

Programmbeschreibung

Eingabe:

Nutzer*innen können über den Link zu einem Streamlit Programm geleitet werden, die über einen Cloud-Service gehostet wird. Streamlit ist ein Python Paket, dass Python Skripte über ein Browser-Fenster zugänglich macht und Eingabe- als auch Visualisierungsmöglichkeiten bietet.

Die Nutzer*innen werden in der Webapp dazu aufgefordert sämtliche Eingaben zu machen, die zu der Berechnung der individuellen CO2-Kompensation genutzt werden können.

Die wichtigsten **Parameter** sind:

- Der jährliche Strom- (*annual_elec_demand*) und Wärmebedarf (*annual_heat_demand*)
- Der Standardlastprofil-Typ, i.e., ob die Nutzer*in in einem Einfamilien- (EFH) oder Mehrfamilienhaus (MFH) wohnt. In der Zukunft kann das Tool auch dazu eingesetzt werden CO2-Kompensation für ein Gewerbe zu berechnen, aber das ist derzeit nicht vorgesehen.
- Die Koordination, i.e. Breitengrad (*lat* von Latitude) und Längengrad (*lon* von Longitude)
- Das Bundesland (*province*), da das Tool derzeit für Deutsche Nutzer*innen ausgelegt ist)
- Der „Strom-Mix“ (*elec_mix*), i.e., der prozentuale Anteil von Ökostrom im individuellen Tarif, was zur Berechnung der CO2-Belastung pro kWh Strom eingesetzt wird.
- Die eingesetzte Heiztechnologie (*heat_tech*), was zur Berechnung der CO2-Belastung pro kWh Wärme (bzw. Gas) eingesetzt wird.
- Das Beheizungssystem (*heat_system*), also ob eine Fußbodenheizung (FBH) oder ein Heizkörpersystem (HKS) genutzt wird, was für die Berechnung der Vorlauftemperatur der Heizung eingesetzt wird und damit ausschlaggebend ist für die Heizungsleistung der Heiztechnologie.
- Das Temperaturziel für die Auswahl des dazugehörigen CO2-Preises (*co2_price_sim*)
- Die Parameter zur Bestimmung der Potenziale für erneuerbare Energien:
 - o Eine mögliche Photovoltaik Fläche zur Stromerzeugung (*p_v_area*)
 - o Einer von drei möglichen Wärmepumpen Konfigurationen (*heat_pump*), die jeweils aus der Wärmequelle und dem Wärmeträgermittel bestimmt ist:
 - Luft-Wasser Wärmepumpe (*HP_Air*)
 - Sole-Wasser Wärmepumpe (*HP_Ground*)
 - Wasser-Wasser Wärmepumpe (*HP_Water*)

Jeder dieser Wärmepumpen weist individuelle Effizienz- bzw. Verlustparameter auf.

 - o Eine mögliche Kollektorfläche zur Nutzung der Solarthermie (*st_area*) und der ausgewählte Kollektortyp (*st_collector*).
 - o Die Nabenhöhe für eine kleine Windkraftanlage (*hub_height*), obwohl derzeit – aufgrund der schlechten Datenlage – keine Windenergienutzung vorgesehen ist.

Programmablauf

(*main_submit*)

