

13. März 2024
Heidi Hottenroth
Prof. Dr. Ingela Tietze
Prof. Dr. Tobias Viere

Abschlusspräsentation Projekt InPEQt

Agenda

- | | |
|-----------|--|
| 9:30 Uhr | Begrüßung, Vorstellung und Einführung |
| 9:45 Uhr | Vorstellung Methoden und Tool |
| 10:15 Uhr | Pause |
| 10:30 Uhr | Ergebnisse innerstädtisches Mehrfamilienhausquartier in Konstanz |
| 10:45 Uhr | Ergebnisse Einfamilienhausquartier in Wiernsheim |
| 11:00 Uhr | Ergebnisse Erweiterung Nahwärmenetz in Gerstetten |
| 11:15 Uhr | Pause |
| 11:30 Uhr | Übergeordnete Ergebnisse und Schlussfolgerungen |
| 12:00 Uhr | gemeinsame Abschlussdiskussion |
| 12:45 Uhr | Ausblick |
| 13:00 Uhr | Ende, optional gemeinsames Essen in der Mensa |

Vorstellung

Vorstellung Institut für Industrial Ecology

- Institut an der Hochschule Pforzheim, Business School
- Angewandte Forschung zu **Industrial Ecology, Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz**
 - Interdisziplinäres Team:
8 Professor*innen, ca. 16 wissenschaftliche Mitarbeiter*innen
 - Leitung: Prof. Dr. Mario Schmidt
- **Forschung**
 - Drittmittel-finanzierte Projekte (EU, BMBF, BMUV, Land Baden-Württemberg,...)
 - Publikation in Fachzeitschriften
 - Mitarbeit in Normungs-Gremien (DIN, ISO)
- **Lehre** (Studiengänge)
 - Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz (B. Sc.)
 - Life Cycle & Sustainability (M. Sc.)
 - Promotionskolleg KLIREC



Forschungsprojekt InPEQt

Titel: Kosten- und lebenszyklusbasierte Planung dezentraler Energiesysteme für eine energie- und ressourcenschonende Quartiersentwicklung

- Projektleitung: Prof. Dr. Ingela Tietze, Prof. Dr. Tobias Viere
- Laufzeit: 1.1.2021 bis 31.3.2024
- Fördermittelgeber: Deutsche Bundesstiftung Umwelt
- Assoziierte Kooperationspartner
 - Quartier Konstanz: Stadt Konstanz, Amt für Stadtplanung und Umwelt
 - Quartier Wiernsheim: Gemeindeverwaltung Wiernsheim, Netze BW GmbH
 - Quartier Gerstetten: Gemeindeverwaltung Gerstetten, Stadtwerke Fellbach GmbH, Netzgesellschaft Ostwürttemberg DonauRies GmbH
- Projektbeirat aus Energieagentur, Energieberater:innen, GIH, VDI

Ziele des Forschungsprojekts

- Mehr Nachhaltigkeit bei der Energiesystemplanung:
 - nicht nur Kosten und direkte CO₂-Emissionen berücksichtigen, sondern viele Umweltwirkungen und den gesamten Lebenszyklus der Energieerzeugungsanlagen
- Verlagerung von Klima- hin zu Umweltproblemen vermeiden:
 - z.B. mehr Flächenbedarf für pflanzliche Energieträger
 - z.B. Gewässerbelastungen beim Bergbau zur Gewinnung von Metallen
- Energiesystemmodellierung mit Ökobilanzierung koppeln, um mehr Kriterien bei der Optimierung berücksichtigen zu können

Überblick Methoden

Ablauf der Energiesystemmodellierung

Eingangsdaten

Nachfragedaten/Lastgänge

- Elektrizität (inkl. Elektromobilität)
- Wärme

Potenziale erneuerbare Energien

Techno-ökonomische Anlagen-/Materialdaten

- Investition, fixe und variable Kosten
- Technische Parameter (Wirkungsgrad, Lebensdauer,...)

Wetterdaten

- Außentemperatur, Sonneneinstrahlung, Windgeschwindigkeit

Daten zu Umweltwirkungen

Planungsmodell LAEND

Mehrperiodige **Ausbau- und Einsatzoptimierung** unter Minimierung von

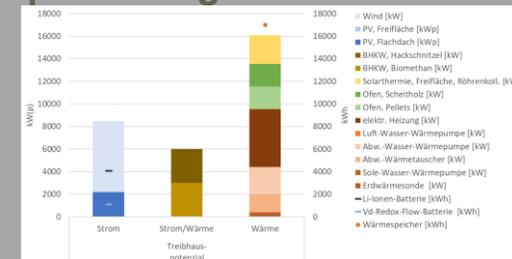
- **Kosten und/oder**
- **Umweltwirkungen** mit langfristigem Horizont

Deckung einer vorgegebenen Strom- und/oder Wärmenachfrage in **stündlicher Auflösung**

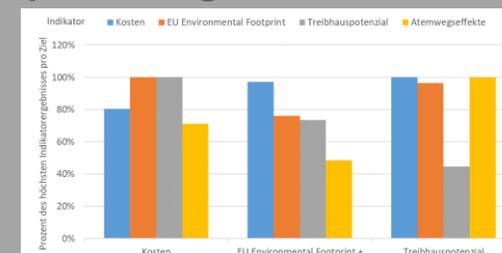
Systemgrenze: Quartier

Ergebnisse

Investitions- und Einsatzplanung der Technologien je Optimierungsziel

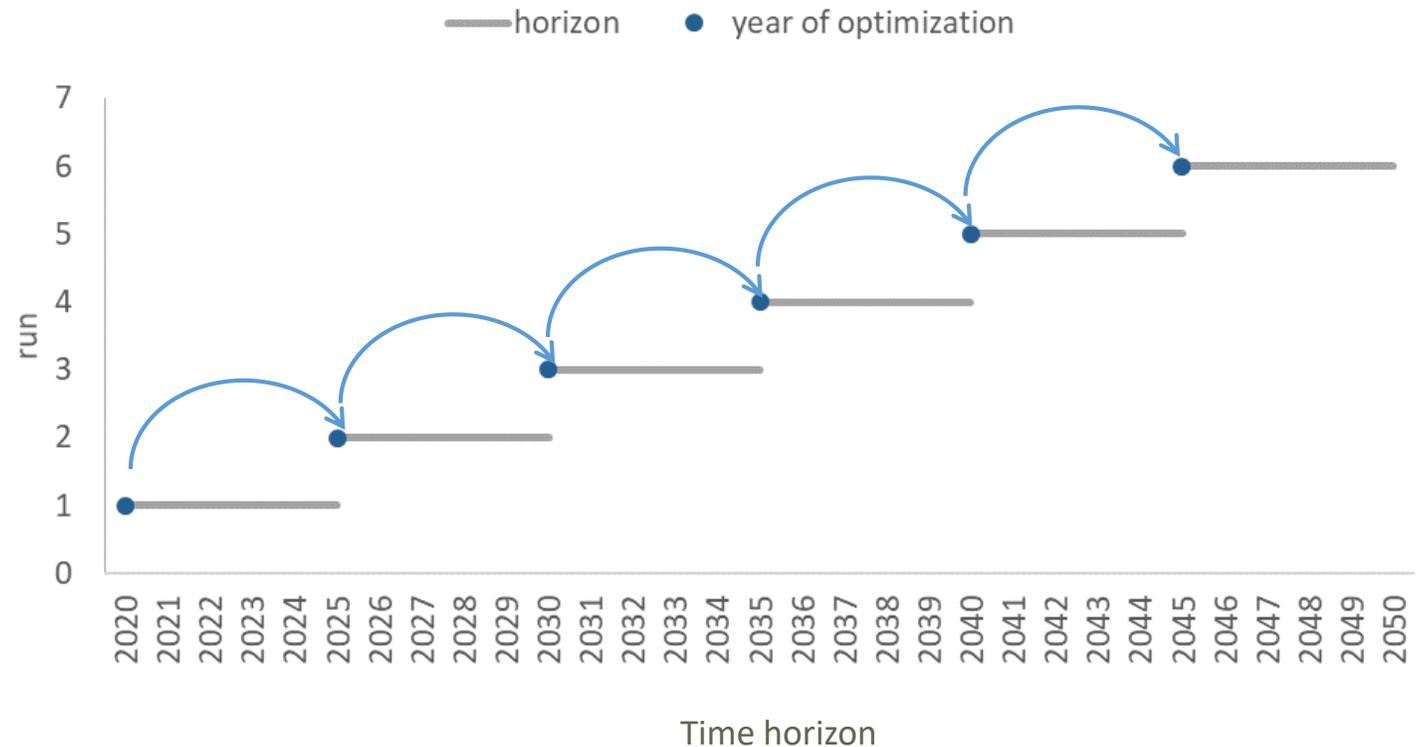


Kosten u. Umweltwirkungen je Optimierungsziel



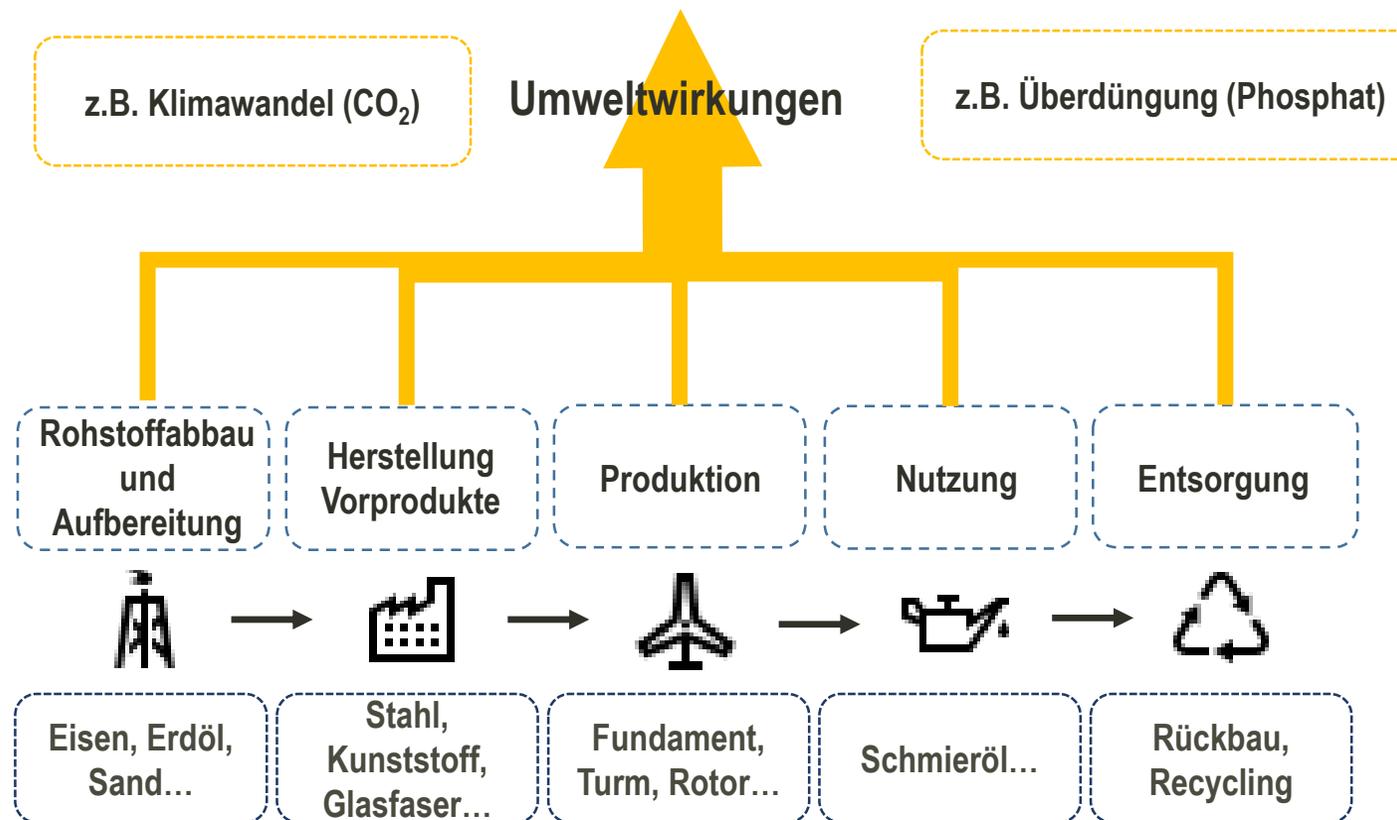
Anwendung myopische Optimierung

- Optimierung mit langfristigem Zeithorizont
- Zeithorizont wird in kleinere Zeitschritte unterteilt
- Erstes Jahr eines 5-Jahreszeitraums wird optimiert
- Ergebnisse werden an das erste Jahr des nächsten 5-Jahreszeitraums weitergegeben



