



# Energieeffizienz in Heizsystemen durch lastorientierte und emissionsoptimierte Konzepte

Prof. Dr.-Ing. Lars Kühl

10. Technik-Forum 2025  
Innovative Gebäude-Energieversorgung  
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH  
23.09.2025 Hannover, 24.09.2025 Braunschweig, 25.09.2025 Göttingen

Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften  
Fakultät Versorgungstechnik  
Salzdahlumer Str. 46 - 48  
D – 38 302 Wolfenbüttel

## Inhalt

- Entwicklung des Energieverbrauchs in den Sektoren – Der Weg zur Emissionsneutralität
- Effizienzmaßnahmen im Bereich Hochbau – Förderung von Effizienzmaßnahmen
- Effizienzmaßnahmen im Bereich Technik – Wärmeerzeuger im Alt- und Neubau
- Anforderungsebenen der Energiekonzeptentwicklung
- Optionen der Lastermittlung – vom Kennwert – Vollbenutzungsstunden – Simulation - Monitoring
- Die Rolle von Wärmespeichern in Versorgungssystemen
- Anwendungsbeispiele
  - Schulgebäude - Sanierung
  - Wärmeversorgung von Kirchen
  - Geothermie in Produktionsgebäuden
  - Nachhaltigkeitskonzepte für Liegenschaften
- Zusammenfassung und Ausblick



## Inhalt

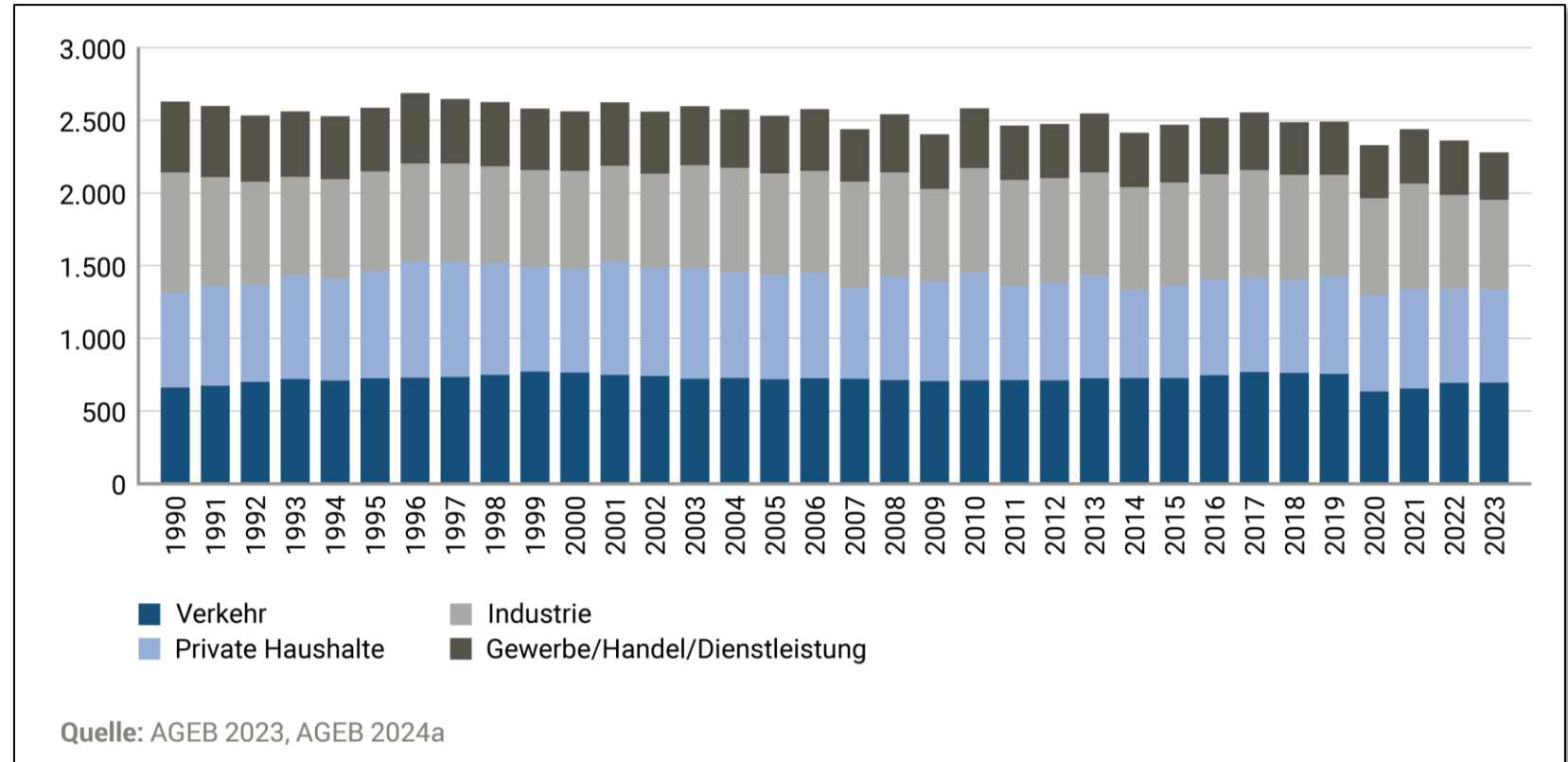
- **Entwicklung des Energieverbrauchs in den Sektoren – Der Weg zur Emissionsneutralität**
- Effizienzmaßnahmen im Bereich Hochbau – Förderung von Effizienzmaßnahmen
- Effizienzmaßnahmen im Bereich Technik – Wärmeerzeuger im Alt- und Neubau
- Anforderungsebenen der Energiekonzeptentwicklung
- Optionen der Lastermittlung – vom Kennwert – Vollbenutzungsstunden – Simulation - Monitoring
- Die Rolle von Wärmespeichern in Versorgungssystemen
- Anwendungsbeispiele
  - Schulgebäude - Sanierung
  - Wärmeversorgung von Kirchen
  - Geothermie in Produktionsgebäuden
  - Nachhaltigkeitskonzepte für Liegenschaften
- Zusammenfassung und Ausblick