1. Der CO₂-Preis für die Berechnung. Dieser wird anhand des gewählten Temperaturziels initialisiert. Dies geschieht mittels der Funktion *co2_price* in der Datei *calc.py*.
 - Es stehen vier Szenarien zur Auswahl: *BAU* (business-as-usual), *Paris1.5* und *Paris2* (analog für die jeweiligen Temperaturziele, die in dem Paris-Vertrag festgelegt sind) und *Neutral45* (was einem nationalen CO₂-Preis entspricht, der mit einem Entwicklungspfad vereinbar ist auf dem Deutschland bis 2045 Klimaneutral sein würde).
2. Die Wetterzeitreihen (*weather_hourly*). Wird mittels der Funktion *tmy_data* Wetterdaten für ein typisches meteorologisches Jahr (Abk.: *tmy*) abgerufen für den eingegebenen Standort
3. Die Strom- und Wärmebedarfszeitreihen für die jeweiligen eingegebenen jährlichen Nachfragewerte. Diese werden mit der *elec_slp* bzw. *heat_slp* Funktion berechnet, welche für das gewählte Simulationsjahr (*year*) der Nutzer*in auf das *demandlib* Paket zugreift.
 - Der Index der erzeugten Lastgänge werden unter *time_index_year* gespeichert, sodass andere Zeitreihen (insb. Einspeisezeitreihen) auf diesem zugreifen können. Das soll dazu dienen, dass später die ausgegebenen Zeitreihen der Ergebnisse alle den gleichen Zeitraum abbilden.
4. Die Einspeisezeitreihen der erneuerbaren Energien (**Strom**) – *feedin_fn*
 - Photovoltaik (PV) – *pv_elec*
 - Es wird eine Konstellation aus einem „Silevo Triex“ Modul mit einer 300 W Ausgangsleistung und einem „ABB Micro“ Inverter mit Niederspannungsausgang (240 V) genutzt. Dieses Paar ist repräsentiert ein fortgeschrittenes Setup zur Stromerzeugung.
 - Die Ausrichtung (*azimuth*) ist exakt südlich (180°) mit einer „idealen“ 37,5° Neigung (*tilt*).
 - Es wird ein *ac* Modus gewählt, der die Verluste des Inverters miteinbezieht. Die Flächenskalierung (*area scaling*) dient dazu die Erzeugung auf den Quadratmeter runterzurechnen, sodass die Gesamterzeugung durch Multiplikation mit der eingegebenen PV-Fläche berechnet wird. Da die Ausgabe in Watt erfolgt, muss auf kW mittels einer 1000-Teilung umgerechnet werden.
 - **Empfehlung:** Für Nutzer*innen die bereits eine PV-Anlage bei sich zuhause stehen haben, sollte man eine detailliertere Eingabe erlauben für Anlagen-spezifische Werte.
 - Wind ist derzeit nicht implementiert (daher wird nur ein 0-Vektor initialisiert) sollte aber in Zukunft (mit einer besseren Datenbasis) möglich sein.
 - Wichtige „Infrastruktur“ wie z.B. das Einlesen einer Leistungskurve und Leistungskoeffizienten Kennlinie sind bereits implementiert (siehe die Funktion *wind_elec*)
 - **Empfehlung:** Verlässliche (und einfach abrufbare) Daten finden und einbauen!

5. Die Einspeisezeitreihen der erneuerbaren Energien (**Wärme**) – *thermal_fn*

- Solarthermie (*st_feedin*)
 - Die Berechnung der Solarthermie Wärmeerzeugung erfolgt in der Funktion *soltherm_heat*. Durch die Nutzer*in wird festgelegt welcher Kollektortyp ausgewählt wird für die Erzeugung.
 - Es stehen zwei „repräsentative“ Kollektortypen (für die nicht-konzentrierte Solarthermie) zur Auswahl: ein Vakuumröhrenkollektor und ein Flachkollektor. Die technischen Parameter (wie z.B. optischer Wirkungsgrad) sind in dem Excel Datenblatt *soltherm_data* zu finden.
 - Auch hier erfolgt eine Berechnung in Watt, die zu Kilowatt umgerechnet wird.
- Wärmepumpe
 - **Wichtig:** In diesem Tool wird die Annahme getroffen, dass Haushalte ihre CO₂-intensiven existierenden Heiztechnologien (wie den Gaskessel oder die (noch) Gas-belastete Fernwärme) *komplett* mit einer Wärmepumpe ersetzen. Daher wird nicht die Wärmeerzeugung der Wärmepumpe berechnet, sondern der zusätzliche Strombedarf, der entsteht, wenn die Wärmepumpe die Wärmenachfrage deckt, die *nach* der Einbindung der Solarthermie noch besteht. Hierzu wird die Leistungszahl (*coefficient of performance*, Abk.: *COP*) genutzt und das mathematische Verhältnis:
$$P_{el} = \frac{Q_{Heiz}}{COP}$$
 - Über die Wahl des Heizungssystems (Fußbodenheizung *FBH* oder Heizkörper *HKS*) wird die Vorlauftemperatur bestimmt (*T_out*), die maßgeblich ist für die Leistung der Wärmepumpe. Sowohl die Temperatur der Wärmequelle (*T_in*) als auch der Nutzungsgrad der Anlage (*quality_grade*) ist abhängig von der gewählten Konfiguration (i.e. Luft-Wasser, Wasser-Wasser oder Sole-Wasser).
 - Letztendlich wird über das Verhältnis *heat_demand_renewable* (i.e. inkl. Solarthermie) geteilt durch *cop*, der elektrische Verbrauch der Wärmepumpe berechnet (*heat_pump_el*)
 - **Empfehlung:** Aufgrund eines Fehlers bei der Funktion *calc_cops* kann derzeit nur eine **konstante** Leistungszahl angenommen werden, die einer