Exkurs Life Cycle Assessment (LCA)/Ökobilanz

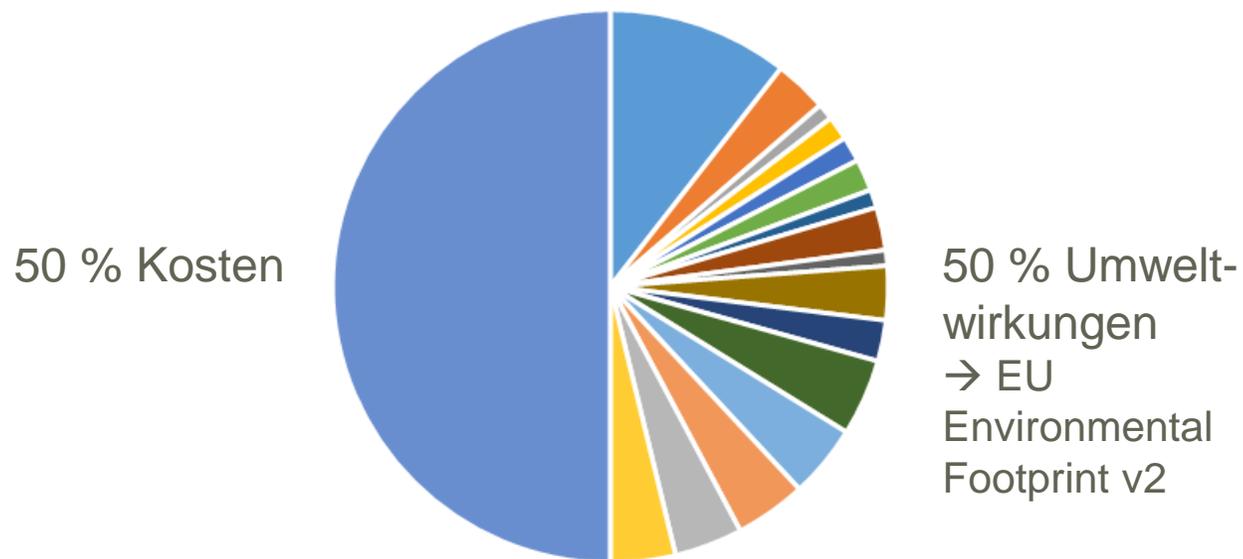
- Ziel: Umweltwirkungen über den gesamten Lebenszyklus eines Produktes ermitteln



Ziel der Energiesystemoptimierung

- Minimierung einer gewichteten Summe aus Kosten und Umweltwirkungen

Verhältnis der Gewichtungen



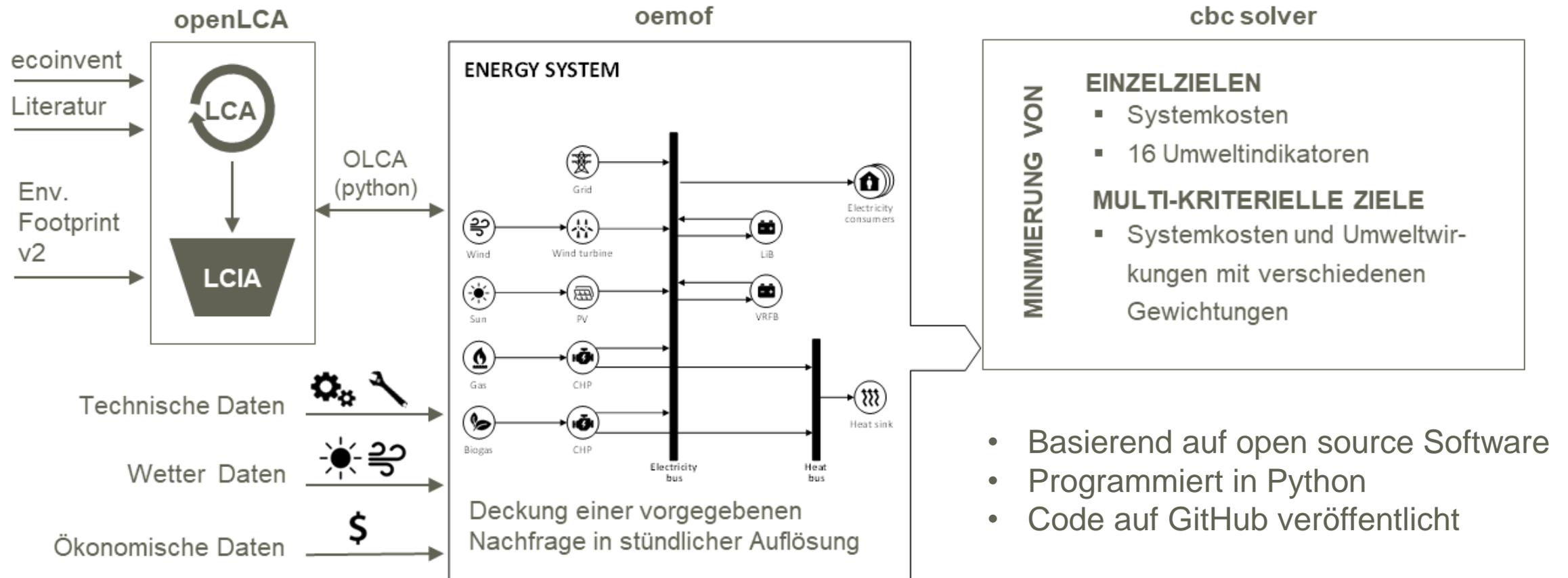
- Klimawandel
- Versauerung
- Ökotoxizität
- Süßwassereutrophierung
- Meereseutrophierung
- Bodeneutrophierung
- Humantoxizität, karzinogen
- Ionisierende Strahlung
- Humantoxizität, nicht-karzinogen
- Ozonschichtzerstörung
- Photochem. Oxidantienpotenzial
- Atemwegseffekte
- Wasserverbrauch
- Fossile Ressourcen
- Landnutzung
- Mineral. u. metall. Ressourcen
- Kosten

Grundsätzliche Annahmen

- Gesamtkostenbetrachtung auf Systemebene, nicht auf Akteursebene
 - Reine Gestehungskosten ohne Vergütungen, Subventionen, Steuern, Abgaben, Umlagen etc.
- Konsistente Betrachtung von Kosten und Umweltwirkungen:
 - keine Diskontierung von zukünftigen Kosten unter der Annahme, dass auch Umweltwirkungen zu jeder Zeit gleich bewertet werden

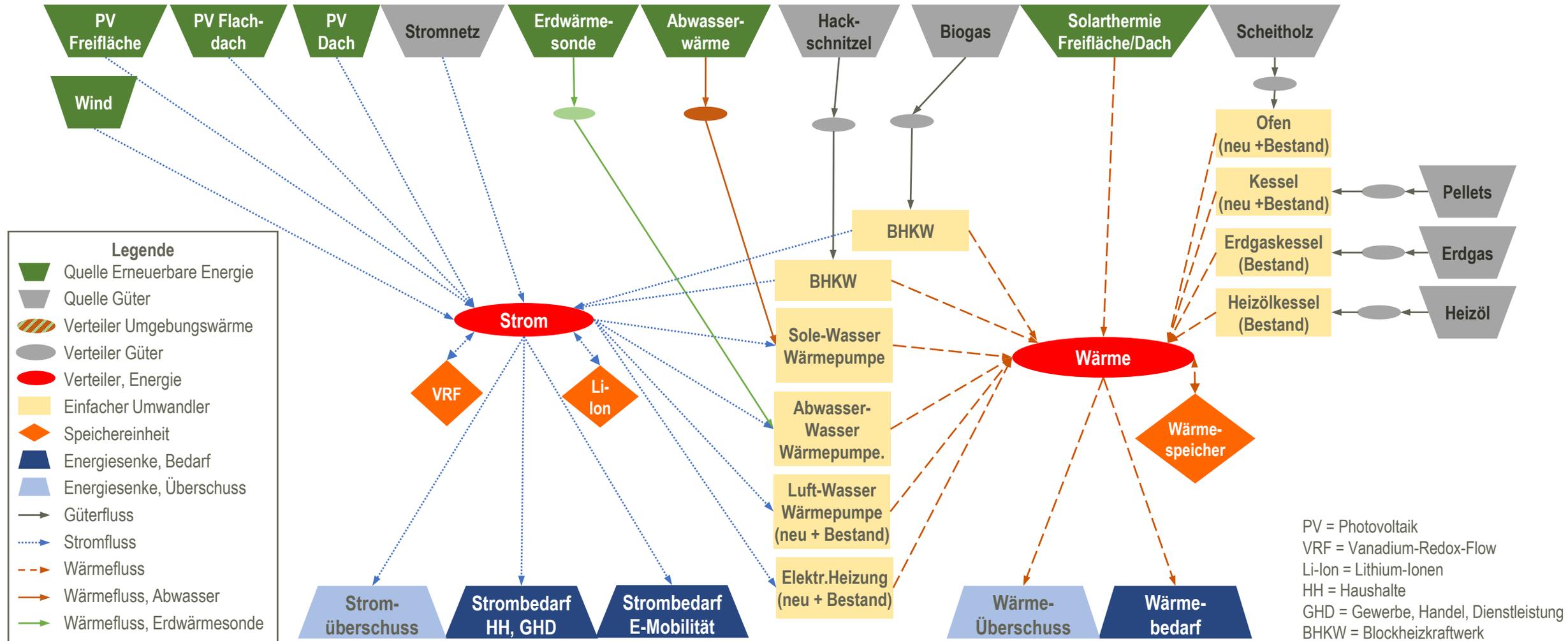
Tool LAEND

LAEND = Life-cycle Assessment based Energy Decision support



- Basierend auf open source Software
- Programmiert in Python
- Code auf GitHub veröffentlicht