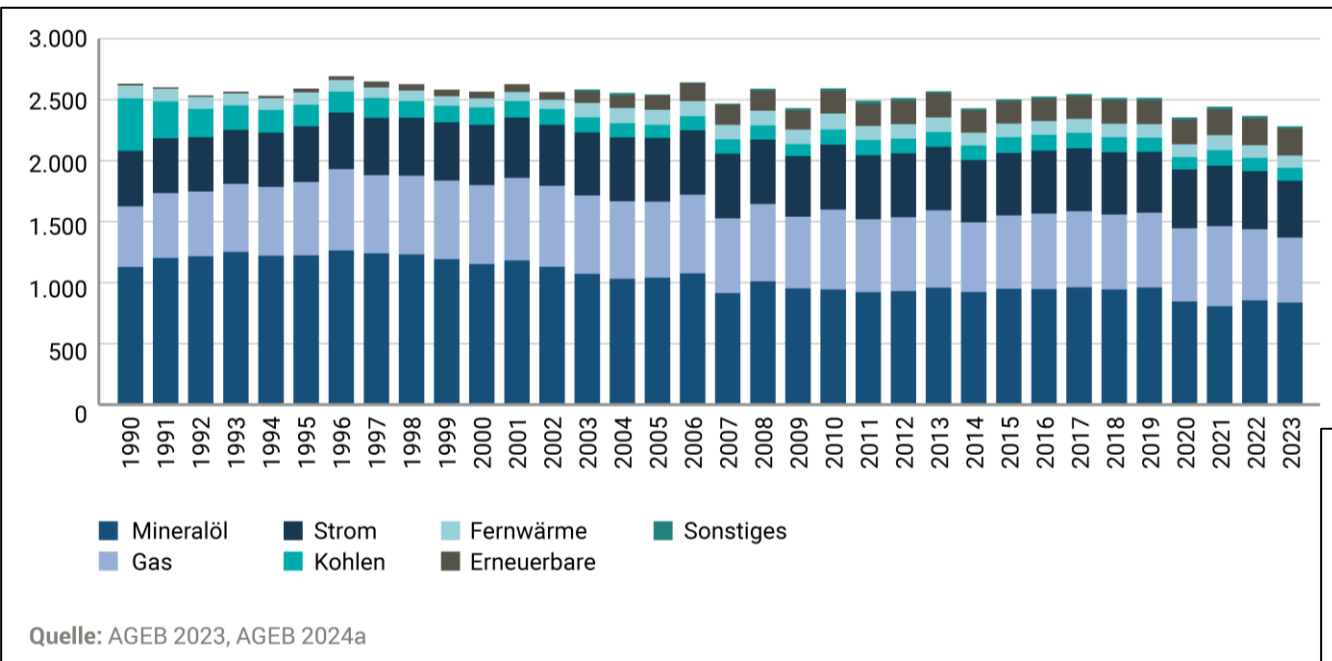


## Entwicklung des Energieverbrauchs in Deutschland von 1990 bis 2023 – nach Sektoren in TWh

- Bilanzierung nach den Sektoren Industrie, GHD (Gewerbe/Handel/Dienstleistung), Verkehr und Privathaushalte
- Die Verteilung im Jahr 2023 ergab sich wie folgt:
  1. Verkehrssektor rund 698 TWh (31 %)
  2. Privaten Haushalte mit 632 TWh (28 %)
  3. Industriesektor mit 624 TWh (28 %)
  4. GHD-Sektor mit 314 TWh (14 %)
- Insgesamt lag der Verbrauch bei 2.268 TWh und nahm damit im Vergleich zum Vorjahr um rund 98 TWh (4,2 %) ab.

