

Dezentrale Lösungswege, um zentrale Infrastruktur zu minimieren

Symposium „25 Jahre solares bauen Energieeffizienz & Regenerative Energien“

Sebastian Herkel, 27.09.2024



... oder eher:

so zentral wie möglich, um kosteneffizient zu sein
– so dezentral wie nötig, um resilient zu sein

Energiekonzept

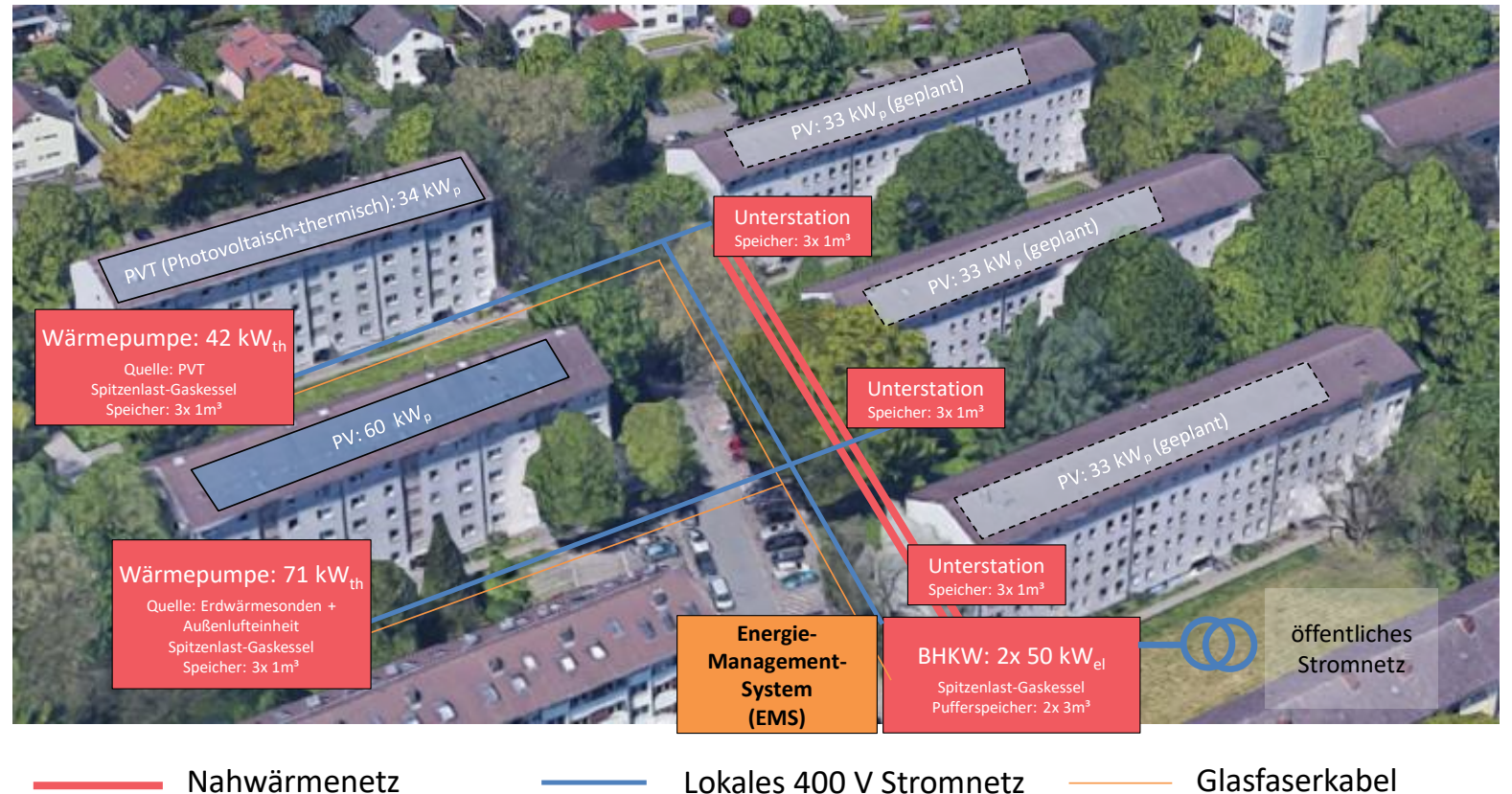
Smartes Quartier Durlach: Balance zwischen geringen CO₂-Emissionen und hoher Wirtschaftlichkeit

Ausgangspunkt 2016:

- Baujahr 1962
- Erschließung durch Fernwärme schwierig (Bahntrasse)
- Gebäudehülle in den 1995 teilmodernisiert
- Wärmeverbrauch < 100 kWh/m²/a

Ziel

- Balance zwischen geringen CO₂-Emissionen und hoher Wirtschaftlichkeit
- Berücksichtigung von lokalen Restriktionen und rechtlichen Rahmenbedingungen



Energiekonzept

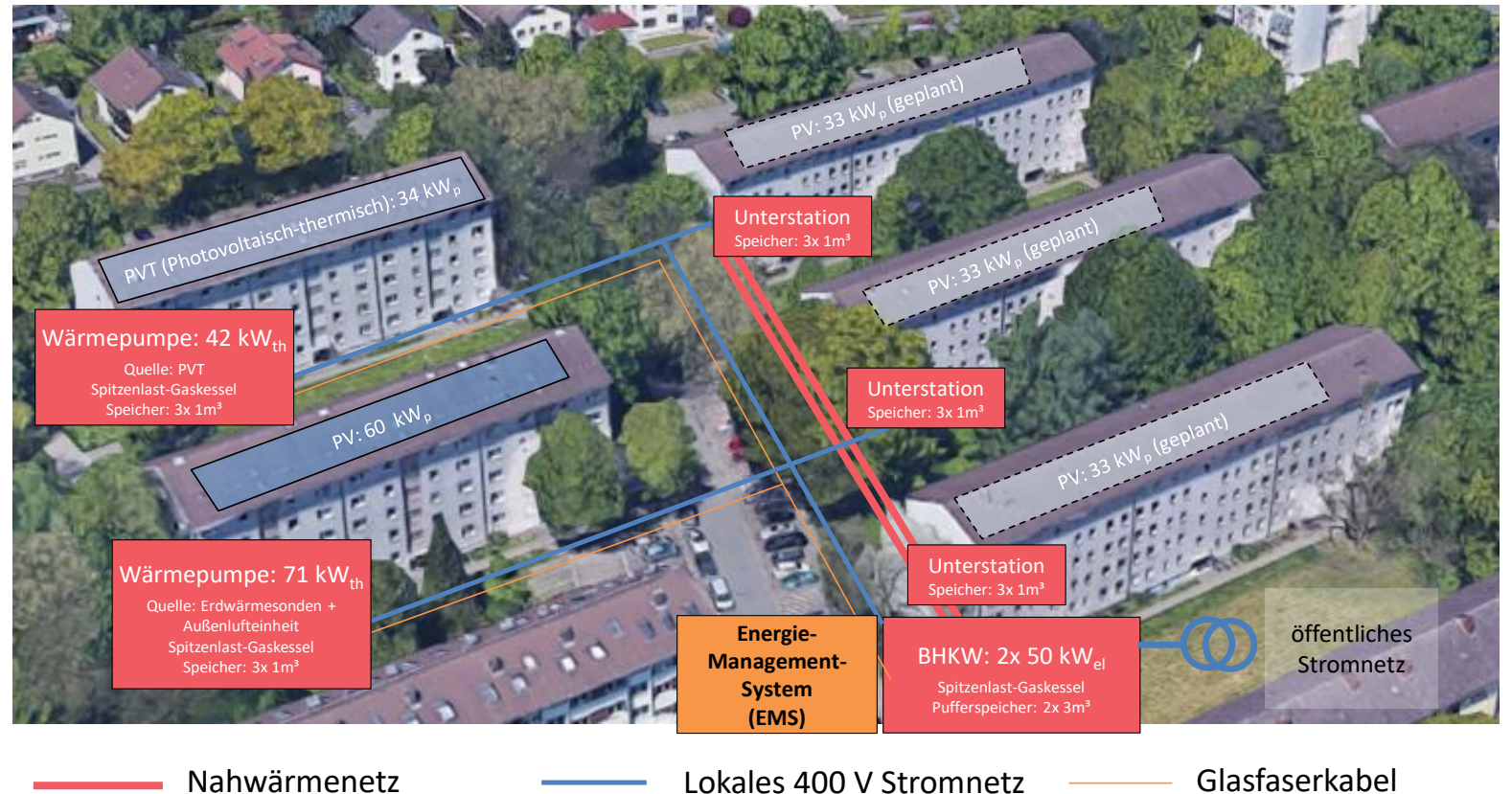
Smartes Quartier Durlach: Balance zwischen geringen CO₂-Emissionen und hoher Wirtschaftlichkeit

