

17.10.2023
Heidi Hottenroth
Prof. Dr. Ingela Tietze
Wiernsheim

Vorstellung Ergebnisse Forschungsprojekt InPEQt der Hochschule Pforzheim

Moderation



E: mayer@pforzheim.ihk.de
T: 07231 201-181

- Luis Mayer
- Alumni HS Pforzheim
- Ressourceneffizienz-Management
- **KEFF+** Regionale Kompetenzstelle Ressourceneffizienz Nordschwarzwald
- Material- und Energieeffizienz, kostenfrei für Unternehmen
- keffplus-bw.de



Agenda

- Vorstellung INEC und Projekt
- Problemstellung, Ziele und Methoden Forschungsprojekt
- Fallstudie Wiernsheim
 - Parameter und Annahmen
 - Ergebnisse
 - Schlussfolgerungen und Empfehlungen
- Diskussion

Vorstellung
Institut für Industrial Ecology (INEC)
und Projekt InPEQt

Vorstellung Institut für Industrial Ecology

- Institut an der Hochschule Pforzheim, Business School
- Angewandte Forschung zu **Industrial Ecology, Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz**
 - Leitung: Prof. Dr. Mario Schmidt
 - Interdisziplinäres Team:
7 Professor*innen, 17 wissenschaftliche Mitarbeiter*innen
- **Forschung**
 - Drittmittel-finanzierte Projekte (EU, BMBF, BMUV, Land Baden-Württemberg,...)
 - Publikation in Fachzeitschriften
 - Mitarbeit in Normungs-Gremien (DIN, ISO)
- **Lehre**
 - BWL-Studiengang: Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz (B. Sc.)
 - Master: Life Cycle & Sustainability (M. Sc.)
 - Promotionskolleg

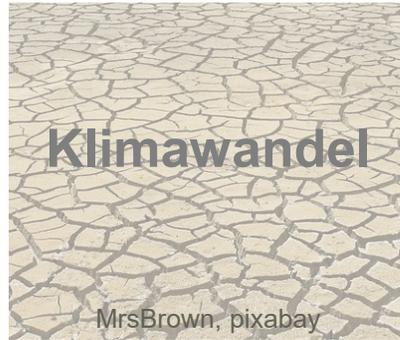


Forschungsprojekt InPEQt

- Integrierte kosten- und lebenszyklusbasierte Planung dezentraler Energiesysteme für eine energie- und ressourcenschonende Quartiersentwicklung
- Laufzeit: 1.1.2021 bis 31.3.2024
- Fördermittelgeber: Deutsche Bundesstiftung Umwelt
- Projektleitung: Prof. Dr. Ingela Tietze, Prof. Dr. Tobias Viere
- 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

Problemstellung und Ziele

Problemstellung



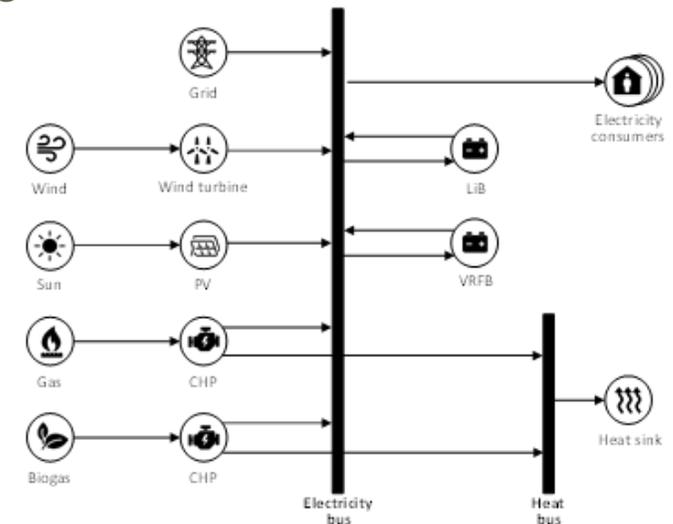
- Neben anderen Bereichen muss auch Energieversorgung Beitrag leisten, diese Probleme zu überwinden
- Kommunen müssen entsprechenden Rahmen setzen
- Gebäudeeigentümer und Energieversorger müssen entsprechende Investitionen tätigen

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

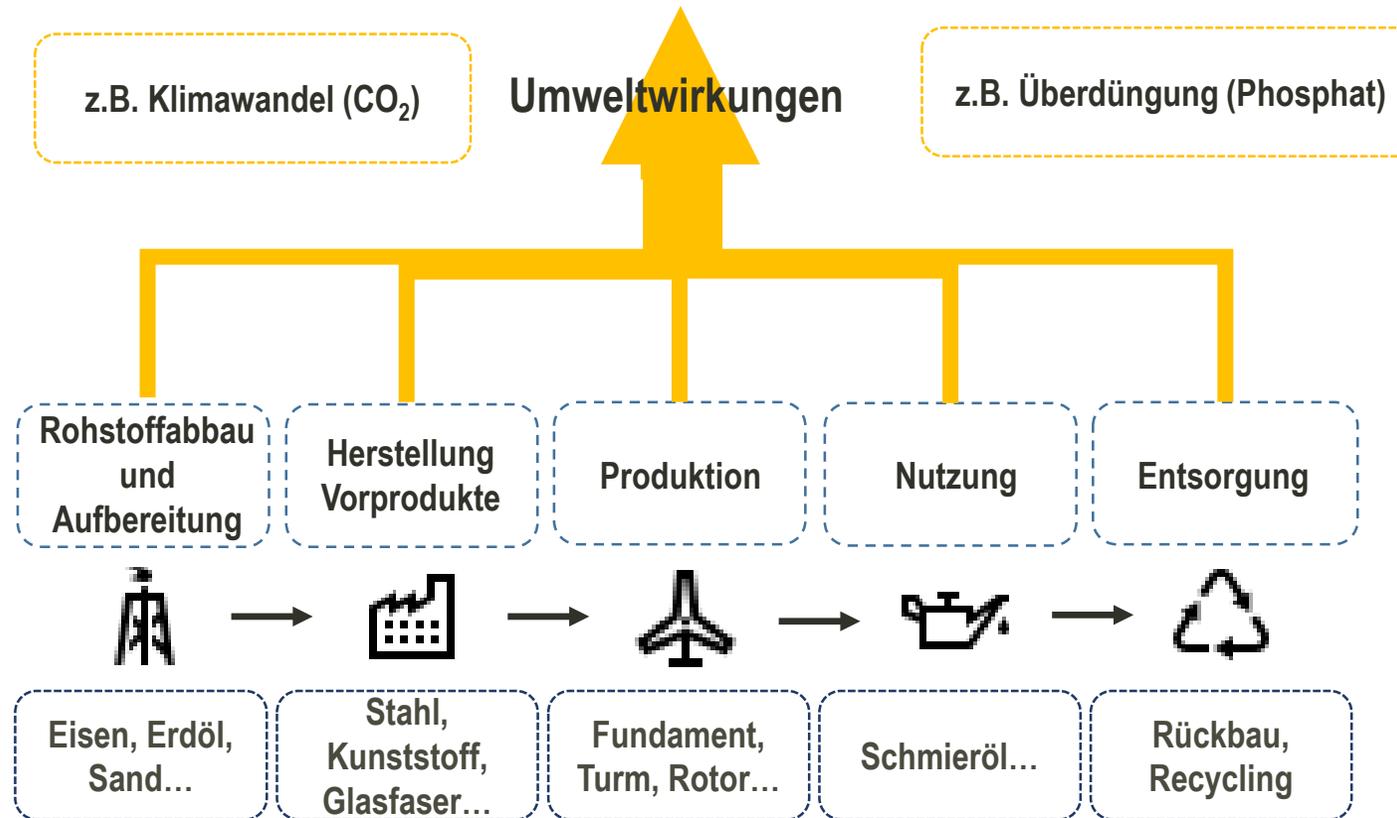
Ziel Energiesystemmodellierung

- Planung eines Energiesystems mit minimalen Kosten
- Einsatzplanung von Anlagen: Wann wird welche Anlage wie genutzt?
- Investitionsplanung: In welche zusätzlichen Anlagen soll investiert werden?
- Deckung einer vorgegebenen Strom- und/oder Wärmenachfrage in zeitlicher Auflösung
- Berücksichtigung von
 - Technischen Parametern: z.B. Wirkungsgraden
 - Zeitlich variierenden Parametern:
 - z.B. geringere Stromnachfrage in der Nacht
 - z.B. Sonneneinstrahlung, Windgeschwindigkeit
 - CO₂-Emissionen beim Betrieb von Anlagen
- Methode: mathematisches Optimierungsmodell



Ziel Ökobilanzierung

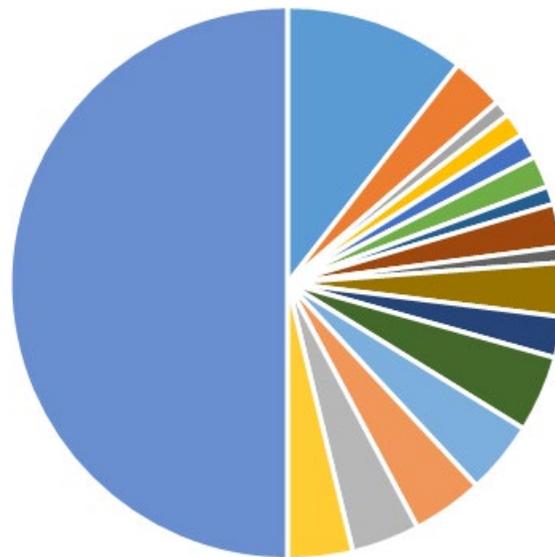
- Umweltwirkungen über den gesamten Lebenszyklus eines Produktes ermitteln



Zusammenfassung von Einzelindikatoren

- Methode: gewichtete Summe (Normierung + Gewichtung)

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

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

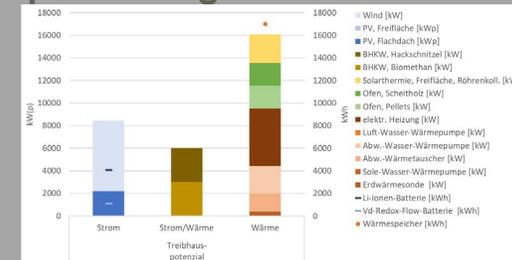
- **Kosten und/oder Umweltwirkungen** mit langfristigem Horizont