Mögliche Energieträger und Energie-Technologien



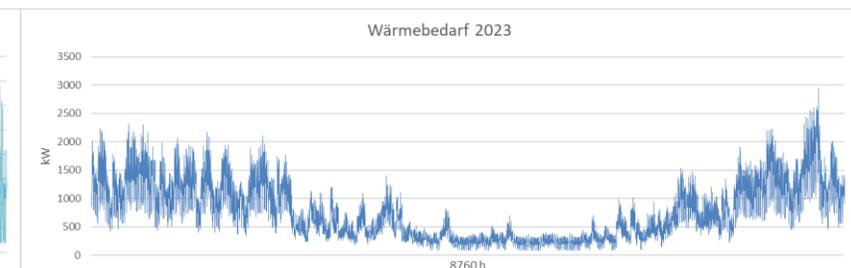
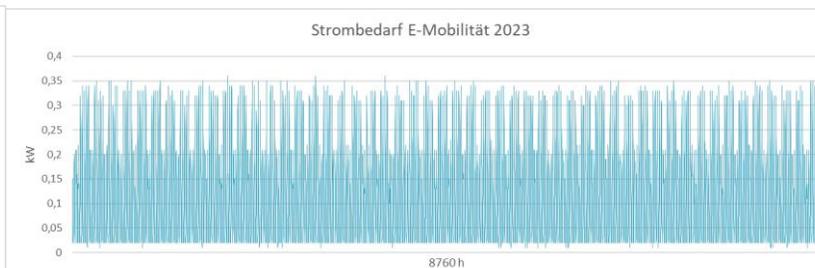
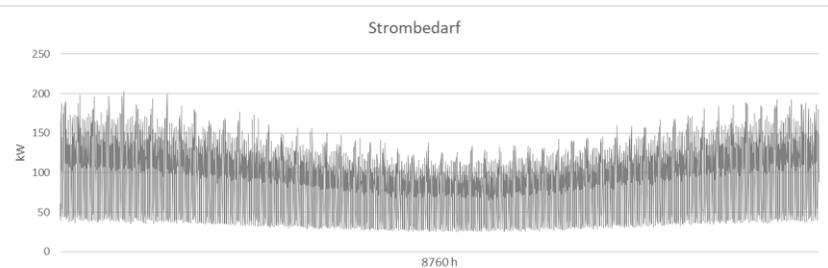
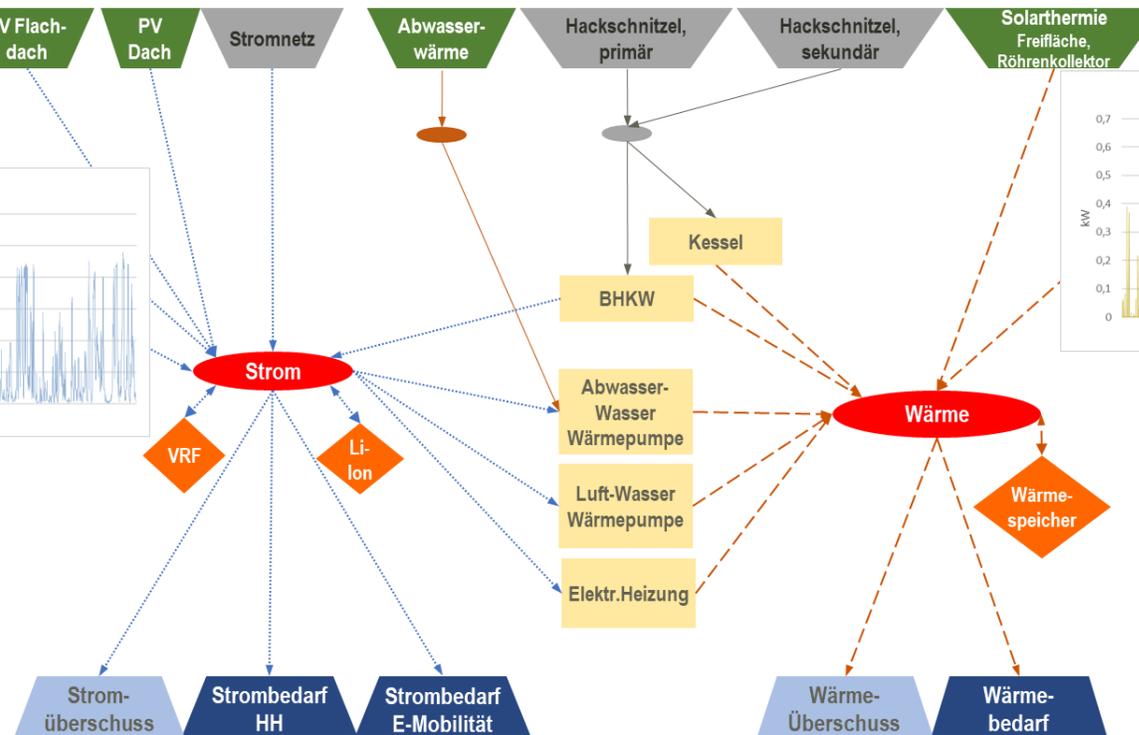
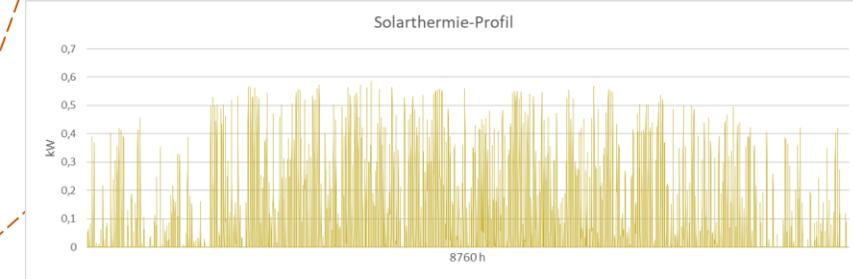
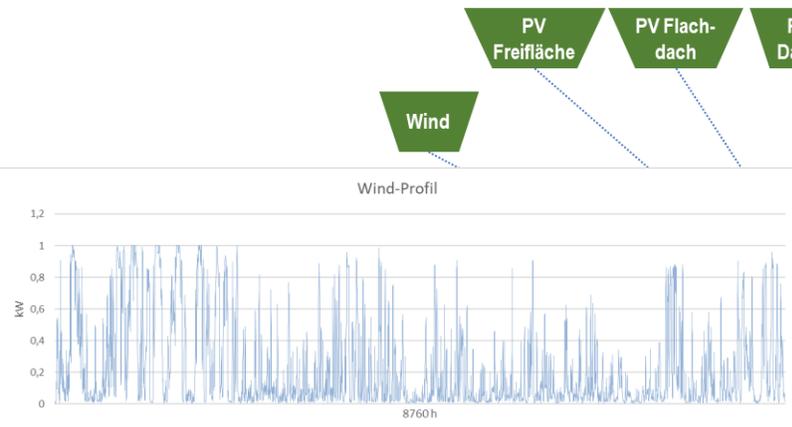
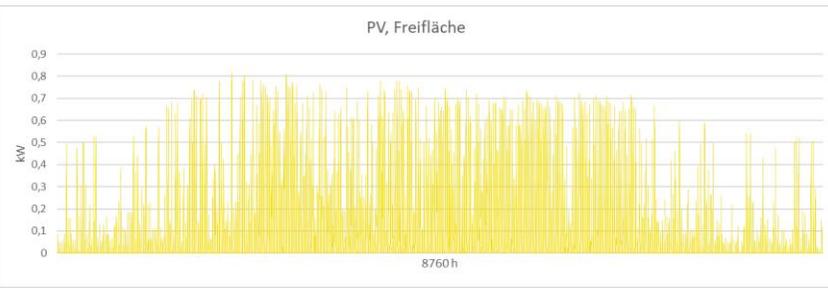
Konfiguration des Energiesystems

Eingabe über Excel-Tabelle

- Zu verwendende Technologien und Energieträger
- Variable, fixe und Investitionskosten
- Lebensdauer
- Datensatz für Umweltwirkungen
- Effizienzen
- Speicherkenngößen
- etc.

label	active	to	unit	area	initial_e xistance	initially_insta lled_capacity	year_of_a vailability	end_of_a vailability	variable costs	var_env1	var_env1_ conversio	om	invest	lifetime	max_capaci ty_invest	inv1
PV_flat_roof	1	bus_el	kWp	5,18	0	0	0	1E+12	0	empty	1	26	1309	25	1,00E+12	production, PV, flat-roof installation, 156kWp, cr
PV_facade	1	bus_el	kWp	0	0	0	0	1E+12	0	empty	1	3	340	25	2,90E+02	production, PV, facade installation, 3kWp, cryst
ambient_heat_ground	1	bus_th_ambient	kWth	0	0	0	0	1E+12	0	empty	1	0	3000	50	450	construction, borehole heat exchanger, investme
solar_thermal_FPC_low	1	bus_th_low	m ²	1	0	0	0	1E+12	0	empty	1	1,5	579	20	5500	production, solar collector system, Cu flat plate o
solar_thermal_FPC_high	1	bus_th_high	m ²	1	0	0	0	1E+12	0	empty	1	1,5	579	20	5500	production, solar collector system, Cu flat plate o
heat_wastewater	1	bus_th_ww	kWth	0	0	0	0	1E+12	0	empty	1	0	850	50	450	production, heat exchanger, wastewater_m2

Stundenprofile für Einspeisung und Last



Intertemporale Wirkungsbetrachtung

- Symmetrische Betrachtung von ökonomischen und ökologischen Wirkungen
- Ökologische Wirkungen werden gleichmäßig über die Zeit verteilt
→ ein Schaden in der Zukunft wird genauso bewertet wie ein Schaden heute
- Analoges Vorgehen bei Kosten
→ keine Diskontierung von zukünftigen Kosten

Berücksichtigte Änderungen im Zeitverlauf

Auf Jahresbasis

- Steigender Strombedarf (durch Zuwachs an Ladestationen)
- Sinkender Wärmebedarf (z.B. aufgrund energetischer Sanierung)
- Netzstrommix (Kosten und Umweltwirkungen)
- Steigende oder sinkende Kosten für Energieträger
- Außerbetriebnahme von Bestandsanlagen

Ergebnisarten

Konstanz

- Kostenoptimierung mit integrierter Ökobilanz
→ Szenariovergleich in Bezug auf Eingangsp Parameter des Energiesystemmodells

Wiernsheim

- Verschiedene Optimierungsziele bei gleichen Eingangsp Parametern
→ Vergleich der Ergebnisse von
Kosten-, multi-kriterieller und Treibhauspotenzial-Optimierung

Gerstetten/Gussenstadt

- Multi-kriterielle Optimierung
→ Szenariovergleich in Bezug auf Eingangsp Parameter des Energiesystemmodells

Fallstudie Konstanz

Agenda

- | | |
|-----------|--|
| 9:30 Uhr | Begrüßung, Vorstellung und Einführung |
| 9:45 Uhr | Vorstellung Methoden und Tool |
| 10:15 Uhr | Pause |
| 10:30 Uhr | Ergebnisse innerstädtisches Mehrfamilienhausquartier in Konstanz |
| 10:45 Uhr | Ergebnisse Einfamilienhausquartier in Wiernsheim |
| 11:00 Uhr | Ergebnisse Erweiterung Nahwärmenetz in Gerstetten |
| 11:15 Uhr | Pause |
| 11:30 Uhr | Übergeordnete Ergebnisse und Schlussfolgerungen |
| 12:00 Uhr | gemeinsame Abschlussdiskussion |
| 12:45 Uhr | Ausblick |
| 13:00 Uhr | Ende, optional gemeinsames Essen in der Mensa |

Rahmenbedingungen

- Innerstädtisches Neubauquartier in Konstanz (in Planung)
- Zielgruppe: kommunale Entscheidungsträger
- Blockrandbebauung, mehrgeschossig
- Überwiegend Wohnungen (ca. 220 WE)
- Ziel: treibhausgasneutrale Wärmeversorgung
- Zeithorizont der Energiesystemmodellierung: 20 Jahre
- Ziel hier: Minimierung der Kosten