Ansatz

- Kombination aus PV, BHKW und Wärmepumpen

Ausführung

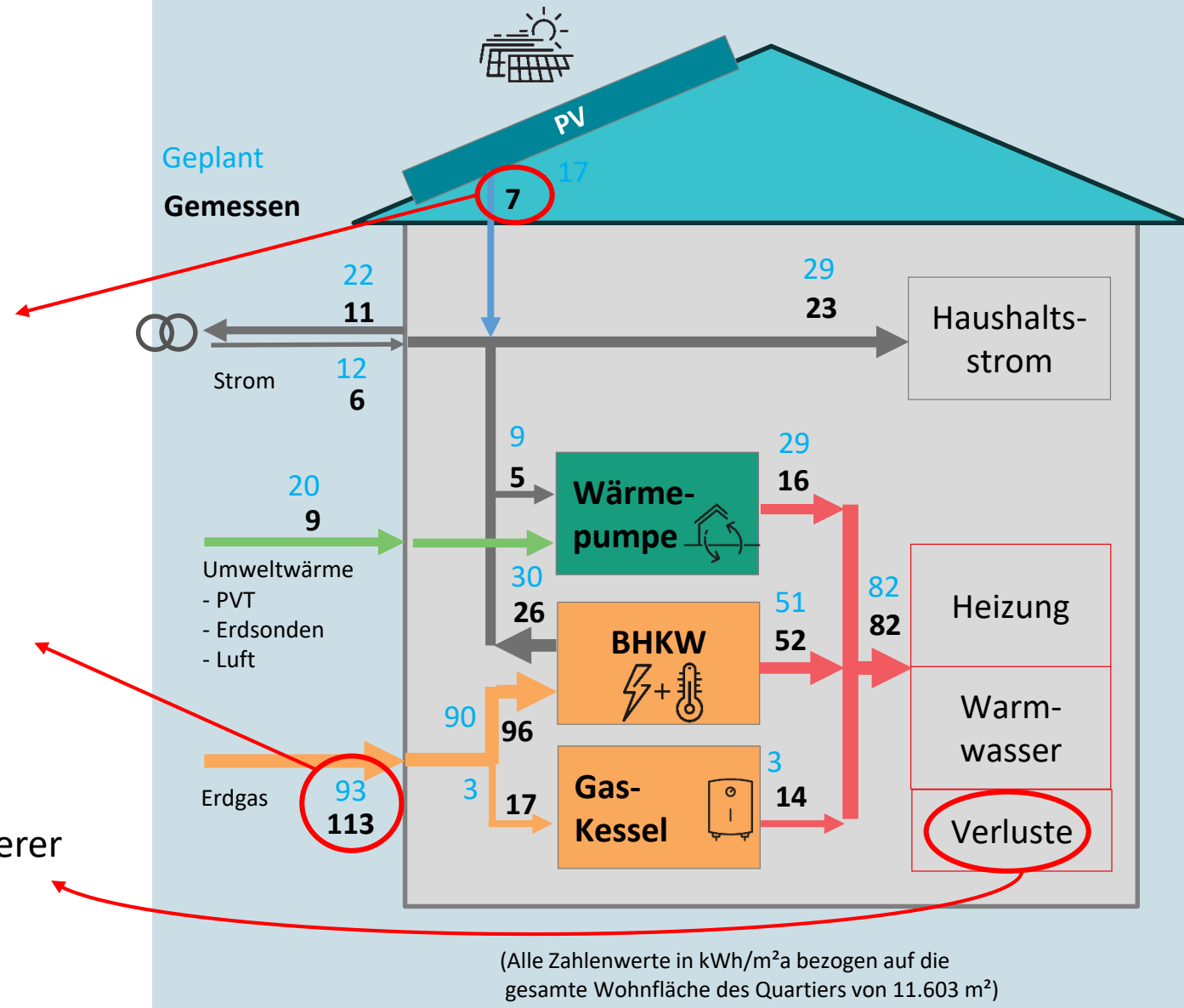
- Hälfte der geplanten PV-Anlagen installiert (wegen Aufwand und Randbedingungen Mieterstrom), Installation (100 kW_p) aktuell in Vorbereitung
- PVT-Wärmepumpe seit 06/2023 in Betrieb
- Mehrquellen-Wärmepumpensystem (Kombination Erdsonde und Tischkühler)



Quartiersenergiekonzept

Monitoring 2023

- Geringere Verbräuche als Planung (Strom, Heizung, Warmwasser)
- Geringere PV-Erträge
 - Hälfte der geplanten PV-Anlagen installiert
- Hoher Anteil an fossilen Energieträgern
 - PVT-Wärmepumpe seit 06/2023 in Betrieb
 - zu niedrige VL-Temperatur der Mehrquellen-WP
- Zusätzliche Verluste durch Nahwärmenetz und höherer Speicherkapazität

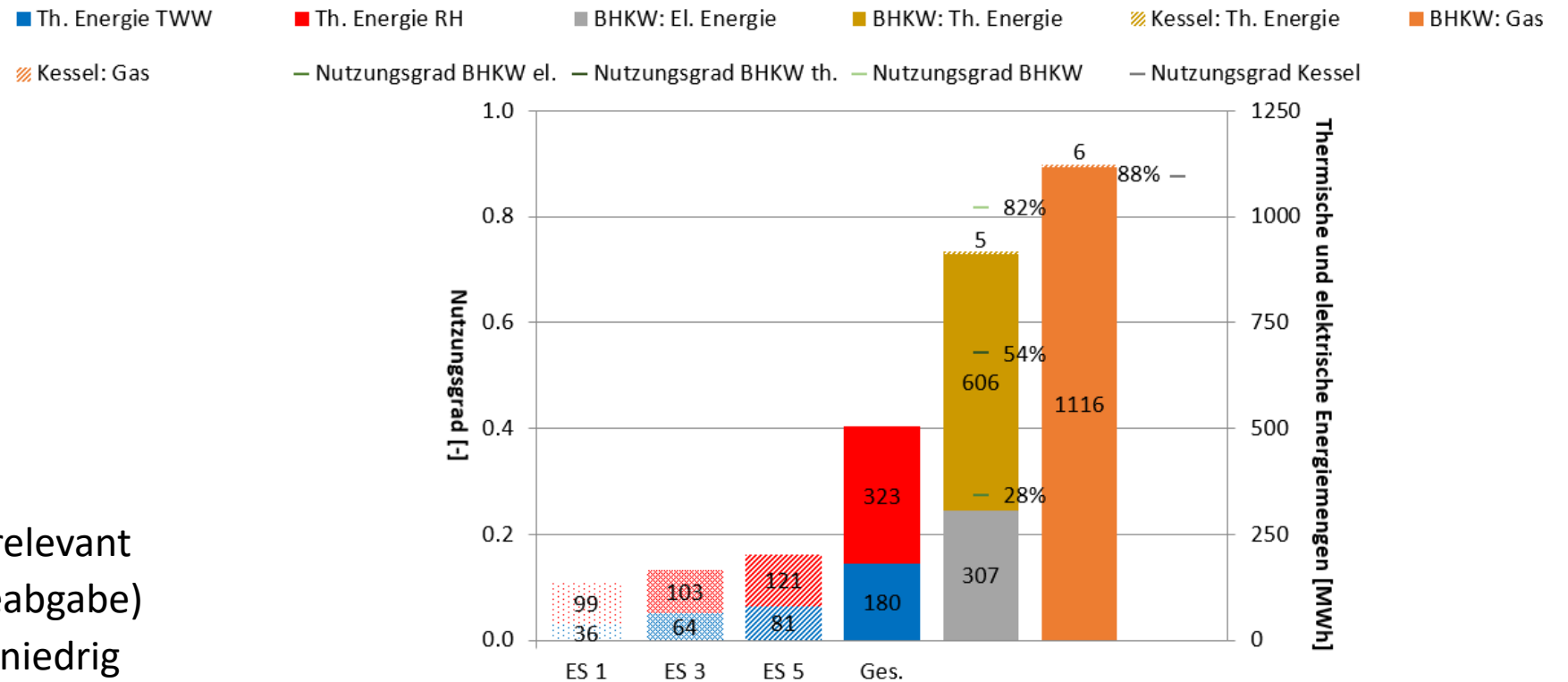


Monitoring BHKW

Nutzungsgrade und Energiemengen

BHKW (ES 1,3 und 5)

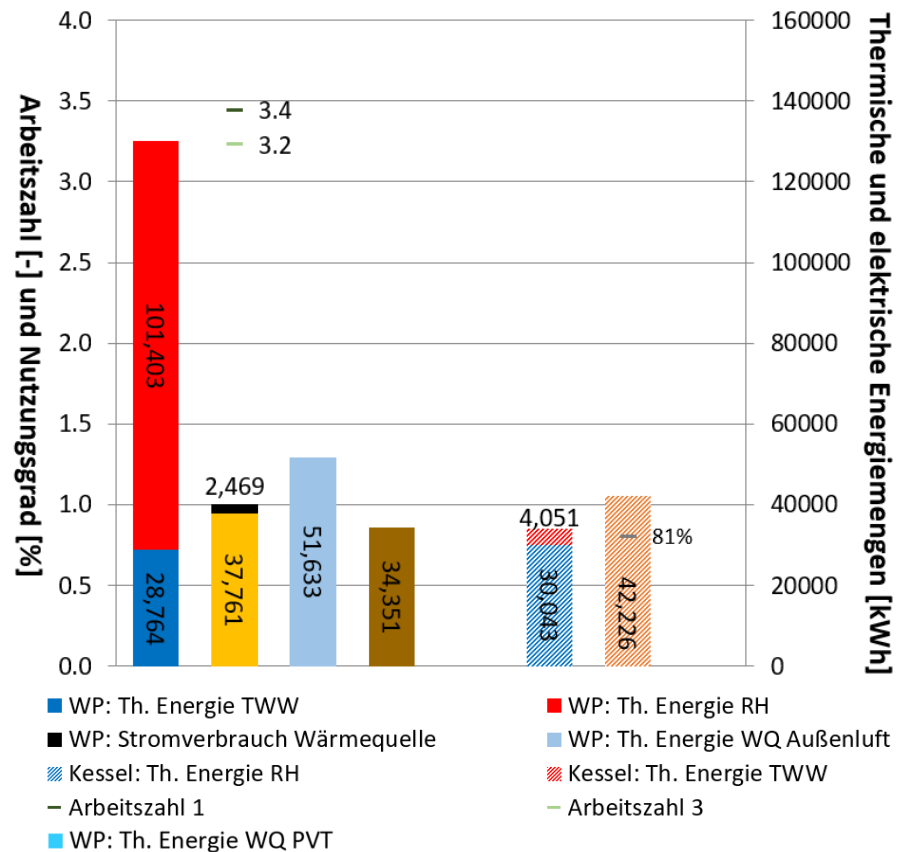
- Gesamtwirkungsgrad
- Speicher und Verteilverluste relevant (20% der Erzeugernutzwärmeabgabe)
- Stromkennzahl mit 51% eher niedrig



