

Lokales Energiemanagement

Erneuerbares Energiesystem für die Gemeinde Antweiler

Studierendenprojekt der Technischen Hochschule Köln



31.05.2023

Anna Maria Franzen, Laura Stark, Marius Zellmer, Maximilian Gerlach, Paula Barnert, Sebastian Nöhre
Prof. Dr. Eberhard Waffenschmidt

Seite 1

Erneuerbare Energien – Fakultät für Anlagen, Energie- und Maschinensysteme



Technology
Arts Sciences
TH Köln

Methodik

- Zusammenarbeit mit der Gemeinde
- Theoretische Grundlagen
- Simulation
- Wirtschaftlichkeit
- Ökobilanz
- Nutzwertanalyse



Übersicht: Szenarien

Szenario 1

- Ist-Zustand
 - Stromerzeuger
 - Dach-Photovoltaik
 - Wasserkraft
 - Sonst. Netzbezug
 - Wärmeversorgung
 - Öl, Gas, Holz, Pellets
 - Mobilität
 - Wenig ÖPNV
 - Kein Carsharing
 - Überwiegend Verbrennungsfahrzeuge

Szenario 2

- Geplante Maßnahmen
 - Stromerzeuger
 - Dach-Photovoltaik
 - Agri-Photovoltaik
 - Wasserkraft
 - Windkraft
 - Quartierspeicher
 - Sonst. Netzbezug
 - Wärmeversorgung
 - Wärmepumpen & Warmwasserspeicher
 - Konventionelle WV
 - Mobilität
 - Erweiterung VRM-Busse
 - Carsharing/Bürgerbus

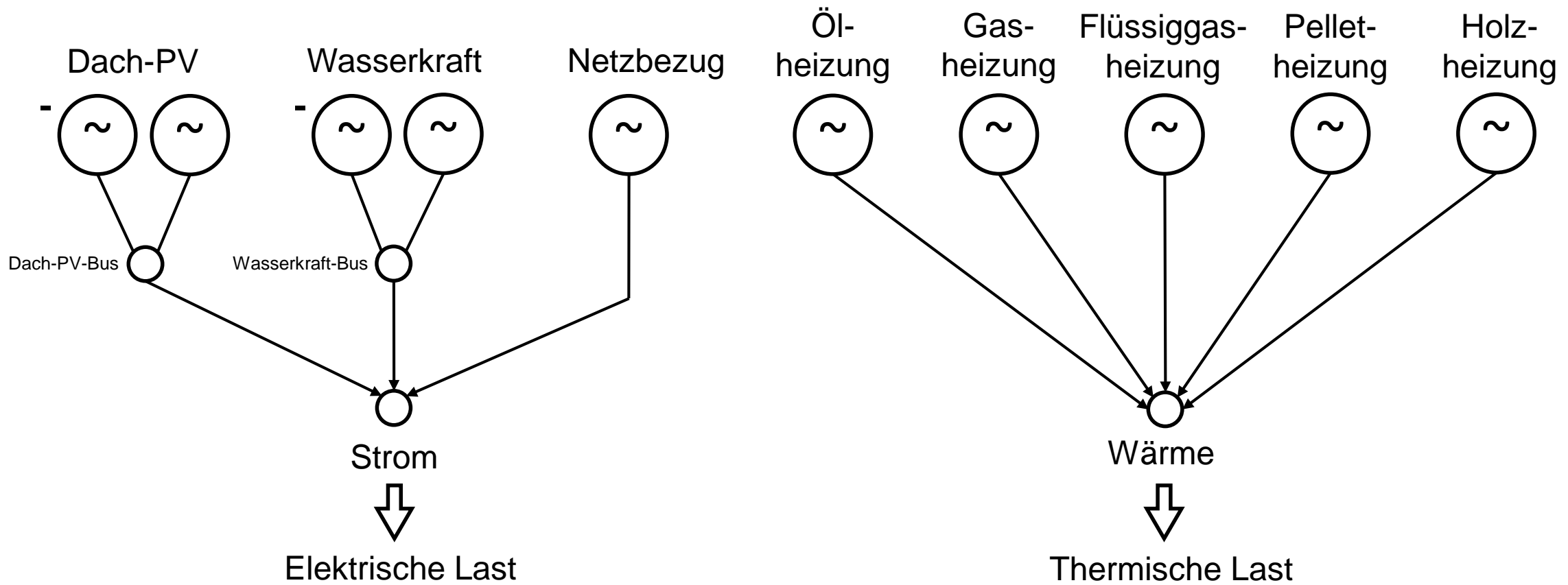
Szenario 3

- 100% Erneuerbar
 - Stromerzeuger
 - Dach-Photovoltaik
 - Agri-Photovoltaik
 - Wasserkraft
 - Windkraft
 - Quartierspeicher
 - Wärmeversorgung
 - Wärmepumpen & Warmwasserspeicher
 - Mobilität
 - Erweiterung VRM-Busse
 - Carsharing/Bürgerbus

Methodik

- Zusammenarbeit mit der Gemeinde
- Theoretische Grundlagen
- Simulation
- Wirtschaftlichkeit
- Ökobilanz
- Nutzwertanalyse



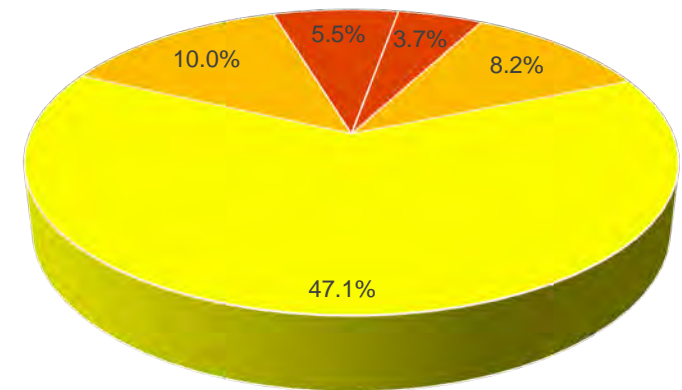


Szenario 1

Photovoltaik auf Dachflächen

- 24 Photovoltaik-Anlagen (Stand 2023)
 - 22 Bauliche Anlagen
 - 2 Steckerfertige Erzeugungsanlage
- 262,2 kWp Installierte Leistung
 - Erste Inbetriebnahme 2008
 - 4 Neue Anlagen im Jahr 2023
- **224.941 kWh Stromertrag pro Jahr (ca. 10% des aktuellen Stromverbrauchs)**

Hauptausrichtung der Solar-Module



▪ West ▪ Süd-West ▪ Süd ▪ Süd-Ost ▪ Ost

Wasserkraft

- Wasserkraft in der Antweiler Mühle
 - Laufwasserkraftwerk
 - 30 kW Spitzenleistung
- **165.559 kWh Stromertrag pro Jahr**

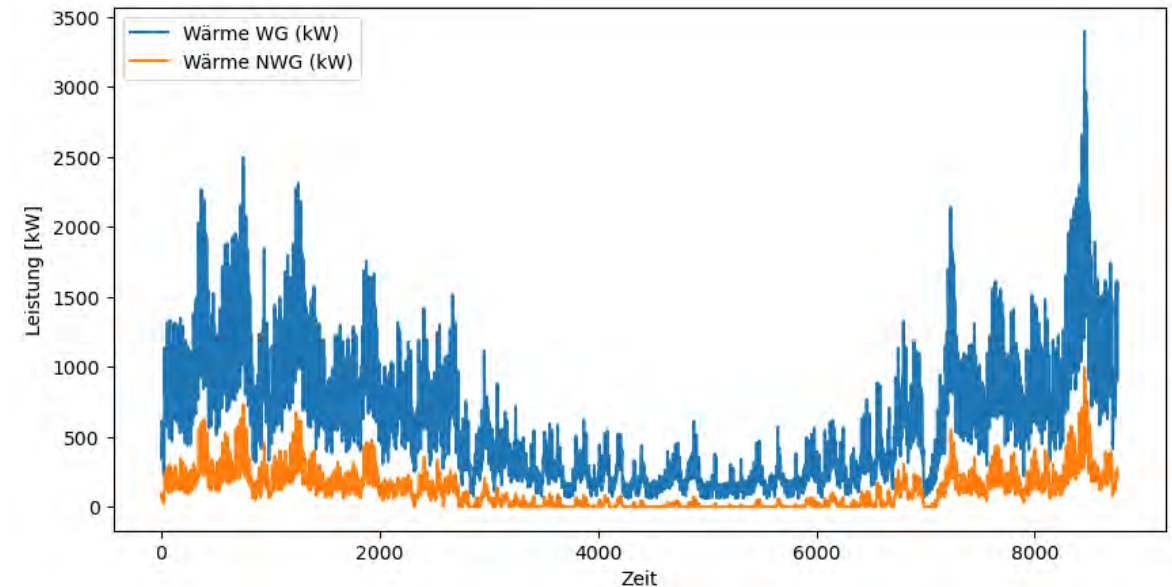


[1]



Wärmeversorgung

- Wärmebedarf Ortsgemeinde Antweiler: 6.569,98 MWh/a
 - Wohngebäude Raumwärmebedarf: 4.580,55 MWh/a Brauchwasserbedarf: 618,02 MWh/a
 - Nichtwohngebäude Raumwärmebedarf: 1.287,70 MWh/a Brauchwasserbedarf: 83,71 MWh/a
- Energieträger bei der Wärmeerzeugung:
 - Öl (55,5%)
 - Gas (22,2%)
 - Holzpellets oder Holz (22,2%)

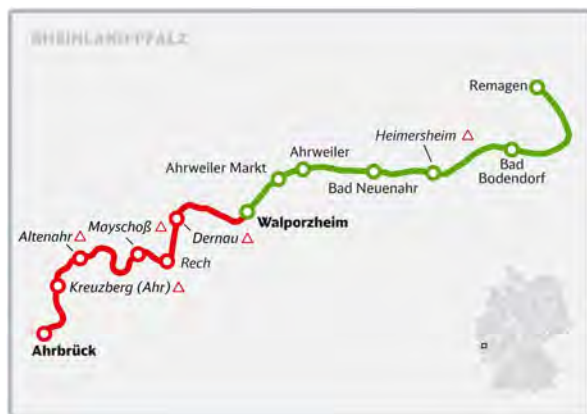


Mobilität

- Private Mobilität
 - Auto mit Verbrennungsmotor vorherrschend
 - Bei der Befragung, besaß niemand ein Elektrofahrzeug
 - Rheinland-Pfalz hat die meisten Autos pro Einwohner