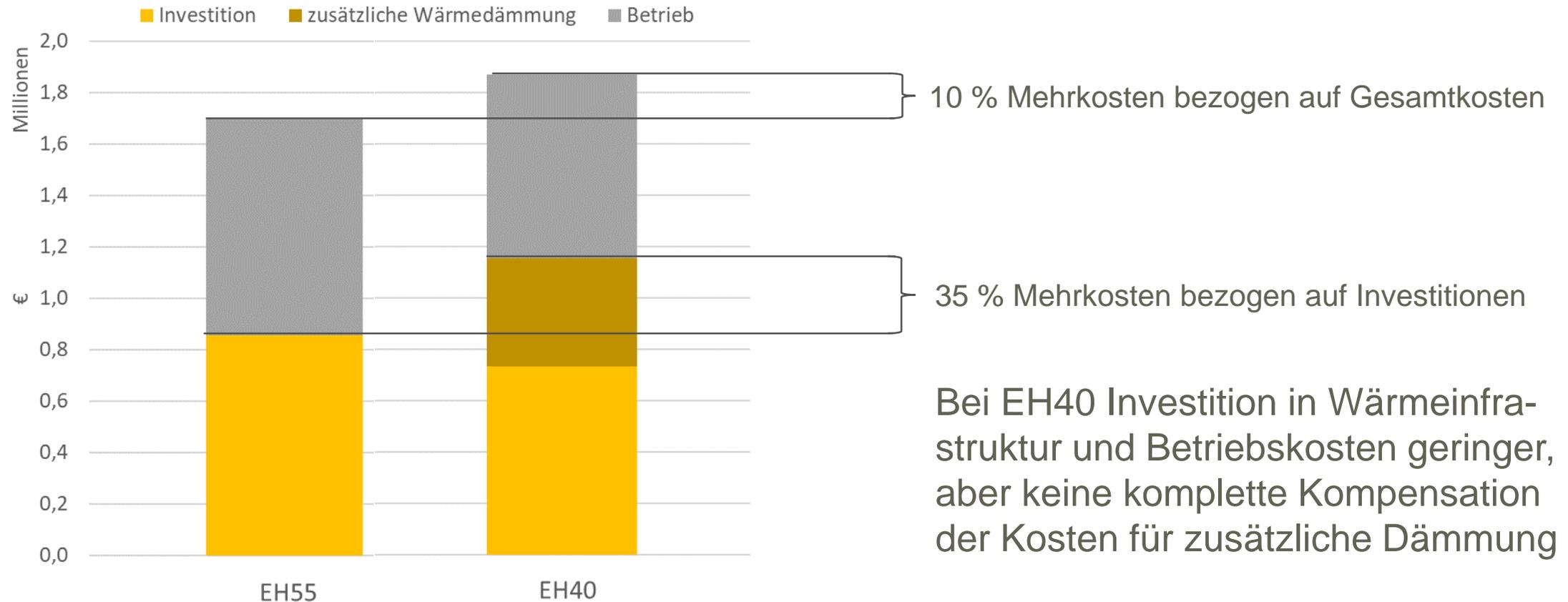
Fragestellung

- Die Gebäude könnten im Effizienzhaus 40- oder 55-Standard errichtet werden
→ Unterschiede bei Wärmebedarf und Gebäudehülle
- Erwartung: Investitionen bei EH40 höher
- Wie unterscheiden sich EH 40 und EH55 über einen Zeitraum von 20 Jahren
 - in Bezug auf die Lebenszykluskosten?
 - in Bezug auf die Treibhausgasemissionen?
 - in Bezug auf die Gesamtumweltwirkungen?

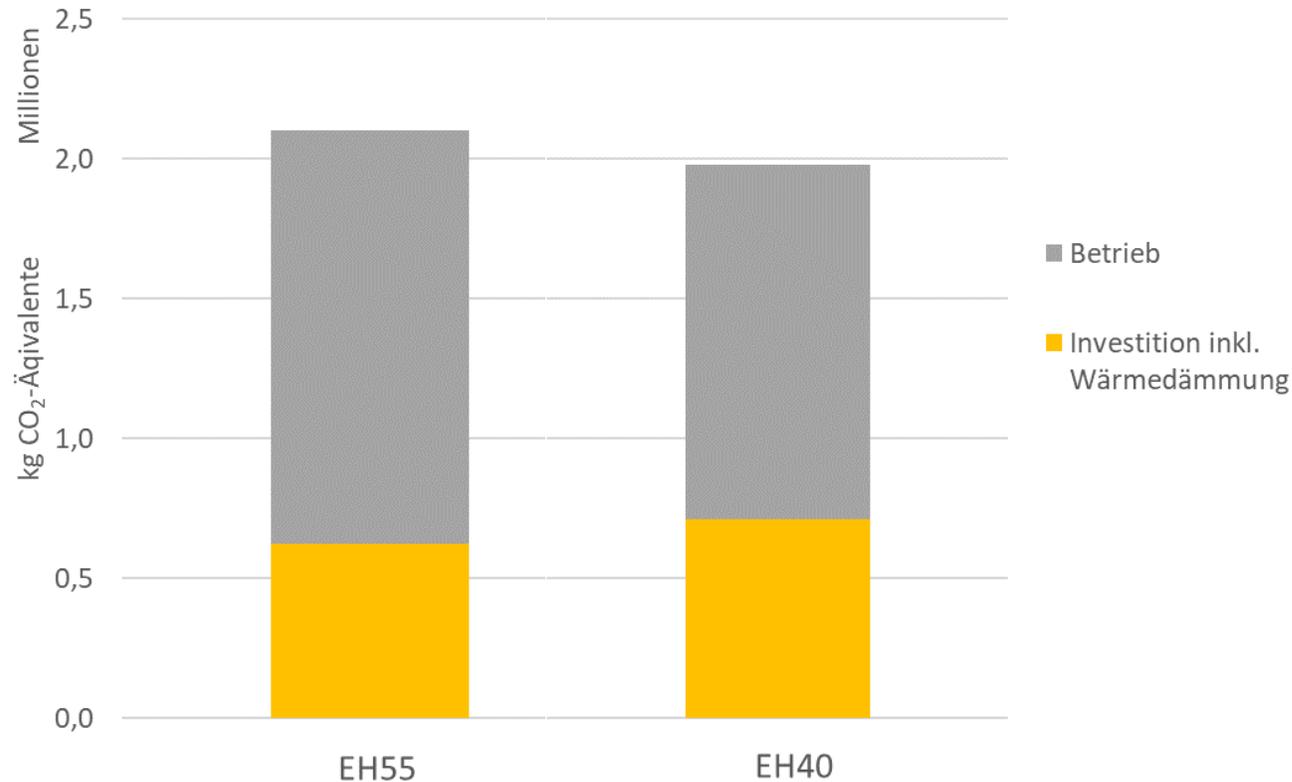
Vorgehen

- Ermittlung Kosten und Umweltwirkungen für Wärmeerzeugung für EH40 u. EH55
 - Energiesystemoptimierung mit zwei verschiedenen Lastprofilen für Raumwärme
- Ermittlung Mehraufwand Dämmung für EH40
 - in Bezug auf Massen an Material für Ökobilanz
 - in Bezug auf Kosten
- Skalierung Mehraufwand Dämmung
 - Annahme Lebensdauer Dämmung: 50 a
 - Modellergebnisse für Wärmeerzeugung: 20 a
- Skalierte Kosten und Umweltwirkungen zu Modellergebnissen für EH40 addieren

Gesamtkostenvergleich Wärmeerzeugung über 20 Jahre

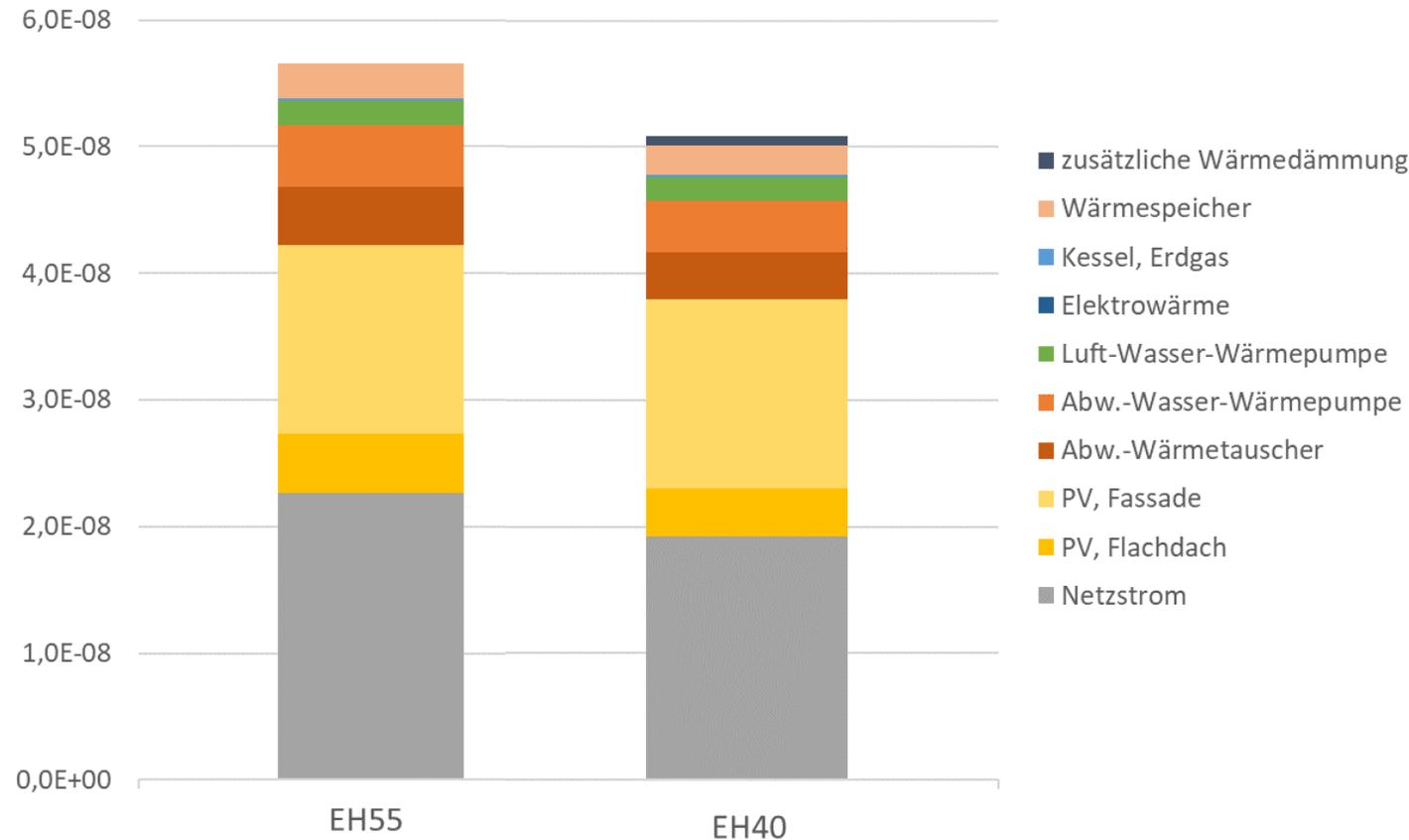


Treibhauspotenzial über 20 Jahre



- Mehremission durch Dämmmaterial kann durch geringere Betriebsemissionen kompensiert werden
- sowohl EH40 als auch EH55 senken in Kombination mit den gewählten Energietechnologien Klimawirkung wesentlich

Gesamtumweltwirkungen als Environmental Footprint



- Umweltentlastung bei EH40 deutlicher als bei Treibhauspotenzial
- Wärmedämmung hat nur geringen Beitrag
- Netzstrombezug und PV-Anlagen Treiber für Umweltwirkungen

Unsicherheiten

- Abschätzung des Energiebedarfs, der Kosten und Materialmengen sehr vereinfacht, aber eher konservativ
- Geringere Wohnfläche bei EH40 bleibt unberücksichtigt
Bezugsgröße Fläche würde Kostenunterschiede vergrößern

Schlussfolgerungen Unterschied EH40 vs. EH55

- Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus führt zu anderen Schlussfolgerungen als reine Investitionskostenbetrachtung
- 10 %iger Kostenunterschied liegt innerhalb der Fehlerspannbreite
- Mehrkosten Investition vs. Betrieb werden von unterschiedlichen Akteuren getragen
- Kosten, Klima- und Umweltwirkungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten: EH40 höher zu Beginn, EH55 kontinuierlich
- Wärmedämmung führt über den Lebenszyklus betrachtet nicht zu höheren Klima- und Umweltwirkungen