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

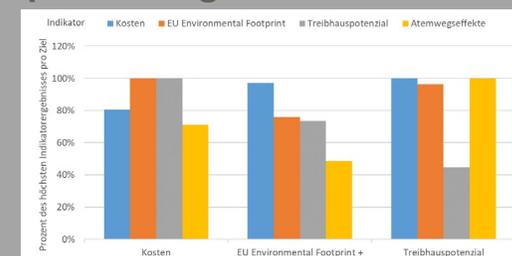
Systemgrenze: Quartier

Ergebnisse

Investitions- und Einsatzplanung der Technologien je Optimierungsziel



Kosten u. Umweltwirkungen je Optimierungsziel



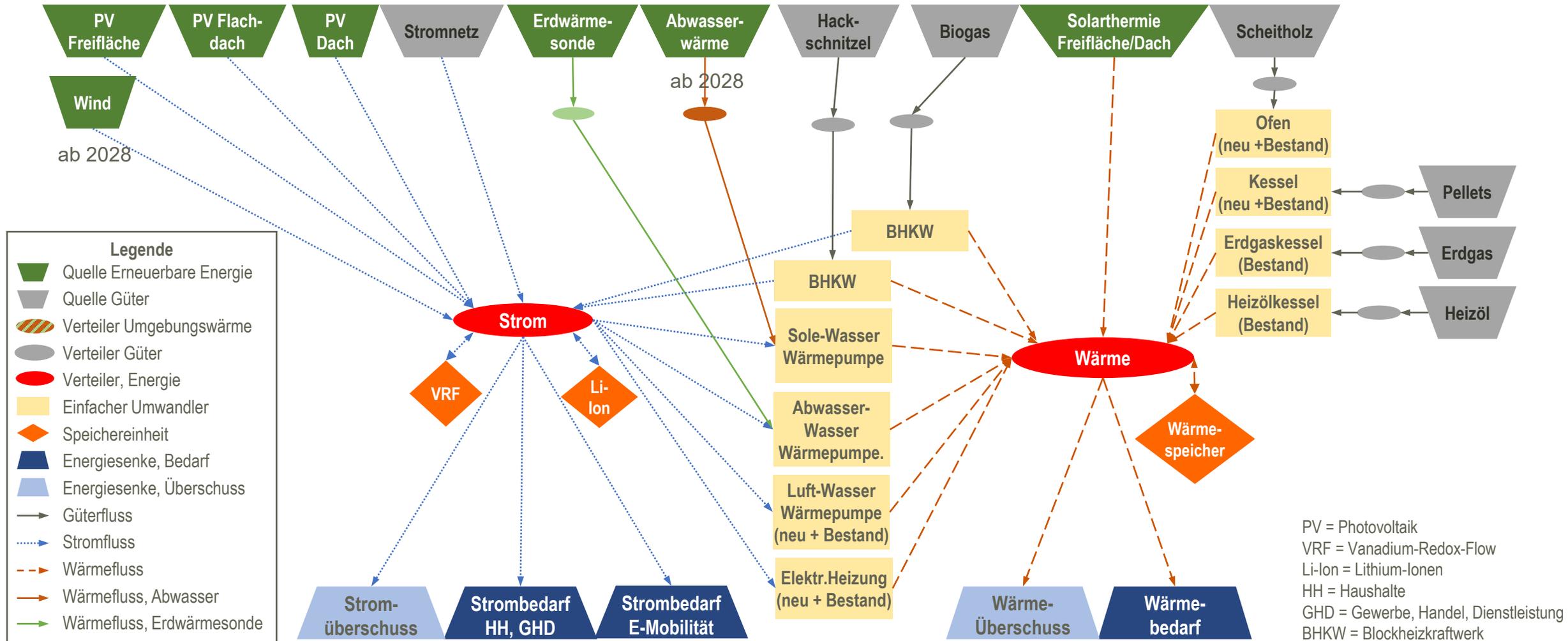
Fallstudie Wiernsheim – Eingangsparameter und Annahmen

Rahmenbedingungen

- Gemeinde Wiernsheim, davon nur Hauptort ohne Industriegebiet
- Zeithorizont der Energiesystemmodellierung:
20 Jahre (2023-2042)



Mögliche Energieträger und Energie-Technologien



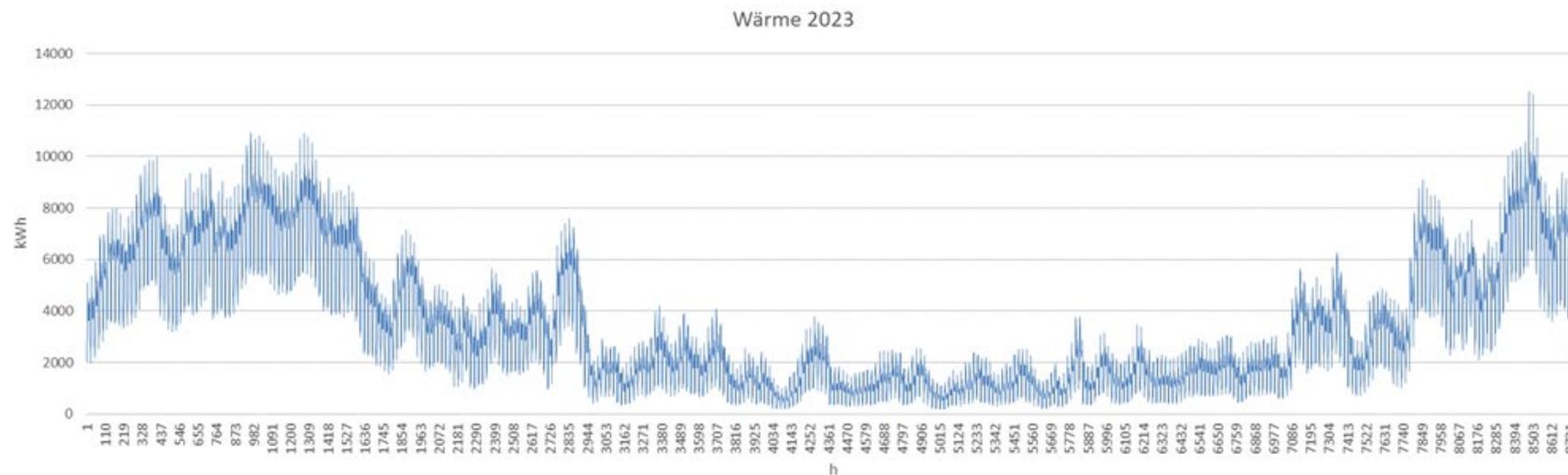
gefördert durch

Strombedarf

- Strombedarf (Daten von NetzeBW von 2020)
 - Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistung: ca. 5,4 GWh/a
 - Elektromobilität: Anzahl Ladepunkte insg. (Annahme)
 - 2023-2027: 50 → 56,5 MWh/a
 - 2028-2032: 200 → 226 MWh/a
 - 2033-2037: 500 → 565 MWh/a
 - 2038-2042: 1000 → 1130 MWh/a

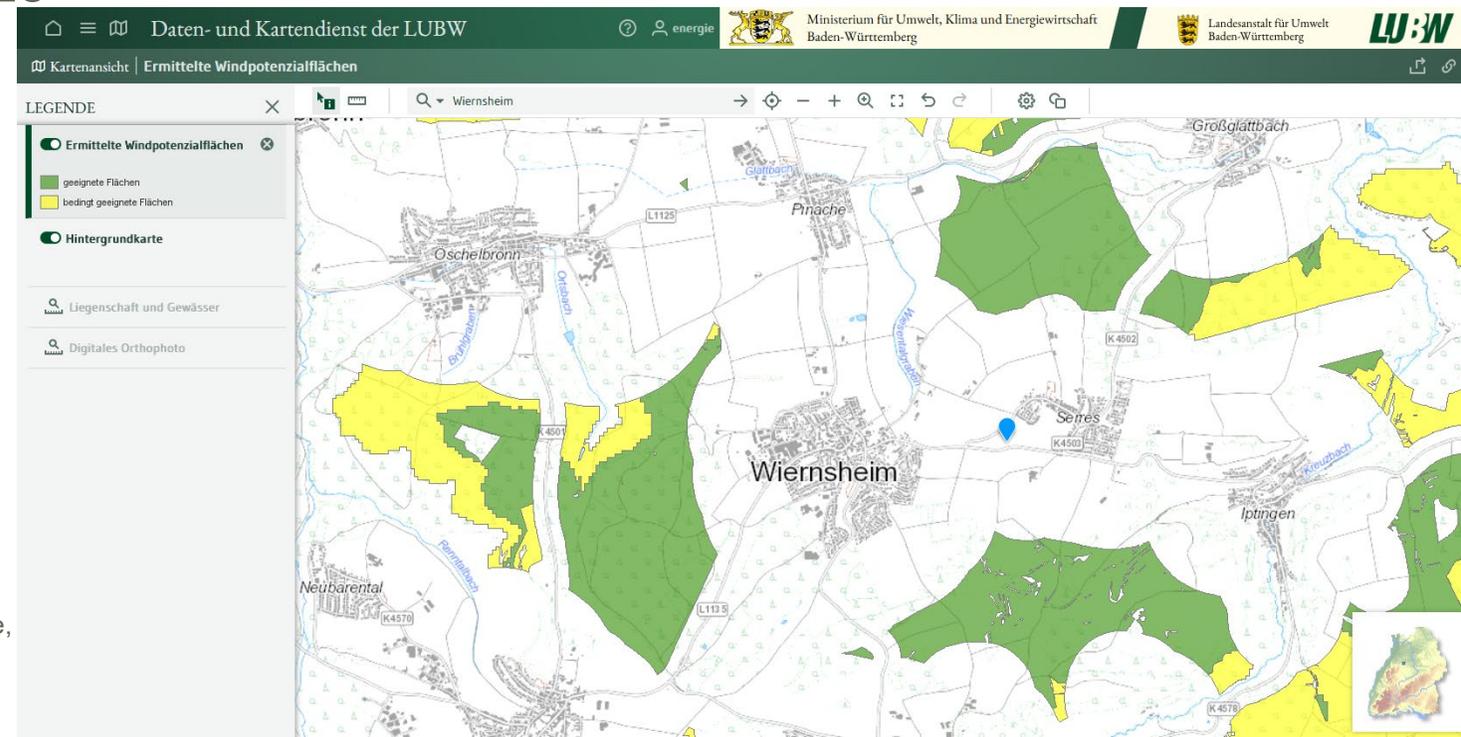
Wärmebedarf

- Ca. 30 GWh/a
 - Quellen: Energie- und CO₂-Bilanz Wiernsheim 2007 + aktuelle Daten; Online-Tool hotmaps
- Wärmebedarf sinkt linear bis 2038 um 1/3



Potenzial Wind und Photovoltaik

- Quelle: Energieatlas Baden-Württemberg
- Wind
 - Potenzial (ganze Gemeinde Wiernsheim) 16 Anlagen in geeigneten Flächen, 8 Anlagen in bedingt geeigneten Flächen
→ 77 MW
 - Annahme: verfügbar ab 2028
- Photovoltaik
 - Freifläche: 177 MWp
 - Schrägdach: 24 MWp
 - Flachdach: 7,1 MWp