[2]



- Öffentliche Mobilität
 - Buslinie 817, 864, 882, 899 ⇒ hauptsächlich für Schulverkehr
 - Keiner der befragten BürgerInnen nutzt den ÖPNV
 - Bürgerbus wurde eingestellt
 - Ahrtal Bahn bis 2025 nicht aktiv

[3]

Wirtschaftlichkeit

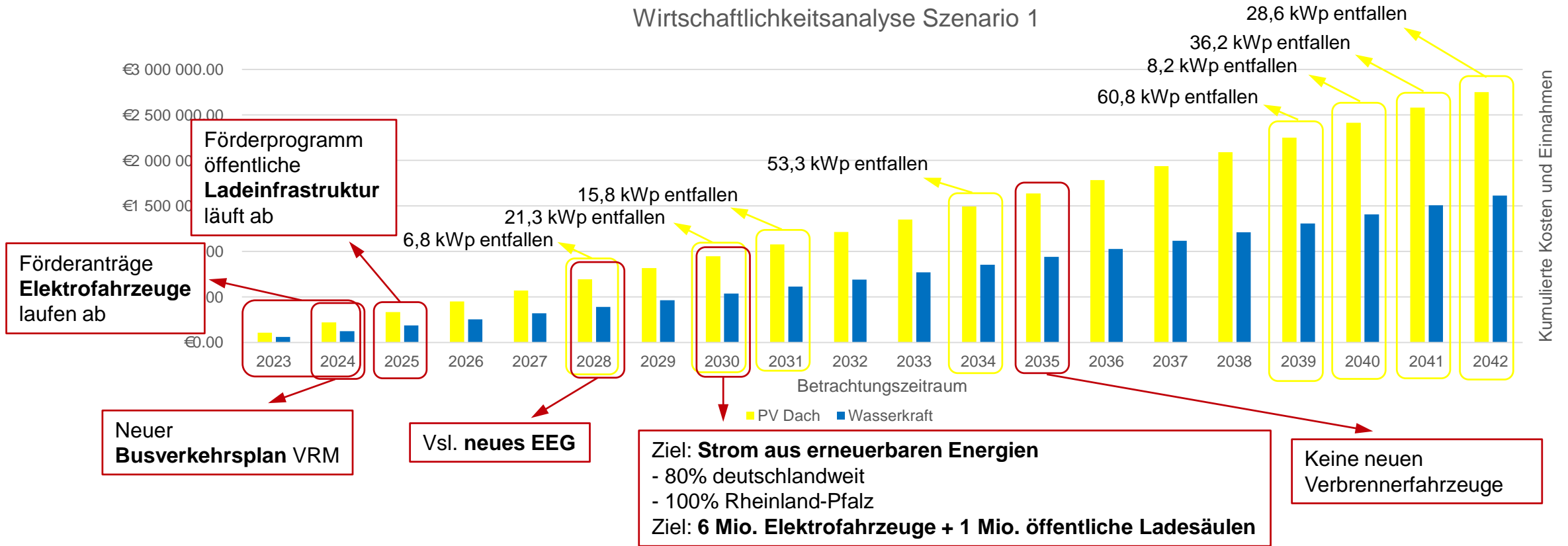
- Pauschale Werte
- Betrachtungszeitraum: 20 Jahre
- Ein Verbundnetz (Systemgrenze Antweiler) mit einer Energiegenossenschaft
- Strompreis Stand 14. Mai 2023 51,8 Cent/kWh + 3% jährliche Inflationsrate

	Mittl. Einspeisevergütung	Erzeugung	Einspeisequote	Erlöse 2023
Dach-PV	0,1892 €/kWh	~ 226 MWh	3,1 %	~ 115.000 €
Wasserkraftwerk	0,1203 €/kWh	~ 165,5 MWh	10 %	~ 79.000 €



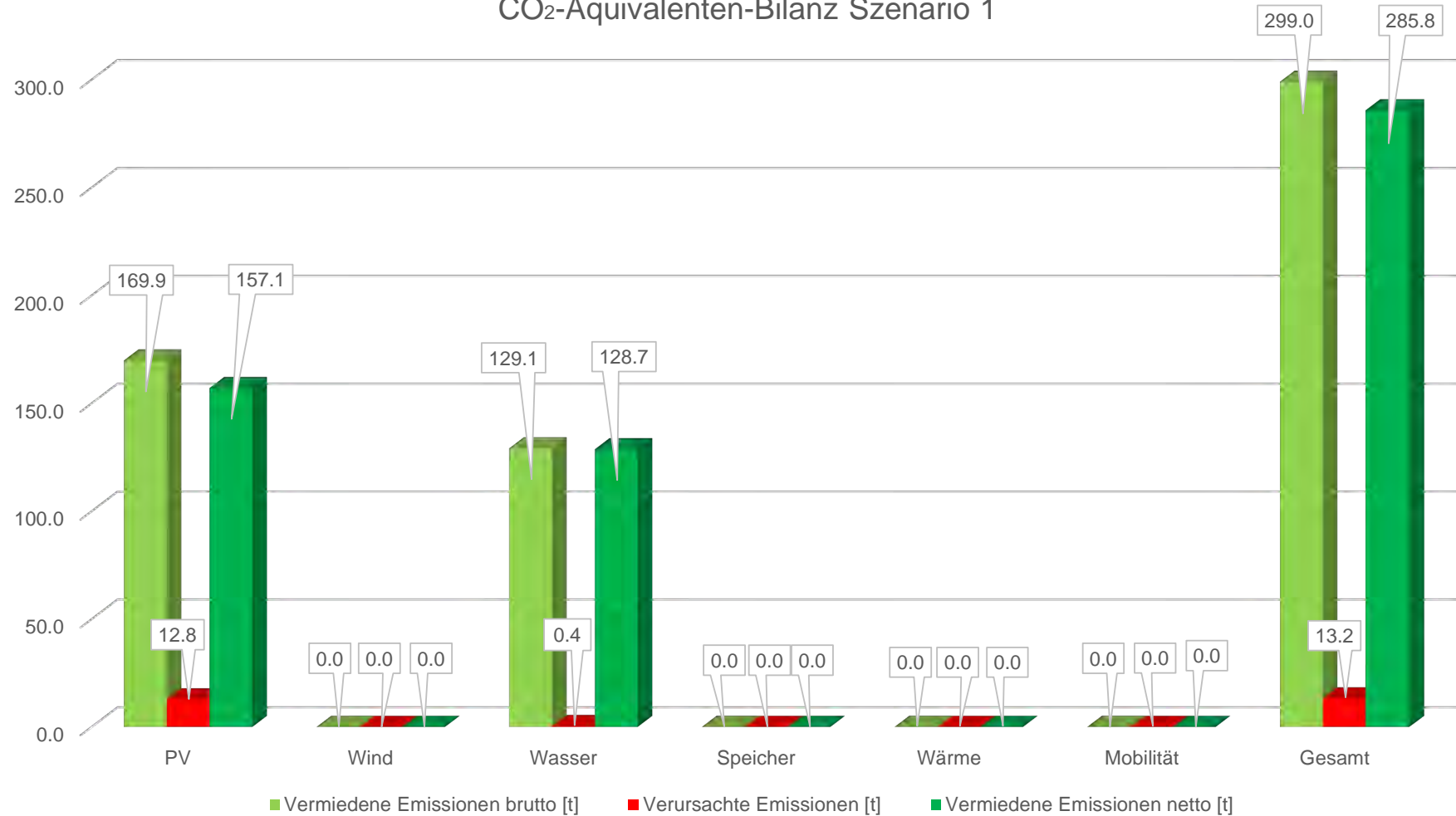
Wirtschaftlichkeit

Wirtschaftlichkeitsanalyse Szenario 1



Ökobilanz

CO₂-Äquivalenten-Bilanz Szenario 1

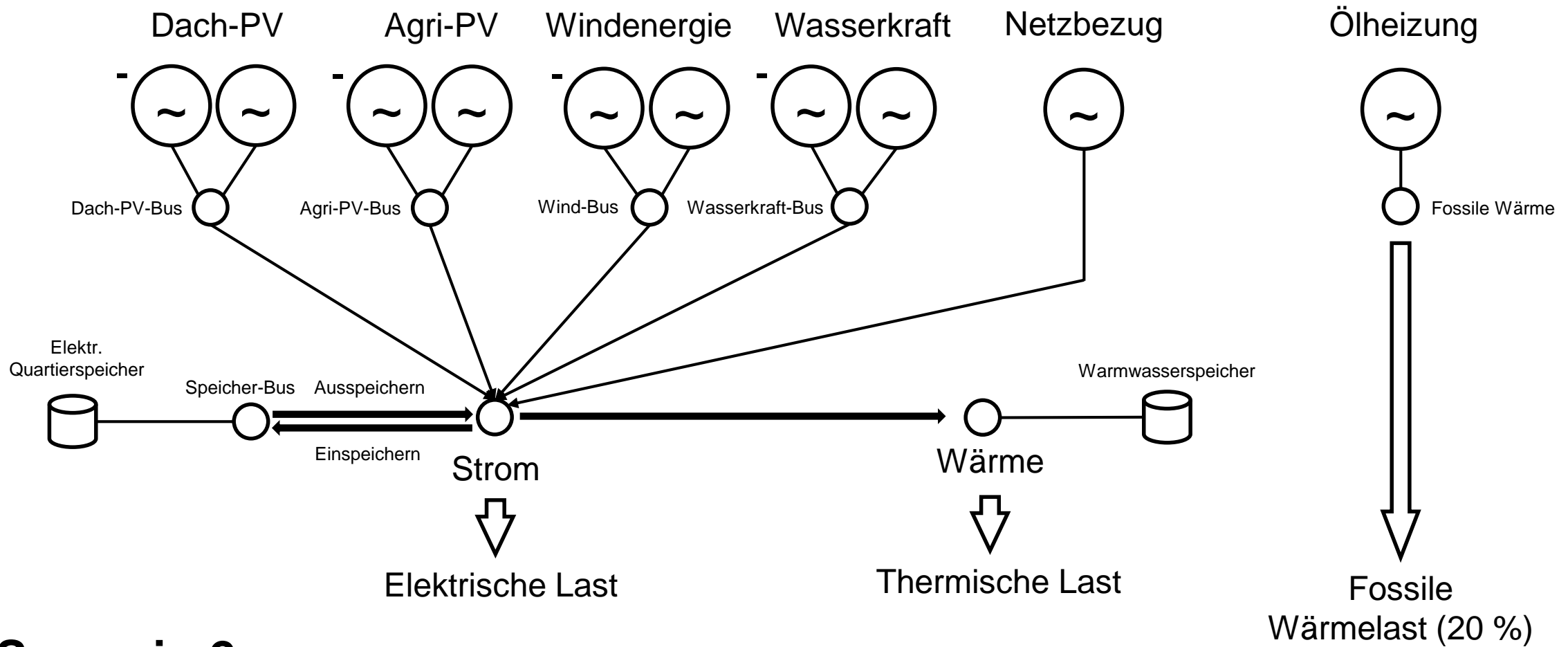


Zusammenfassung Szenario 1

- Aktuelle jährliche Stromkosten **-960.766,33 €** und –bedarf **2.245.473,68 kWh**
- Aktuelle jährliche Heizkosten **-488.731,16 €** und –bedarf **6.211.268,24 kWh**