Fallstudie Wiernsheim

Rahmenbedingungen

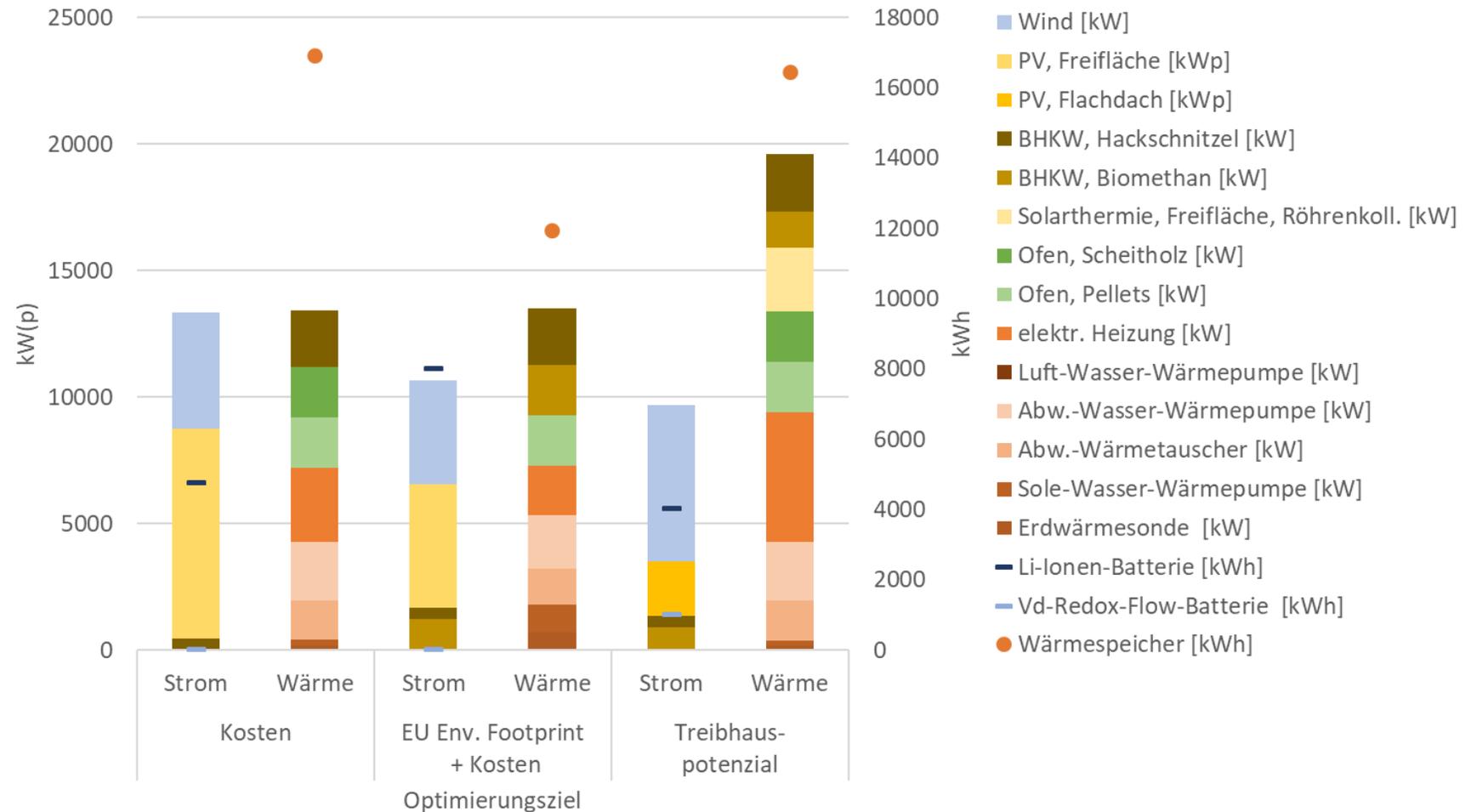
- Wiernsheim in Baden-Württemberg
- Zielgruppe: kommunale Entscheidungsträger
- Quartier hier: Teilort Wiernsheim ohne Gewerbegebiet, überwiegend Einfamilienhäuser, etwas GHD
- Derzeit: Strombedarf: 5.5 GWh/a, Wärmebedarf: 30 GWh/a
- Bestandsanlagen zur Wärmeerzeugung werde mit betrachtet
- Zeithorizont: 20 Jahre
- Vergleich der Ergebnisse von Kosten-, multi-kriterieller und Treibhauspotenzial-Optimierung



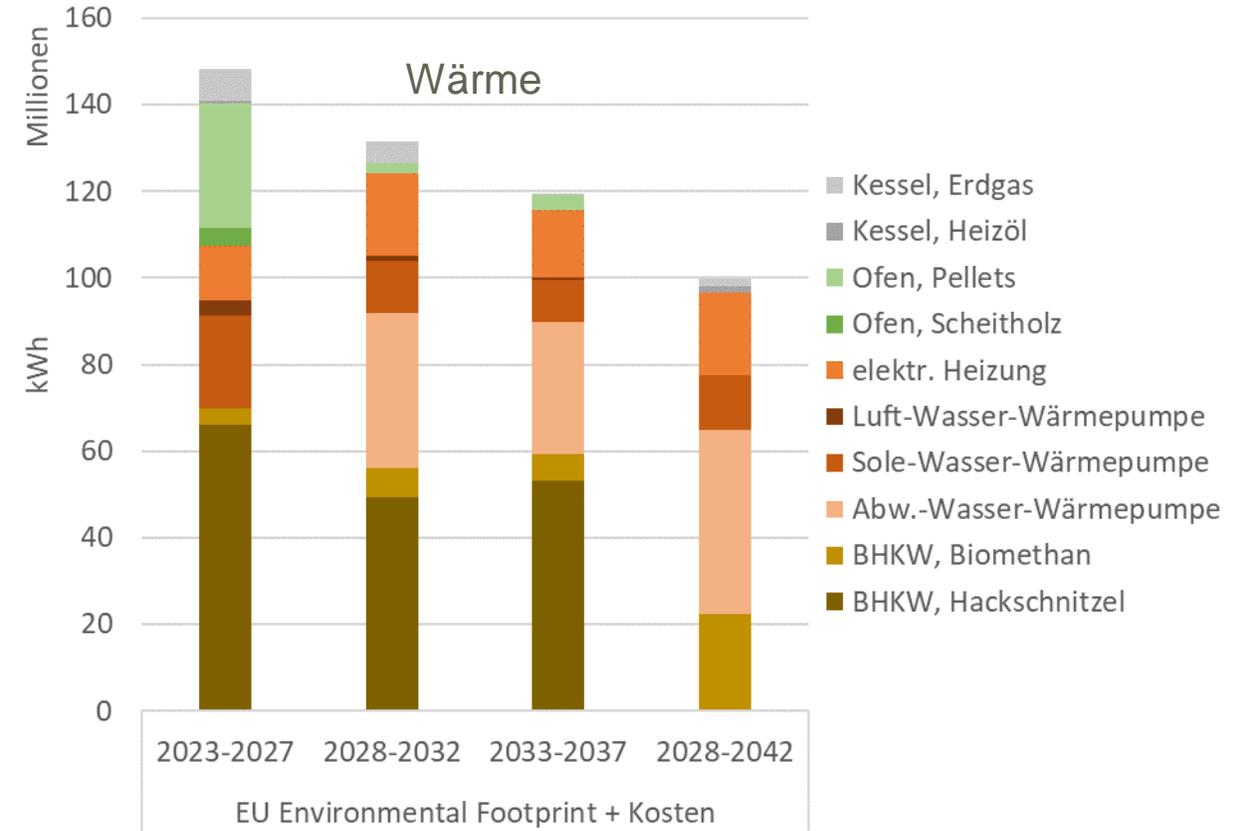
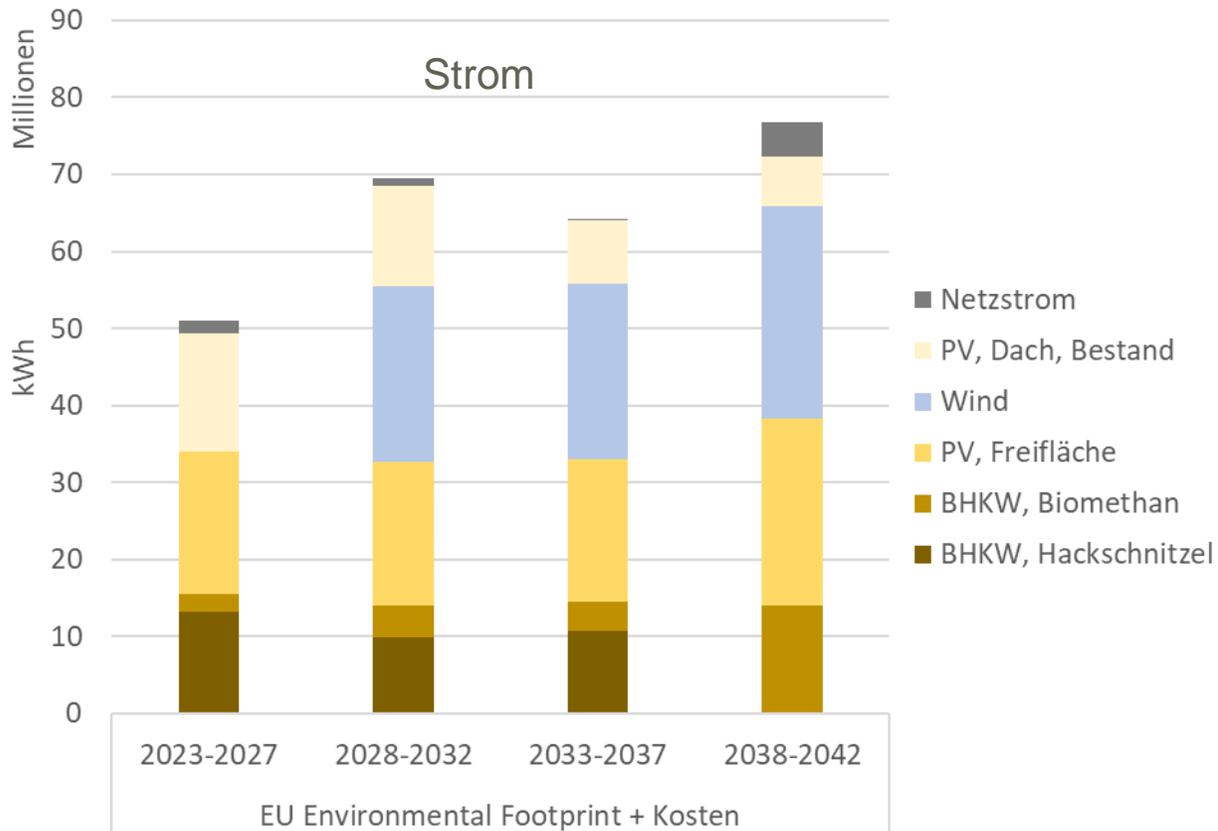
Quelle: <https://www.wiernsheim.de/wiernsheim/portrait/ortsteile/gemeindereform/>

Installierte Leistungen

- PV: nur Freifläche oder Flachdach, keine neuen Aufdachanlagen
- Durch BHKW kann Leistung der fluktuierenden Quellen geringer ausfallen



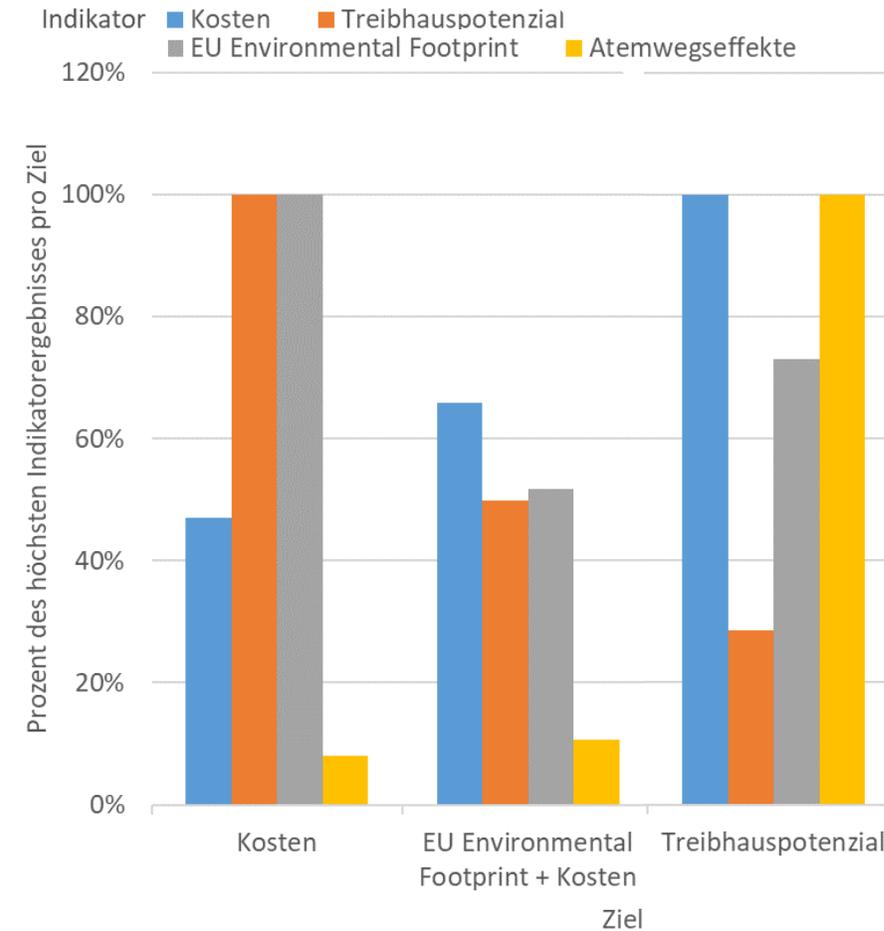
Erzeugte Strom- und Wärmemengen im Zeitverlauf – multi-kriterielle Optimierung