Bestand

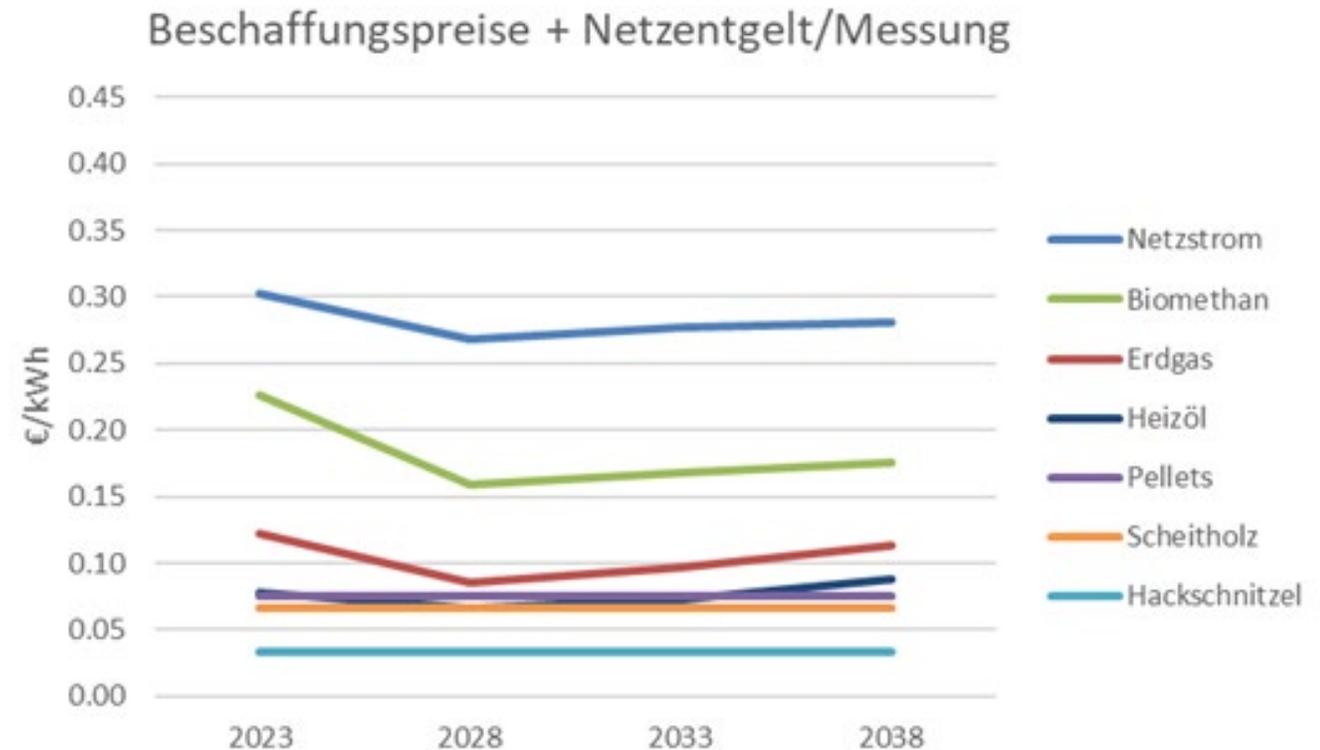
- Wärmerezeuger
 - Energie- und CO₂-Bilanz Wiernsheim 2007 + aktuelle Daten:

kW _{th}	Öl	Strom	Einzelöfen	Gas	Wärmepumpe
2007	5361	2227	1726	1228	359
2007-2012	580	23	4	271	80
2012	0	2	0	0	123

- Photovoltaik
 - lt. Marktstammdatenregister insg. ca. 3,3 MWp (Stand: 01/2023)

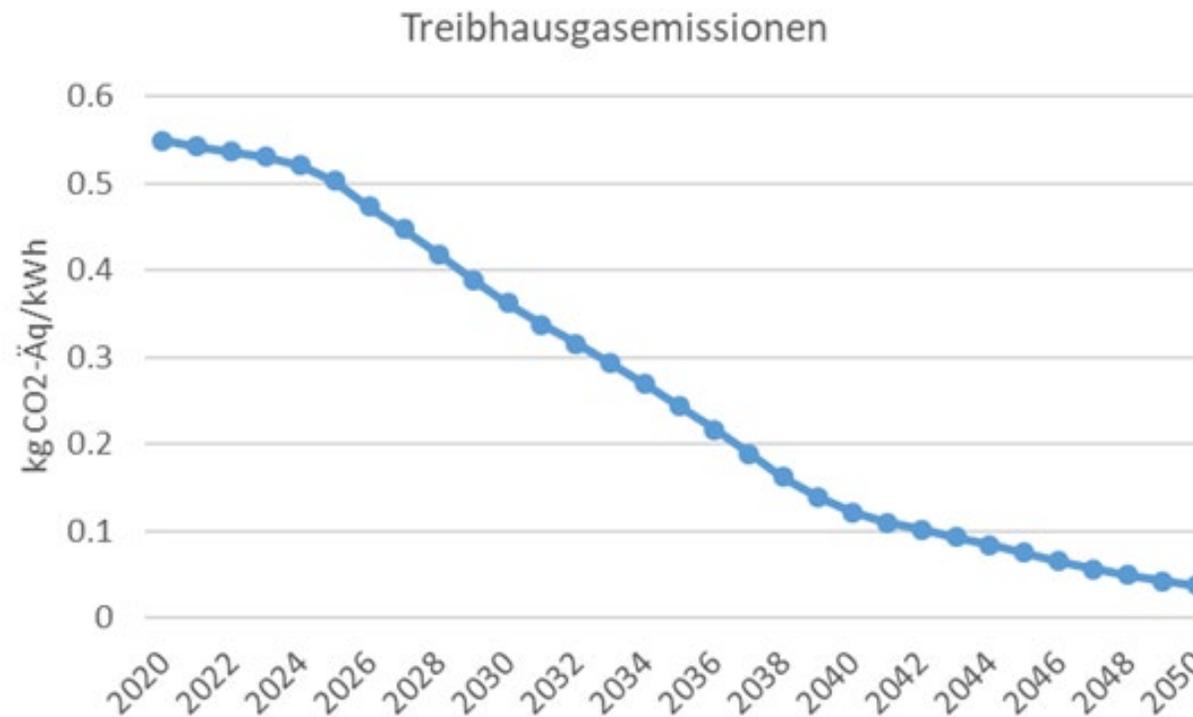
Kosten

- Berücksichtigt werden Investitionen, Fixkosten, variable Kosten
- Einspeisevergütungen sind nicht berücksichtigt
- Variable Kosten für eingekaufte Energieträger umfassen nur Beschaffungspreis und ggf. Netzentgelt/Messung
 - Zeitliche Änderung



Umweltwirkungen Netzstrom

- Änderung im Zeitverlauf, um Transformation des Stromsektors zu berücksichtigen (basierend auf Literatur)



Abfrage: In welche Technologien sollte Ihrer Meinung nach in Wiernsheim investiert werden?

Stromerzeugung	Kraft-Wärmekopplung	Wärmeerzeugung
Freiflächen-Photovoltaik	Biogas-Blockheizkraftwerk + Wärmenetz	Freiflächen-Solarthermie
Aufdach-Photovoltaik		Aufdach-Solarthermie
Flachdach-Photovoltaik	Holzhackschnitzel- Blockheizkraftwerk + Wärmenetz	Scheitholz-Öfen
Windenergieanlagen		Pellet-Öfen
Batterien		Luft-Wärmepumpen
		Abwasserwärmetauscher + Wärmepumpe
		Erdwärmesonden + Wärmepumpe
		Wärmespeicher

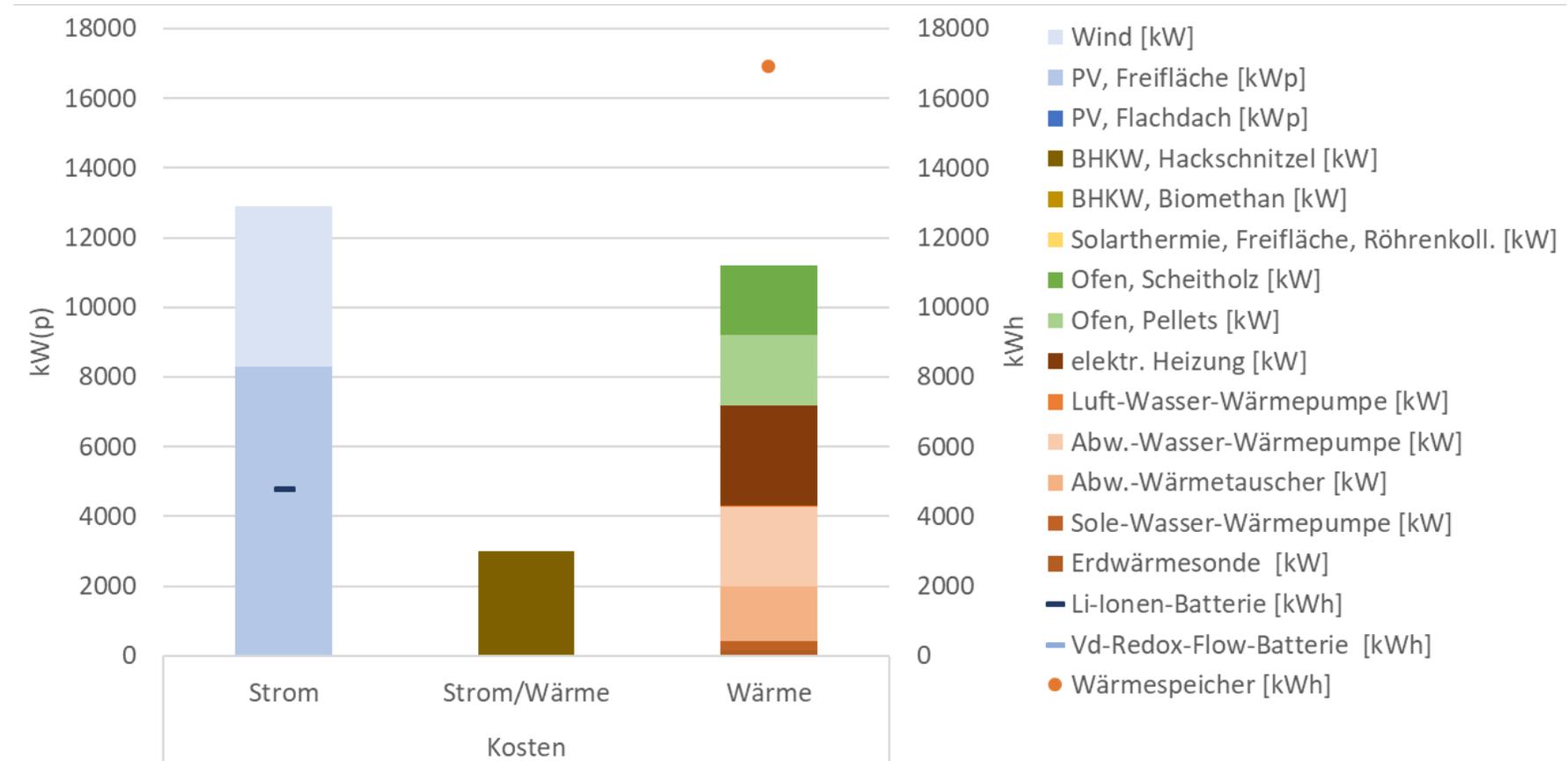
Ergebnisse Fallstudie Wiernsheim

Erläuterungen

- Es werden Ergebnisse für drei Szenarien vorgestellt:
 - Minimierung der Kosten
 - Minimierung des Treibhauspotenzials
 - Multikriterielle Minimierung von Gesamtumweltwirkungen (EF) und Kosten
- Ergebnisse in Form von:
 - Neu installierten Leistungen pro Technologie
 - Erzeugte(r) Wärme und Strom nach Technologie
 - Indikatoren pro Szenario

