
Themenbereich: **Wärmeversorgung I**

Integration erneuerbarer Wärme- und Abwärmequellen: Sind stark temperaturgleitende Wärmenetze der Schlüssel zur Wirtschaftlichkeit?

Stefan Adldinger, M.Eng.

IEWT - 11. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien

13. – 15. Februar 2019

Inhalt

1. Hintergrundüberlegungen
2. Aufgabenstellung & Ziel
3. Methodische Vorgehensweise
 - a) Verbrauchslastgang
 - b) Referenzwärmenetz
 - c) Berechnungsgrundlage
 - d) Wärmenetzbetriebsweisen
4. Einsparpotential von temperaturgleitenden Wärmenetzen
 - a) Verteilung jährliche Invest-, Wärmeverlust- und Pumpkosten
 - b) Vergleich spezifische Wärmeverteilungskosten
 - c) Vergleich jährliche Wärmeverteilungskosten aktuell/zukünftig
5. Fazit & Ausblick

1. Hintergrundüberlegungen

CO₂- und Feinstaubproblematiken



Wärmeversorgung einer Stadt

ökologisch



Einbindung von...

...Erneuerbaren Energien ...Abwärme



oftmals niedrigeres Temperaturniveau



Wie bringt man EE in die Stadt?

Fläche  Denkmalschutz

ökonomisch

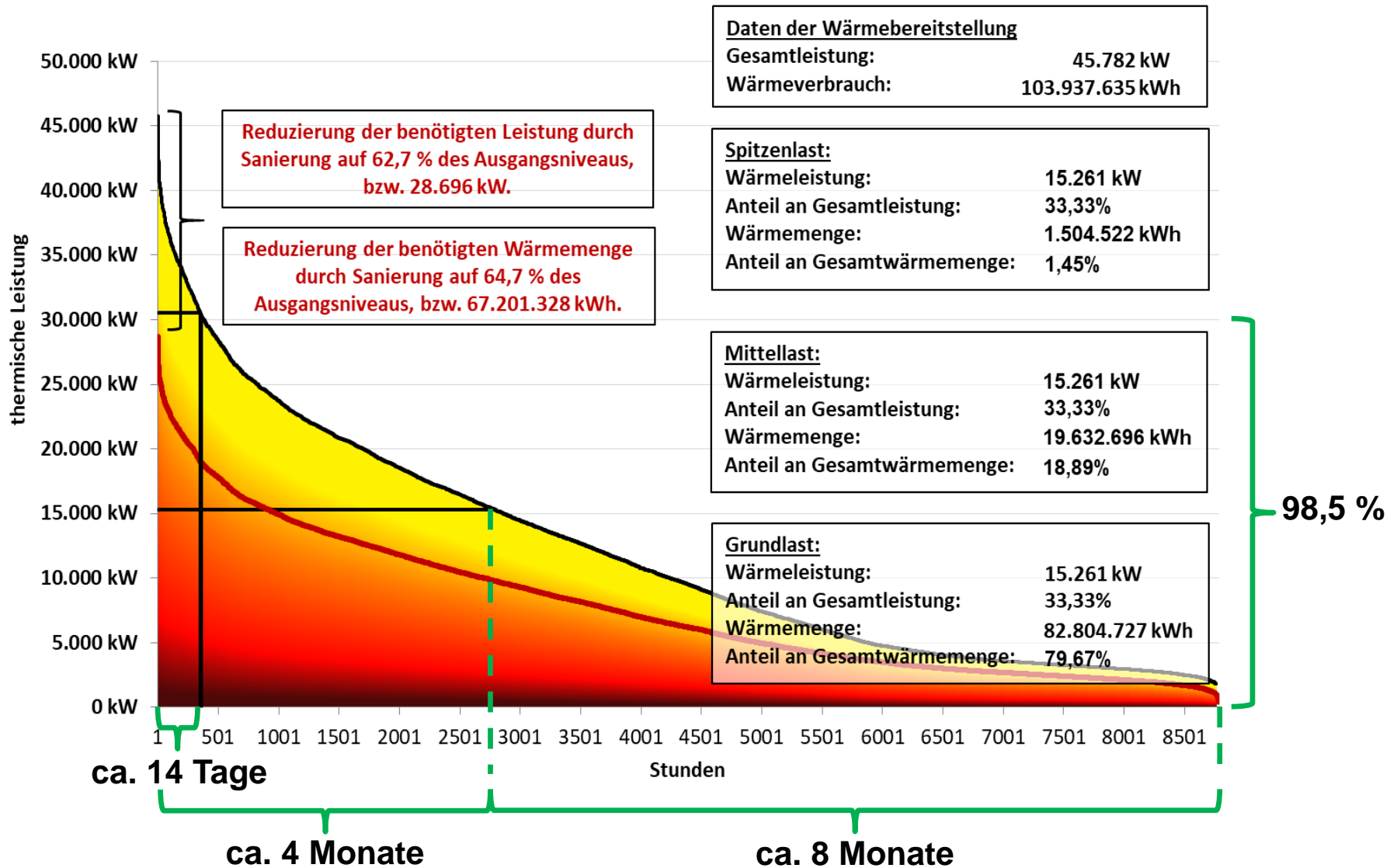
einfach flexibel über lange Zeit

Invest **vs.** Betrieb **vs.** Verbrauch

fortschreitende Sanierung reduziert...
...Heizlast & Wärmemenge

 **Überdimensionierung** 

1. Hintergrundüberlegungen



1. Hintergrundüberlegungen

Wärmenetzauslegung 90/60 (100%-Auslegung)

→ Investition, Netzverluste, Pumpenergie

⚡ selten 100%-Erschließung ⚡

Wärmenetzauslegung 120/60 (Dimensionierung ↓)