- Strom aus erneuerbaren Energien aktuell:
 - 224.941 kWh Photovoltaik
 - 165.559 kWh pro Jahr Wasserkraft
 - **Ca. 17,4 % des Bedarfs**



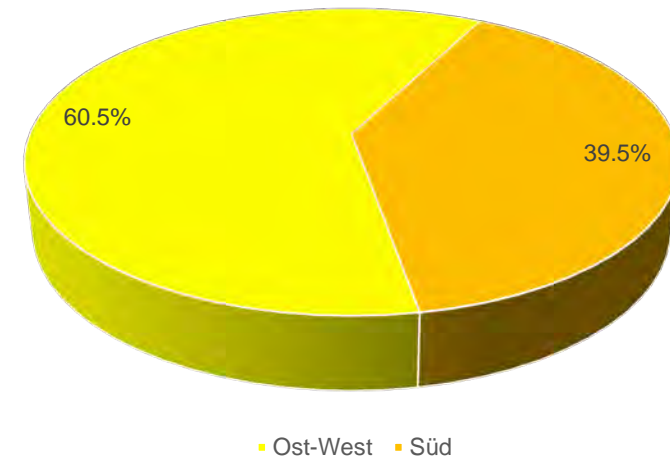


Szenario 2

Photovoltaik auf Dachflächen

- 3.766,24 kWp Installierte Leistung
 - 10 kWp Deckelung für Wohngebäude
 - 135,88 kWp auf öffentlichen Wohngebäuden
- **3.084.339 kWh Stromertrag pro Jahr**

Hauptausrichtung der Solar-Module



Agri-Photovoltaik (Agri-PV)

- **Vorschlag:** Pilotanlage im Ahrtal
 - 2 Hektar, Nennleistung: **800 kWp**
- **EEG Novelle 2023** zum Vorteil von Agri-PV
 - 'normale' Freiflächen-PV Förderung: **7 ct /kWh**
 - Zuschlag für hochaufgeständerte Systeme: **1,2 ct /kWh**
- **Empfehlung:** Zusammenarbeit mit Next2Sun und Interessenten finden
- Hügelige Felder → Vertikales, bodennahes System mit bifazialen Modulen
 - Forschungsfrage: Agri-PV + hügelige Felder
- **Verschiedene Geschäfts- und Finanzierungsmodelle möglich**



Windenergie

- **Enercon E-82**
 - Rotordurchmesser 82 m
 - Nabenhöhe 98,4 m
- Platzierung auf Gemeindegelände
 - möglichst wenig Waldverlust
 - Verkehrsgünstige Anbindung
- Schall- und Schattenwurfanalyse
- ausführliche Ertragsprognose
- **4.524.420 kWh Stromertrag pro Jahr**



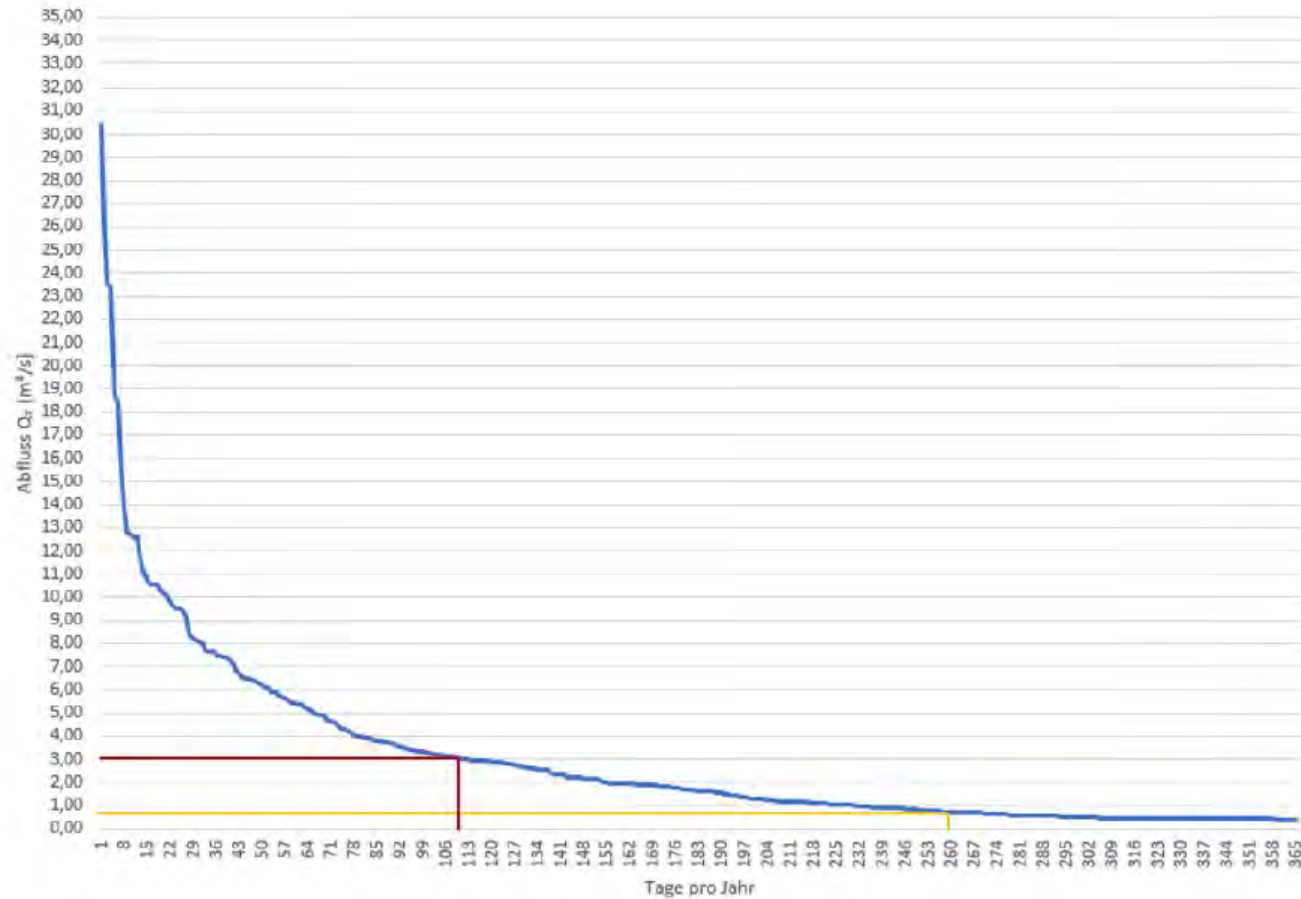
[5]

Wasserkraft

- Steigerung des **Turbinenabflusses**
 - 3,0 m³/s

- Erweiterung der Turbinenschluckvermögens

— Abfluss der Ahr
 — Geplanter Ausbauabfluss
 — Mindestabfluss im Flussbett + Mindestdurchfluss Turbine



Wasserkraft

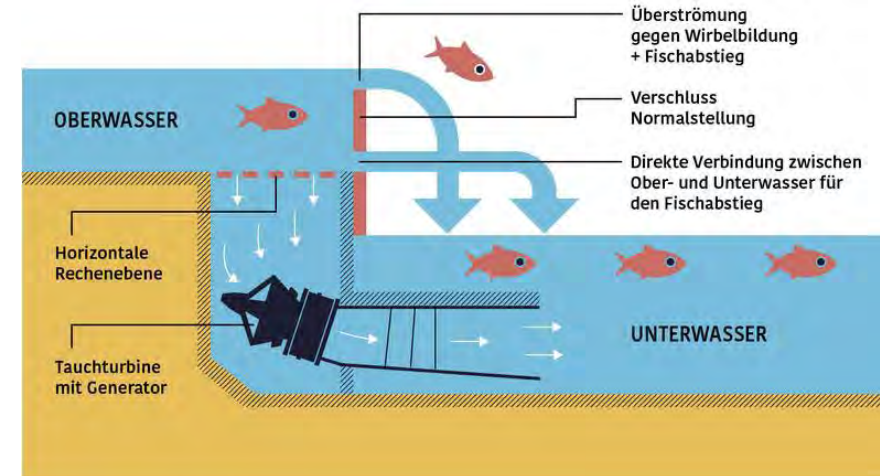
Variante 1

- Umbau des **Ausleitkraftwerks**
- Staubauwerk bereits vorhanden
- Erweiterung des Mühlengrabens
 - 65 kW; **270.057 kWh pro Jahr**