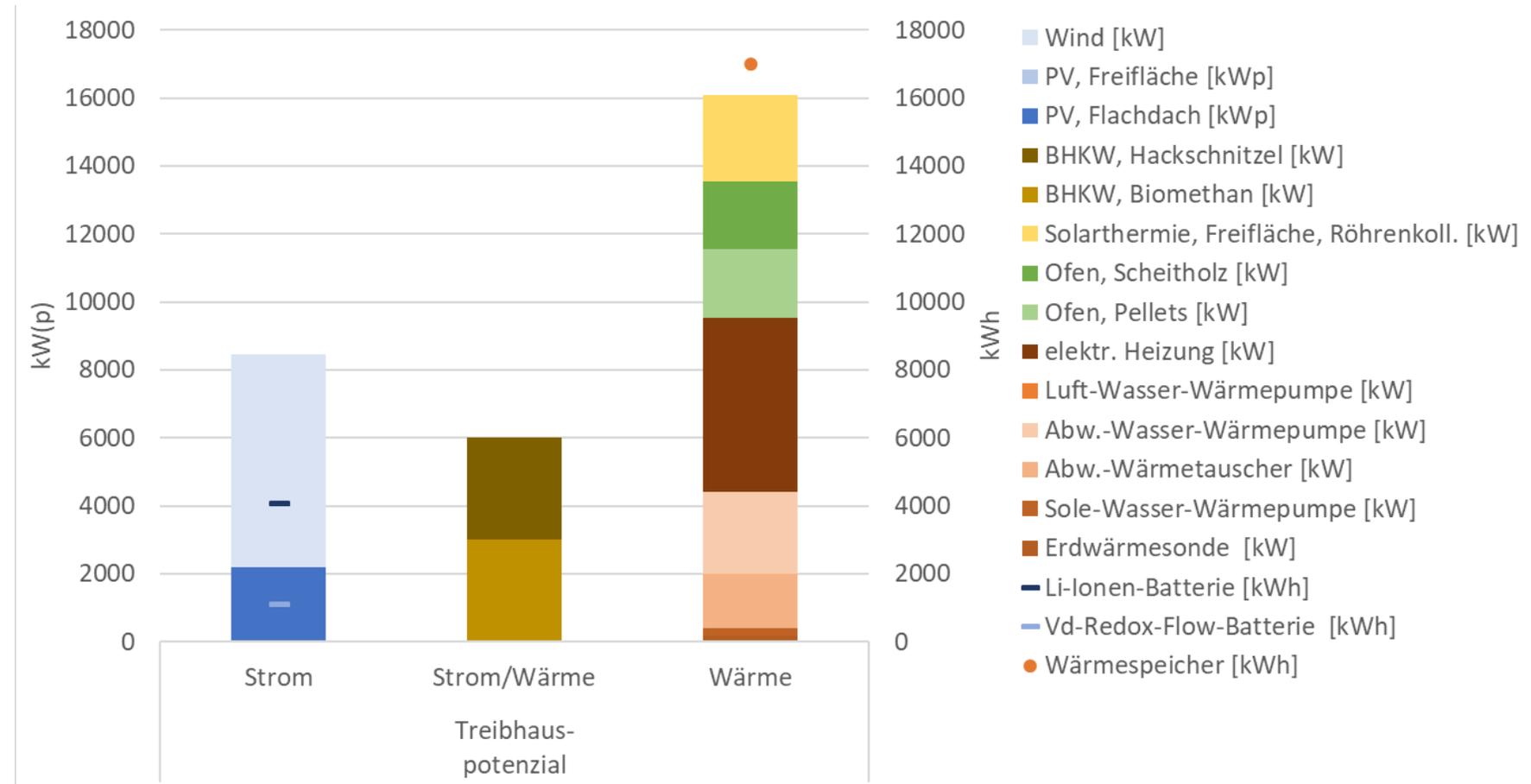
Neu installierte Leistungen bei Kostenoptimierung

- Wind
- PV, Freifläche
- Hackschnitzel-BHKW
- Abwasserwärmetauscher + Wärmepumpe
- Holz-Öfen
- Elektr. Heizung
- Li-Ionen-Batterie
- Wärmespeicher



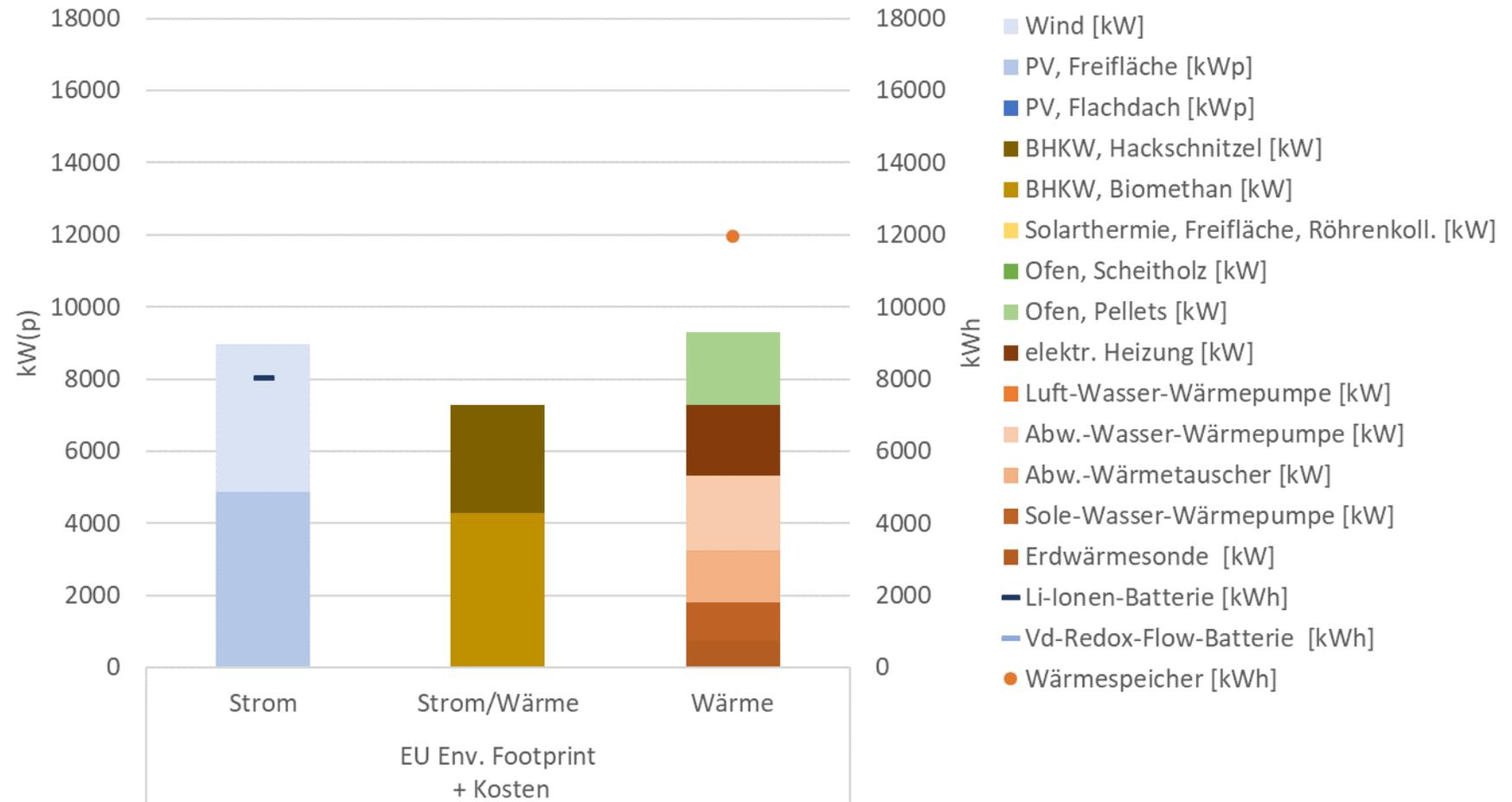
Neu installierte Leistungen bei Treibhauspotenzialoptimierung

- Wind
- PV, Flachdach
- Hackschnitzel-/Biomethan-BHKW
- Abwasserwärmetauscher + Wärmepumpe
- Holz-Öfen
- Elektr. Heizung
- Freiflächen-Solarthermie
- Batterien
- Wärmespeicher



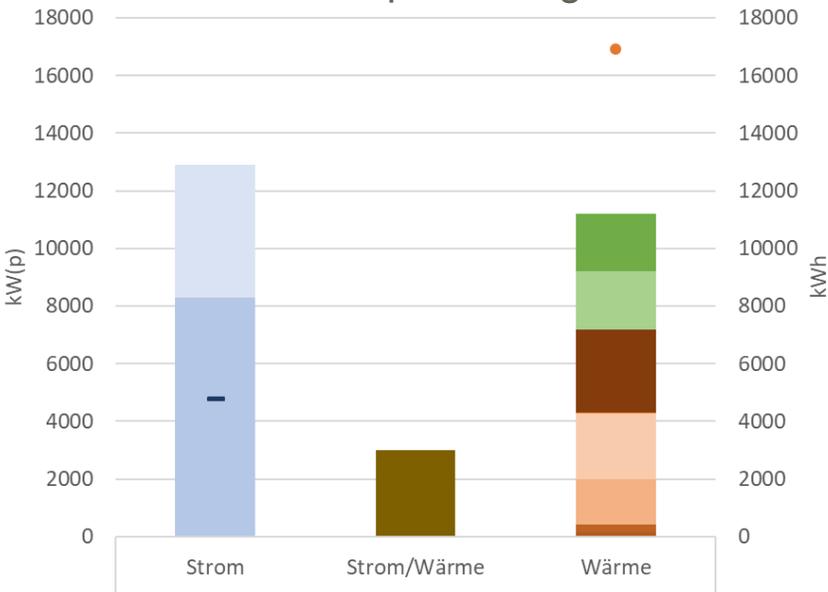
Neu installierte Leistungen bei multikriterieller Optimierung