- Reduzierung der Fläche um 27% ← hohe Temperaturen an wenigen Tagen
- Reduzierung Invest & Netzverluste, Erhöhung Pumpenergie
- Bei Überdimensionierung → Reduzierung VL-Temperatur
- Keine Einbindung von Erneuerbaren Energien oder Abwärme möglich

Wärmenetzauslegung 120/20 (Dimensionierung ↓)

- Reduzierung der Fläche um 35 %
- Reduzierung Invest & Netzverluste, Erhöhung Pumpenergie
- Einbindung von Niedertemperatur → günstig (Abwärme), ökologisch (EE)

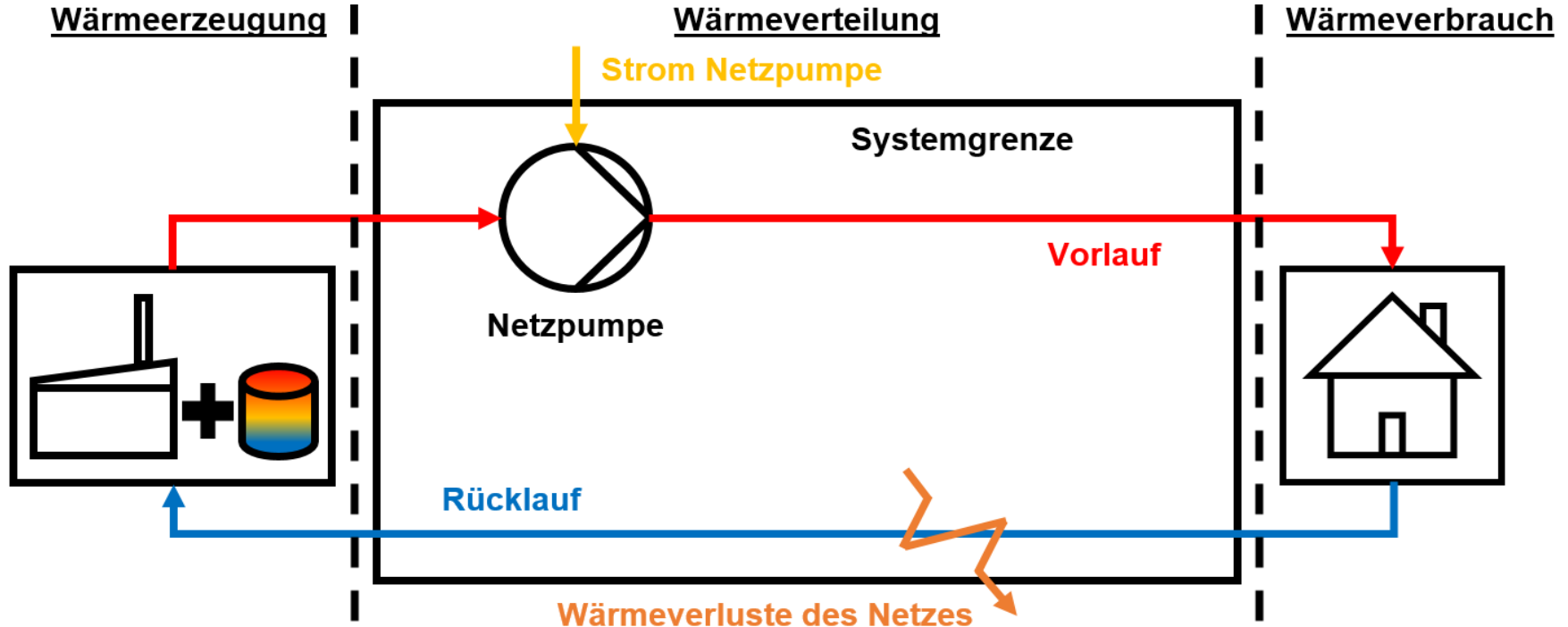
ABER: Wärmepumpen nötig → Invest erhöht sich ?Einsparung bei Wärmeverteilung?

Ø Nenndurchmesser:



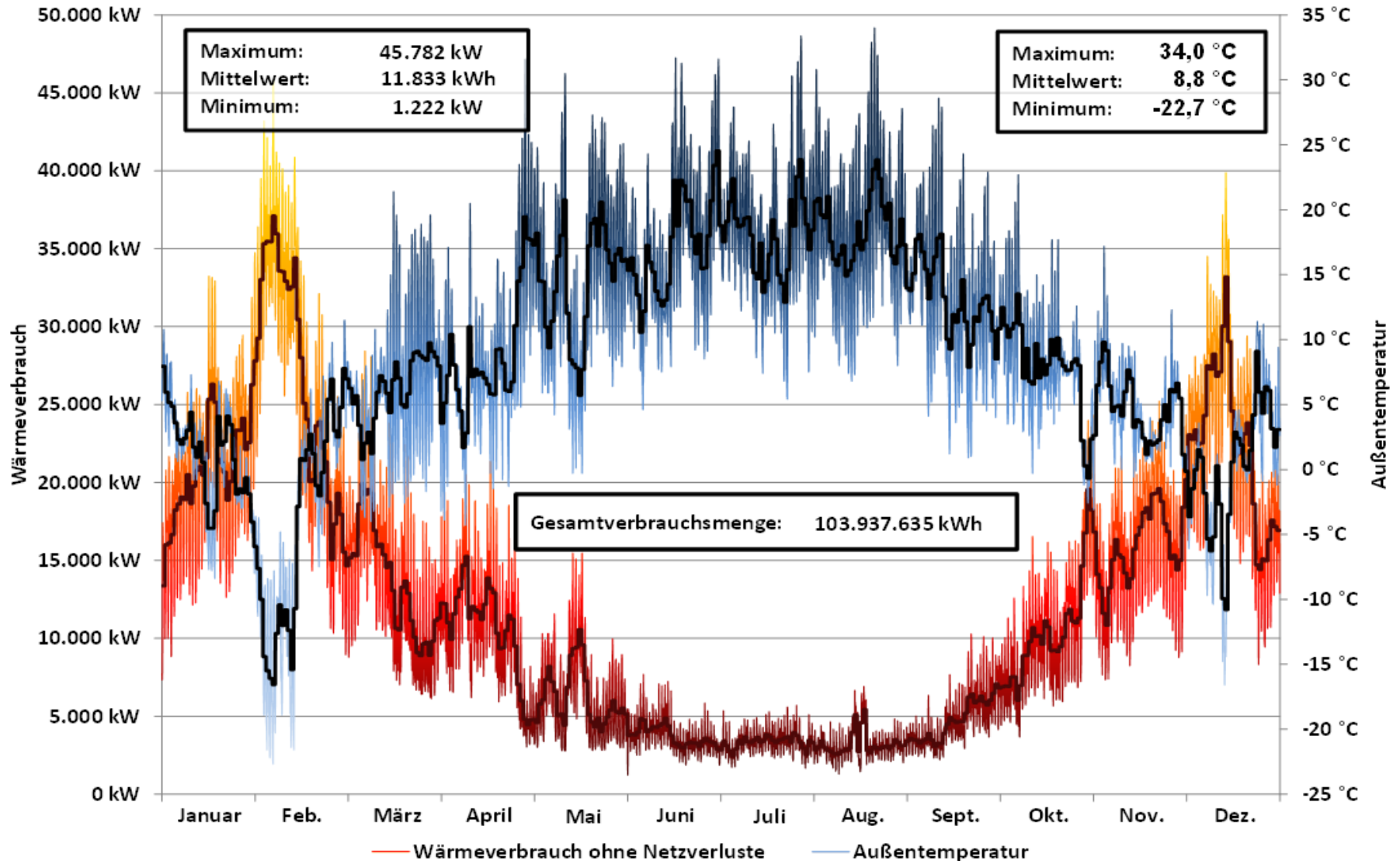
2. Aufgabenstellung & Ziel

Thema: Modellbetrachtungen für einen ökonomischen und ökologischen Betrieb von stark temperaturleitenden Wärmenetzen durch den Einsatz von verbraucherseitigen Wärmepumpen



- Ermittlung der Einsparpotentiale temperaturleitender Wärmenetze hinsichtlich der Investitions-, Wärmeverlust- und Pumpkosten
- Ableitung der zusätzlichen Kosten für ein derartiges Wärmebereitstellungssystem

3. Methodische Vorgehensweise



3. Methodische Vorgehensweise

Referenzwärmenetz:

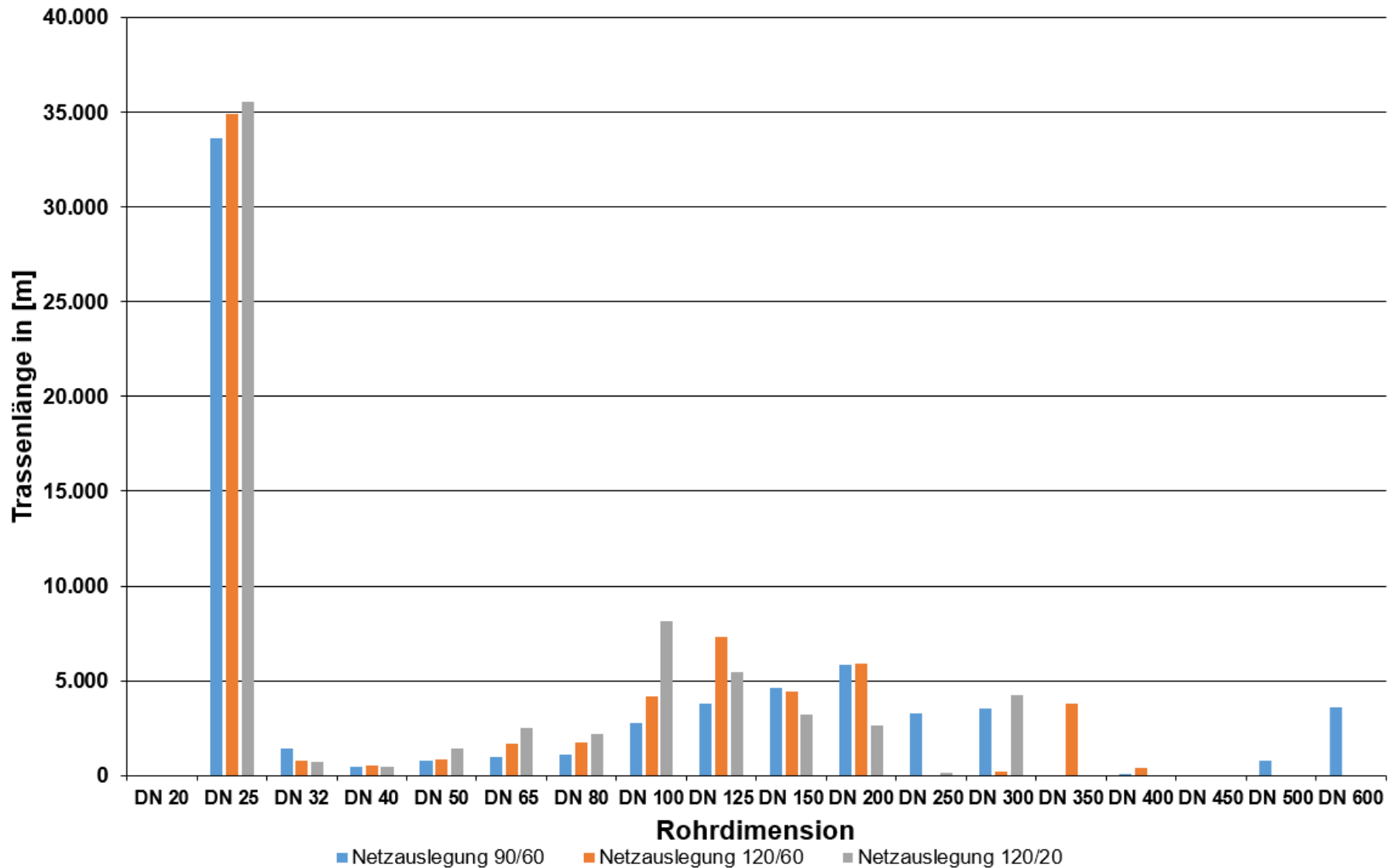
| Wärme-netz | Anzahl | Heiz-leistung | Wärmebedarf | Voll-benutzungs-stunden | Haupt-leitung | Anschluss-leitung | Gesamt-leitung | Abgabe-leistung | Gleich-zeitigkeit |
|---------------|--------------|------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| Zuleitung | 200 | 14.398 kW | 26.248.236 kWh | 1.823 Vbh | 4.410 Trm | 5.000 Trm | 9.410 Trm | 11.562 kW | 80,30% |
| Gebiet 1 | 600 | 16.579 kW | 34.342.445 kWh | 2.071 Vbh | 5.520 Trm | 8.520 Trm | 14.040 Trm | 15.127 kW | 91,24% |
| Gebiet 2 | 700 | 18.508 kW | 32.984.491 kWh | 1.782 Vbh | 11.830 Trm | 12.530 Trm | 24.360 Trm | 14.529 kW | 78,50% |
| Gebiet 3 | 500 | 5.079 kW | 10.362.462 kWh | 2.040 Vbh | 9.100 Trm | 9.750 Trm | 18.850 Trm | 4.564 kW | 89,87% |
| Gesamt | 2.000 | 54.564 kW | 103.937.635 kWh | 1.905 Vbh | 30.860 Trm | 35.800 Trm | 66.660 Trm | 45.782 kW | 83,91% |