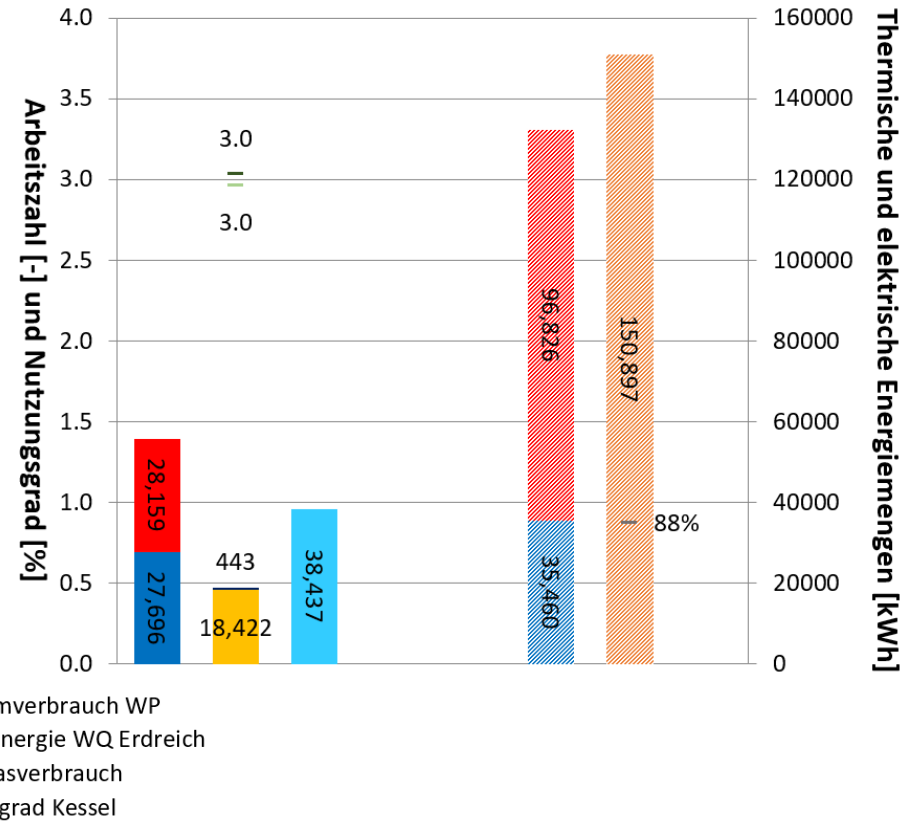
Monitoring Wärmepumpensysteme

Arbeitszahl, Nutzungsgrad, Energiemengen

Mehrquellen-Wärmepumpensystem (ES4)



PVT-Wärmepumpensystem (ES2)



Systemtemperaturen

Tagesmittelwerte der Vor- und Rücklauftemperatur zur Raumheizung (Heizkurve), 2023

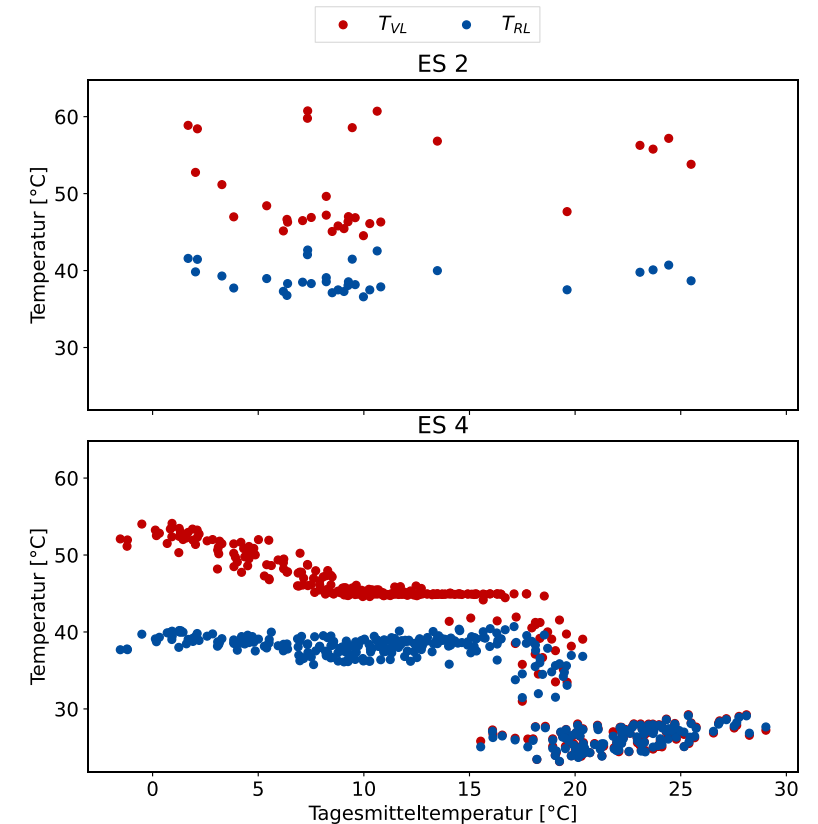
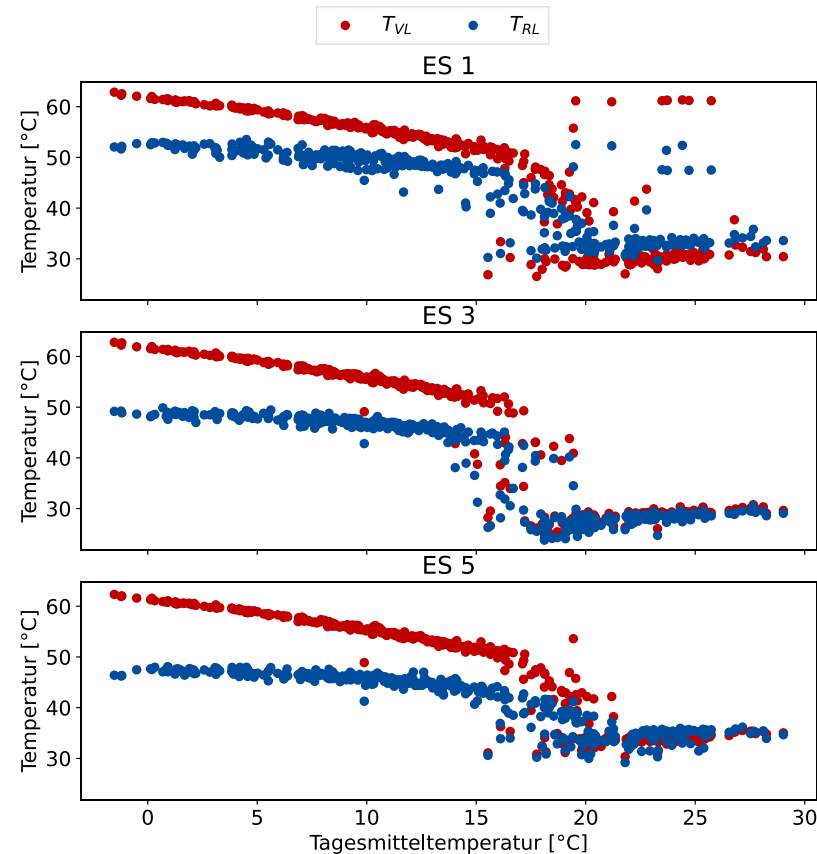
BHKW (links)

Wärmepumpe mit PVT
(rechts oben)

Wärmepumpe mit
Mehrquellensystem
(rechts unten)

- Gute Anpassung an das jeweilige Heizsystem

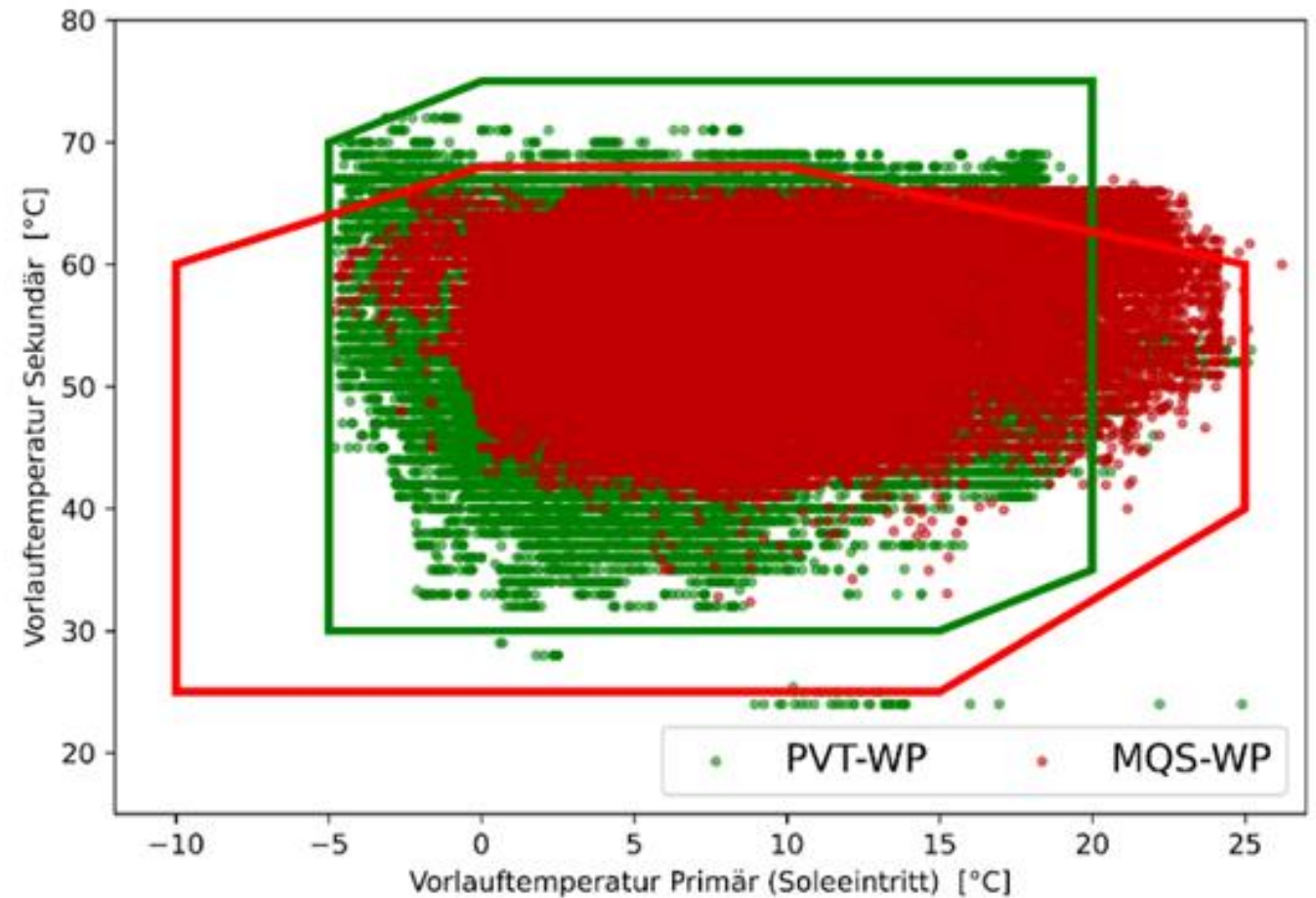
- Optimierung bei PVT-WP notwendig



Kennfelder Wärmepumpen

Vorlauftemperatur Senke vs. Quelle

- Durchgezogene Linien: Einsatzgrenzen
- Tiefere Quelltemperaturen bei der PVT-Wärmepumpe
- Obere Grenze der Senktemperatur des Mehrquellensystems häufig erreicht