- Wind
- PV, Freifläche
- Hackschnitzel-/Biomethan-BHKW
- Erdwärmesonde/Abwasserwärmetauscher + Wärmepumpe
- Pellet-Öfen
- (Elektr. Heizung)
- Li-Ionen-Batterie
- Wärmespeicher

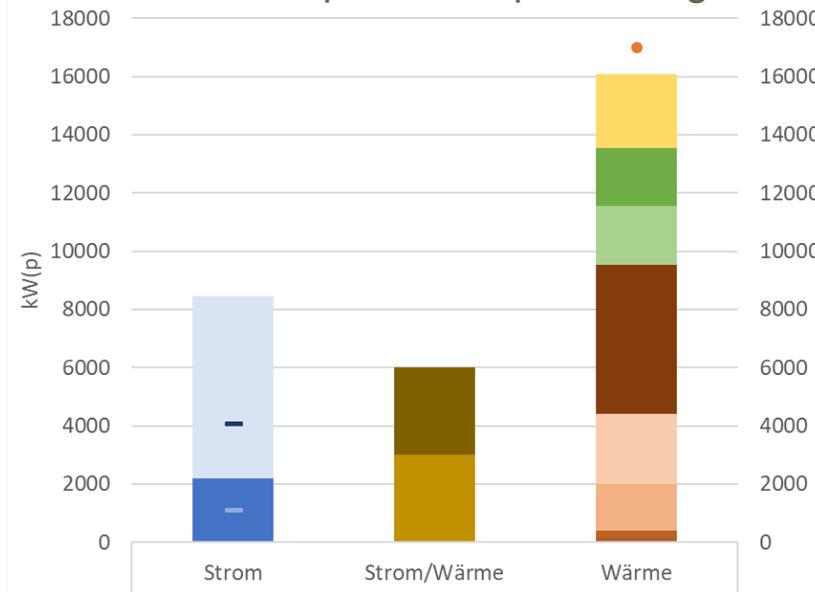


Neu installierte Leistungen je Optimierungsziel

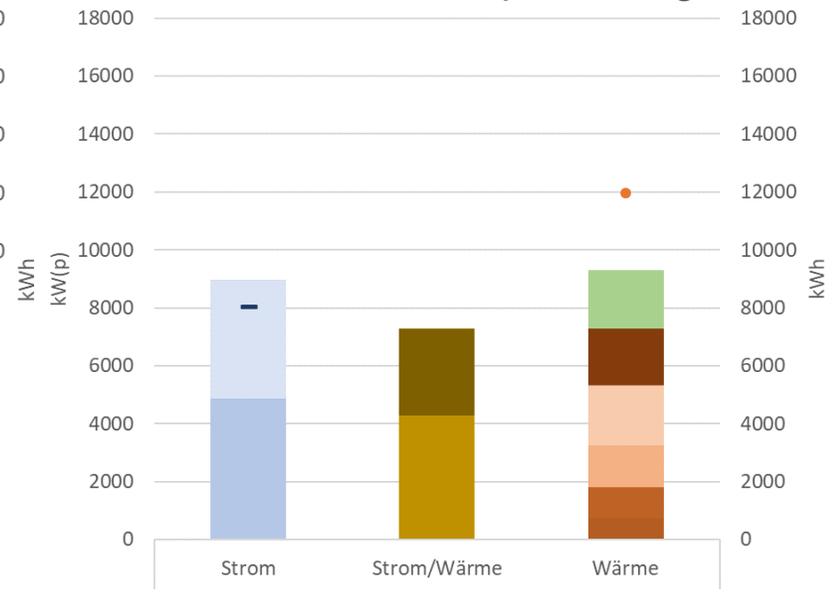
Kostenoptimierung



Treibhauspotenzialoptimierung



Multikriterielle Optimierung

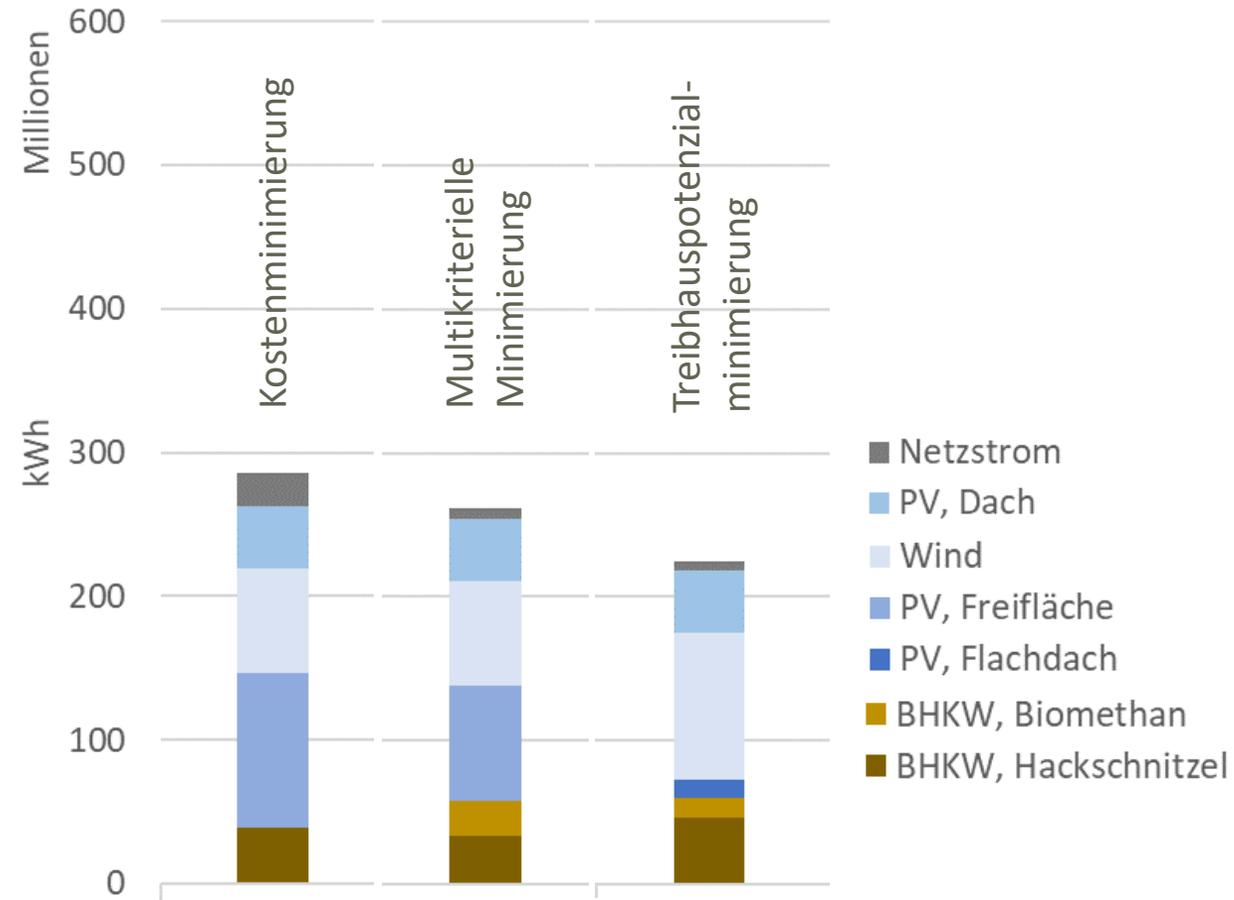


- Wind [kW]
- PV, Freifläche [kWp]
- PV, Flachdach [kWp]
- BHKW, Hackschnitzel [kW]
- BHKW, Biomethan [kW]
- Solarthermie, Freifläche, Röhrenkoll. [kW]
- Ofen, Scheitholz [kW]
- Ofen, Pellets [kW]
- elektr. Heizung [kW]
- Luft-Wasser-Wärmepumpe [kW]
- Abw.-Wasser-Wärmepumpe [kW]
- Abw.-Wärmetauscher [kW]
- Sole-Wasser-Wärmepumpe [kW]
- Erdwärmesonde [kW]
- Li-Ionen-Batterie [kWh]
- Vd-Redox-Flow-Batterie [kWh]
- Wärmespeicher [kWh]