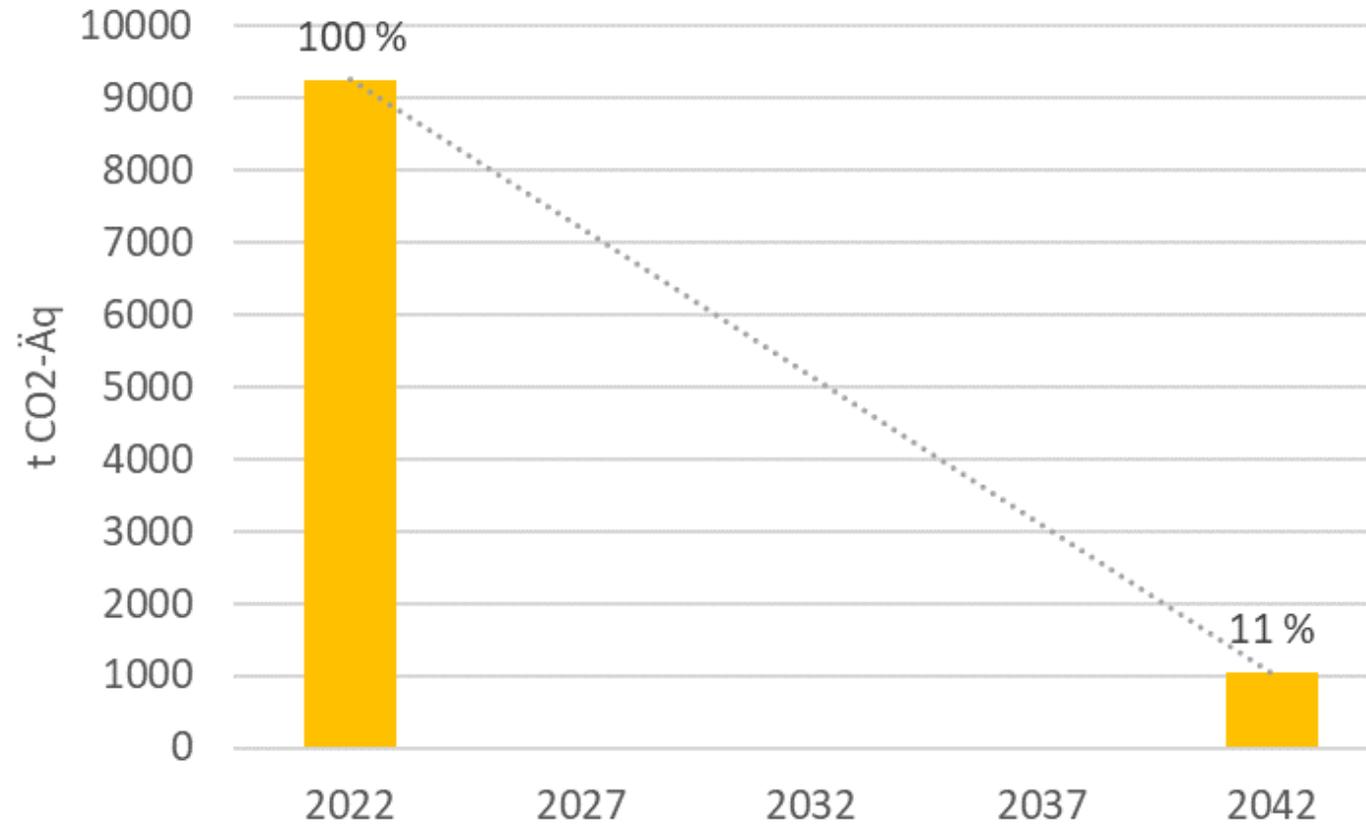
- Bestandsanlagen zur Wärmeerzeugung werden nur minimal weiter betrieben (obwohl nur Betriebskosten und –umweltwirkungen berücksichtigt werden)

Ausgewählte Indikatoren im Vergleich

- Minimale Treibhausgasemissionen:
 - Hohe Kosten (inkl. CO₂-Vermeidungskosten)
 - Atemwegseffekte am höchsten
 - Rel. hohe Gesamtumweltwirkungen (Env. Footprint)
- Einzelzieloptimierung führt zu Verlagerungen
- Kompromisslösung vorhanden



Minderung Treibhausgaspotenzial bei Kostenoptimierung



Schlussfolgerungen Wiernsheim

- Auch kostenoptimale Lösung hat Klimavorteile
- Trotz Investitionen ist Umstieg auf erneuerbare Energieträger auf lange Sicht aus Kosten- und Umweltsicht vorteilhafter als der Weiterbetrieb der Bestandsanlagen



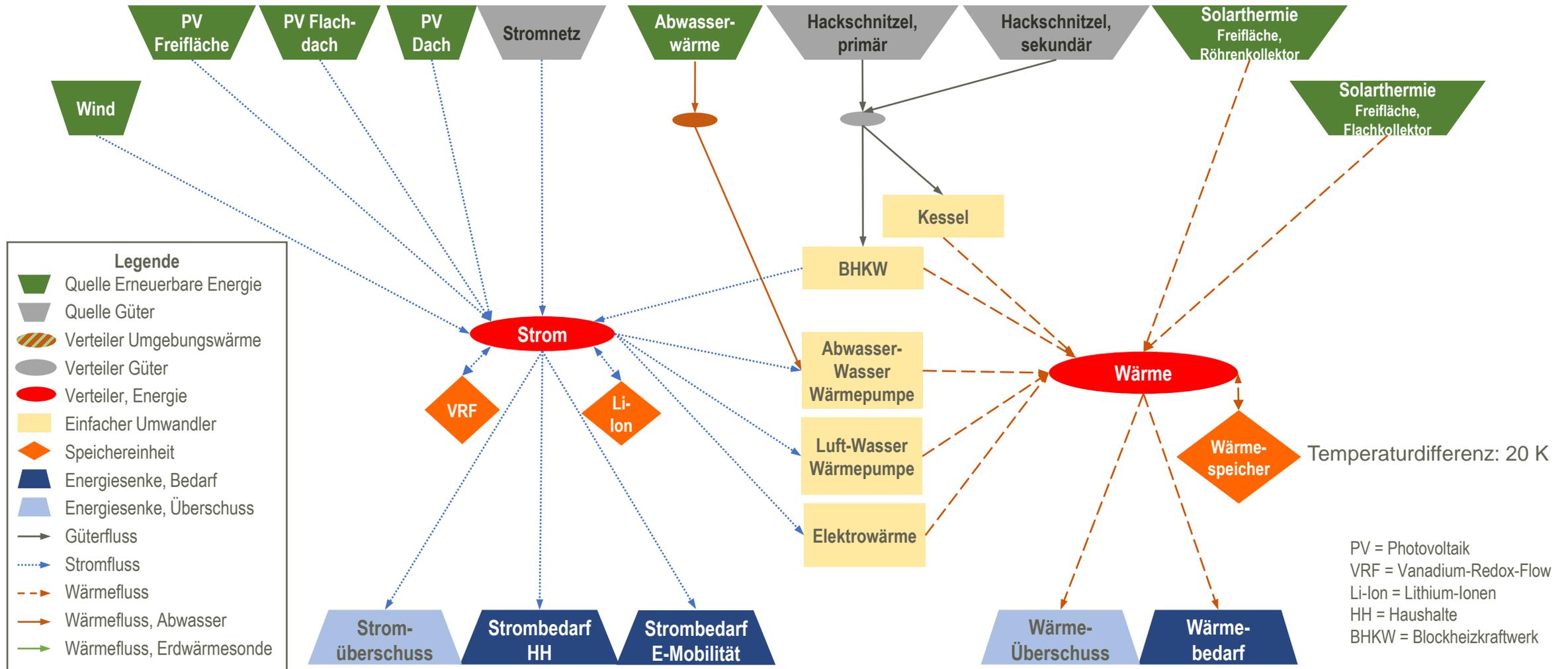
Fallstudie Gerstetten/Gussenstadt

Rahmenbedingungen

- Energiegenossenschaft will Wärmenetz erweitern, Potenzial für bestehende Biogasanlage ausgeschöpft
- Fragestellung: Welche Systemkonfiguration für die Energieerzeugung für die Erweiterung des Wärmenetzes in Gussenstadt (ca. 200 Haushalte) ist aus Kosten- und Umweltsicht am besten?
- Strombedarf wird mit betrachtet, um Auswirkungen auf Strombedarf durch Wärmeenerzeugung einbeziehen zu können (700 MWh/a + E-Mobilität)
- Wärmebedarf: 5000 MWh/a
- Zeithorizont der Energiesystemmodellierung: 20 Jahre (2023-2042)