Variante 2

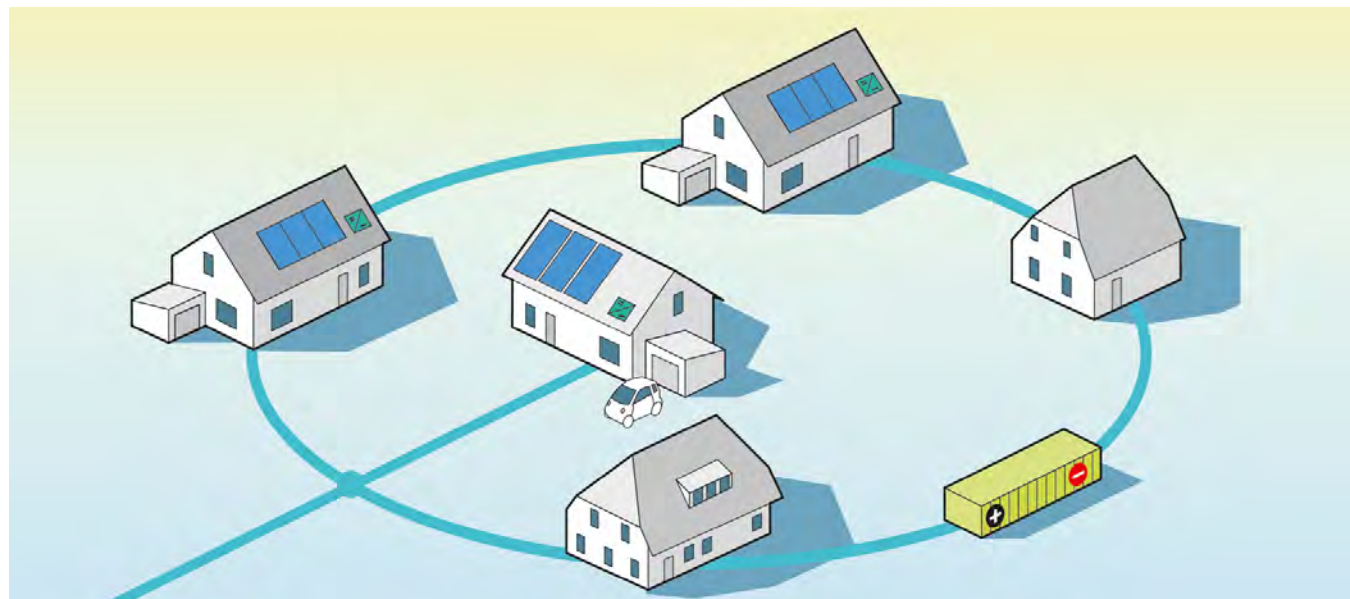
- **Schachtkraftwerk**
 - Erzeugungseinheit direkt im Stauwehr
- Geringeres Gefälle (ca. 2,0 m)
 - 50 kW; **ca. 210.000 kWh pro Jahr**



[6]

Physischer Quartierspeicher im öffentlichen Netz

- Zwischenspeicher des Stroms aus
 - Dach- sowie Agriphotovoltaik
 - Windkraft
- Bereitstellung von hohen Leistungen
 - Stoßzeiten in Haushalten
 - Elektromobilität
 - Wärmepumpen



[7]



[8]

- Erhöhter Verbrauch der lokal erzeugten Erneuerbaren Energien
- Modularerer Lithium Akkumulatoren Aufbau
- 743 kWh Kapazität

Wärmeversorgung

- Wärmebedarf Ortsgemeinde Antweiler bleibt unverändert
- Wärmebedarf wird zu 80% durch Wärmepumpen erzeugt
- Restlichen 20% übergangsweise mit Fossilen Brennstoffen
 - Bedingt durch einen neuen Heizkessel oder den Sanierungsstand des Gebäudes
- Durch Die Wärmepumpen erhöht der Wärmebedarf den Strombedarf Antweilers
 - Strombedarf steigt um ca. 1,3 GWh/a



[9]

Öffentlicher Verkehr durch Busse

- **Ab 2024 wechselt der öffentliche Bus-Betreiber zur VRM**
 - Linienbündelung und Taktfahrpläne für Gemeinden über 200 Einwohner
 - Abgestimmte Fahrpläne mit den Nachbargemeinden
 - Neue Linien 861 und 882 über Antweiler
 - Linie 899 wird um 5 Gemeinden erweitert
 - Bessere Anbindung an die Ahrtalbahn (2025)
- **SaubFahrzeugBeschG**
 - ⇒ 45 % der Flotte 50 g CO₂ g/km bis 2025
 - ⇒ 65% der Flotte 0 g CO₂ g/km bis 2030



[10]



[11]

Bürgerbus und Carsharing vereint

- **Konzept**
 - Elektrischer Kleinwagen und Transporter
 - Zentrale Ladestation am Gemeindehaus
 - Spendenmodell
- **Bürgerbus**
 - Angelehnt an das ehemalige Bürgerbus Konzept
 - Ehrenamtliche Fahrer, verwaltet durch e.V.
 - Bürger*innen können den Bürgerbus mit Fahrer mieten
- **Carsharing**
 - Beide Fahrzeuge können als Leihwagen gemietet werden



[12]



[13]

Ladeinfrastruktur für Elektromobilität

- Private Ladestationen
 - Private Wallboxen kosten circa 700 €
 - Ermöglichen je nach Tarif günstigeres tanken
- Öffentliche Ladestationen
 - 11 bis 22 kW kosten circa 2.400 €
 - Schnelllader bis 150 kW kosten circa 50.000€
 - Befrage Bürger*innen befürworteten ausnahmslos die Errichtung von Ladesäulen
 - Erleichtert den Umstieg auf Elektrofahrzeuge



[14]



[15]

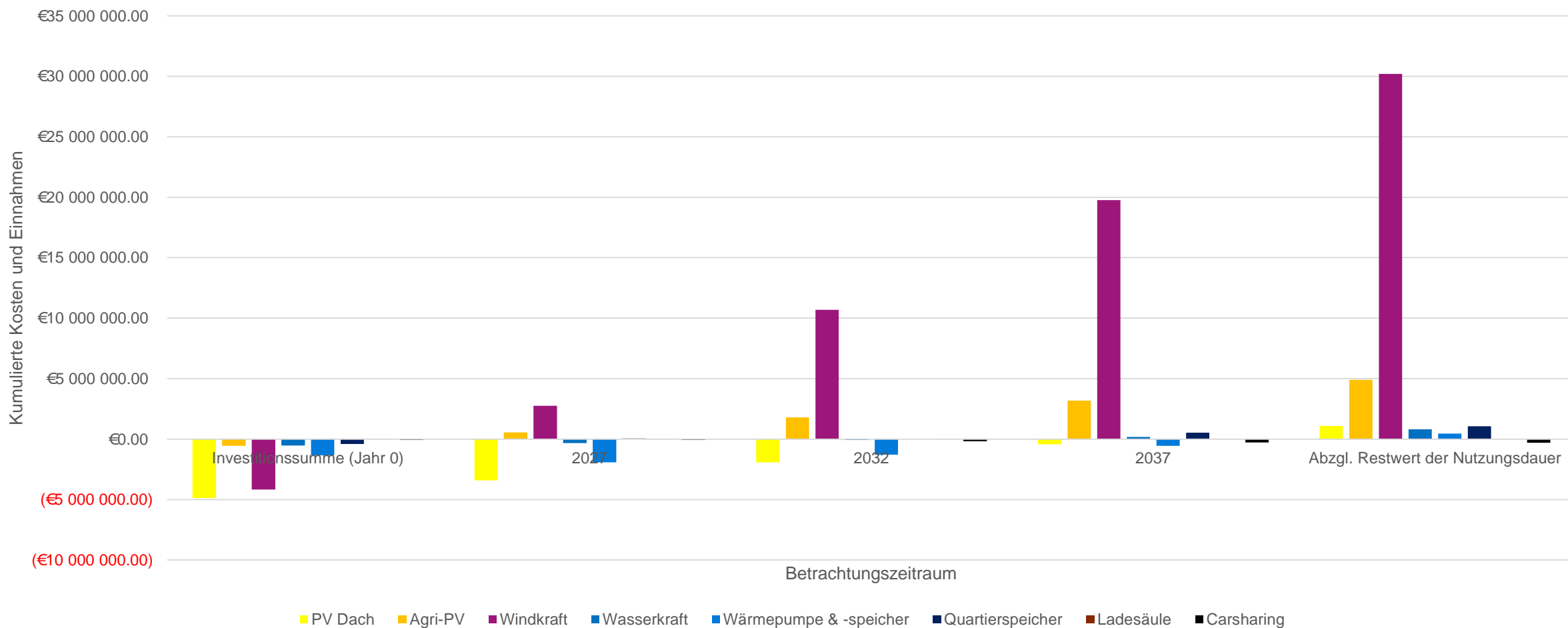
Wirtschaftlichkeit

	Mittlere Einspeisevergütung	Erzeugung	Einspeisequote
Dach-PV	0,087 €/kWh	~ 3.069 MWh	87,7 %
Agri-PV	0,082 €/kWh	~ 813 MWh	45,7 %
Windkraftanlage	0,0605 €/kWh	~ 4.985 MWh	52 %
Wasserkraftwerk	0,1203 €/kWh	~ 270 MWh	70,9 %