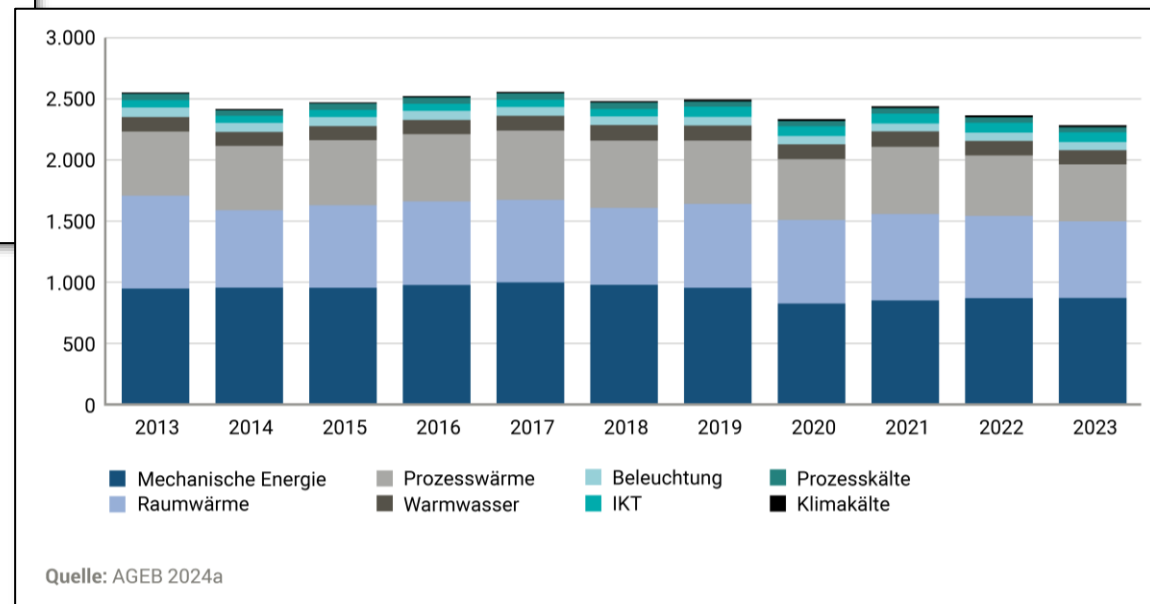


Entwicklung des Energieverbrauchs – nach Energieträgern und nach Anwendungen in TWh



- Im Jahr 2023 entfielen 65 % des Endenergieverbrauchs auf die fossilen Energieträger (Kohlen, Kraftstoffe und übrige Mineralölprodukte, Heizöl und Gas)
- In Bezug auf 2022 (582 TWh) nahm der Gasverbrauch auf 547 TWh um rd. 6% ab
- Die Anteile von Strom betragen 20 % und von Fernwärme 4 %. Der Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch ist seit 2017 konstant gestiegen und betrug im Jahr 2023 rund 9 % (208 TWh).