Mögliche Energieträger und Energie-Technologien



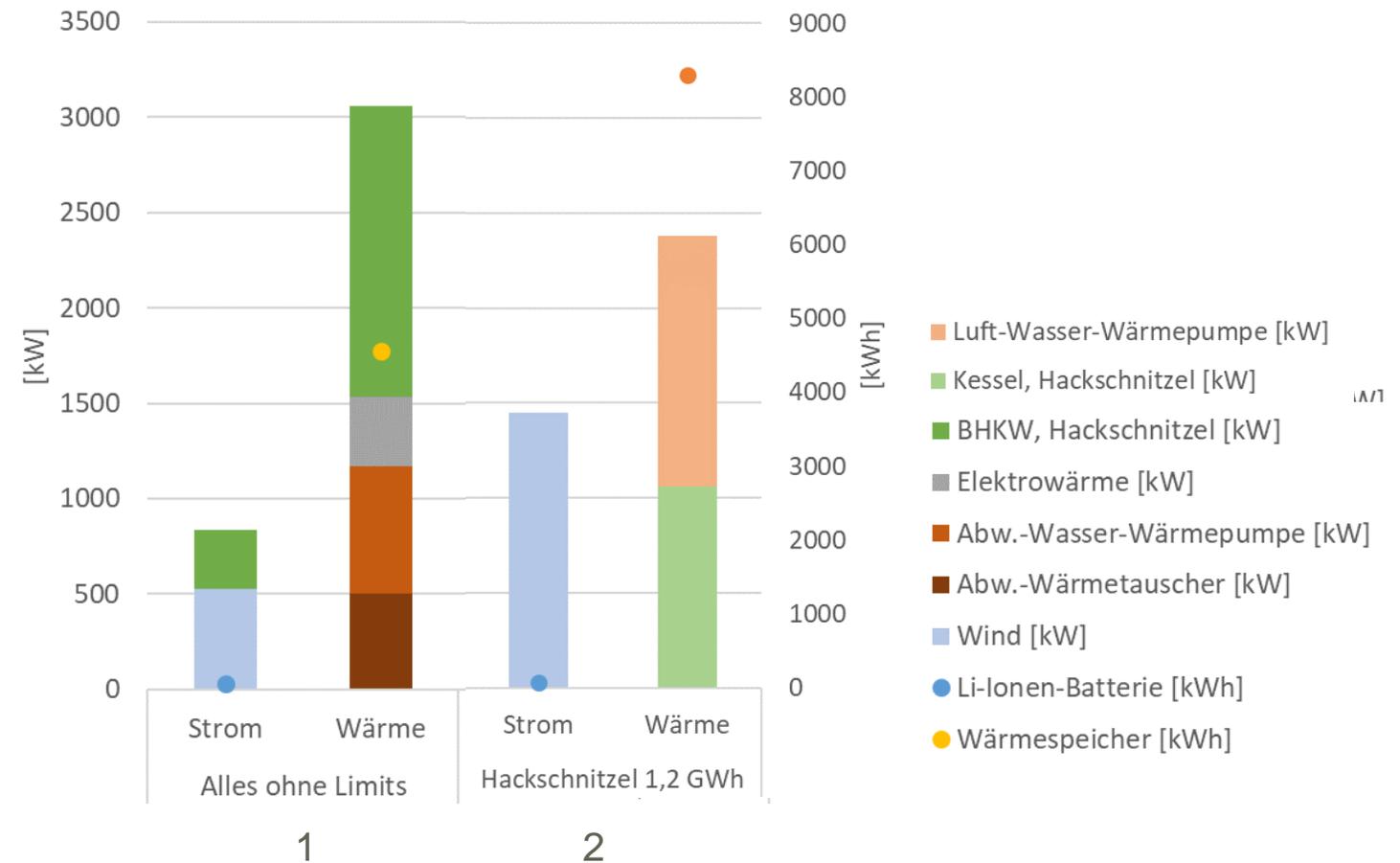
Szenarien für Systemkonfiguration

1. Alle Technologien ohne Limits
2. Wärme nur mit Luft-Wasser-Wärmepumpe und Hackschnitzel-Kessel, Hackschnitzelverfügbarkeit primär 1,2 GWh/a, sekundär 0,6 GWh/a
→ Planung der Energiegenossenschaft

→ multi-kriterielle Optimierung

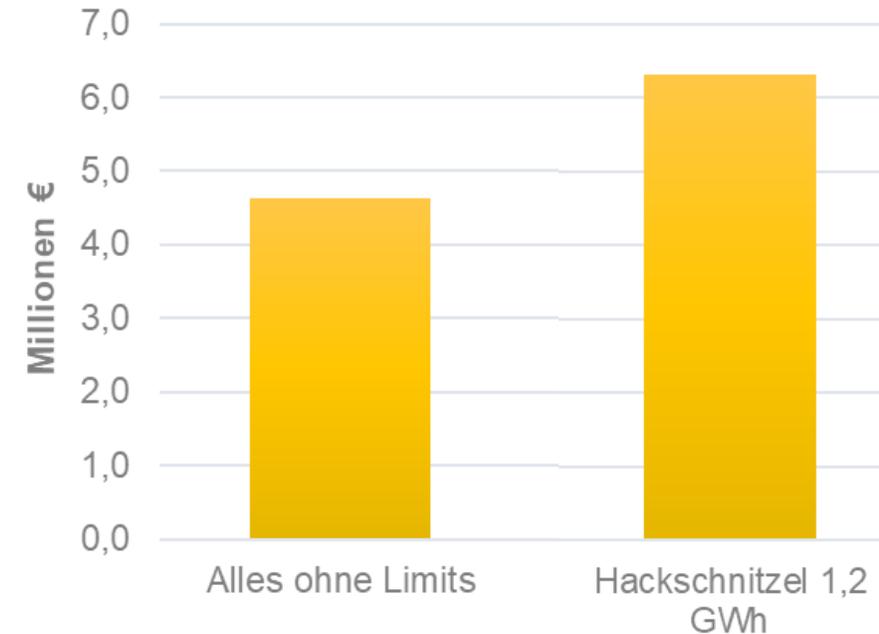
Neu installierte Leistungen bzw. Speicherkapazitäten bei multi-kriterieller Optimierung

- Keine Solarthermie
- Keine PV zusätzlich
- Luft- Wärmepumpe zieht mehr Wind nach sich



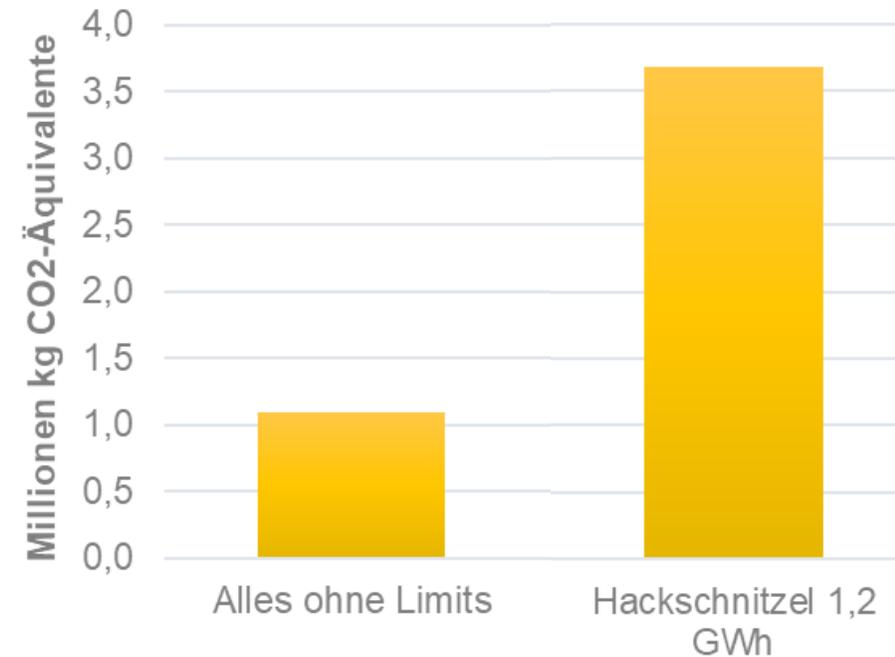
Gesamtkosten über 20 Jahre

- Einschränkung auf Luft-Wärmepumpe und Kessel verursacht Mehrkosten
- Grund: Windenergieausbau, aber Einspeiseerlöse nicht berücksichtigt

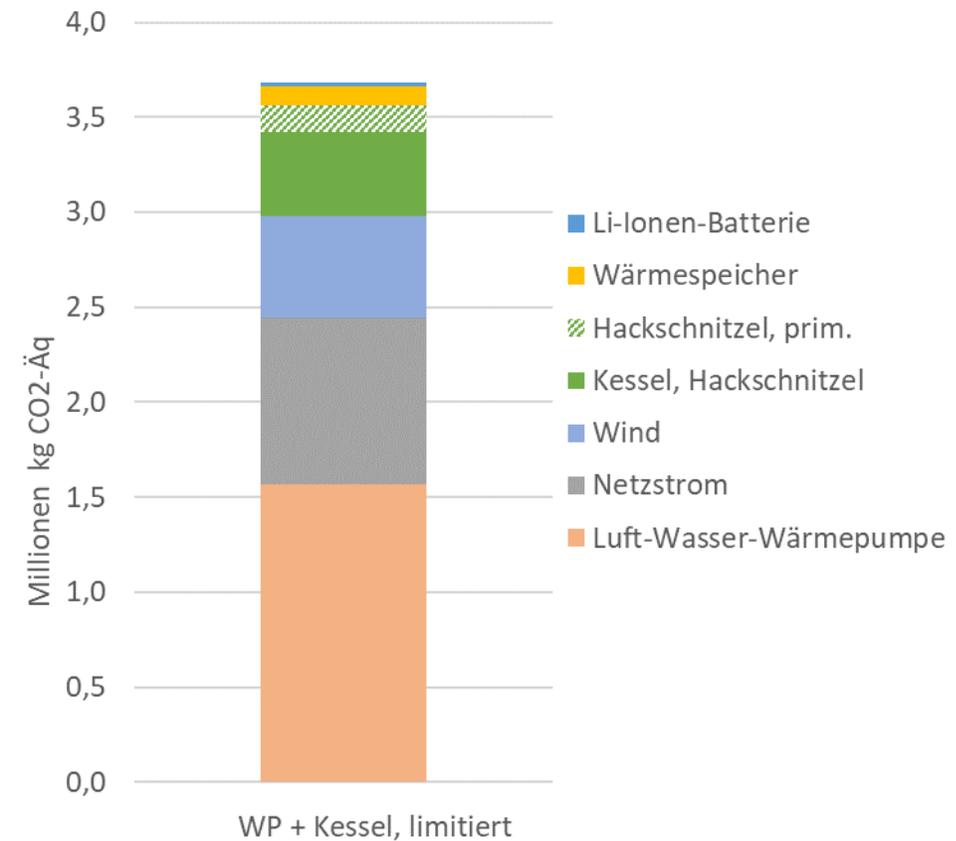
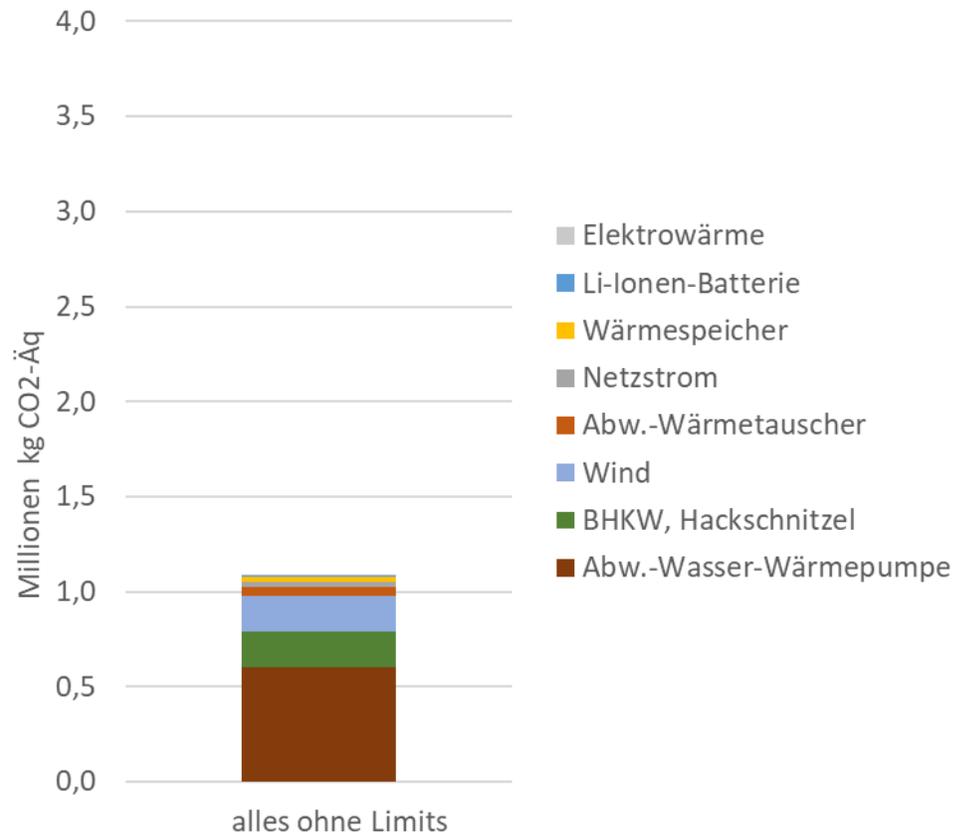


Treibhauspotenzial über 20 Jahre

- Signifikante Erhöhung (~ Faktor 2-3) bei Einschränkung auf Luft-Wärmepumpe und Kessel



Treibhauspotenzial über 20 Jahre



Schlussfolgerungen Gerstetten

- Entscheidung gegen Solarthermie (aus Kostengründen) wird vom Modell auch aus Umweltgründen bestätigt
- Vergleich der gewählten Lösung mit einer „optimalen“ Lösung zeigt zwar Verbesserungspotenzial, gewählte Lösung ist aber im Vergleich zu fossilen Einzelheizungen trotzdem viel besser