Wirtschaftlichkeit

Wirtschaftlichkeitsanalyse Szenario 2



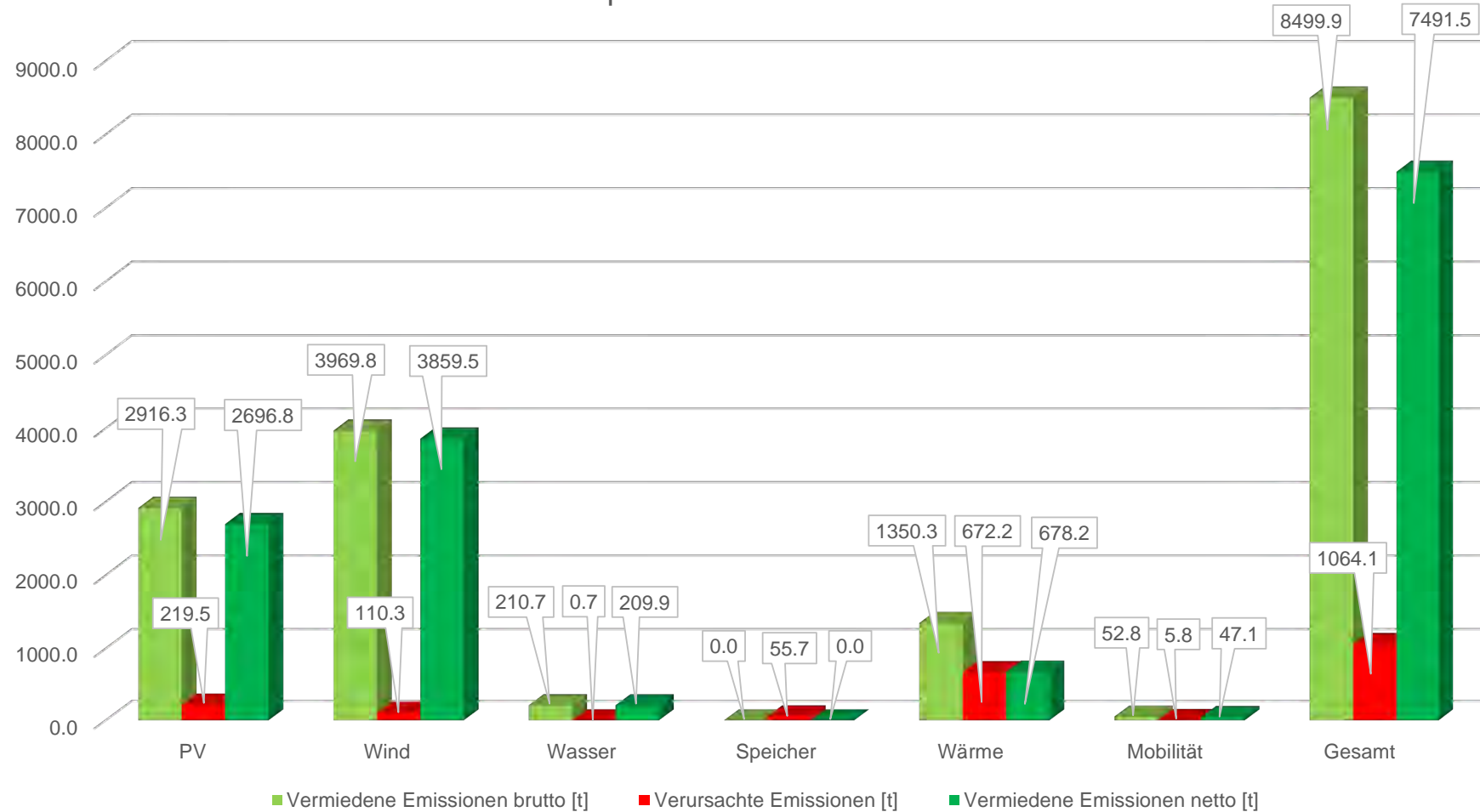
Wirtschaftlichkeit

	Investitionssumme	Nutzungsdauer	Erlöse nach 20 Jahren zzgl. Restwert	Amortisationszeit
Dach-PV	4.874.475,73 €	20 Jahre	1.095.753,73 €	16 Jahre
Agri-PV	560.000,00 €	35 Jahre	4.911.583,45 €	2 Jahre
Windkraftanlage	4.179.100,00 €	20 Jahre	30.195.697,60 €	3 Jahre
Wasserkraftwerk	536.250,00 €	80 Jahre	806.241,45 €	11 Jahre
Quartierspeicher	411.495,00 €	10 Jahre	1.068.406,83 €	4 Jahre
Wärmepumpen	609.000,00 €	30 Jahre	448.337,84 €	18 Jahre
Wärmespeicher	718.977,00 €	30 Jahre		
Ladeinfrastruktur	2.400,00 €	10 Jahre	-19.595,63 €	Nie
Carsharing	77.640,00 €	6 Jahre	-262.790,28 €	Nie



Ökobilanz

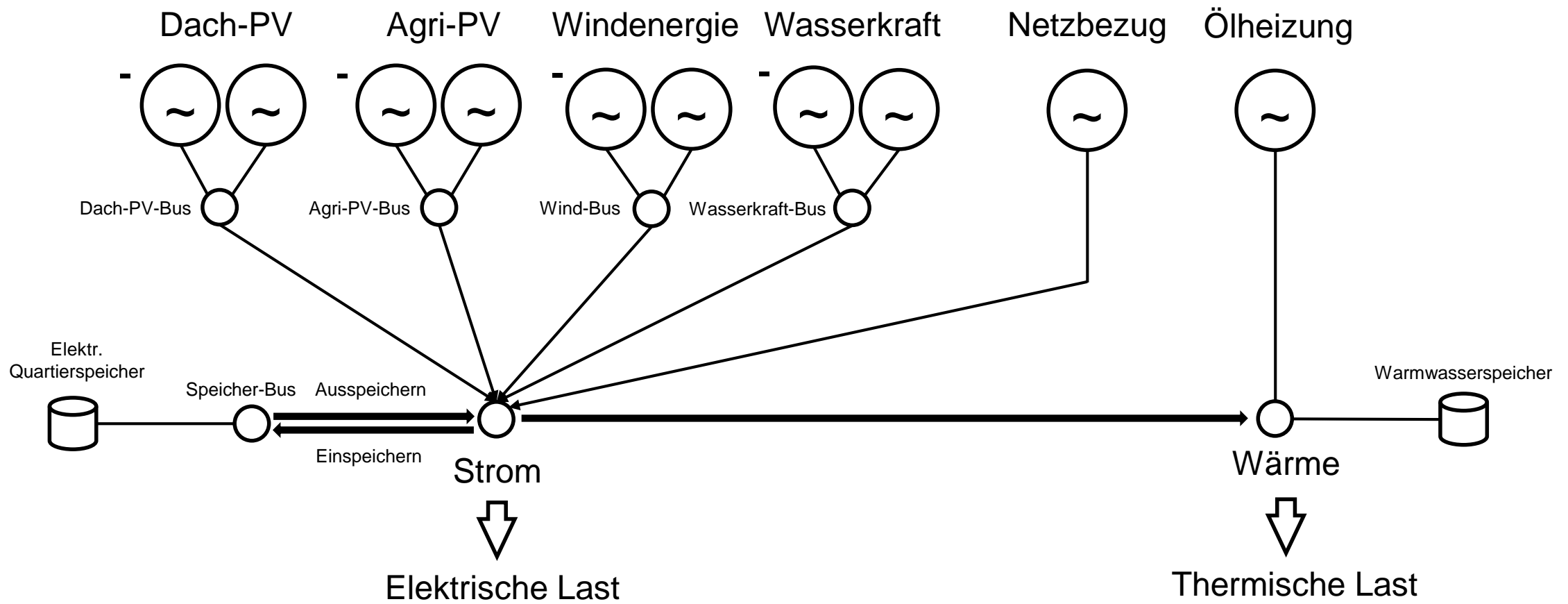
CO₂-Äquivalenten-Bilanz Szenario 2



Zusammenfassung Szenario 2

- Aktuelle jährliche Stromkosten **-3.162.076,26 €** und –bedarf **3.481.250,79 kWh**
- Aktuelle jährliche Heizkosten **-43.702,49 €** und –bedarf **6.211.268,24 kWh**
- Strom aus erneuerbaren Energien aktuell:
 - ~ 3.069 MWh Photovoltaik auf Dachflächen
 - ~ 813 MWh Agri-Photovoltaik
 - ~ 4.985 MWh Wasserkraft
 - ~ 270 MWh Windkraft
 - + 743 kWh Kapazität Li-Io-Speicher
 - **Ca. 262,5 % des Strombedarfs**
- Wärme durch **Wärmepumpen zu 80 % erneuerbar**
- Erlöse von Anlagen finanzieren **öffentliche Ladeinfrastruktur und Carsharing**
- **78 % CO₂-Einsparung** ggü. Simulation 1



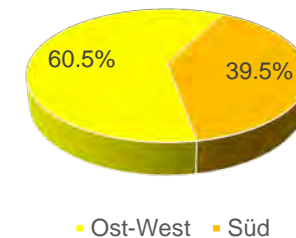


Szenario 3

Änderungen zu Szenario 2: Stromerzeugung

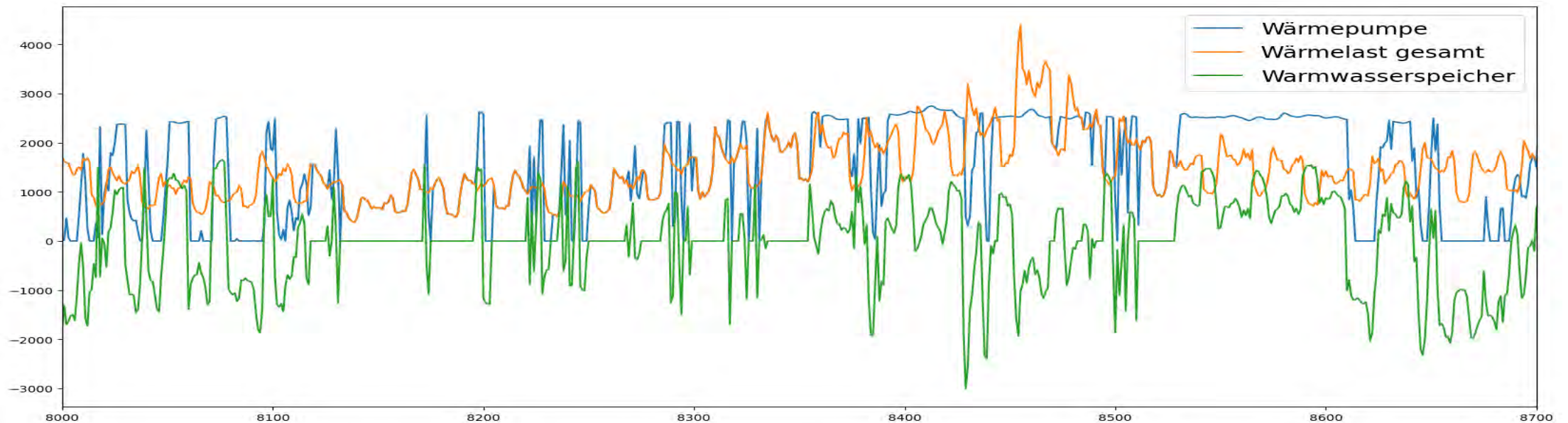
- Photovoltaik auf Dachflächen
 - 10 kWp Deckelung für Wohngebäude **entfällt**
 - 5.099,99 kWp Installierte Leistung
 - 6.599.574,09 kWh Stromertrag pro Jahr **(+114 % mehr Stromertrag)**
- Agri-PV
 - 20 Hektar, Nennleistung: **8.000 kWp (1.000 % mehr Ertrag)**
- Windenergie
 - **Zweite Windkraftanlage** (Erhöhung der Gesamtnennleistung auf 4.600 kW)
 - 9.970.719,20 kWh (ca. doppelter Stromertrag pro Jahr)
- Wasserkraft bleibt gleich