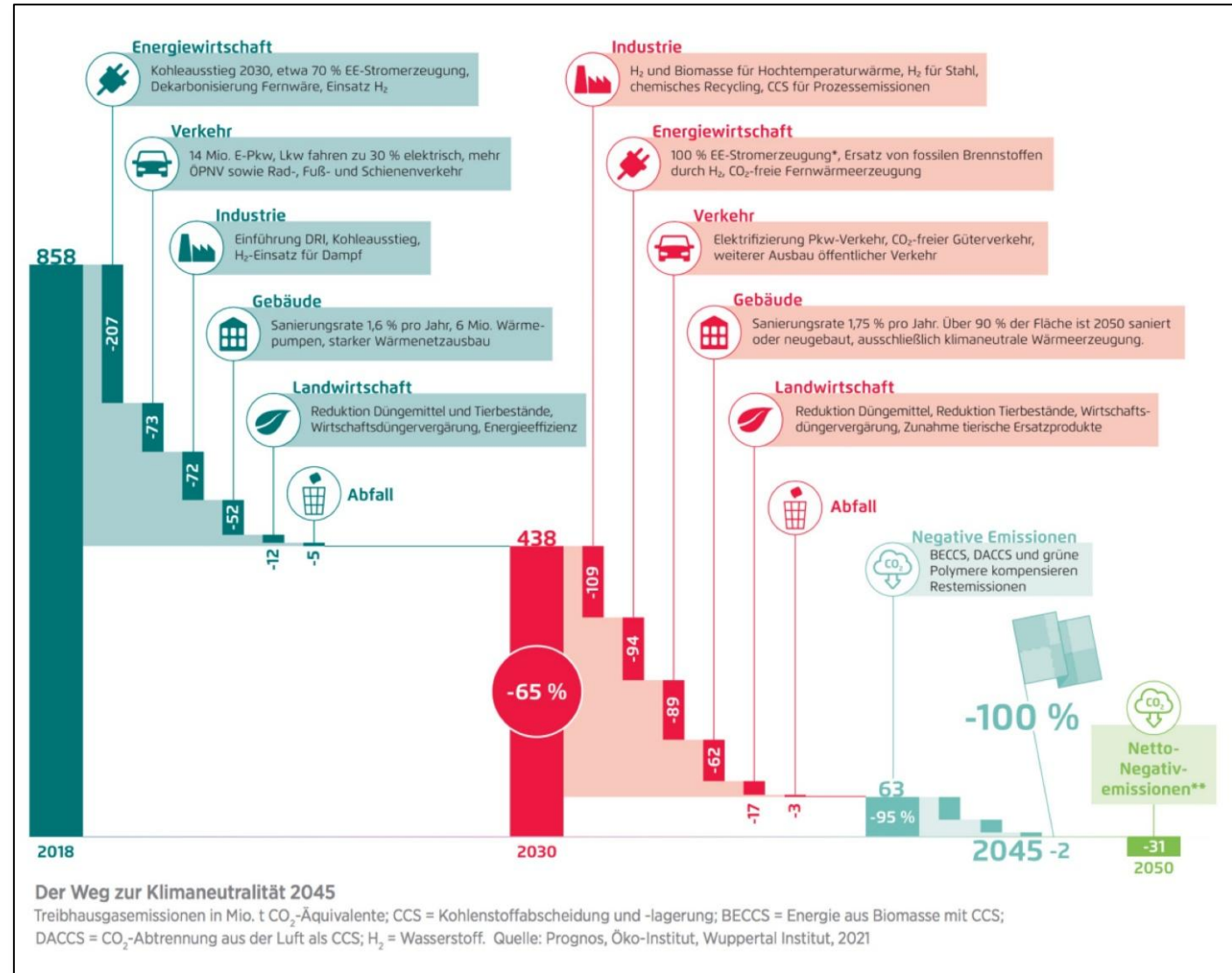
- Im Jahr 2023 entfielen 38 % des Endenergieverbrauchs auf die Anwendung „Mechanische Energie“
- Raumwärme stellt mit 27 % den zweitgrößten Anwendungsbereich dar
- Prozesswärme wies mit 21 % den drittgrößten Anteil am Endenergieverbrauch auf