17.10.21

Erzeugte Strommengen über 20 Jahre

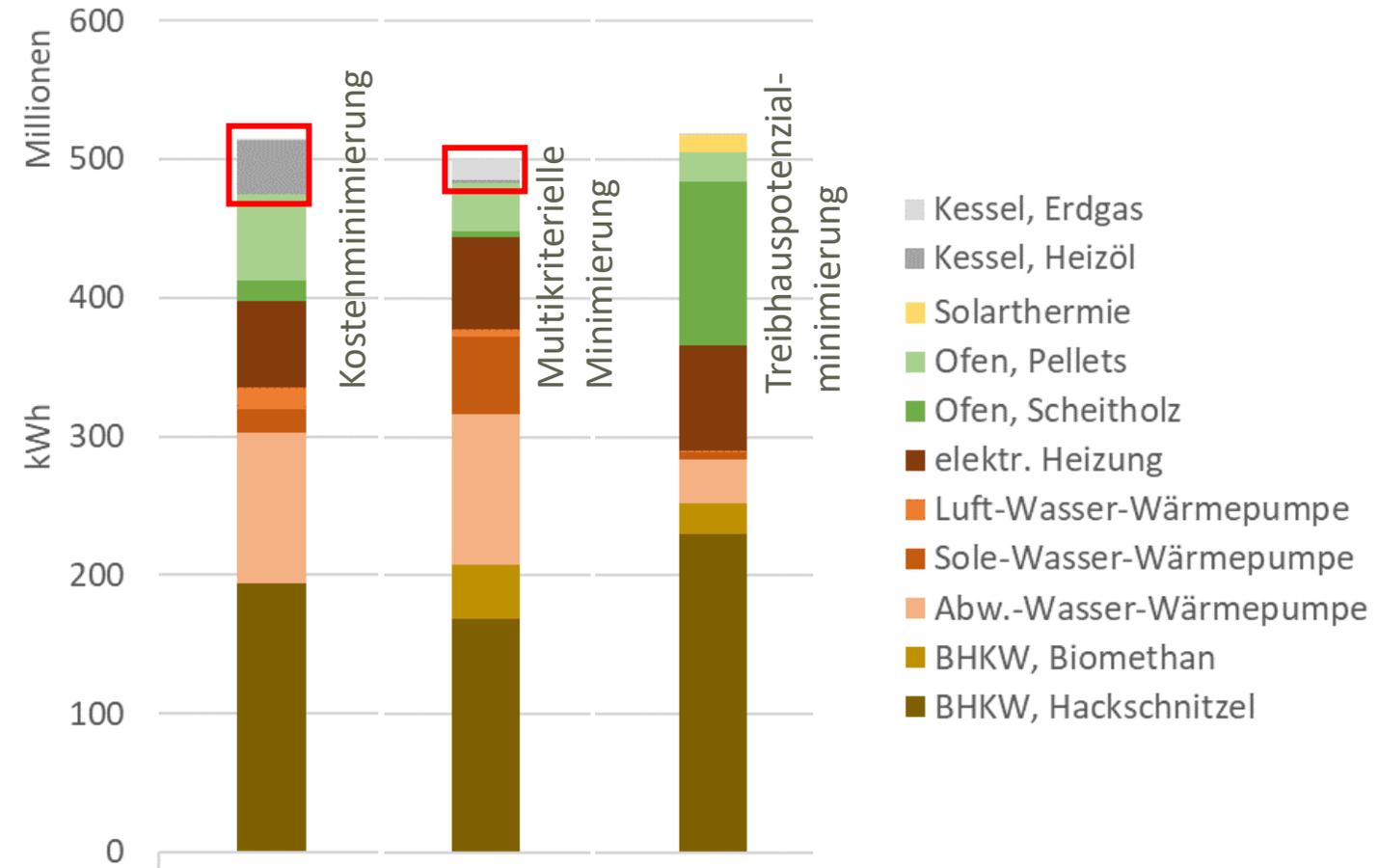
- Relativ wenig Netzstrombezug
- Bestandsanlagen Photovoltaik werden voll genutzt
- Bei BHKW weniger Überschuss



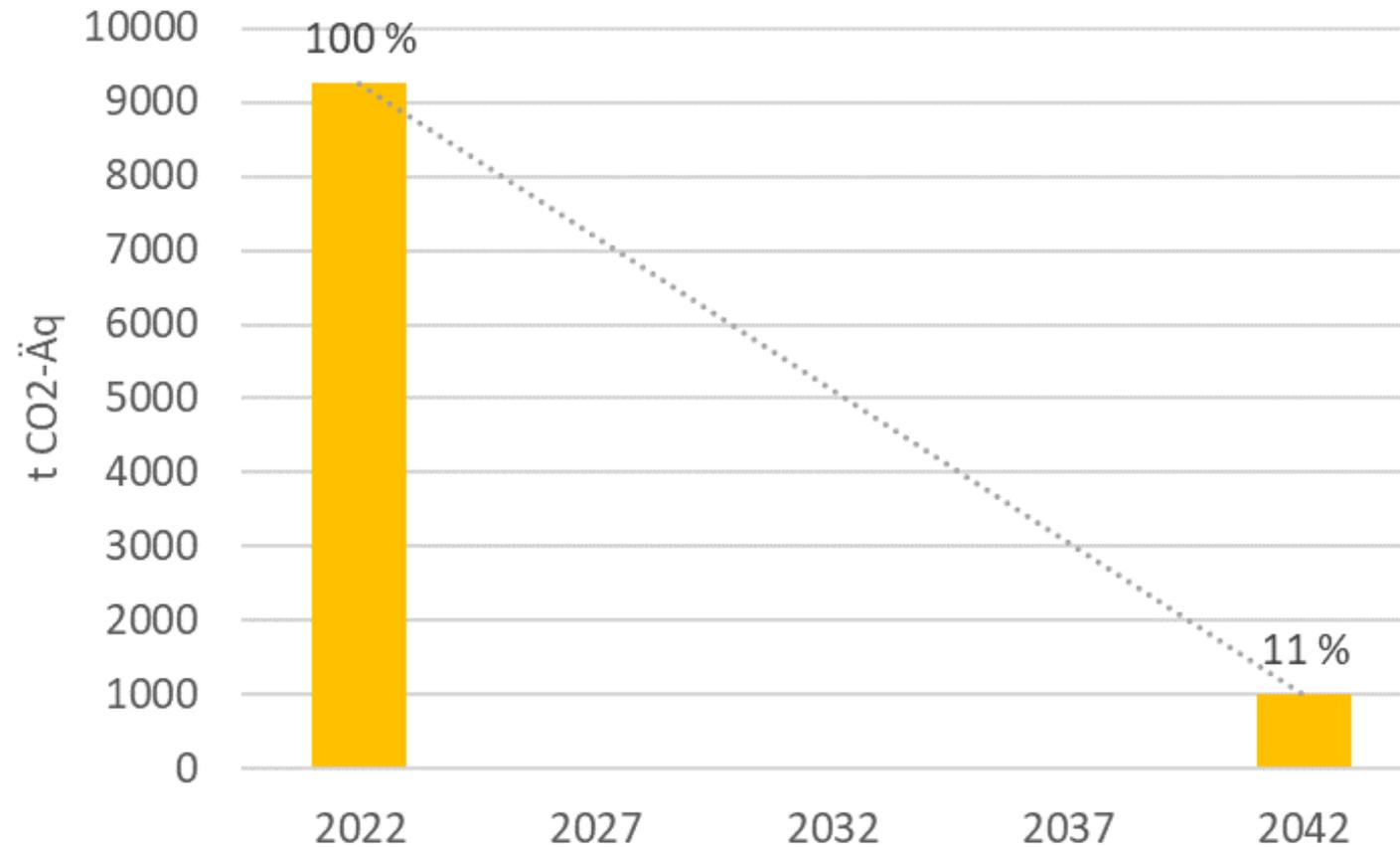
Erzeugte **Wärmemengen** über 20 Jahre

Bestandsanlagen Erdgas/Öl:

- Nur geringe Nutzung
- Nutzung je nach Ziel unterschiedlich

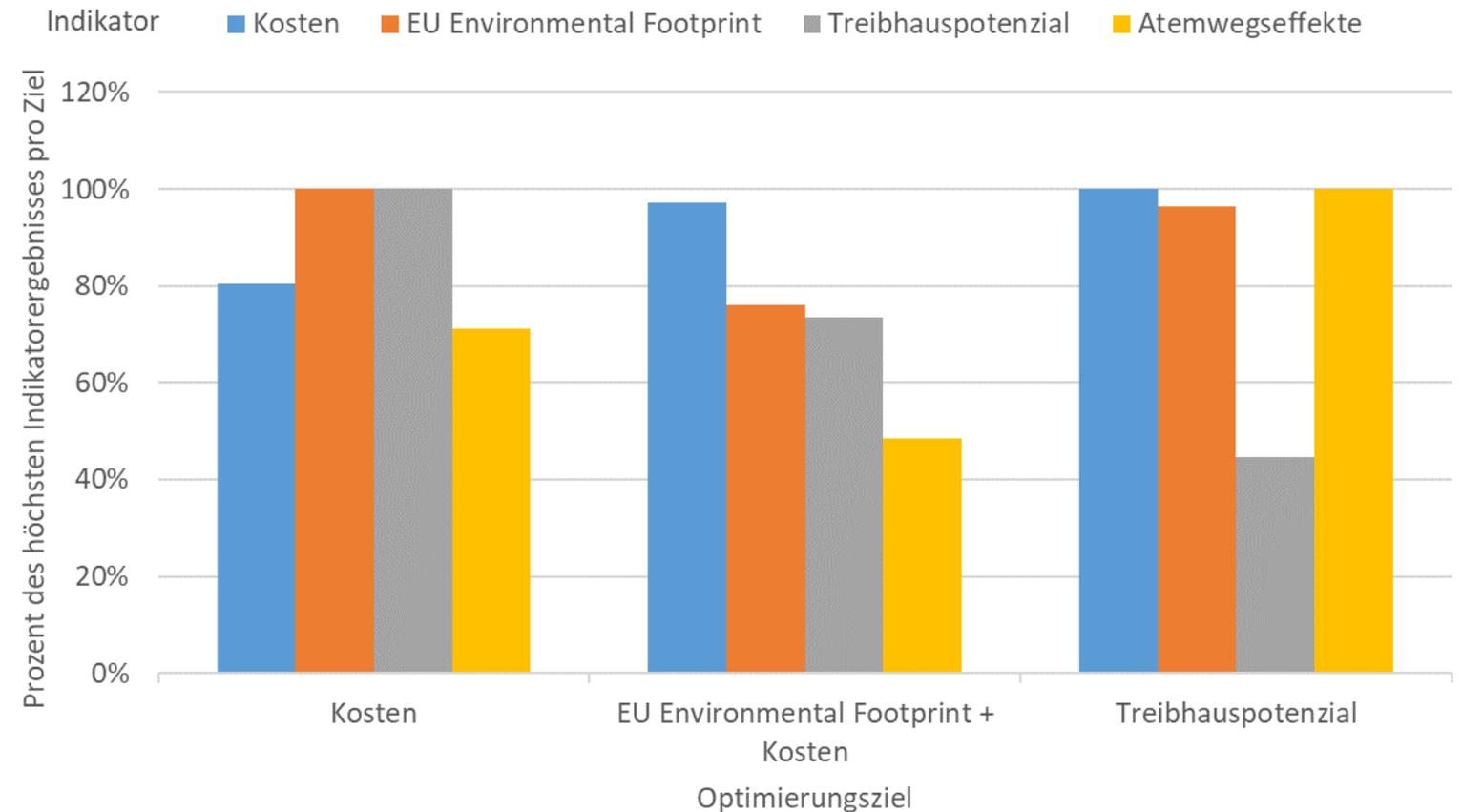


Minderung Treibhausgaspotenzial



Ausgewählte Indikatoren pro Optimierungsziel im Vergleich

- **Kostenoptimum:** relativ hohe Treibhausgasemissionen u. Gesamtumweltwirkungen
- **Treibhauspotenzial-Optimum:** rel. hohe Kosten, Gesamtumweltwirkungen und Atemwegseffekte (Holz)
- **Multikriterielles Optimum:** mittlere Gesamtumweltwirkungen und Treibhauspotenzial



Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Grenzen des Modells

- Kostenmodellierung
 - Komplexität des Strommarktes bleibt unberücksichtigt (keine Förderung, Vergütung, Abgaben etc.)
 - Preisänderungen über die Zeit bei Investitionen bleiben unberücksichtigt
 - Maßnahmen für energetische Sanierung unberücksichtigt
- Modellierung der Umweltwirkungen
 - Unsicherheiten bei Normierung und Gewichtung der Umweltindikatoren
 - Maßnahmen für energetische Sanierung unberücksichtigt
 - Wärmenetz vernachlässigt
- Modellierung der Technik
 - Techn. Restriktionen bei BHKW-Betrieb unberücksichtigt

Schlussfolgerungen

- Ergebnisse sind plausibel und zeigen Bandbreite möglicher Systemkonfigurationen auf
- Systemkonfiguration bei Minimierung von Kosten deutlich anders als bei Minimierung von Treibhauspotenzial
- Fokussierung auf Treibhausgase führt zu anderen Problemen
- Minimierung Treibhauspotenzial bedeutet nicht automatisch Treibhausgasneutralität
- Multikriterielles Ziel zeigt Kompromisslösung
- Luft-Wasser-Wärmepumpen weniger effizient
- Solarthermie anderen Technologien unterlegen
- Wenig Netzstrombezug, d.h. Umweltwirkungen und Kosten durch Eigenerzeugung sind günstiger

Empfehlungen

- Zielgruppe: vornehmlich Kommune, als Planungsgrundlage
- Orientierung an multikriteriellem Szenario
 - Investition in folgende Technologien:
 - Windkraftanlagen
 - Freiflächen-Photovoltaik
 - Lithium-Ionen-Batterien
 - BHKW
 - Abwasserwärmetauscher + Wärmepumpe
 - Erdwärmesonden + Wärmepumpe
 - Pellet-Öfen
 - Bestandsanlagen: Heizölkessel als erstes ersetzen

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

Diskussion

Literatur Speicher

- Da Silva Lima, L., Quartier, M., Buchmayr, A., Sanjuan-Delmás, D., Laget, H., Corbisier, D., Mertens, J., Dewulf, J. (2021): Life cycle assessment of lithium-ion batteries and vanadium redox flow batteries-based renewable energy storage systems. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 46: 101286. doi:10.1016/j.seta.2021.101286.
- Danish Energy Agency, Energinet (2018): Technology Data - Energy storage 0007.
- Roberts, D., Brown, S. (2022): The economics of firm solar power from Li-ion and vanadium flow batteries in California. *MRS Energy & Sustainability* 9: 129–141. doi:10.1557/s43581-022-00028-w.
- KEA-BW (2022): Tabellen zum Technikkatalog. https://www.kea-bw.de/fileadmin/user_upload/Waermewende/Wissensportal/Technikkatalog_Tabellen_v1.zip. Zugegriffen: 08. Februar 2023.

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 v0.3.1
https://github.com/inecmod/LAEND_v031

Fabrik icon by Icons8

Gas Förderturm icon by Icons8

Windrad icon by Icons8

Motorölstand icon by Icons8

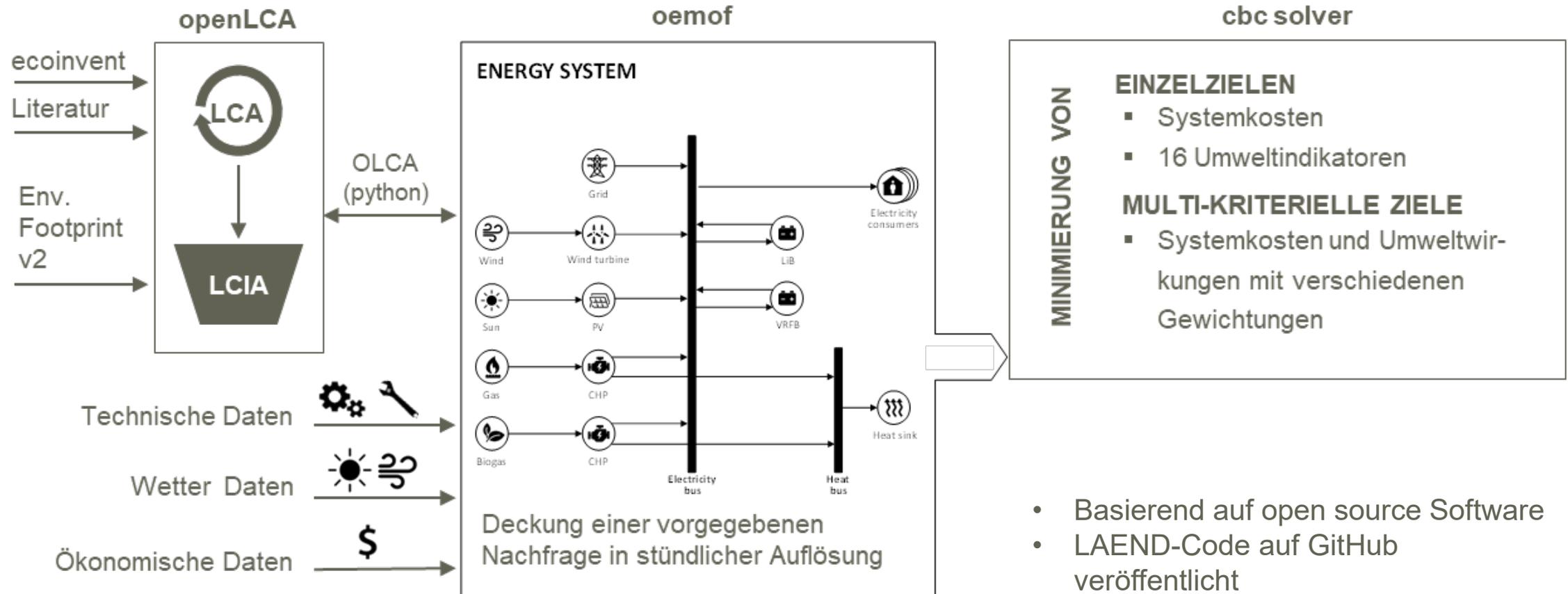
Recycling icon by Icons8

Optimierung des Energiesystems

- Energiesystemmodell zielt darauf ab, Energieangebot und –nachfrage in Übereinstimmung zu bringen (innerhalb Systemgrenze: hier Quartier)
- Energiesystem wird als lineares Gleichungssystem geschrieben
- Zielfunktion: Minimierung von Kosten und/oder Umweltwirkungen, die durch Installation und Betrieb im Betrachtungszeitraum entstehen
- Langfristiger Optimierungszeitraum (z.B. bis 2050)
- Ergebnis:
 - standortangepasste installierte Leistungen der Energietechnologien, die mit minimalen Kosten und/oder Umweltwirkungen verbunden sind
 - nachgelagert: gesamte LCA

Methodenkopplung

LAEND = Life-cycle Assessment based Energy Decision support



Berücksichtigte Umweltwirkungen

Klimawandel	Menschliche Gesundheit	Ökosystemqualität	Ressourcen
Klimawandel	Ozonschichtzerstörung	Versauerung	Mineralien u. Metalle
	Humantoxizität, kanzerogen	Eutrophierung, Boden	Fossile
	Humantoxizität, nicht-kanzerogen	Eutrophierung, Süßwasser	Wasser
	Atemwegseffekte (Feinstaub)	Eutrophierung, Meer	Landnutzung
	Ionisierende Strahlung	Ökotoxizität	
	Photochemisches Oxidantienpotenzial		

Kosten Wartung und Investition

Technologie	Größen- klasse	Einheit	Wartung [€/Einheit]	Invest [€/Einheit]	Umrechnung	Quelle
Windenergieanlagen	k.A.	kW	43	800		https://www.windguard.de/veroeffentlichungen.html?file=files/cto_layout/img/unternehmen/veroeffentlichungen/2022/Kurzfristanalyse%20zur%20Kostensituation%20der%20Windenergie%20an%20Land.pdf , Fraunhofer ISE (2021): Stromgestehungskosten Erneuerbarer Energien, S. 11, MW niedrig/hoch
PV, Freifläche	k.A.	kWp	17	833		Fraunhofer ISE (2021): Stromgestehungskosten Erneuerbarer Energien, S. 11, MW niedrig/hoch (monokristallin)
PV, Flachdach	10	kWp	26	1309		Fraunhofer ISE (2021): Stromgestehungskosten Erneuerbarer Energien, S. 11, MW niedrig/hoch (monokristallin)
PV, Aufdach	10	kWp	27	1358		KEA-BW (2022): Technikcatalog, Tabellen v1, 3.11 Dezentrale_Waermeversorgung_Dach-PV v1.xlsx, 10 kW
Batterie. Li-Ionen	k.A.	kWh	25	714		Fraunhofer ISE (2021): Stromgestehungskosten Erneuerbarer Energien, S. 28, niedrig
Batterie. VRF	k.A.	kWh	25	857		Annahme (20 % höher als Li-Ionen-Batterie)
BHKW, Biomethan + Wärmenetz	500	kWel	22	920 + 78		Technikkatalog, Tabellen: 2.2 zentrale_Waermeversorgung_BHKW_Erdgas_Biogas v1.xlsx, 501 kW; https://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen , GBA 750 kWel; Kosten Wärmenetz: Daten Gussenstadt für 15 a
BHKW, Hackschnitzel + Wärmenetz	500	kWel	21	880 + 70		https://www.energie-experten.org/heizung/blockheizkraftwerk-bhkw/blockheizkraftwerk-kosten ; Kosten Wärmenetz: Daten Gussenstadt für 15 a