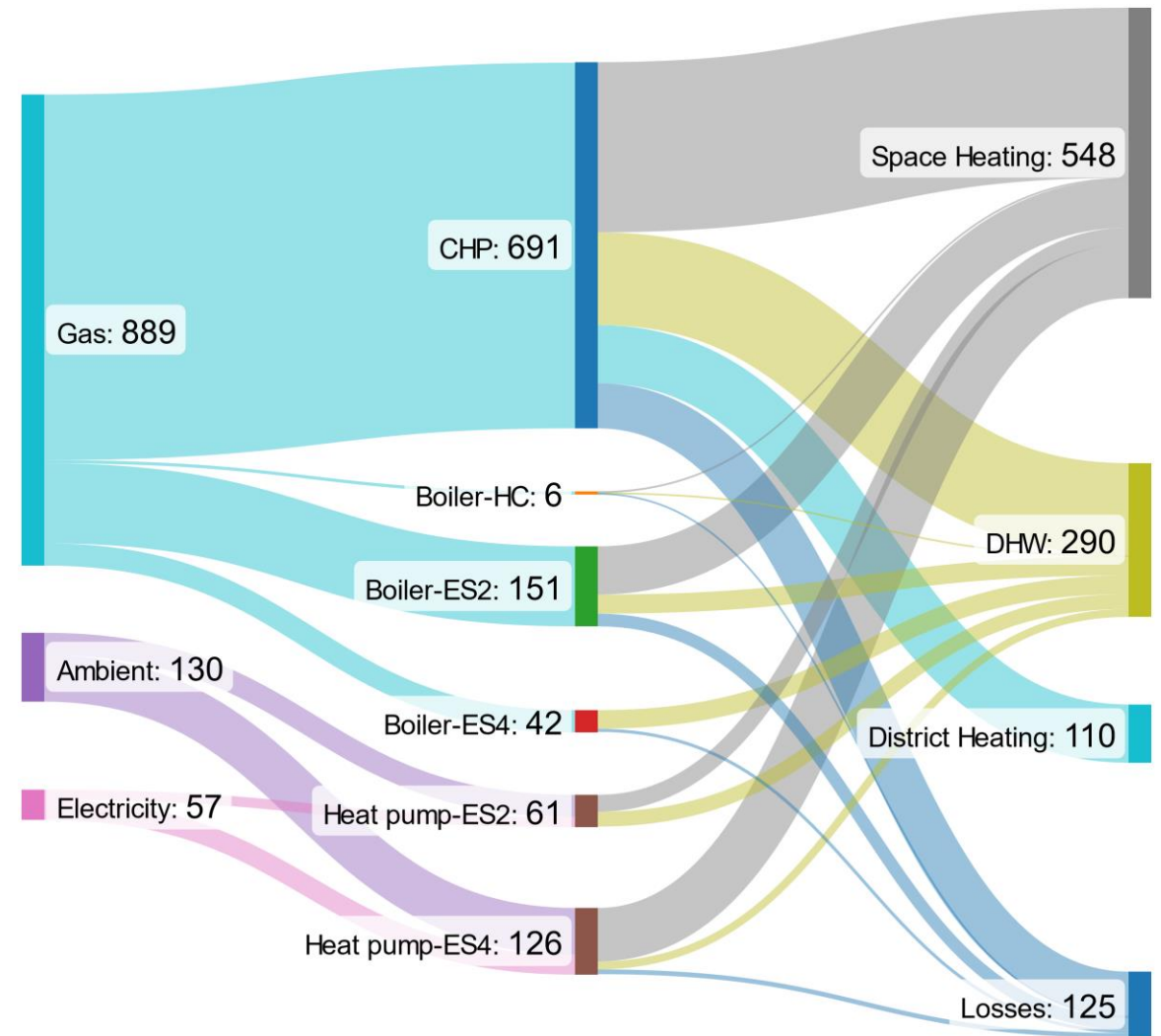
Wärmebilanz

Smartes Quartier Durlach, 2023

Erdgas ist auch nach Umstellung der Versorgung der zentrale Energieträger

Die Wärmepumpen/ Erdgas-Kessel Hybridsysteme stellen sich unterschiedlich dar:

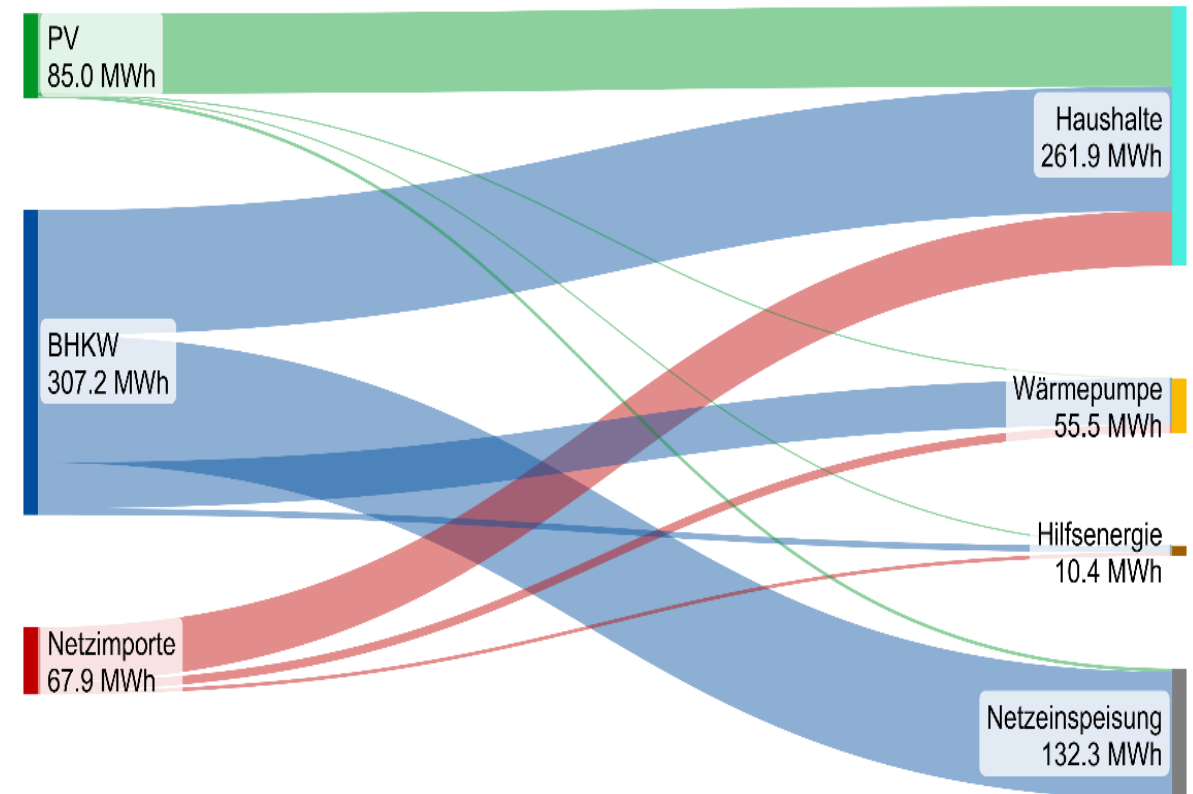
- Wärmepumpen Mehrquellensystem arbeitet wie geplant, hier könnte durch ein höhere Auslegungstemperatur der Wärmequelle der Gasanteil noch reduziert werden
- PVT-Mehrquellensystem: Kurze Laufzeiten der Wärmepumpe infolge von Schall, Abstimmung Quelle / Operation Limit der Wärmepumpe muss optimiert werden



Strombilanz – Zuordnung Erzeugung und Verbrauch

Energieflussdiagramm der Stromerzeugung und des -verbrauchs im Quartier für das Jahr 2023

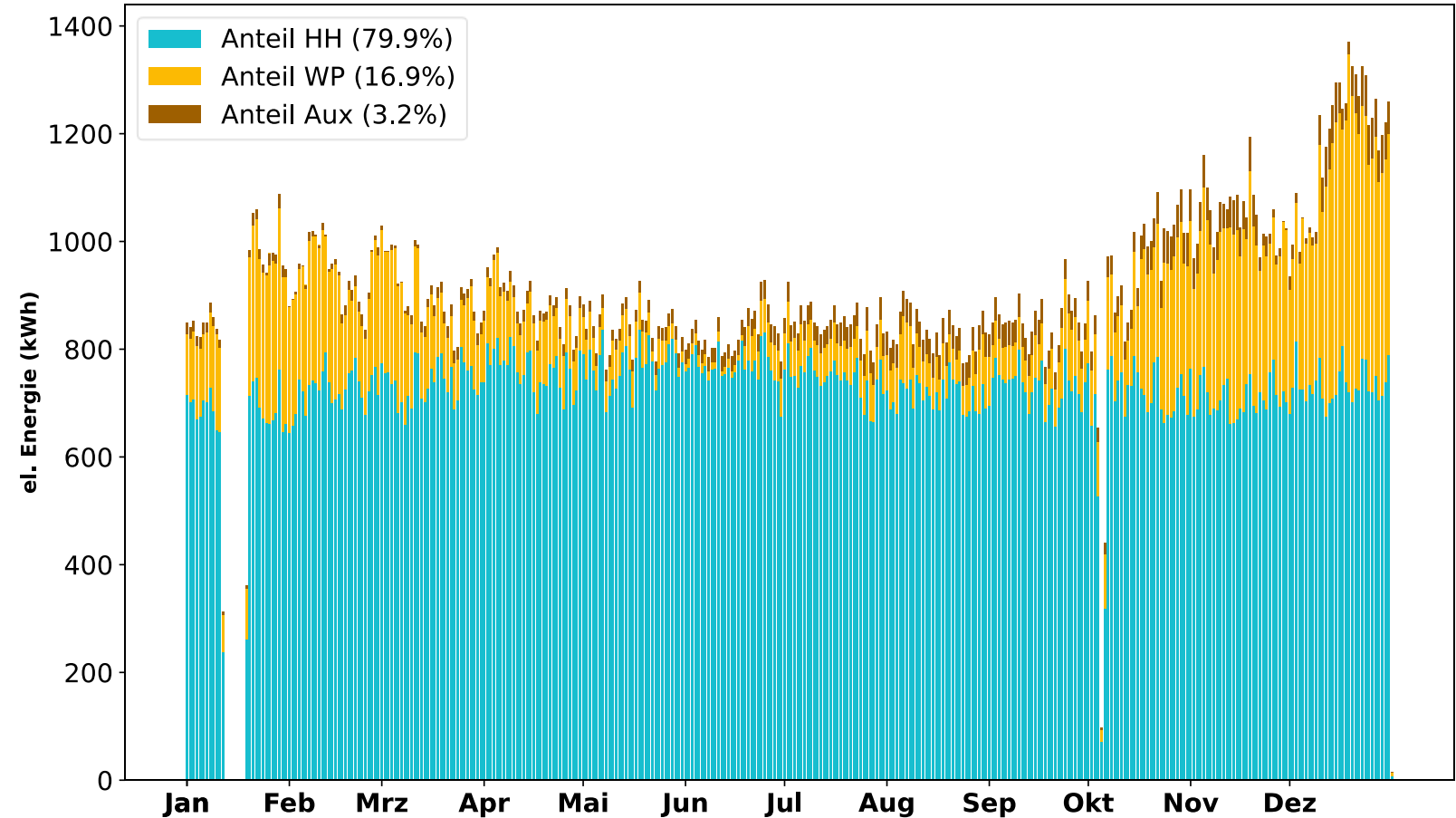
- Die Stromerzeugung (392 MWh/a) übersteigt den Verbrauch (328 MWh/a)
- Unter zeitlichen Gesichtspunkten: Autarkie von 79 %
- 86 % des Stromverbrauchs für die Wärmeerzeugung wurde vor Ort erzeugt
- Saisonale Unterschiede:
 - hoher Selbstversorgungsgrad von 91 % im Winter
 - EMS ist erforderlich, um den Eigenverbrauch im Sommer zu erhöhen
- Verringerung der Abhängigkeit vom Netz
 - Verringerung des Stromimports
 - Reduktion der maximalen Leistung aus dem Netz um 5 %