Gebäudebestand mit Ein-, Zwei- u. Mehrfamilienhäusern sowie Gewerbe, öffentliche Gebäude

➔ Wärmenetzauslegung für drei Betriebsweisen: **90/60**, **120/60** und **120/20**

| Lastfaktor | Wärmeabnahme in [kW] | | | Volumenstrom in [m ³ /h] | | | Förderhöhe in [m] | | | Leistung in [kW] | | |
|-------------|----------------------|--------|--------|-------------------------------------|--------|--------|-------------------|--------|--------|------------------|--------|--------|
| | 90/60 | 120/60 | 120/20 | 90/60 | 120/60 | 120/20 | 90/60 | 120/60 | 120/20 | 90/60 | 120/60 | 120/20 |
| 100% | 45782 | 45782 | 45782 | 1212,7 | 608,5 | 360,2 | 197,2 | 247,0 | 208,8 | 42338 | 42570 | 41976 |
| 75% | 30420 | 30430 | 30420 | 917,5 | 462,2 | 273,3 | 125,8 | 154,5 | 132,1 | 32208 | 32498 | 31884 |
| 50% | 20290 | 20290 | 20280 | 622,3 | 314,8 | 185,9 | 71,4 | 84,2 | 73,4 | 22075 | 22343 | 21729 |
| 25% | 10140 | 10140 | 10140 | 327,5 | 167,0 | 98,2 | 35,9 | 37,5 | 33,8 | 11944 | 12150 | 11533 |
| 10% | 4057 | 4057 | 4056 | 149,2 | 77,7 | 44,9 | 22,7 | 21,0 | 19,7 | 5801 | 5961 | 5330 |
| 5% | 2029 | 2029 | 2028 | 89,1 | 47,3 | 26,6 | 19,9 | 17,8 | 16,6 | 3717 | 3836 | 3188 |

3. Methodische Vorgehensweise



3. Methodische Vorgehensweise

Berechnung der spezifischen Wärmeverteilungskosten mittels Annuitätenmethode

$$k_{spez} = \frac{K}{\dot{Q} \cdot \tau} \cdot \left(100 \frac{ct}{\text{€}}\right) = \frac{K_{Kap} + K_{Be}}{\dot{Q} \cdot \tau} \cdot \left(100 \frac{ct}{\text{€}}\right) \quad \text{F. (1)}$$

Berechnung der Kapitalkosten (Finanzierungsdauer = 30 Jahre, Zinssatz = 2,9 %)

$$K_{Kap} = I \cdot a = I \cdot \frac{i \cdot (1 + 1)^n}{i \cdot (1 + 1)^n - 1} \quad \text{F. (2)}$$

Berechnung der Betriebskosten (Erzeugungskosten = 3 ct/kWh, Stromkosten = 15 ct/kWh)

$$K_{Be} = K_B + K_S + K_U = \frac{Q_V \cdot p_B}{\eta_a \cdot \left(100 \frac{ct}{\text{€}}\right)} + \frac{W_P \cdot p_S}{\left(100 \frac{ct}{\text{€}}\right)} + K_U \quad \text{F. (3)}$$

Berechnung der Wärmeverteilungsverluste

$$Q_{V,a} = \sum \dot{Q}_{V,a,i} \cdot \tau_N = \sum \frac{k_{V,DN} \cdot \Delta T_{L,m} \cdot L_{DN}}{1000} \cdot \tau_N \quad \text{F. (4)}$$

Bestimmung des Gesamtstromverbrauchs der Netzpumpen anhand deren Leistungskennlinie