Hauptausrichtung der Solar-Module



Änderungen zu Szenario 2: Wärmeversorgung

- Wärmebedarf Ortsgemeinde Antweiler bleibt unverändert
 - Wärmebedarf wird zu 100% aus erneuerbaren Energien generiert
- Die Strombedarf der Wärmepumpen deckt den Wärmebedarf Antweilers
 - Strombedarf steigt um ca. 300 MWh/a



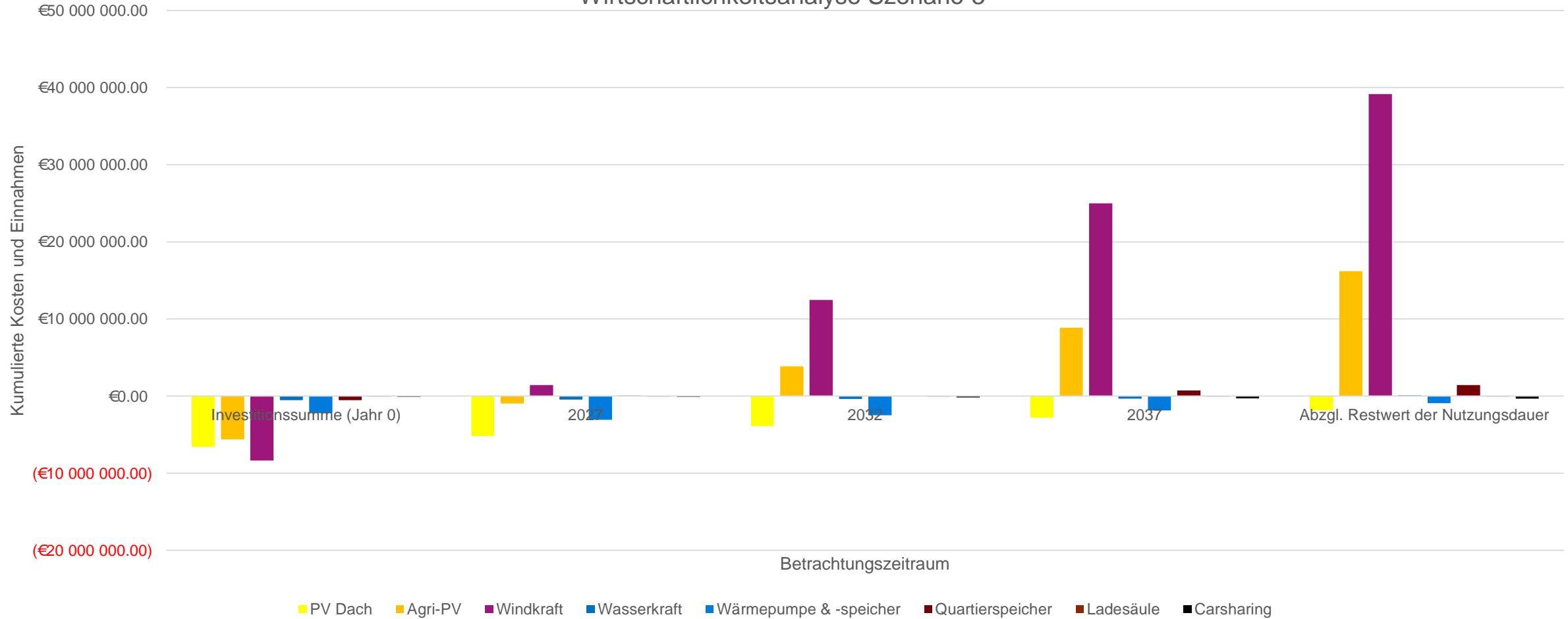
Wirtschaftlichkeit

	Mittlere Einspeisevergütung	Erzeugung	Einspeisequote
Dach-PV	0,087 €/kWh	~ 4.910 MWh	98,7 %
Agri-PV	0,082 €/kWh	~ 8.130 MWh	90,5 %
Windkraftanlage	0,0605 €/kWh	~ 9.970 MWh	70,3 %
Wasserkraftwerk	0,1203 €/kWh	~ 270 MWh	95 %



Wirtschaftlichkeit

Wirtschaftlichkeitsanalyse Szenario 3



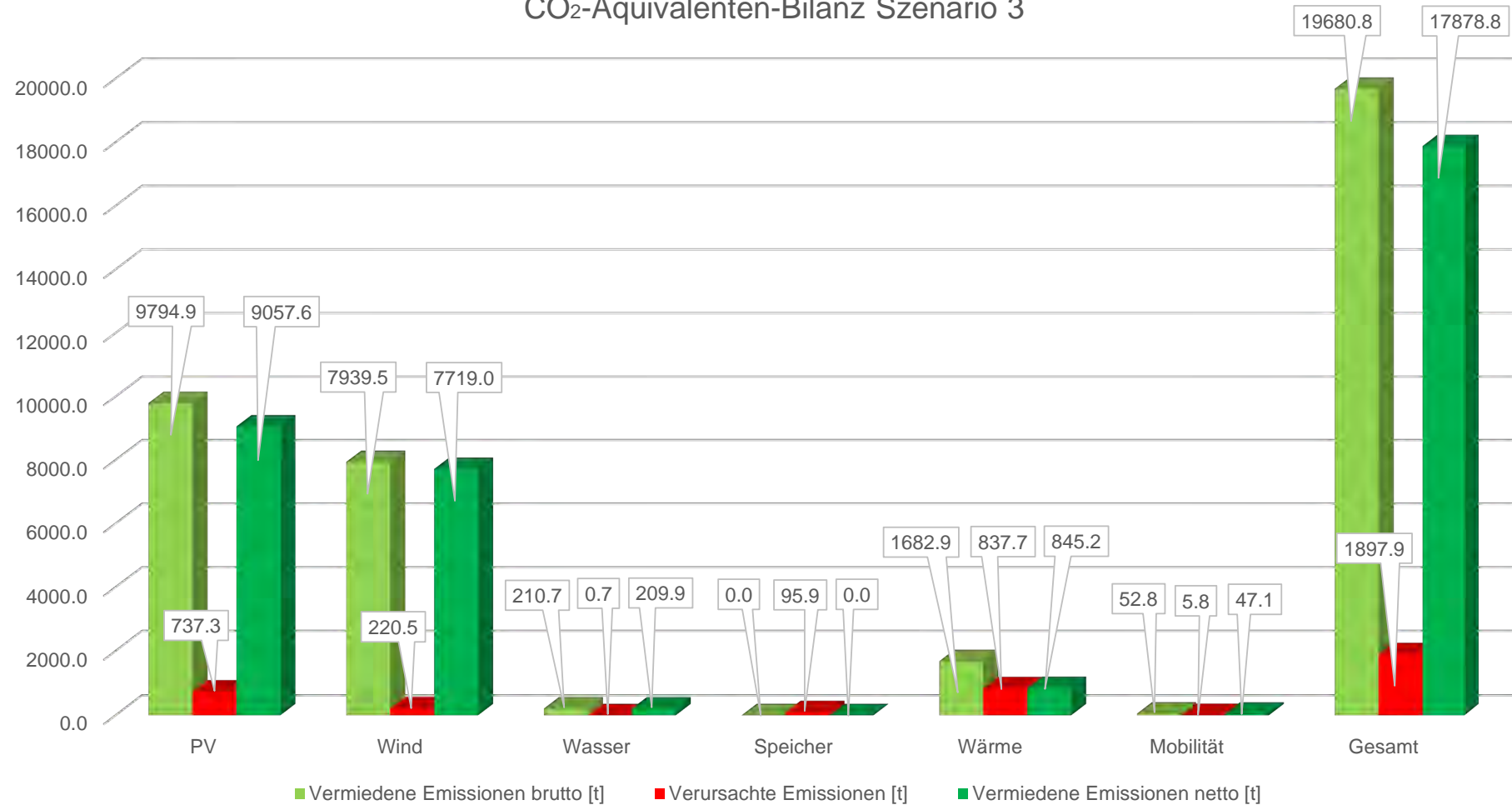
Wirtschaftlichkeit

	Investitionssumme	Nutzungsdauer	Erlöse nach 20 Jahren zzgl. Restwert	Amortisationszeit
Dach-PV	6.599.574,09 €	20 Jahre	-1.862.583,36 €	Nie
Agri-PV	5.600.000,00 €	35 Jahre	16.188.744,42 €	5 Jahre
Windkraftanlage	8.358.200,00 €	20 Jahre	39.169.590,22 €	4 Jahre
Wasserkraftwerk	536.250,00 €	80 Jahre	87.167,46 €	> 20 Jahre
Quartierspeicher	529.065,00 €	10 Jahre	1.435.585,19 €	4 Jahre
Wärmepumpen	615.000,00 €	30 Jahre	-908.468,57 €	Nie
Wärmespeicher	1.571.843,91 €	30 Jahre		
Ladeinfrastruktur	2.400,00 €	10 Jahre	-19.595,63 €	Nie
Carsharing	77.640,00 €	6 Jahre	-262.790,28 €	Nie