Jahresgang elektrische Verbraucher

Tageswerte 2023, Gesamtes Quartier

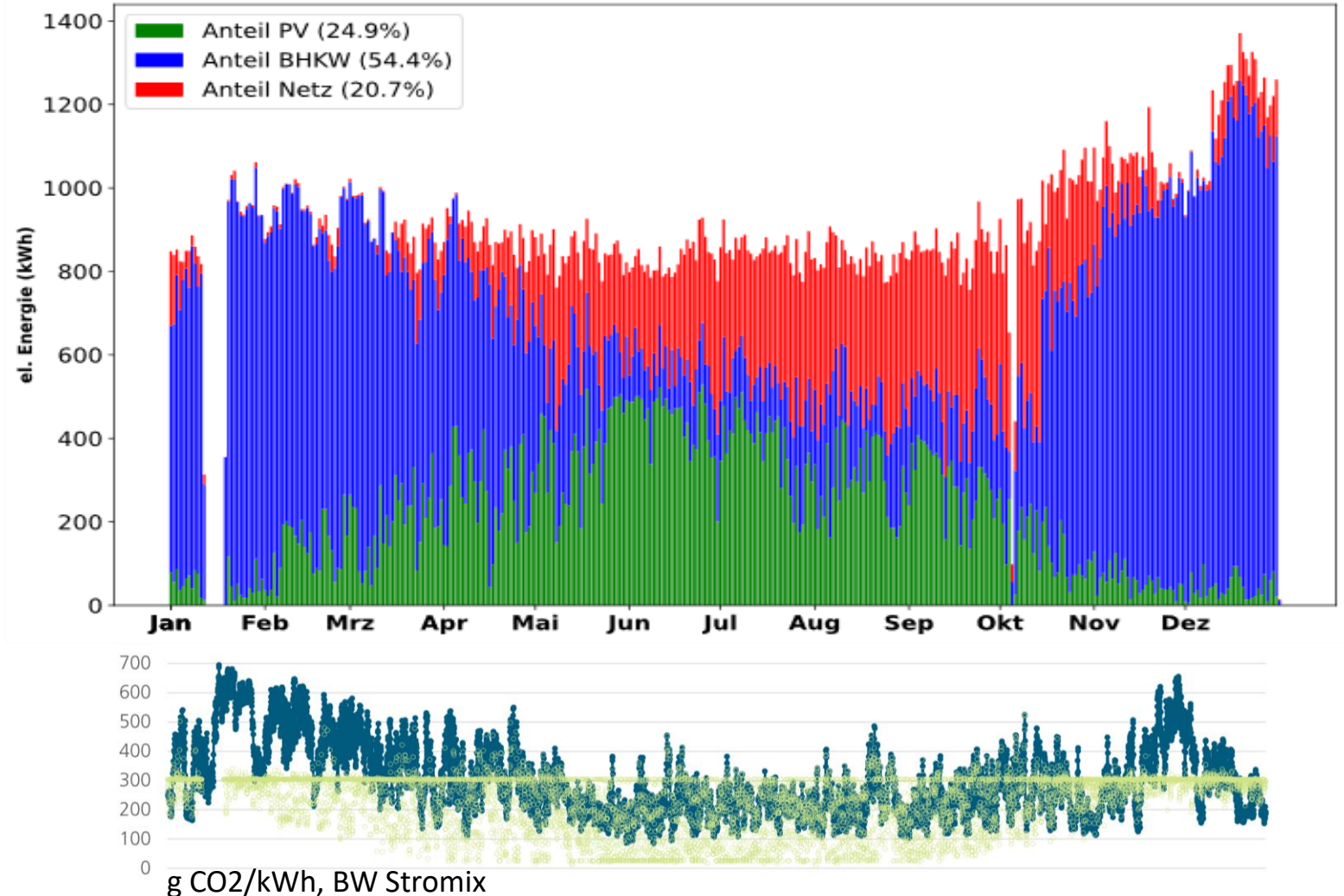
- Erste Jahreshälfte nur eine Wärmepumpe in Betrieb
- deutlicher Winterpeak, bei Betrachtung nur der Gebäude mit Wärmepumpenversorgung noch ausgeprägter



Jahresgang elektrische Erzeugung und Netzbezug

Tageswerte 2023, Gesamtes Quartier, Jahresgang CO2 Strommix Quartier und BW

- BHKW kann im Winter kompletten Bedarf decken
- Netzbezug in den Übergangszeiten am höchsten (Peak PV-Erzeugung ca. 3 Monate vor Minimum Raumwärmebedarf)



CO₂-Emissionen lokal vs. Strom-Mix

PV, Netzbezug, Wärmepumpe

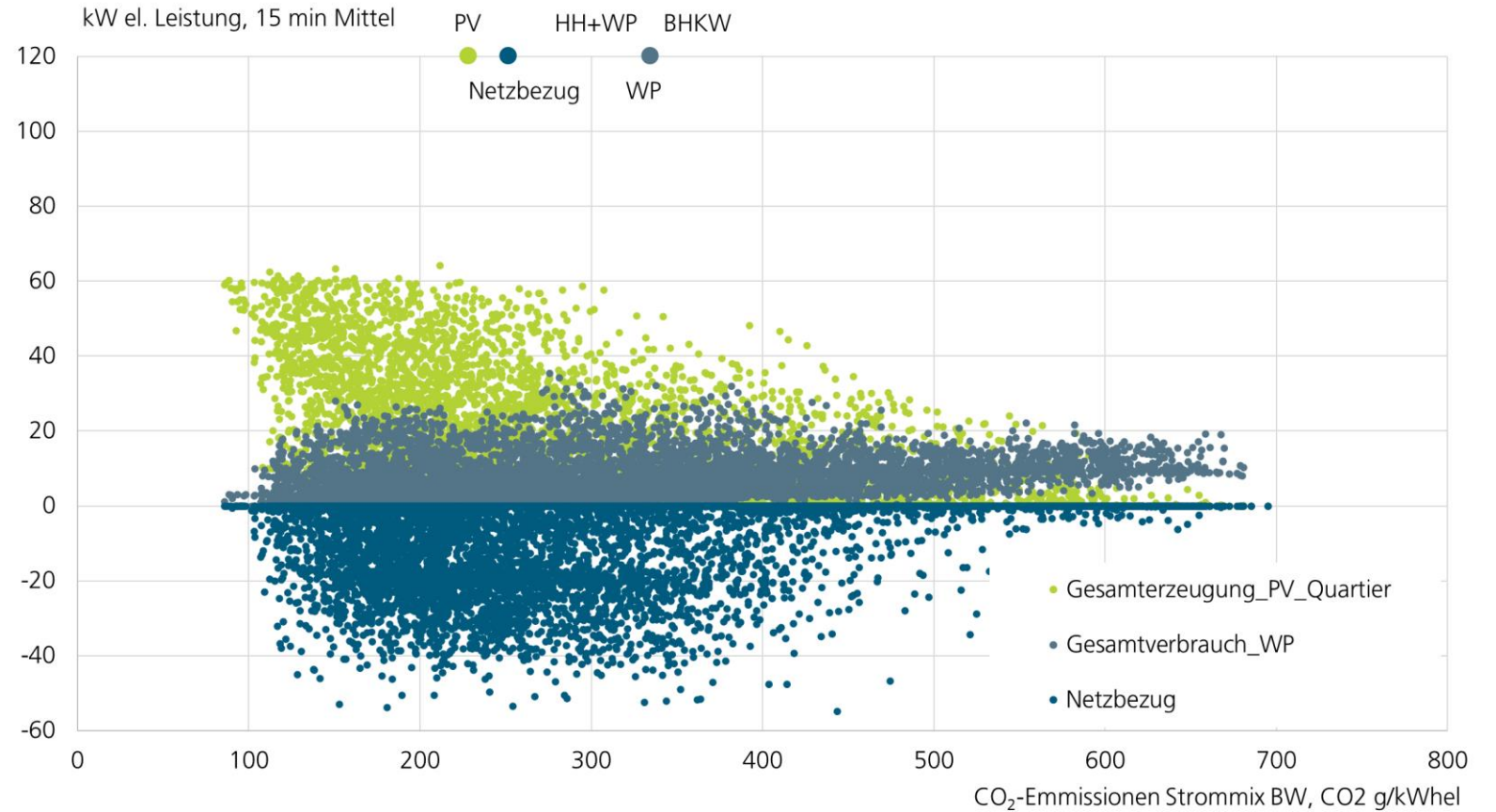
Erzeugung

- PV: Leistung bei geringen CO₂-Emissionen des Strom-Mixes

- Netzbezug bei geringeren CO₂-Emissionen des Strom-Mixes

Verbrauch

- Wärmepumpe bei etwas höheren CO₂-Emissionen des Strom-Mixes



Datenquelle CO₂: Schäfer et al.