3. Methodische Vorgehensweise

Netz 1: Auslegung 90/60

Fall 1: Netztemperaturen konstant ab 5 °C

| | |
|--------------------------------|--------------|
| Vorlauftemperatur bis -10 °C: | 90 °C |
| Rücklauftemperatur bis -10 °C: | 60 °C |

| | |
|------------------------------|--------------|
| Vorlauftemperatur bis 5 °C: | 80 °C |
| Rücklauftemperatur bis 5 °C: | 60 °C |

| | |
|-----------------------------|--------------|
| Vorlauftemperatur ab 5 °C: | 80 °C |
| Rücklauftemperatur ab 5 °C: | 60 °C |

Fall 2: Netztemperaturen konstant ab 10 °C

| | |
|--------------------------------|--------------|
| Vorlauftemperatur bis -10 °C: | 90 °C |
| Rücklauftemperatur bis -10 °C: | 60 °C |

| | |
|-------------------------------|--------------|
| Vorlauftemperatur bis 10 °C: | 80 °C |
| Rücklauftemperatur bis 10 °C: | 60 °C |

| | |
|------------------------------|--------------|
| Vorlauftemperatur ab 10 °C: | 80 °C |
| Rücklauftemperatur ab 10 °C: | 60 °C |

Fall 3: Netztemperaturen konstant ab 15 °C

| | |
|--------------------------------|--------------|
| Vorlauftemperatur bis -10 °C: | 90 °C |
| Rücklauftemperatur bis -10 °C: | 60 °C |

| | |
|-------------------------------|--------------|
| Vorlauftemperatur bis 15 °C: | 80 °C |
| Rücklauftemperatur bis 15 °C: | 60 °C |

| | |
|------------------------------|--------------|
| Vorlauftemperatur ab 15 °C: | 80 °C |
| Rücklauftemperatur ab 15 °C: | 60 °C |

Netz 2: Auslegung 120/60

Fall 1: Netztemperaturen konstant ab 5 °C

| | |
|--------------------------------|---------------|
| Vorlauftemperatur bis -10 °C: | 120 °C |
| Rücklauftemperatur bis -10 °C: | 60 °C |

| | |
|------------------------------|--------------|
| Vorlauftemperatur bis 5 °C: | 75 °C |
| Rücklauftemperatur bis 5 °C: | 60 °C |

| | |
|-----------------------------|--------------|
| Vorlauftemperatur ab 5 °C: | 75 °C |
| Rücklauftemperatur ab 5 °C: | 60 °C |

Fall 2: Netztemperaturen konstant ab 10 °C

| | |
|--------------------------------|---------------|
| Vorlauftemperatur bis -10 °C: | 120 °C |
| Rücklauftemperatur bis -10 °C: | 60 °C |

| | |
|-------------------------------|--------------|
| Vorlauftemperatur bis 10 °C: | 75 °C |
| Rücklauftemperatur bis 10 °C: | 60 °C |

| | |
|------------------------------|--------------|
| Vorlauftemperatur ab 10 °C: | 75 °C |
| Rücklauftemperatur ab 10 °C: | 60 °C |

Fall 3: Netztemperaturen konstant ab 15 °C

| | |
|--------------------------------|---------------|
| Vorlauftemperatur bis -10 °C: | 120 °C |
| Rücklauftemperatur bis -10 °C: | 60 °C |

| | |
|-------------------------------|--------------|
| Vorlauftemperatur bis 15 °C: | 75 °C |
| Rücklauftemperatur bis 15 °C: | 60 °C |

| | |
|------------------------------|--------------|
| Vorlauftemperatur ab 15 °C: | 75 °C |
| Rücklauftemperatur ab 15 °C: | 60 °C |

Netz 3: Auslegung 120/20

Fall 1: Netztemperaturen konstant ab 5 °C

| | |
|--------------------------------|---------------|
| Vorlauftemperatur bis -10 °C: | 120 °C |
| Rücklauftemperatur bis -10 °C: | 20 °C |

| | |
|------------------------------|--------------|
| Vorlauftemperatur bis 5 °C: | 75 °C |
| Rücklauftemperatur bis 5 °C: | 20 °C |

| | |
|-----------------------------|--------------|
| Vorlauftemperatur ab 5 °C: | 40 °C |
| Rücklauftemperatur ab 5 °C: | 20 °C |

Fall 2: Netztemperaturen konstant ab 10 °C

| | |
|--------------------------------|---------------|
| Vorlauftemperatur bis -10 °C: | 120 °C |
| Rücklauftemperatur bis -10 °C: | 20 °C |

| | |
|-------------------------------|--------------|
| Vorlauftemperatur bis 10 °C: | 75 °C |
| Rücklauftemperatur bis 10 °C: | 20 °C |

| | |
|------------------------------|--------------|
| Vorlauftemperatur ab 10 °C: | 40 °C |
| Rücklauftemperatur ab 10 °C: | 20 °C |