Agenda

- | | |
|-----------|--|
| 9:30 Uhr | Begrüßung, Vorstellung und Einführung |
| 9:45 Uhr | Vorstellung Methoden und Tool |
| 10:15 Uhr | Pause |
| 10:30 Uhr | Ergebnisse innerstädtisches Mehrfamilienhausquartier in Konstanz |
| 10:45 Uhr | Ergebnisse Einfamilienhausquartier in Wiernsheim |
| 11:00 Uhr | Ergebnisse Erweiterung Nahwärmenetz in Gerstetten |
| 11:15 Uhr | Pause |
| 11:30 Uhr | Übergeordnete Ergebnisse und Schlussfolgerungen |
| 12:00 Uhr | gemeinsame Abschlussdiskussion |
| 12:45 Uhr | Ausblick |
| 13:00 Uhr | Ende, optional gemeinsames Essen in der Mensa |

Übergeordnete Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Grenzen - I

- **Lineares Modell** vereinfacht viele Aspekte
 - Keine Berücksichtigung von **Kapazitätsstufen** (alternativ: MILP → verursacht längere Rechenzeiten)
 - Durch myopischen Ansatz keine vollständige Berücksichtigung von **langfristigen Veränderungen**, die bereits zu Beginn bekannt sind,
 - **Penny Switching Effect**
- Zeitreihen/Dynamische Parameter
 - Faktor für **abnehmender Wärmebedarf** durch Wärmedämmung: Änderung Lastprofil bleibt unberücksichtigt
 - **Technologische Fortschritte** in der Zukunft, die sich auch auf die Umweltwirkungen auswirken, bleiben unberücksichtigt
- **Komplexität des Strommarktes** bleibt unberücksichtigt, aber Gesamtkostenansatz aufgrund Fragestellung gerechtfertigt (Systemsicht und nicht Einzelsicht) und generell weniger relevant bei multi-kriterieller Optimierung als bei reiner Kostenoptimierung
 - **Gesamtsystemkosten** sind nicht die Summe der Kosten der einzelnen Akteure

Modell

Technik

Kosten

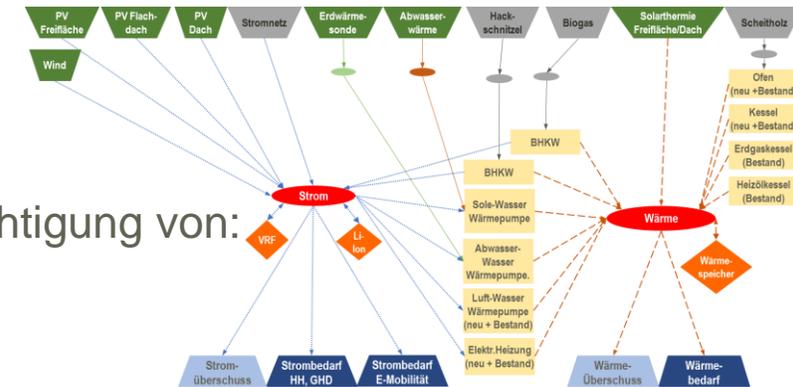
Grenzen - II

- Unsicherheiten bei **Normierung und Gewichtung** der Umweltindikatoren
- **Datenverfügbarkeit:**
 - berücksichtigte Technologien im Modell abhängig von Verfügbarkeit von entsprechenden Sachbilanzen
 - Abbildung der Technologien in Bezug auf Detailgrad und Aktualität
- **Netzstrom:**
 - Strommix zu gering aufgelöst: jährlich vs. stündlich

Umwelt-
wirkungen

Möglichkeiten - Modellierung

- Integration von **Änderungen auf Jahresbasis** ermöglicht Berücksichtigung von:
 - Steigendem Strombedarf (z.B. durch Zuwachs an Ladestationen)
 - Sinkendem Wärmebedarf (z.B. aufgrund von Effizienzmaßnahmen)
 - Verändertem Netzstrommix (Kosten und Umweltwirkungen)
 - Steigenden oder sinkenden Kosten für Energieträger oder Anlagen
 - Außerbetriebnahme von Bestandsanlagen
 - Markteinführung neuer Technologien
- Flächenrestriktionen** können berücksichtigt werden (z.B. Konkurrenz PV u. ST)
- Mit typischem meteorologischem Jahr **einheitliche Wetterdaten** für Bedarf und Erzeugung
- Berücksichtigung der **Sektorenkopplung**, Stromsektor auch wichtig auch für Wärme- und Verkehrswende
- Alle **wichtigen Technologien** für Strom- und Wärmewende berücksichtigt
- Aktuellere Ökobilanzdaten** als in ecoinvent für Photovoltaikanlagen, Windenergie, Batterien)
- Lösungen sind **in Minuten bis Stunden** generiert (ein Ziel für 20 Jahre ca. 15 Min.)



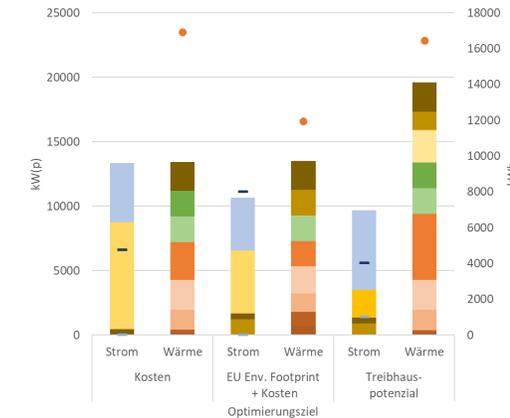
Inhaltliche Erkenntnisse - Systemebene

- Nutzung von Wärmepumpe zieht **Ausbau von Stromkapazitäten** nach sich
- Elektrowärme nur vorteilhaft, solange aus **Überschussstrom** gespeist
- Tendenziell wenig Netzstrombezug, d.h. Umweltwirkungen und Kosten durch **Eigenerzeugung sind günstiger**
- alleinige Fokussierung auf die Wärmeversorgung zeigt insgesamt Kostennachteile; **Planung sektorgekoppelter Systeme sinnvoll**
- Aus Gesamtsystemsicht: **Speicherung Strom für Wärmeerzeugung nicht sinnvoll**
- **Wärmespeicher** sind in jedem Fall sinnvoll

Inhaltliche Erkenntnisse - Technologieebene

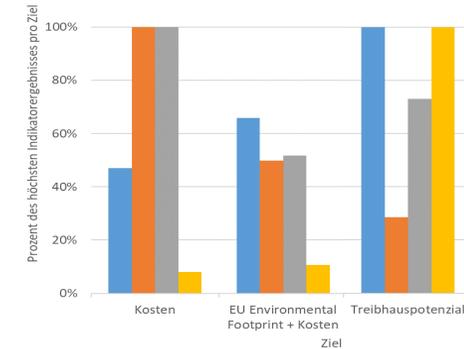
Ausgewählte generelle Aussagen für Kosten-, Treibhauspotenzial- und multi-kriterielle Optimierung über alle Fallbeispiele:

- auch aus Kostensicht ist die Investition in regenerative Anlagen und **Ersatz von Gas- und Ölheizungen** sinnvoll
- Modell bestätigt übergeordnete/bekannte Ergebnisse
 - BHKW besser als Kessel
 - PV: Freiflächen- oder Flachdachanlagen vorteilhafter als Aufdachanlagen
 - Abwasser-Wärmepumpe und Sole-Wärmepumpe besser als Luft-Wärmepumpe
 - Lithium-Ionen-Batterien zeigen Nachteile bei den Kosten, aber Vorteile bei Umwelt- und Klimazielen
 - Solarthermie in der gewählten Konfiguration meist unterlegen; nur bei Treibhauspotenzialminimierung leichte Vorteile



Inhaltliche Erkenntnisse – Vergleich Ziele

- Je nach Optimierungsziel fallen die **Systemkonfigurationen** und auch die Höhe der installierten Leistungen **sehr unterschiedlich** aus:
 - Systemkonfiguration bei Minimierung von Kosten deutlich anders als bei Minimierung von Treibhauspotenzial
- einzelne Technologien haben **Vorteile in einem, aber Nachteile in anderem Aspekt**
- Fokussierung auf Treibhausgase führt zu anderen Umweltproblemen und ist kostenintensiver, aber internalisiert die Kosten der Klimavorsorge/Vermeidungskosten
- Kostenoptimum zeigt Nachteile bei Klimaschutz, aber durch die Fokussierung auf erneuerbare Energien sind **auch kostenoptimale Lösungen relativ klimafreundlich**
- Minimierung Treibhauspotenzial bedeutet **nicht automatisch Treibhausgasneutralität**
- **einfachere Entscheidungsfindung** als auf Basis von Einzel-LCA auf Technologieebene, da integrierte optimierende LCA gleich beste Kombination liefert



Projektbezogene Ergebnisse - Fazit

- **Lastenverlagerungen bei Einzieloptimierungen** können quantifiziert werden
- Verschiedene Optimierungsziele **zeigen Bandbreite** möglicher Systemkonfigurationen einschließlich ihrer Auswirkungen
→ Grundlage für weitere Planungen
- Multi-kriterielle Optimierung zeigt **Kompromisslösung**, die eine Lastenverlagerung von einer Auswirkung zur anderen verringert
- LAEND **unterstützt** die multi-kriterielle **Entscheidungsfindung** für (z.B. kommunale) Entscheidungsträger
- Kriterien **Ökonomie und Ökologie** können gemeinsam unter Berücksichtigung der Nachfrage vom Modell berücksichtigt werden

Ausblick

- Im Sinne der Nachhaltigkeit sollten **mehr Indikatoren** wie Versorgungssicherheit, Beschäftigungseffekte, etc. berücksichtigt werden
- Weiterentwicklung des Tools in Hinblick auf
 - Detailliertere energetische **Gebäudesanierung**,
 - Modellierung weiterer **Technologien** - v.a. im Wärmebereich, weitere Wärme- u. Stromspeichertechnologien,
 - Umfassendere **Berücksichtigung des technologischen Fortschritts** über die Zeit sowohl kosten- als auch umweltseitig,
 - Echter **rollender Horizont**, um Änderungen über die Zeit besser berücksichtigen zu können
 - **Nutzerfreundlichkeit**

Diskussion

Themen

- Weiterentwicklung in welche Richtungen? Prioritäten?
- Weitere Fragestellungen, die mit Tool beantwortet werden könnten?
- Zielgruppe: Welche Aspekte für wen relevant?
- ...

Ankündigung

Ankündigung Online-Veranstaltung

- Schritt für Schritt zur mehrkriteriellen Energiesystemoptimierung für Quartiere mit dem Tool LAEND
GIH Webinar
am Mi, 27.3.2024 um 16:30 – 18:30 Uhr
Anmeldung über www.gih.de

Download Programmcode und Nutzerhandbuch

<https://github.com/inecmod/LAEND>

Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

heidi.hottenroth@hs-pforzheim.de

Projekt InPEQt - Integrierte kosten- und lebenszyklusbasierte Planung
dezentraler Energiesysteme für eine energie- und ressourcenschonende
Quartiersentwicklung

Literatur und Links

- Tietze, I.; Lazar, L.; Hottenroth, H.; Lewerenz, S. (2020) LAEND: A model for multi-objective investment optimisation of residential quarters considering costs and environmental impacts. *Energies*, Band 13, Heft 3, S. 614. doi: [10.3390/en13030614](https://doi.org/10.3390/en13030614)
- Nagel, J. (2019): Optimization of Energy Supply Systems. Modelling, Programming and Analysis. Springer
- Hilpert, S. et al. (2018) The Open Energy Modelling Framework (oemof) - A new approach to facilitate open science in energy system modelling. *Energy Strategy Reviews*, 22, 16-25.
- <https://www.hs-pforzheim.de/forschung/institute/inec/sonstiges/laend>
- Dokumentation und Programmcode LAEND <https://github.com/inecmod/LAEND>

Fabrik icon by Icons8

Gas Förderturm icon by Icons8

Windrad icon by Icons8

Motorölstand icon by Icons8

Recycling icon by Icons8