CO₂-Emissionen lokal vs. Strom-Mix

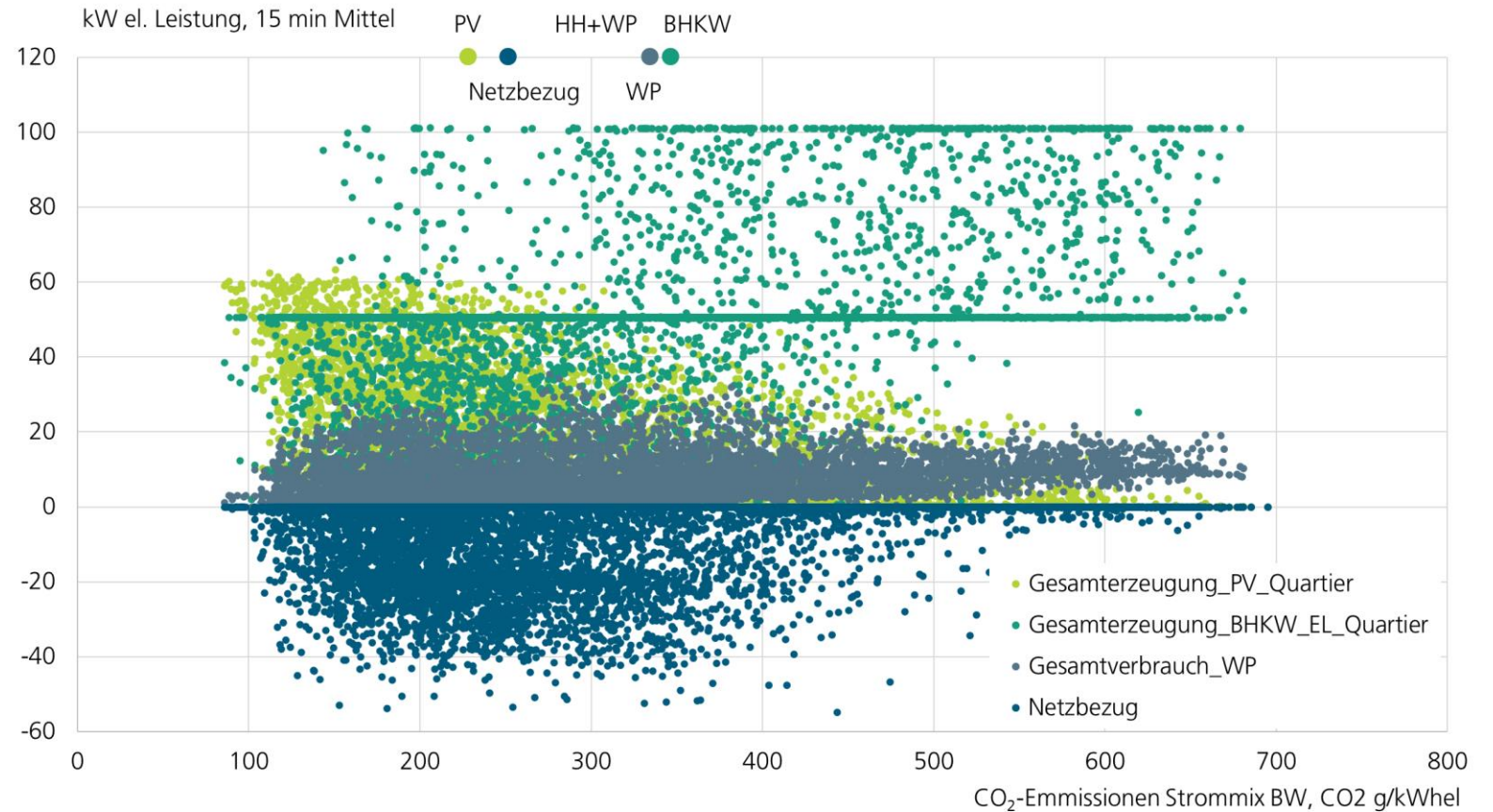
PV, Netzbezug, Wärmepumpe, BHKW

Erzeugung

- PV: Leistung bei geringen CO₂-Emissionen des Strom-Mixes
- BHKW: Leistung bei höheren CO₂-Emissionen des Strom-Mixes
- Netzbezug bei geringeren CO₂-Emissionen des Strom-Mixes

Verbrauch

- Wärmepumpe bei etwas höheren CO₂-Emissionen des Strom-Mixes



Datenquelle CO₂: Schäfer et al.

CO₂-Emissionen lokal vs. Strom-Mix

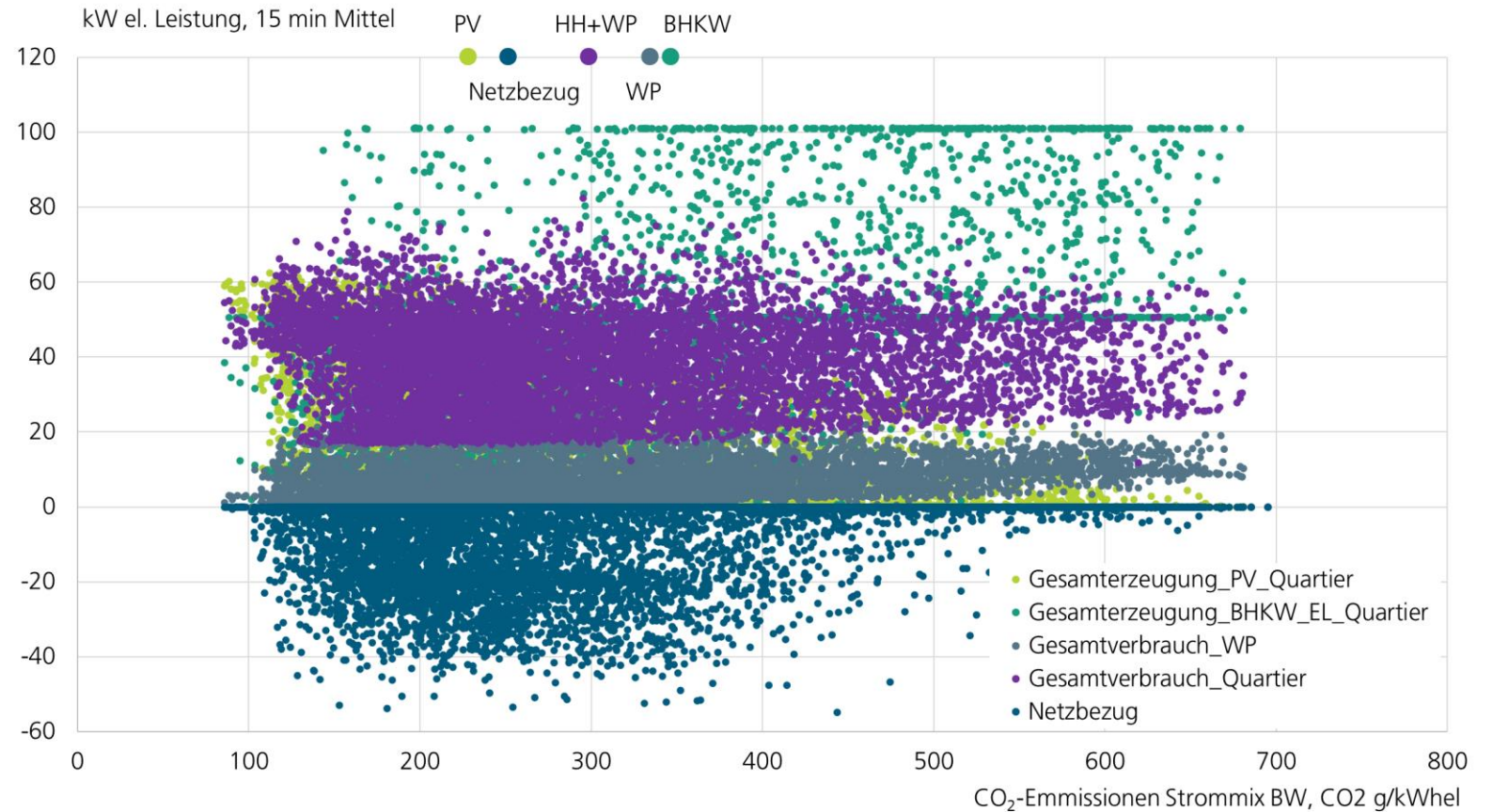
PV, Netzbezug, Wärmepumpe, BHKW, HH+WP

Erzeugung

- PV: Leistung bei geringen CO₂-Emissionen des Strom-Mixes
- BHKW: Leistung bei höheren CO₂-Emissionen des Strom-Mixes
- Netzbezug bei geringeren CO₂-Emissionen des Strom-Mixes

Verbrauch

- Wärmepumpe bei etwas höheren CO₂-Emissionen des Strom-Mixes
- Gesamtverbrauch (Haushalte und Wärmepumpe) in der Mitte