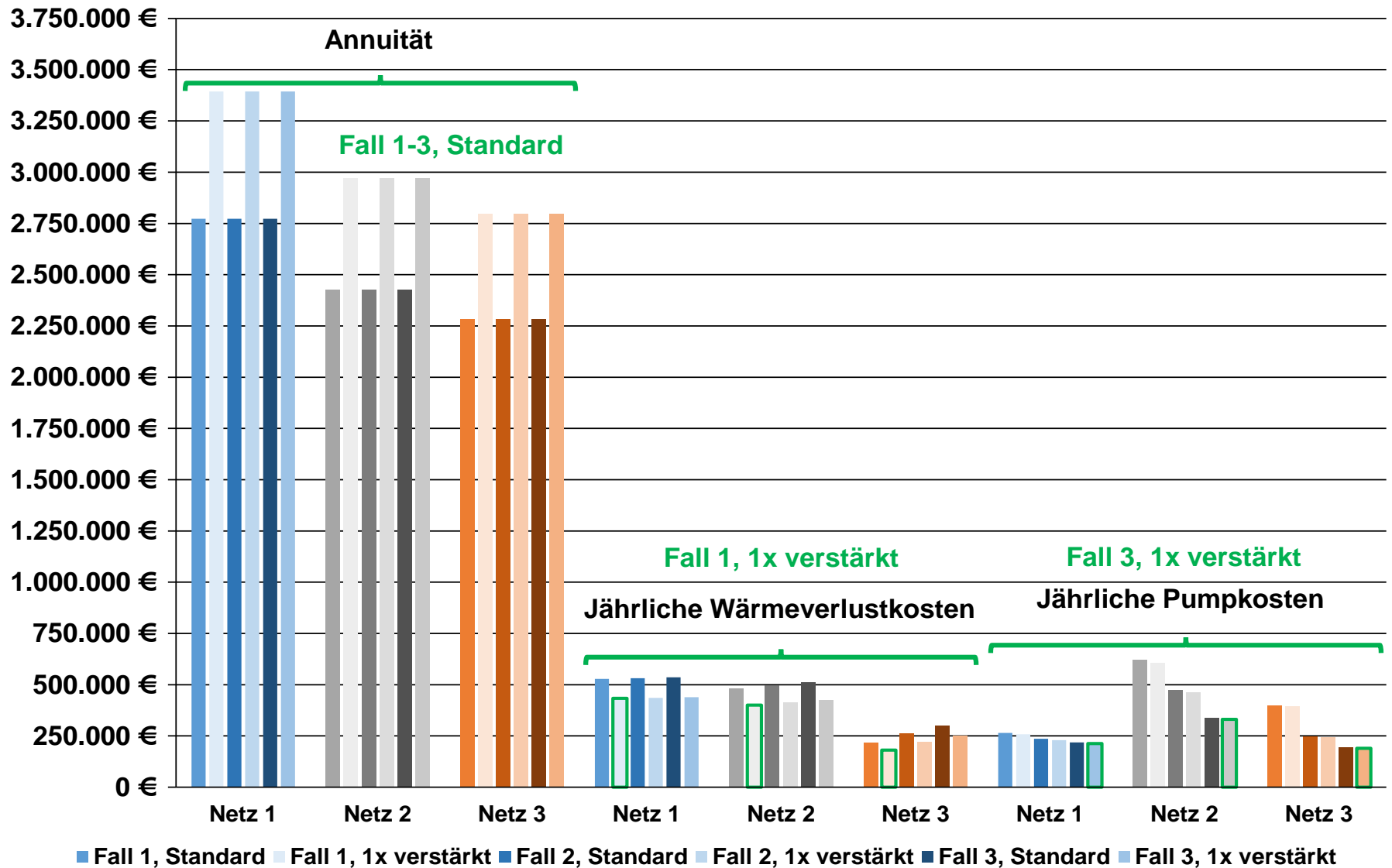
Fall 3: Netztemperaturen konstant ab 15 °C

| | |
|--------------------------------|---------------|
| Vorlauftemperatur bis -10 °C: | 120 °C |
| Rücklauftemperatur bis -10 °C: | 20 °C |

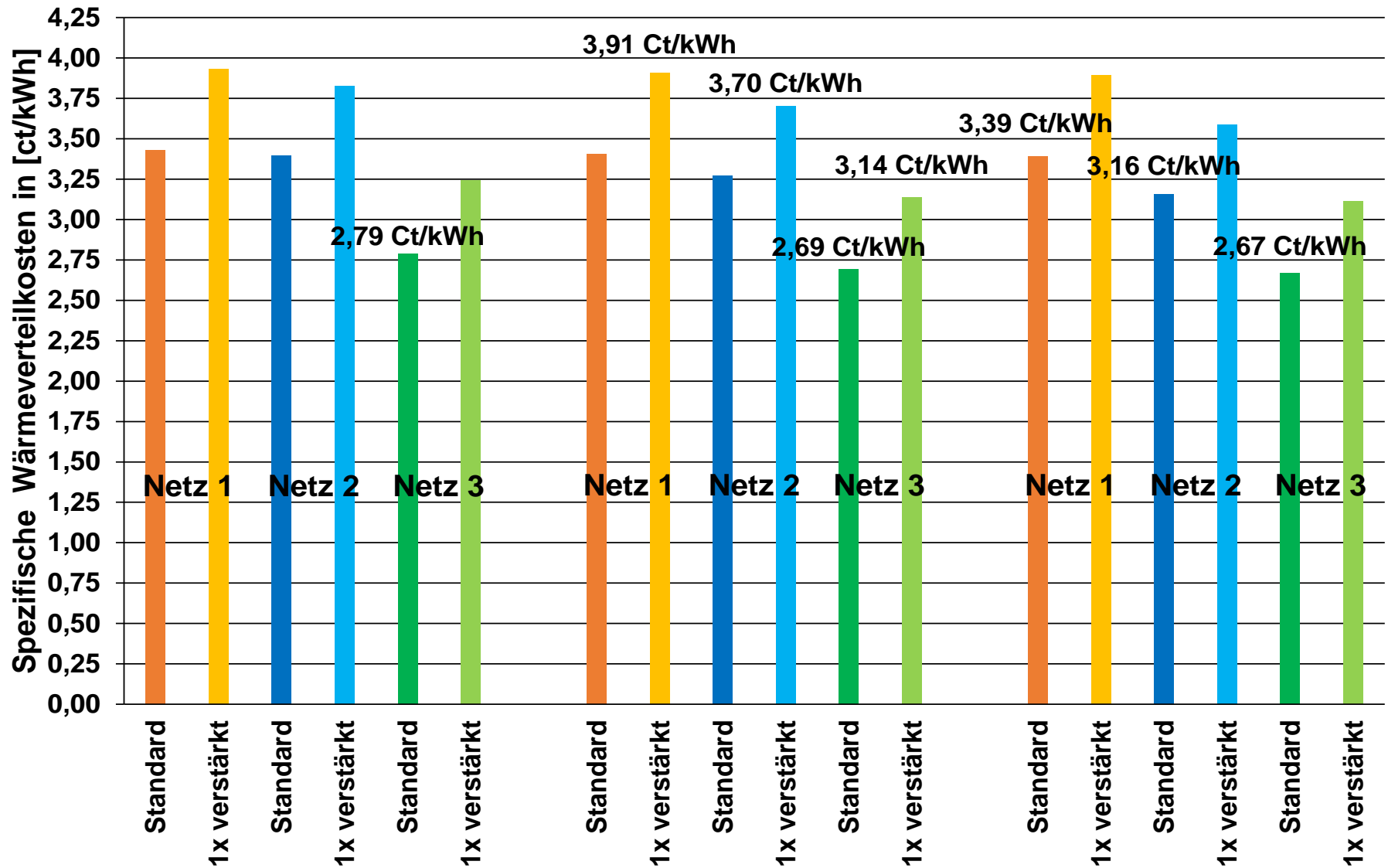
| | |
|-------------------------------|--------------|
| Vorlauftemperatur bis 15 °C: | 75 °C |
| Rücklauftemperatur bis 15 °C: | 20 °C |