Ökobilanz

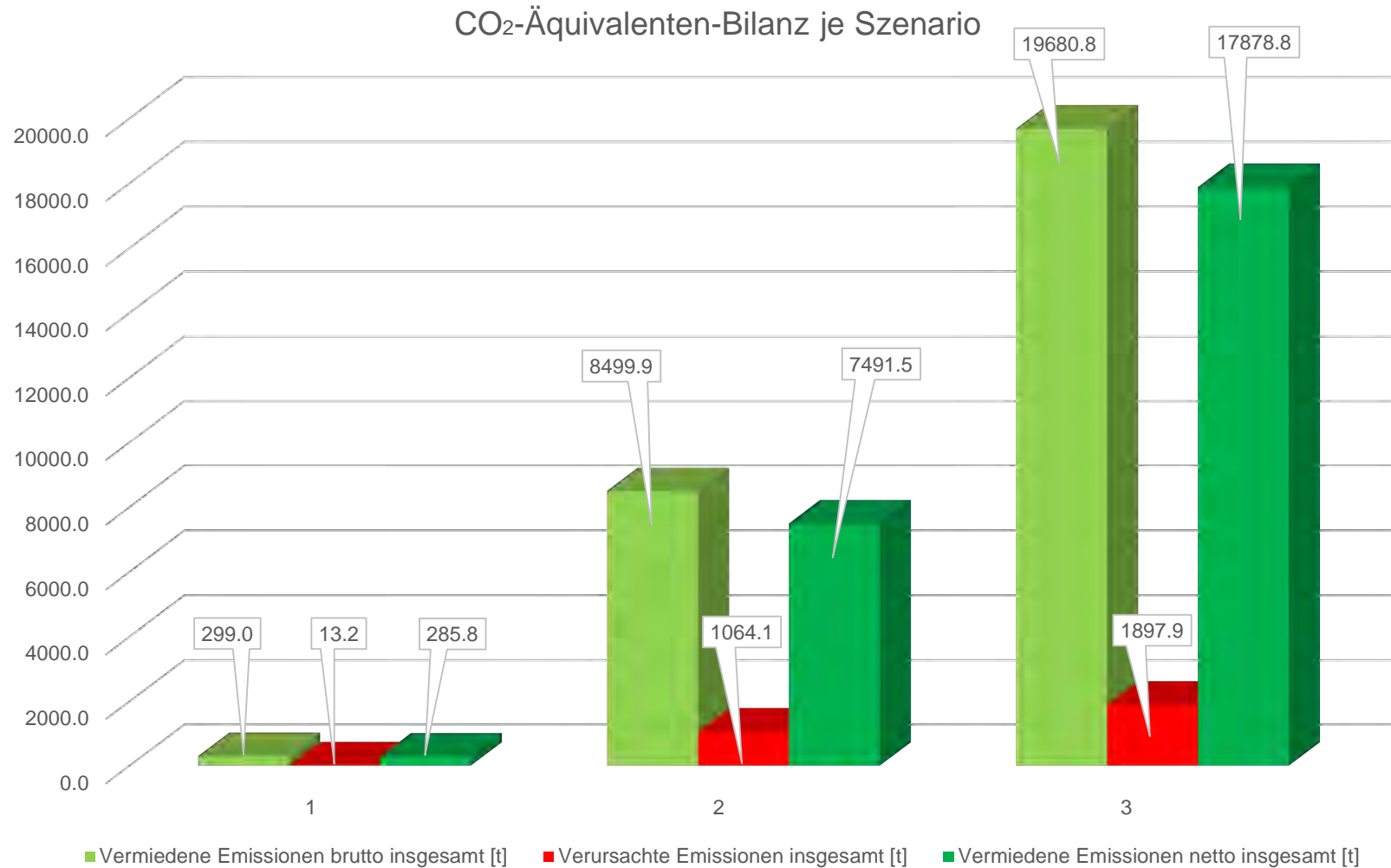
CO₂-Äquivalenten-Bilanz Szenario 3



Zusammenfassung Szenario 3

- **Ausschöpfung des erneuerbaren Potenzials in Antweiler**
 - Dach-PV und Wasserkraft wirtschaftlich nicht sinnvoll, wenn hochskaliert
 - Schlechtere Amortisationsdauern, jedoch größere Gesamterlöse
 - Zweite Windkraftanlage und Agri-PV wirtschaftlich sinnvoll bei höherer Leistung
- Wärmesystem zu 100% erneuerbar
 - Amortisiert sich nicht
- Erlöse von Anlagen können **öffentliche Ladeinfrastruktur und Carsharing** finanzieren

Gesamtökobilanz



Fehlerbetrachtung

- Keine belastbaren Wärme- und Strombedarfsdaten sowie Heizlast und Netzpläne
 - Datensätze simuliert und daher nur Annäherung an die Realität
- Mobilität nicht in Simulation und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung enthalten
- Verluste Windenergieerzeugung teilweise nicht datierbar und daher in Simulation vernachlässigt
- Strom- und Rohstoffpreise schwer prognostizierbar
- Wirtschaftlichkeit von Anlagen gemeinsam bewertet → Erlöse in Realität nicht für alle gleich
 - Strompreis von EE nicht Endpreis
- Bei Emissionsbilanz der Stromspeicher und im Mobilitätssektor werden aufgrund unsicherer Datengrundlage nur CO₂-Emissionen bei der Herstellung der Batterien betrachtet





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

31.05.2023

Anna Maria Franzen, Laura Stark, Marius Zellmer, Maximilian Gerlach, Paula Barnert, Sebastian Nöhre
Prof. Dr. Eberhard Waffenschmidt

Seite 40

Erneuerbare Energien – Fakultät für Anlagen, Energie- und Maschinensysteme



Technology
Arts Sciences
TH Köln

Quellen

- [1] <https://www.antweiler-muehle.de/muehle-antweiler-wasserkraft.php>
- [2] <https://www.autohaus.de/nachrichten/politik/verbrennerverbot-ab-2035-eu-abstimmung-wird-verschoben-3333600>
- [3] <https://www.ahrstrecke.de/>
- [4] <https://next2sun.com/agri-pv/>
- [5] https://www.windmanager.net/en/wp-content/themes/blank_new16/img/WEA-Enercon.png
- [6] <https://www.bdew.de/online-magazin-zweitausend50/schwerpunkt-stadt-land-fluss/moderne-wasserkraft-gut-fuer-fische-gut-fuers-klima/>
- [7] <https://www.ise.fraunhofer.de/de/leitthemen/stationaere-batteriespeicher/quartierspeicher.html>
- [8] <https://energetechsolar.com/up-to-3mwh-600v900vdc-energy-storage-system>
- [9] <https://web.de/magazine/ratgeber/finanzen-verbraucher/gerald-linke-betrieb-heizung-bestehenden-gasnetz-moeglich-37983822>
- [10] <https://www.ebusco.com/de/neue-ordnung-in-muenchen/>
- [11] <https://omnibus.news/h2-kleinbus-von-hyvia>
- [12] https://www.wehen-automobile.de/auto-dacia-spring-x__8670.php
- [13] <https://www.citroen.de/modelle/spacetourer.html>
- [14] <https://www.westenergie.de/metering/de/westenergie-metering.html>
- [15] <https://www.enbw.com/elektromobilitaet/unterwegs-laden>

Alle undeklarierten Darstellungen sind eigene Darstellungen



Anhang / Ersatzfolien

31.05.2023

Anna Maria Franzen, Laura Stark, Marius Zellmer, Maximilian Gerlach, Paula Barnert, Sebastian Nöhre
Prof. Dr. Eberhard Waffenschmidt