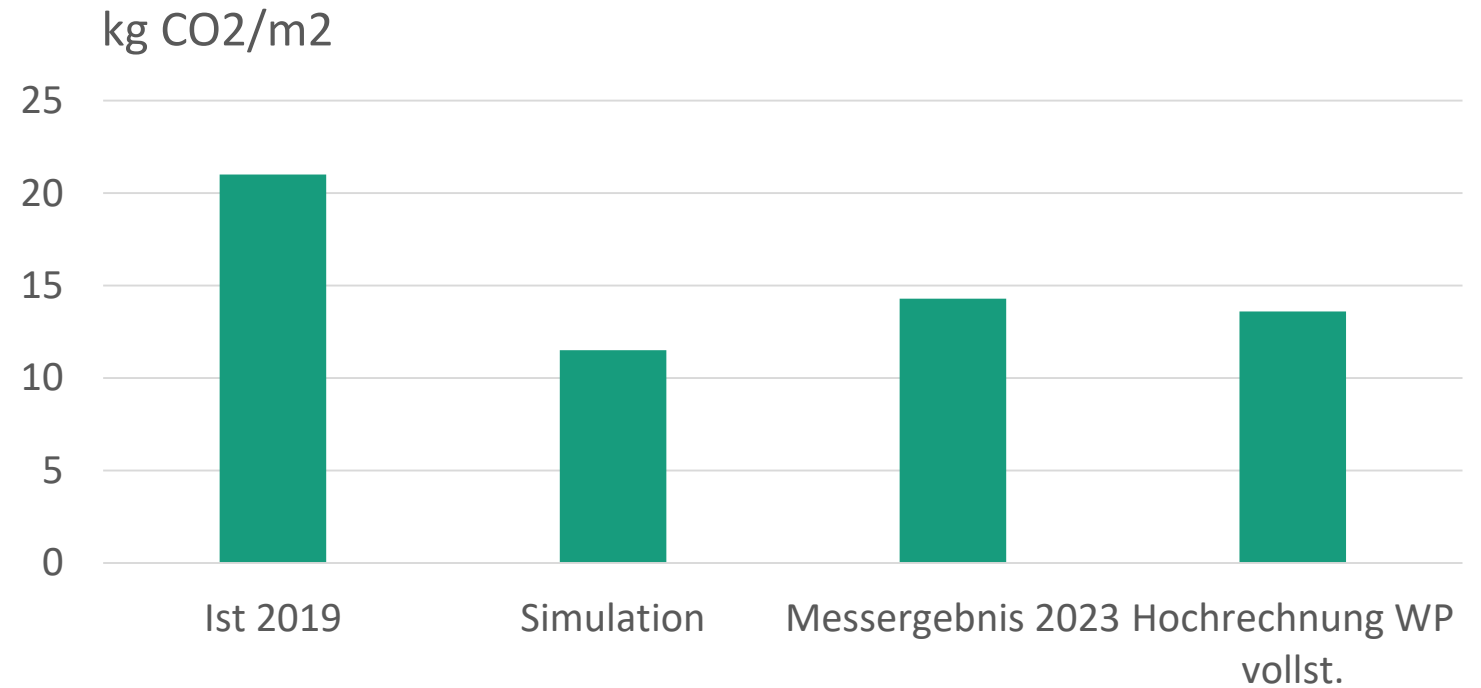


Datenquelle CO₂: Schäfer et al.

CO₂-Emissionen Wärme

Aufteilung Koppelprodukte nach finnischer Methode

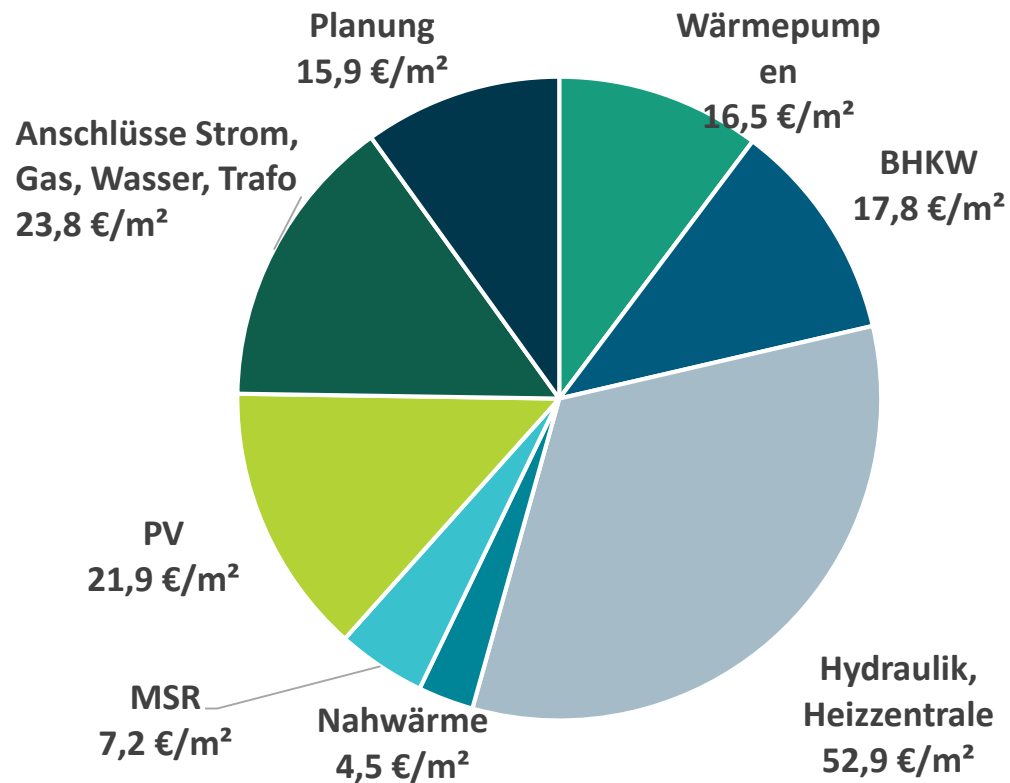
- Reduktion der spezifischen CO₂-Emissionen Wärmebereitstellung um 32%



Wirtschaftlichkeit

Investitionen und Wärmegestehungskosten

Investition in EUR/m²



Wärmegestehungskosten

	2021	2023
Gaskosten (€/a netto)	53.396	83.660
Festkosten (€/a)	128.923	128.923

		2021	2023
Erdgaspreis KES	ct kWhHu	5,0	7,5
Erdgaspreis Volkswohnung	ct kWhHu	5,5	8,0
Mineralölsteuer	ct kWhHu	0,61	0,61
CO ₂ -Steuer	€/t CO ₂	25	40
Strompreis KES (Netz)	ct/kWhel	25	35
Strompreis Endnutzer	ct/ kWhel	25	35
„üblicher Preis“	ct/ kWhel	9,65	13,5
KWK-Boni	ct/ kWhel	Tab. A-2	Tab. A-2
EEG-Umlagen		Tab. A-2	keine
Netzurückspeisung PV-Strom	ct/ kWhel	7,0	7,0

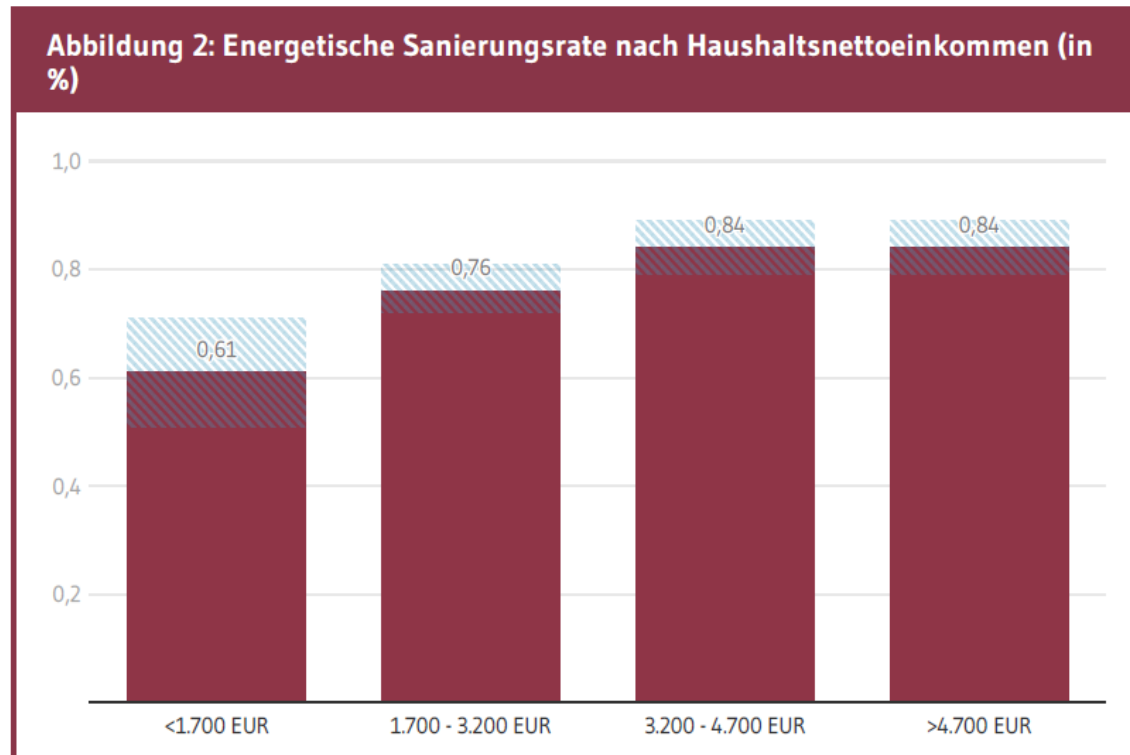
Fazit Durlach

- Grundsätzlich spannendes Konzept, das es ermöglicht auf veränderte energiewirtschaftliche Randbedingungen zu reagieren
- Der Anteil Erdgas ist noch sehr hoch, aufgrund des noch nicht angepassten Förderregimes für KWK sanken die Kosten während der Preissteigerungen zu Beginn des Ukrainekrieges
- CO₂-Einsparung perspektivisch geringer werdend, daher eher Übergangslösung
- BHKW zu groß ausgelegt
- Wärmepumpensysteme im Mehrfamilienhaus Bestand können gute Jahresarbeitszahlen zeigen – Voraussetzung ist eine gute Systemabstimmung
- Aufwand für Abrechnung Mieterstrom hoch

