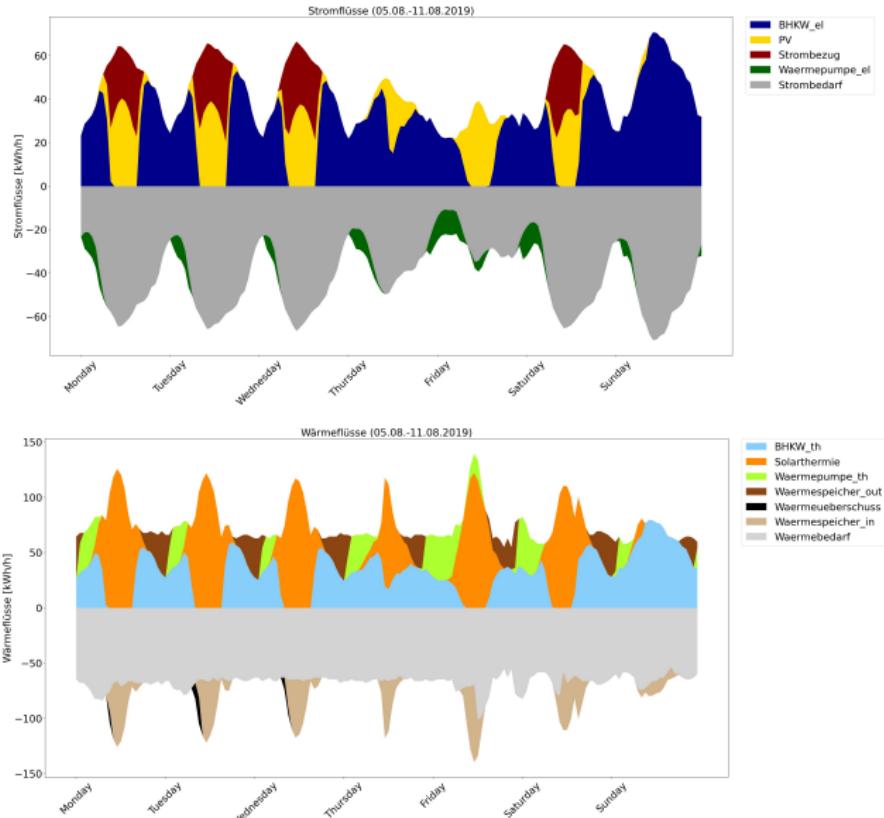
3.0 Energieversorgung eines Quartiers Beispiel Ergebnis Zeitreihe Wärme (Jahr)



3.0 Energieversorgung eines Quartiers Beispiel Ergebnis Zeitreihe (Winterwoche)



3.0 Energieversorgung eines Quartiers Beispiel Ergebnis Zeitreihe (Sommerwoche)



- 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?



Erweiterung von oemof für Wärmekomponenten

- Wärmepumpen
- Kollektoren
- Speicher
- Netze

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Anwendungen für assoziierte Partner, u.a.

- Energieavantgarde Anhalt
- Innogy (RWE)
- Geoforschungszentrum

Open Science Ansatz

- Software
- Daten

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Vernetzung

- weitere oemof - Nutzer
- Weitere Gruppen der
Energiesystemmodellierung

FZK 03ET4047B

3.0 Energieversorgung eines Quartiers

Danke für Ihr Interesse