6. Die CO₂-Emissionen

- Die CO₂-Emissionen werden allgemein mittels der *co2_kWh* berechnet (in dem *calc.py* Skript). Diese liest den Emissionsfaktor der Technologie aus dem Datenblatt ein und multipliziert den stündlichen Verbrauch bzw. Erzeugung mit dem Emissionsfaktor
- Es werden die „alten“ Emissionen des Stromverbrauchs (*co2_old_elec*) mit den „neuen“ (*co2_new_elec*) verglichen, um die Kompensation zu bestimmen.

- Die „neuen“ CO₂-Emissionen setzen sich aus Emissionen zusammen, die durch die Stromerzeugung entstehen (*ren_tech_co2*, bezogen auf *Life-Cycle-Assessment* Werte) und die, die durch den Netzbezug entstehen, welches die Residuallast decken muss.
 - Die Residuallast ist die Differenz aus dem Strombedarf (inkl. Wärmepumpenlast) und der Einspeisung aus den Erneuerbaren.
- Aufgrund der getroffenen Annahmen zur Wärmepumpe, wird der „neue“ Gasverbrauch mit einem 0-Vektor initialisiert. Somit sind die einzigen CO₂-Emissionen, die durch den Gaseinsatz entstehen, den „alten“ Erzeugungstechnologien zuzuschreiben (*co2_old_gas*).
- Die **Kompensation** wird berechnet, indem alle neuen und alten CO₂-Werte summiert werden und die neuen von den alten abgezogen werden:

$$comp = old - new$$

Somit bedeutet ein negativer Wert, dass die „neue“ Erzeugungskonstellation **mehr** CO₂-Emissionen verursacht als vorher. Ein positiver Wert ist genau die Menge an CO₂-Emissionen, welche eingespart (bzw. kompensiert) worden sind (in dem gegebenen Zeitraum).

7. Die Ersparnisse bzw. die Mehr-Kosten

- Analog zur Berechnung der CO₂-Emissionen wird für jede Stunde, wurde eine *price_kWh* Funktion eingesetzt, die für die alten und neuen Strom- und Gasbedarfszeitreihen den Preis pro kWh berechnet, *ohne* CO₂-Preis. Die Ersparnisse bzw. Mehrkosten werden in *price_diff* berechnet (genau wie die Kompensation auch)
- *total_diff* berechnet dann die Ersparnisse bzw. Mehrkosten **mit** einem CO₂-Preis.
- **Wichtig:** Viele erwarten, dass besonders inkl. einem CO₂-Preis, die Berechnung *immer* **Gesamtersparnisse** ausgibt. Das muss aber nicht zwingend der Fall sein. Z.B. wenn der Wärmebedarf eines Haushalts immens ist, und dieser durch eine Wärmepumpe gedeckt werden muss, kann der Stromtarif (und dessen CO₂-Belastung) eine große Auswirkung haben und Preise bzw. CO₂-Emissionen in die Höhe schießen!
- **Empfehlung:** Derzeit wird angenommen dass jeder Haushalt bei seinem „alten“ Tarif bleibt. Stattdessen, sollte entweder die Option ermöglicht werden auf einen Ökostrom Tarif zu wechseln (falls dieser noch nicht von der Nutzer*in gewählt wurde), oder einen „custom“ Stromtarif festzulegen!