Kosten Wartung und Investition

Technologie	Größen- klasse	Einheit	Wartung [€/Einheit]	Invest [€/Einheit]	Umrechnung	Quelle
Luft-Wasser Wärmepumpe	8	kW Heizwärme- leistung	18	1177		Technikkatalog. Tabellen: 3.7.1 Dezentrale_Waermeversorgung_Luft_Wasser_Waermep umpen v1.xlsx.
Sole-Wasser-Wärmepumpe	9	kW Heizwärme- leistung	18	1201		Technikkatalog. Tabellen: 3.7.3 Dezentrale_Waermeversorgung_Sole_Wasser_Waerme pumpen v1.xlsx.
Erdwärmesonde	Bis 100	m	0	100	55 W/m	Bosch
Abwasser-Wasser- Wärmepumpe	9	kW Heizwärme- leistung	18	1201		Wie Sole-Wasser-Wärmepumpe
Abwasserwärmetauscher	k.A.	kW	0	1000		Herstellerangabe (Uhrig-Bau)
Flachkollektor, Aufdach	140 kW	m ²	1.5	579		KEA-BW (2022): Technikkatalog. Tabellen v1. 3.9 Dezentrale_Waermeversorgung_Dach-Solarthermie v1.xlsx. 140 kW
Flachkollektor, Freifläche	k.A.	m ²	3,3	298		https://www.hamburg-institut.com/wp-content/uploads/2021/07/Foerderleitfaden_Freiflaechen-Solarthermie.pdf
Röhrenkollektor, Freifläche	k.A.	m ²	3,3	298		https://www.hamburg-institut.com/wp-content/uploads/2021/07/Foerderleitfaden_Freiflaechen-Solarthermie.pdf
Elektro-Heizstab/Kessel	7	kW	0	362		KEA-BW (2022): Technikkatalog. Tabellen: 3.10 Dezentrale_Waermeversorgug_Stromdirektheizungen v1.xlsx. 7 kW
Pellet-Kessel	23	kW	27	453		KEA-BW (2022): Technikkatalog, Tabellen: 3.4 Dezentrale_Waermeversorgung_Biomassekessel_autom atisch_beschickt v1.xlsx
Scheitholz-Ofen	30	kW	9	200		Technikkatalog, Tabellen: 3.6 Dezentrale_Waermeversorgung_Holzheizungen v1.xlsx, ohne Wasserspeicher, 30 kW
Pufferspeicher	500	l	0	2,37	11,5 kWh/ 500 l	KEA-BW (2022): Technikkatalog. Tabellen v1. 5.1 Speichertechnologien_puffer_Tagesspeicher v1.xlsx



Lebensdauer

- Relevant für Berechnung der Annuitäten ($wacc = 0$)
- Relevant für Berechnung der Umweltwirkungen (hier ohne Diskontierung)

Technologie	Lebensdauer
Luft-Wasser Wärmepumpe	20
Sole-Wasser-Wärmepumpe	20
Abw.-Wasser-Wärmepumpe	20
Erdwärmesonde	50
Abwasser-Wärmetauscher	50
Flachkollektor, Aufdach	20
Flachkollektor, Freifläche	20
Röhrenkollektor, Freifläche	25
Pellet-Ofen	15
Scheitholz-Ofen	20
PV, Flachdach	25
PV, Schrägdach	25
PV, Freifläche	25
Wind	25
Hackschnitzel-BHKW	15
Biomethan-BHKW	15
Batterie, Li-Ionen	15
Batterie, VRF	20
Pufferspeicher	30
Heizstab	30

Technische Parameter

	COP	Quelle
Luft-Wasser-Wärmepumpe	Temperaturabhängig (60 °C t _{high})	Berechnet mit oemof.thermal
Sole-Wasser-Wärmepumpe	2.9	Eigene Berechnung (308 K/(60-9)K*0.45)
Abwasser-W.-Wärmepumpe	3.1	Eigene Berechnung (308 K/(60-11)K*0.45)
	%	
BHKW, Biomethan, elektrisch	29	Ecoinvent (2021): electricity, CHP, biomethane, low pressure burned in micro gas turbine
BHKW, Biomethan, thermisch	46	Ecoinvent (2021): heat, district or industrial, CHP, wood chips, 2000 kW, state-of-the-art 2014
BHKW, Holzhackschnitzel, elektrisch	15	https://www.3-n.info/media/4_Downloads/pdf_WssnSrcv_Srcv_Fstbrnnstff_KwkHolzStatu sbericht_1409.pdf
BHKW, Holzhackschnitzel, thermisch	75	
Heizstab	100	
Gaskessel	93	KEA-BW (2022): Technikkatalog. Tabellen v1, 3.1 DEzentrale_Waermeversorgung_Gasbrennwertkessel v1.xlsx
Ölkessel	82	Ecoinvent (2021): heat, central or small scale, light fuel oil, at boiler 10kW, non-modulating
Pelletkessel	94	KEA-BW (2022): Technikkatalog. Tabellen v1: 3.4 Dezentrale_Waermeversorgung_Biomassekessel_automatisch_beschickt v1.xlsx, 23 kW
Scheitholzofen	70	KEA-BW (2022): Technikkatalog. Tabellen v1, 3.6 DEzentrale_Waermeversorgung_Holzheizungen v1.xlsx
Photovoltaik	19.3	PVPS (2020) (kristallines Silizium)

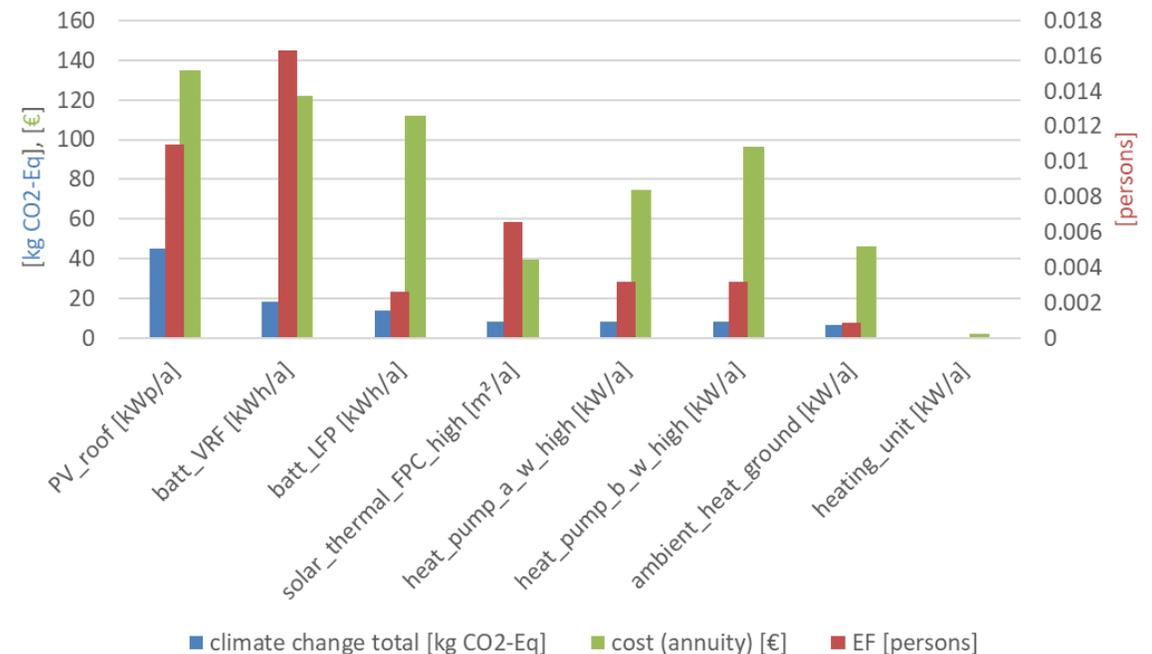
Speicher

	capacity loss	efficiency inflow	efficiency outflow	initial capacity	capacity min	capacity max	invest_relation_input_capacity	invest_relation_output_capacity	Datenherkunft
	kWh/h			kWh	kW/kWh				
Batterie, Li-Ionen	4.2E-04	0.97	0.87	0	0.1	0.9	3.00	0.50	Literatur
Batterie, VRF	4.2E-04	0.97	0.80	0	0.15	0.85	0.25	0.25	
Wärmespeicher	1.0E-02	1	0.9	0	0	1	0.45	0.45	

Literatur: Da Silva Lima et al. (2021), Danish Energy Agency, Energinet (2018), Roberts, D., Brown, S. (2022), KEA-BW (2022)

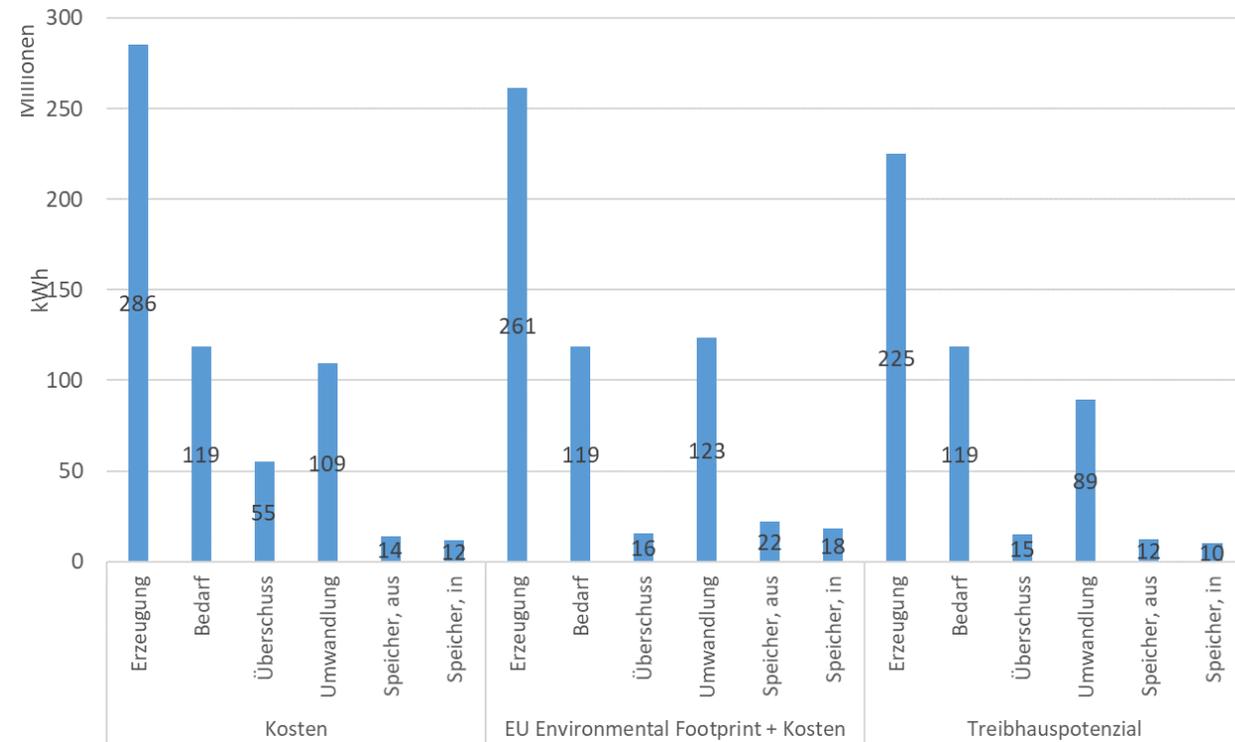
Umweltwirkungen

- Sachbilanzdatensätze analog zu Kosten
 - für Anlageninfrastruktur (Invest) pro kW
 - für variable Umweltwirkungen pro kWh
 - für Brennstoffe/Netzstrom pro kWh
- LCIA-Berechnung in openLCA wird von LAEND aus angestoßen, als xlsx-Datei gespeichert und eingelesen



Strom-/Wärmebilanz

Strom



Wärme