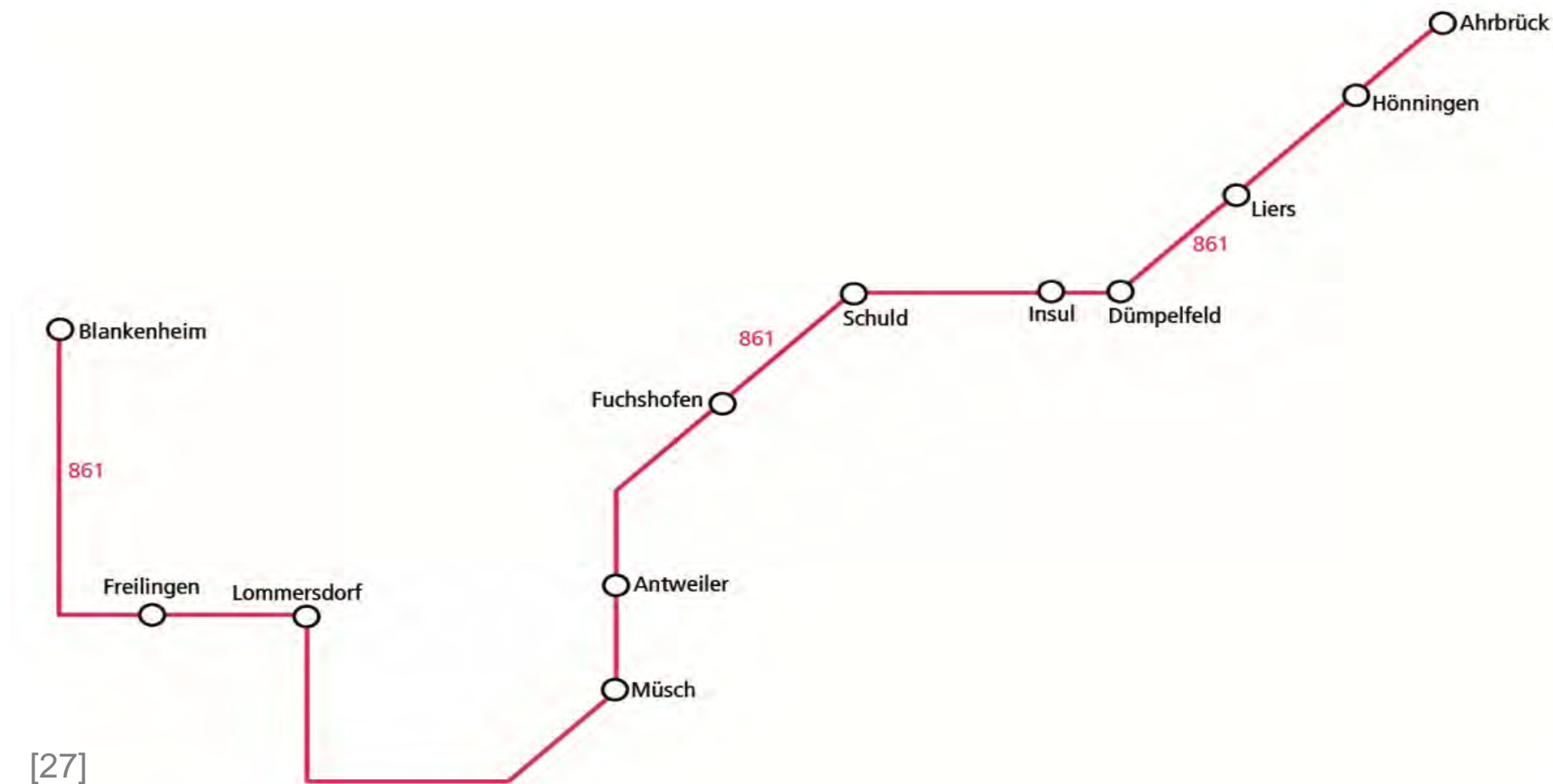
Seite 42

Erneuerbare Energien – Fakultät für Anlagen, Energie- und Maschinensysteme



Technology
Arts Sciences
TH Köln

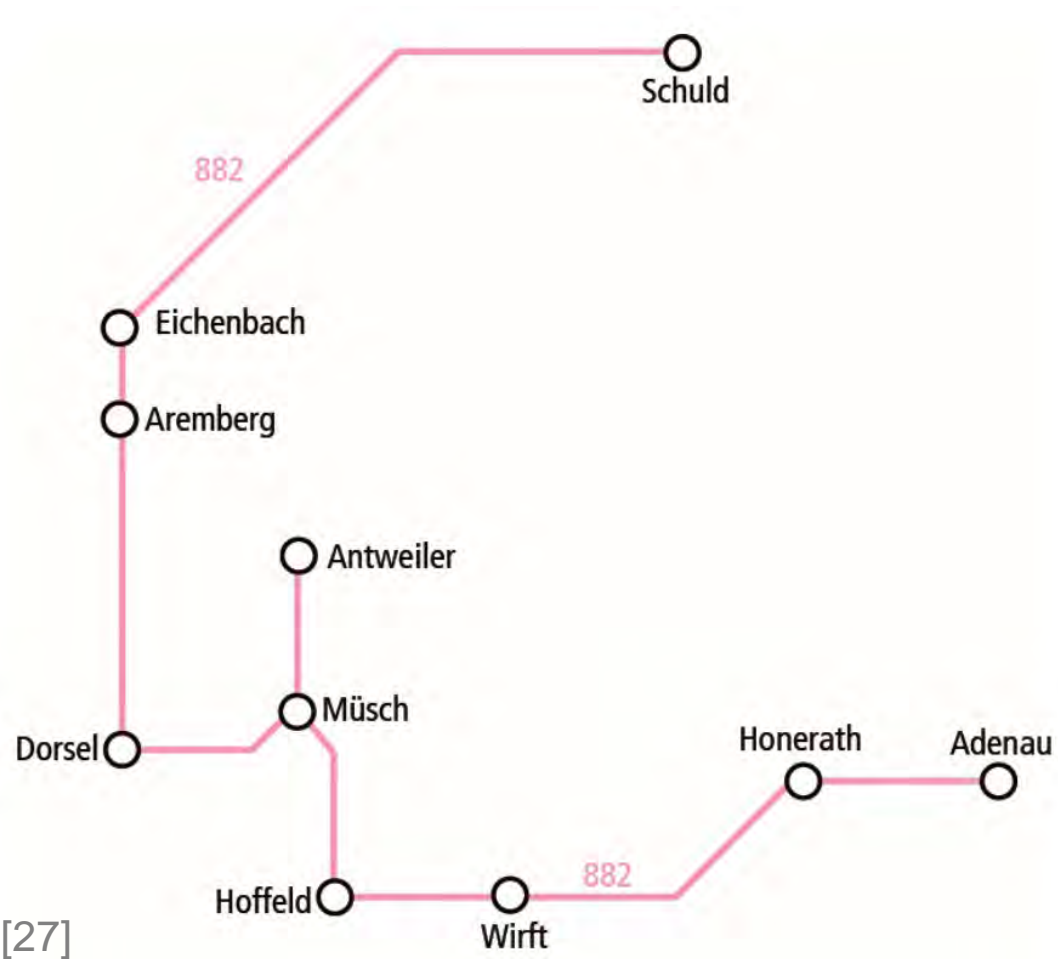
Linie 861



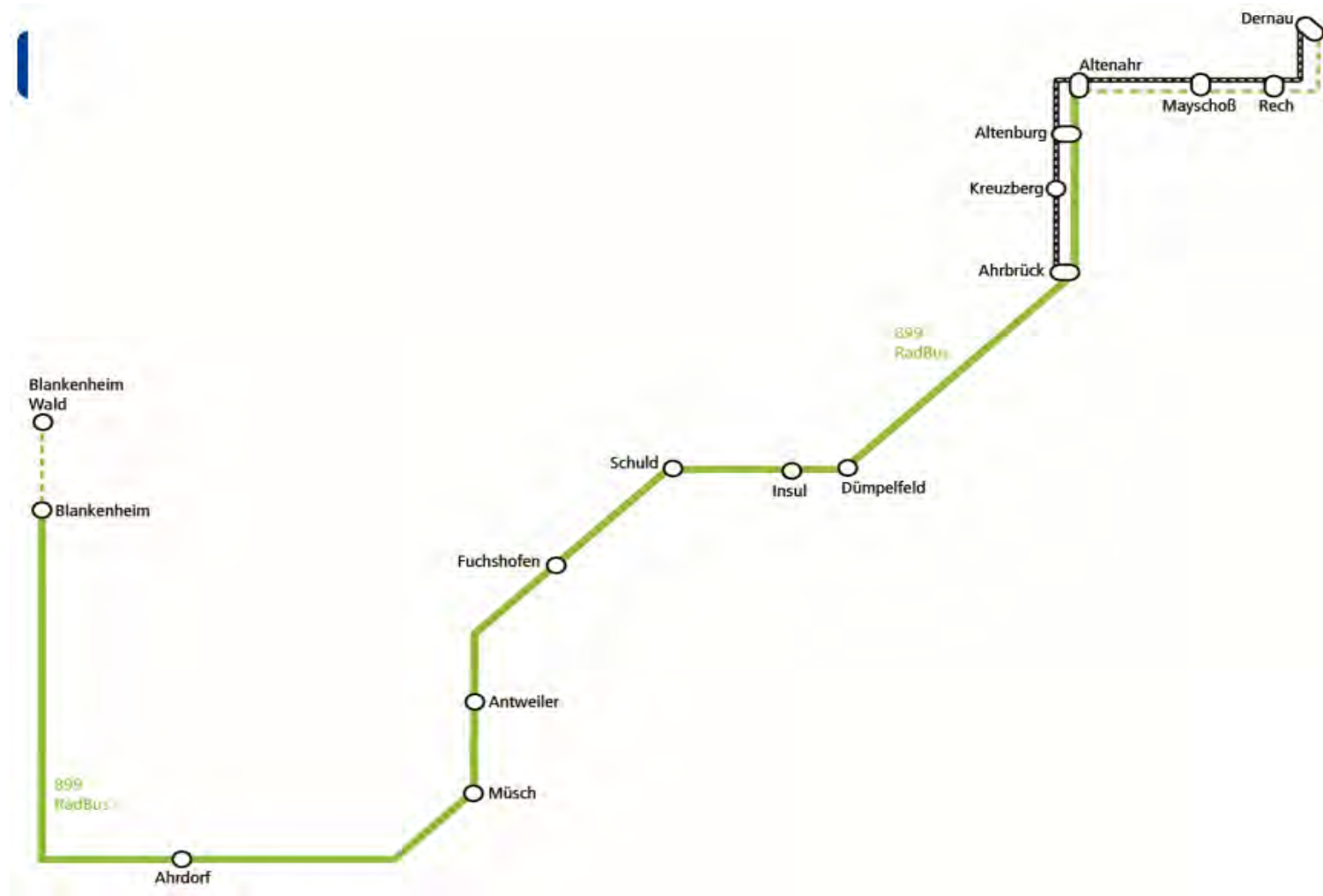
[27]



Linie 882



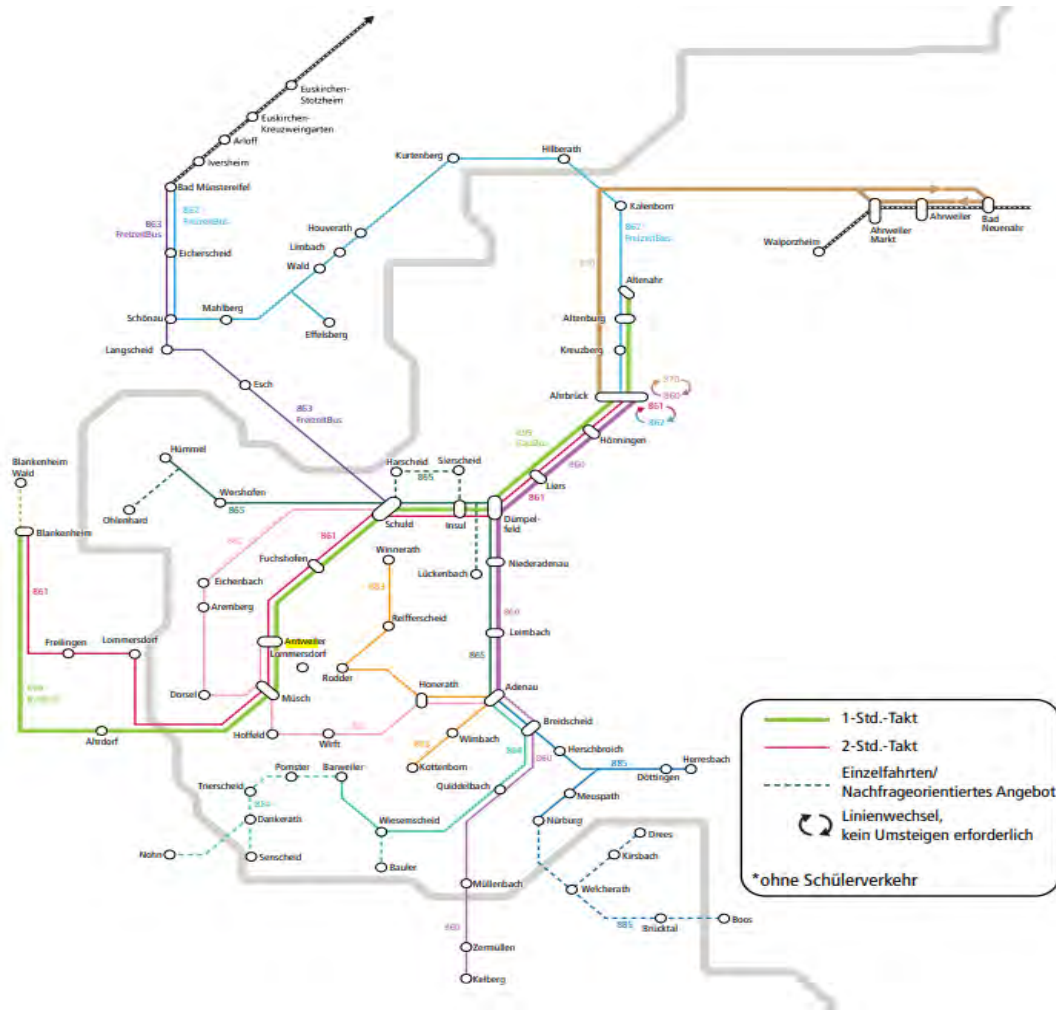
Linie 899



[27]



Gesamtes geplantes Busnetz



[27]