Tabelle 1. Daten							
id	Name	Jahr (Bezug)	Emissionsfaktor (CO ₂ -Äq.)	Link	Preis	Link	Anmerkung
G_100	Netzstrom 100% Ökostrom	2017	24,29 g/kWh	https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-08-15_cc_30-2019_marktanalyse_oekostrom_ii.pdf	41,19 ct/kWh	Durchschnittlicher Aufpreis für Ökostromtarif ist 5 ct/kWh	Die Emissionen wurden aus einem Durchschnitt aller Emissionsfaktoren der EE berechnet, welche auf S.328 in dem UBA Bericht (2017) aufgelistet wurden.
G_DE	Deutschland-Mix Netzstrom	2021	420g/kWh	https://de.statista.com/statistik/daten/studie/38897/umfrage/co2-emissionsfaktor-fuer-den-strommix-in-deutschland-seit-1990/	36,19 ct/kWh	https://www.bdew.de/presse/pressemappe/n/strompreis/	
PV	Photovoltaic Module	2021	56g g./kWh	https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2021_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf	7,07 ct/kWh	https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2021_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf	Laut einer Studie des Fraunhofer-Institutes für Solare Energiesysteme liegen die Gestehungskosten (Kosten für die Erzeugung) einer kWh Solarstrom bei Kleinanlagen unter 30 kWp zwischen 5,81 und 8,04 Cent im Süden Deutschlands und zwischen 7,96 und 11,01 Cent im sonnenärmeren Norden (Stand 2021). S 2-3. Wir haben den Mittelwert der Preisspanne genommen
Wind	Klein-Windkraftanlage	2014			25 ct/kWh	https://www.oegut.at/downloads/pdf/eb-kleinwindkraft_anhang5.pdf	Mittelwert der Preisspanne, i.e. 20-30 ct/kWh
CHB	Gaskessel	2021	247 g/kWh	https://www.kea-bw.de/kommunaler-klimaschutz/angebote/co2-bilanzierung	7,45 ct/kWh	https://de.statista.com/statistik/daten/studie/154961/umfrage/gaspreis-nach-verbrauchergruppe-seit-2006/#~:text=Die%20Statistik%20bildet%20den%20Gaspreis,Cent%20f%C3%BCr%20jede%20Kilowattstunde%20Gas.	Achtung! Aufgrund der Gaskrise sind für dieses Jahr (2022) und die kommenden Jahre deutlich höhere Gaspreise zu erwarten, daher sind Ersparnisse durch EE-Verwendung vermutlich deutlich höher als derzeit noch berechnet!
HP_Air	Wärmepumpe Luft						Annahme: Emissionen entstehen nur durch den Strombezug. Sodurch wird auch der Operationspreis vorerst berechnet!
HP_Water	Wärmepumpe Grundwasser						Annahme: Emissionen entstehen nur durch den Strombezug. Sodurch wird auch der operationspreis vorerst berechnet!
HP_Ground	Wärmepumpe Sole						Annahme: Emissionen entstehen nur durch den Strombezug. Sodurch wird auch der operationspreis vorerst berechnet!
FW	Fernwärme	2008	344,7 g/kWh	https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3476.pdf	8 ct/kWh	https://heizung.de/heizung/wissen/typische-fernwaerme-kosten-im-ueberblick/	Mittelwert der Preisspanne

Tabelle 2. CO2 Preise					
id	Name	Jahr	CO2 Preis	Link	Anmerkung
BAU	Business-As-Usual	2020	35 €/t	https://www.econstor.eu/bitstream/10419/201577/1/1669588696.pdf	Wärme und Verkehrssektor: Ottokraftstoff, Heizöl leicht, Gas und Diesel
		2023	80 €/t	https://www.econstor.eu/bitstream/10419/201577/1/1669588696.pdf	Wärme und Verkehrssektor: Ottokraftstoff, Heizöl leicht, Gas und Diesel
		2030	180 €/t (linearer Anstieg)	https://www.econstor.eu/bitstream/10419/201577/1/1669588696.pdf	Wärme und Verkehrssektor
Paris1.5	1.5 Grad Ziel	2030	275 €/t	https://www.sciencemediacenter.de/alle-angebote/factsheet/details/news/kann-ein-co2-preis-unser-klima-retten/	Mittelwert der Preisspanne: 150-400 \$/tCO2
Paris2	2.0 Grad Ziel				
		2020	60 \$/t	https://www.mcc-berlin.net/fileadmin/data/B2_3_Publications/Working%20Paper/2018_MCC_Working_Paper_1_CO2-Preisreform.pdf - S. 3	Mittelwert der Preisspanne 40-80 \$/t
		2030	75 \$/t	https://www.mcc-berlin.net/fileadmin/data/B2_3_Publications/Working%20Paper/2018_MCC_Working_Paper_1_CO2-Preisreform.pdf - S. 3	Mittelwert der Preisspanne 50-100 \$/t
Neutral45	Klimaneutralität 2045		ca. 505,13€/t	https://ariadneprojekt.de/media/2021/10/Ariadne_Szenarienreport_Oktob_2021_Kapitel10_Verteilungswirkungen.pdf - S. 287, Tabelle 10.1	Annahme: 55€/10%=5,5 130€/26%=5 197€/39%=5,05128 => 5,0513*100%=505,13€/t
*alle Angaben mit Maßeinheit eingeben					
**Alle USD Angaben wurden mit einem 1:1 Euro-Wechselkurs in die Berechnung angegeben					