| | |
|------------------------------|--------------|
| Vorlauftemperatur ab 15 °C: | 40 °C |
| Rücklauftemperatur ab 15 °C: | 20 °C |

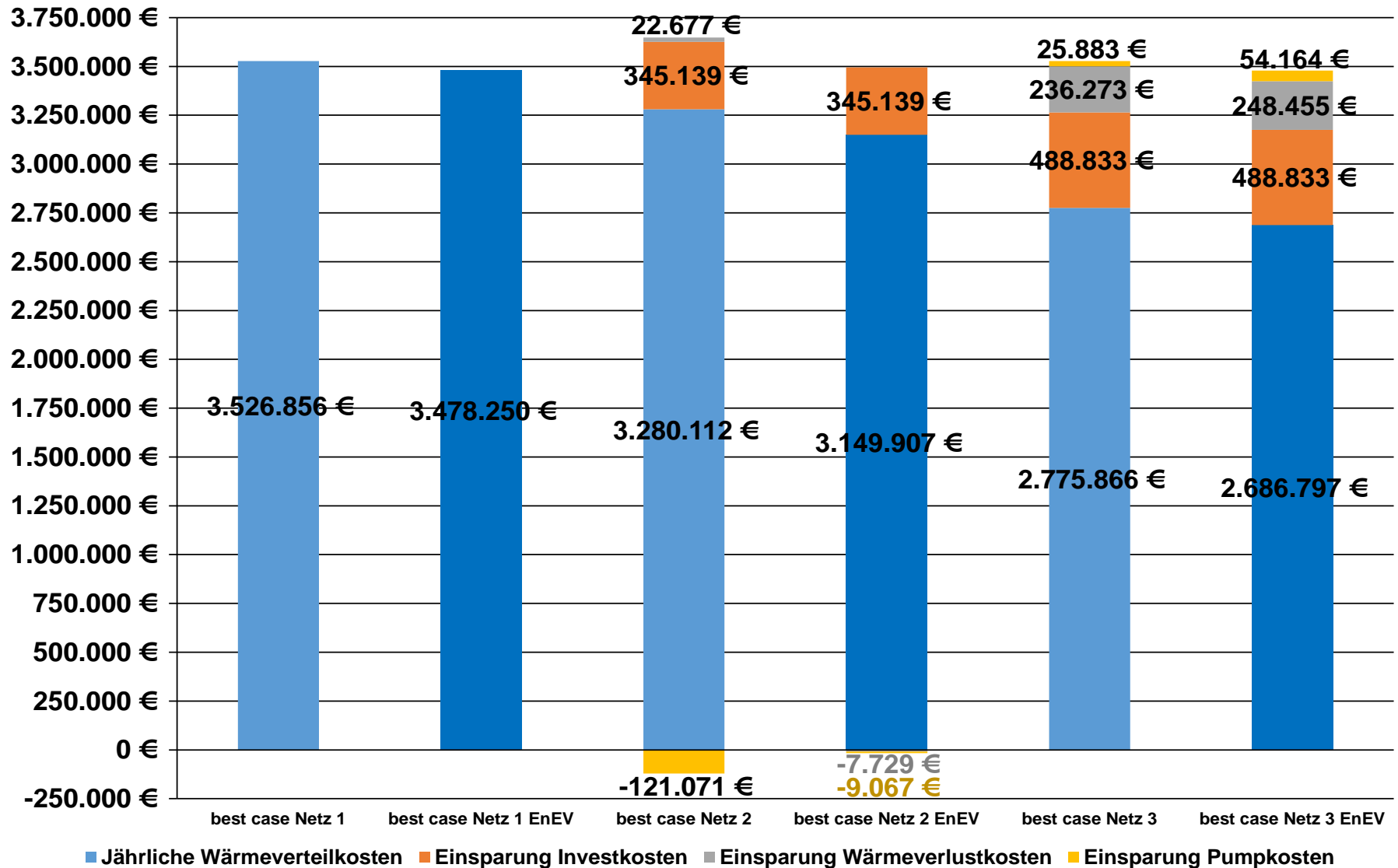
4. Einsparpotential temp.gleitender Wärmenetze



4. Einsparpotential temp.gleitender Wärmenetze



4. Einsparpotential temp.gleitender Wärmenetze



5. Fazit & Ausblick

Wärmenetzauslegung:

- Hohe Spreizung bei der Netzauslegung → deutlich geringere Rohrdimensionen → Reduzierung der Investitionskosten
- Verkleinerte Oberfläche der Leitungen → Netzverluste deutlich geringer
- Hohe Leistungen nur an wenigen Stunden im Jahr → Netztemperaturen auch während der Heizperiode geringer als im Auslegungsfall → Reduzierung Netzverluste
- Absenken der Netzvorlauftemperatur außerhalb Heizperiode → Reduzierung Netzverluste
- Absenken der Netztemperaturen → Gegenläufige Effekte durch erhöhte Pumpkosten
- Absenken der Netztemperaturen → zwingend Wärmeübergabesysteme mit Wärmepumpen