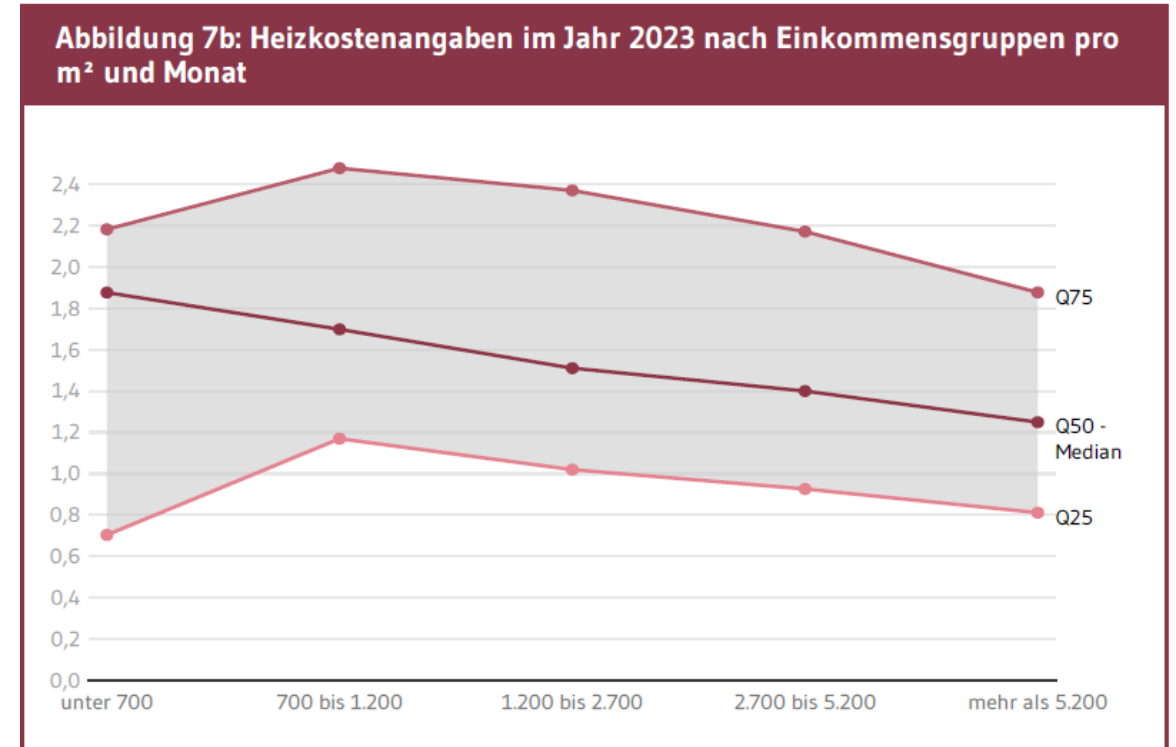
Soziale Dimension

Wärme- und Wohnen-Panel Ariadne, Befragung 2024

Sanierungsrate nach Einkommensgruppen



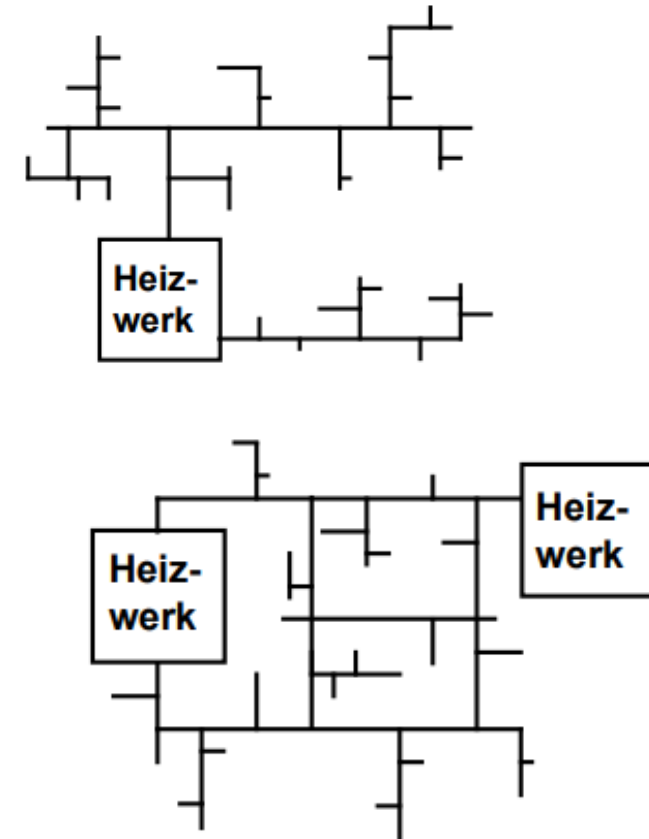
Heizkosten nach Einkommensgruppen



Wärmefluss-Optimierung zur Sektorkopplung -WOpS

Digitalisierung in der Fernwärme

- Konventionelle Wärmenetze mit wenigen einzelnen Heizungsanlagen Kann mit einfachen Regelkreisen (PID) geregelt werden
- Moderne/größere Wärmenetze mit vielen dezentralen Heizungsanlagen
- Schwankende Wärmequellen (Abwärme, Solarthermie) mit konventionellen Regelstrategien sind zumindest ineffizient
- Modellprädiktive Regelung ist eine vielversprechende Lösung
- Bedarfsgesteuerte Leistungsaufnahme in Abhängigkeit von den Energiekosten
- Integration von (thermohydraulischen) Netzrestriktionen
- Entwicklung eines modularen Regelungssystems für Wärmenetze zur strom- und wärmeoptimierten Produktionsplanung



Digitalisierung Wärmenetz

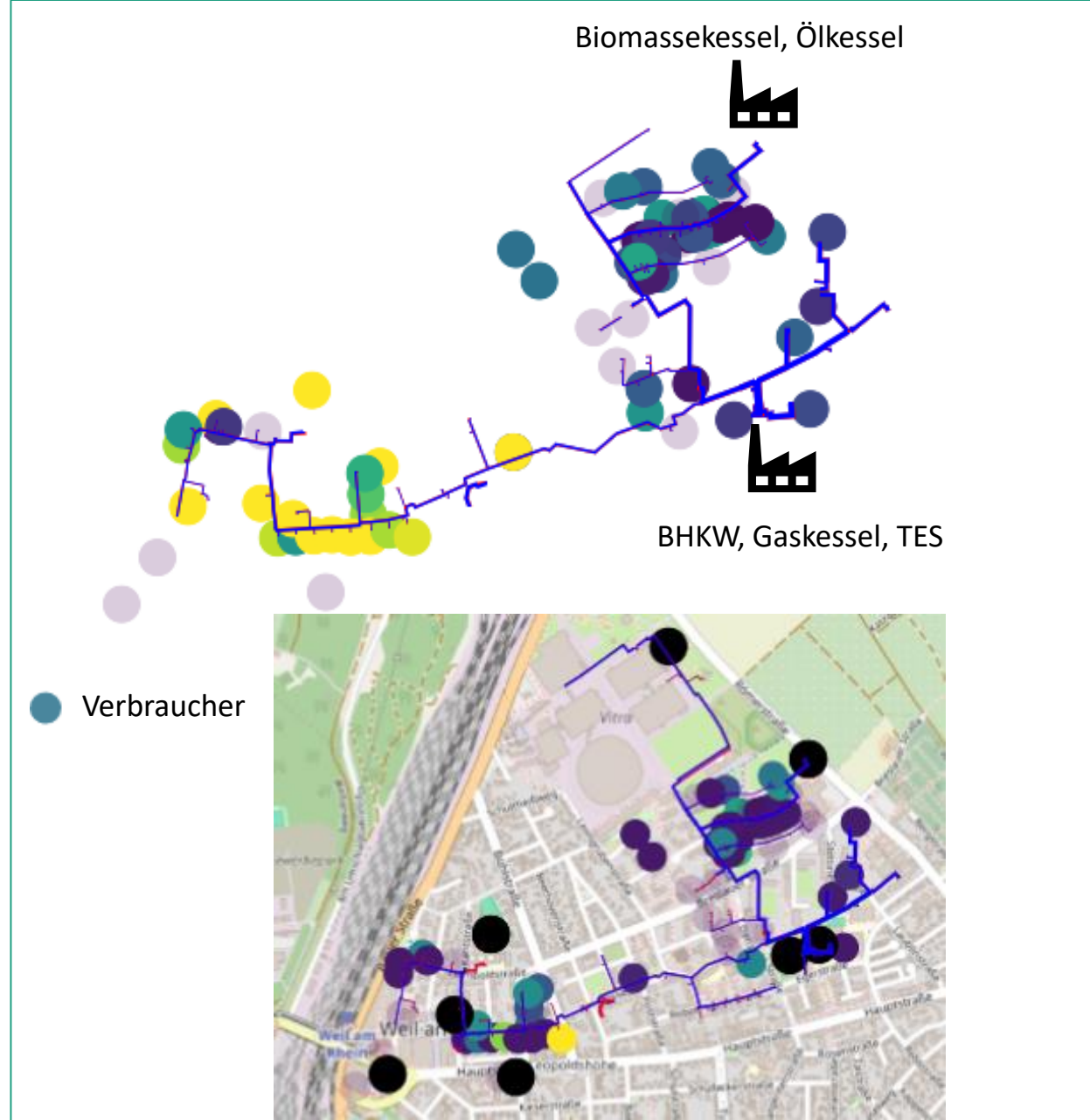
WOpS Case study: „Weil am Rhein“

Technik

- 74 Verbraucher (28 GWhth/a)
- 4 Produktionseinheiten
 - Biomassekessel, 2 MWth
 - Ölkessel, 1,6 MWth
 - Blockheizkraftwerk, 0,865 MWth
 - Gaskessel, 1,8 MWth
- 1 Wärmespeicher, 115 m³, 6 MWth ,eff

FuE

- Messdaten von Verbrauchern & Produktionseinheiten in 15-minütiger Auflösung
- Laufender Ausbau des Netzes
- Erstellen eines Digitalen Zwillings



Ausblick GEG

keine abschließende Bewertung – eher Beitrag zur Diskussion

GEG 24: wichtiger Meilenstein, aber
es fehlen aber noch Themen:

- Umstellung auf CO₂ als Bewertungsmaßstab statt Primärenergiebedarfs,
- Anpassung des Anforderungsniveaus, Anerkennung von KWK, IR-Heizung in Hallen, Monitoring – Herausforderung die ganzen Verfahren nicht noch komplexer zu machen
- Abschaffen Verdrängungsstrommix, wird mit dem Auslaufen der Kohleverstromung nicht mehr relevant und setzt die falschen Anreize
- Frage ob es sinnvoll ist die Flexibilitätsoptionen im GEG zu regeln und nicht eher über 14a u. ä.
- Bessere Verzahnung mit dem sehr unterschiedlichen Energiemarktdesign für Strom, Erdgas und Fernwärme

Vielen Dank an aller Kollegen und Partner:

Michael, Kropp, Inatech

Dr. Reinhard Jank, KES

Dr. Manuel Rink, SW Karlsruhe

Prof. Dr. Manuel Lämmle, HS Offenburg

Danny Günther, ISE