5. Fazit & Ausblick

Wärmenetzauslegung:

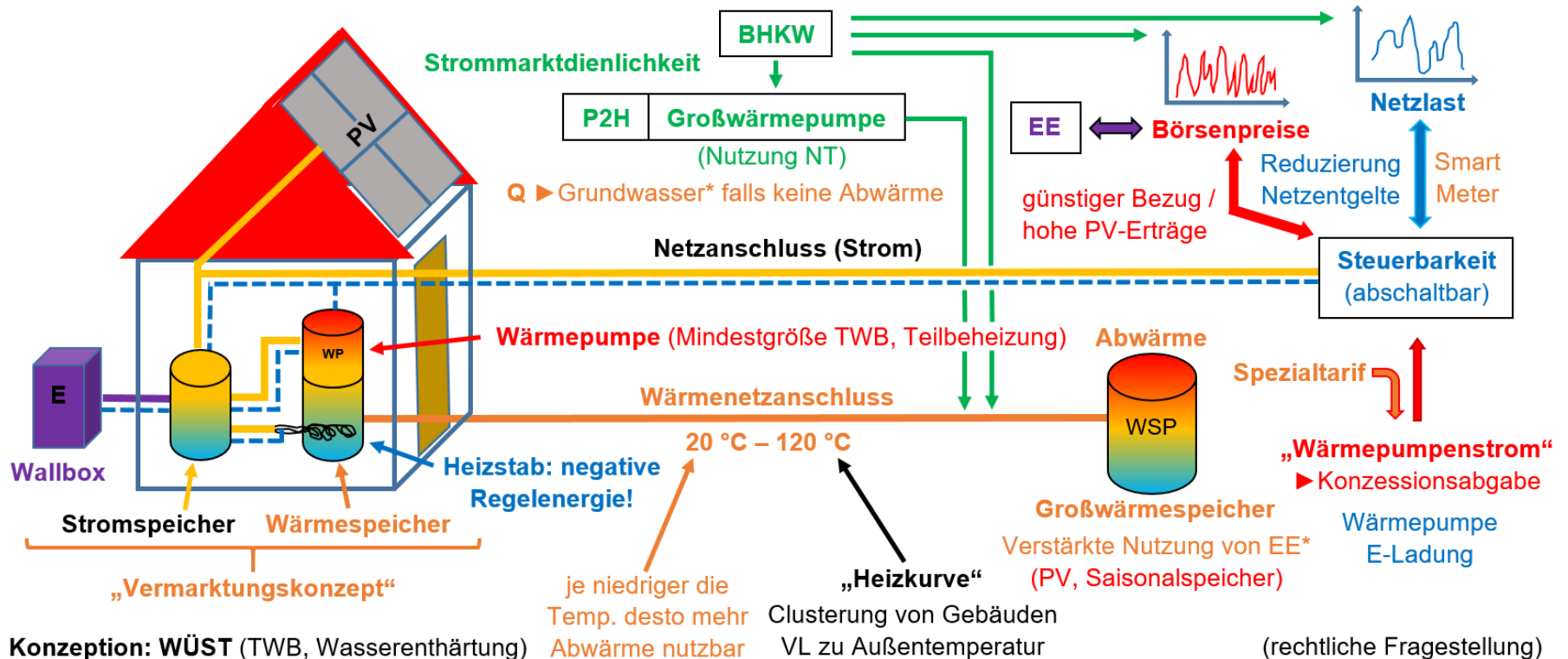
- Hohe Spreizung bei der Netzauslegung → deutlich geringere Rohrdimensionen → Reduzierung der Investitionskosten
- Verkleinerte Oberfläche der Leitungen → Netzverluste deutlich geringer
- Hohe Leistungen nur an wenigen Stunden im Jahr → Netztemperaturen auch während der Heizperiode geringer als im Auslegungsfall → Reduzierung Netzverluste
- Absenken der Netzvorlauftemperatur außerhalb Heizperiode → Reduzierung Netzverluste
- Absenken der Netztemperaturen → Gegenläufige Effekte durch erhöhte Pumpkosten
- Absenken der Netztemperaturen → zwingend Wärmeübergabesysteme mit Wärmepumpen

Wärmeübergabesystem mit Wärmepumpen

- Einflussnahme bereits ab Errichtung des Wärmenetzes → Überdimensionierung vermeiden
- Wärmeübergabestation ermöglicht von Beginn an eine 50 % Versorgung der prognostizierten Heizleistung → Voraussetzung 60 K Spreizung (120/60)
- Dauerhaft wirtschaftlicher Betrieb des Wärmenetzes trotz zukünftiger energetischer Sanierungsmaßnahmen → hohe Flexibilität
- Nutzung niederkalorischer Abwärme aus Industrie und Gewerbe sowie regenerative Wärmequellen

5. Fazit & Ausblick

- Weiterführende Untersuchungen zur Gesamtmodellbetrachtung stark temperaturgleitender Wärmenetze



- Sensitivität (Strom- und Wärmepreis) Zusammensetzung des Kraftwerksparks
- Effekte durch **Sektorenkopplung**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Stefan Adldinger, M.Eng.

Zentrum für Gekoppelte Intelligente Energiesysteme (CoSES)

Munich School of Engineering (MSE)

Technische Universität München

Lichtenbergstraße 4a

D-85748 Garching

Telefon: +49 (0)89/289-10486

E-Mail: stefan.adldinger@stadtwerke-neuburg.de

Internet: <https://www.mse.tum.de/coses/>