Quelle: dena, Gebäudereport 2025

## Klimaneutralität bis zum Jahr 2045 – Maßnahmen in allen Sektoren sind erforderlich

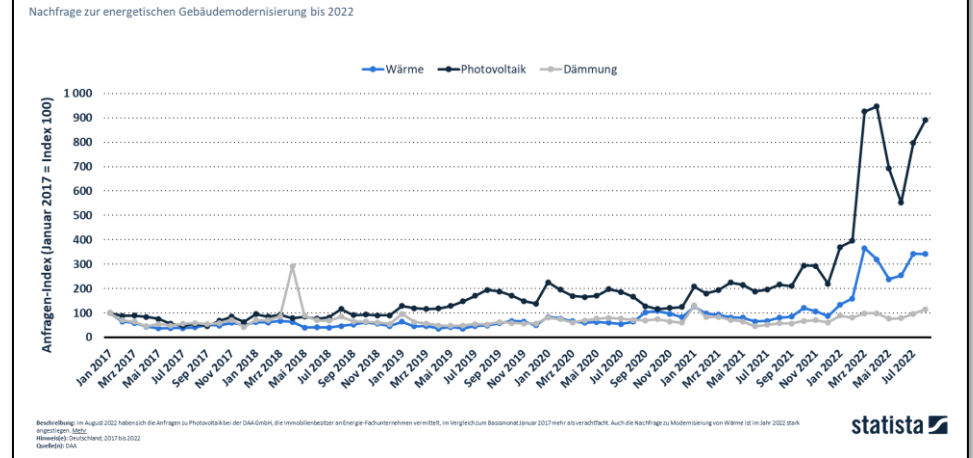
- Maßnahmen zur Energieeinsparung bzw. zur Reduzierung der Emissionen sind in allen Sektoren erforderlich – Energiewirtschaft, Verkehr, Industrie, Gebäude und Landwirtschaft
- Wesentlich für den Gebäudebereich ist die Sanierungsrate, die im Jahr 2018 mit 1,6 % und im Jahr 2030 mit 1,75 % angesetzt wird
- Im Rahmen der Sanierung sind bauliche und anlagentechnische Maßnahmen zu Gesamtstrategien zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen zu kombinieren



## Gebäudesektor – Trendwende in der Sanierung notwendig

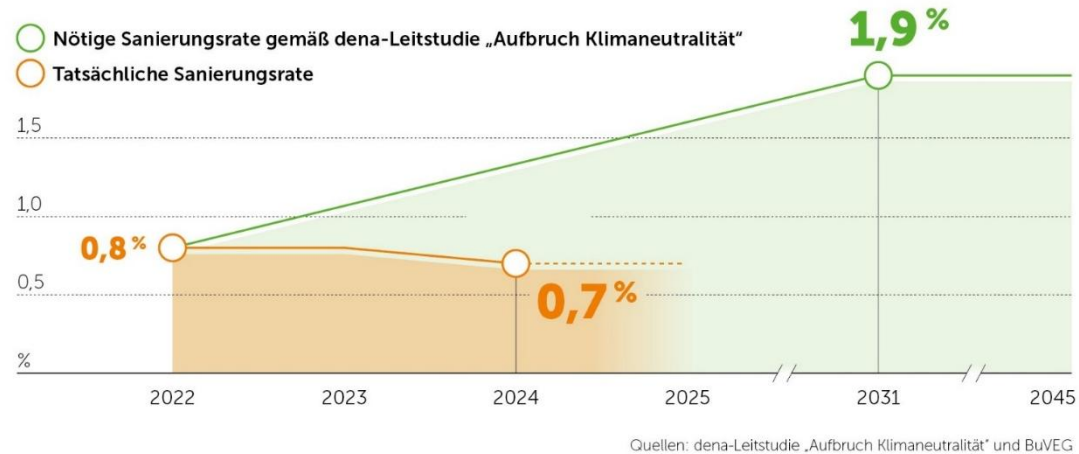
- Die Investitionen in die Sanierung von Gebäuden gehen zurück, entsprechend wird die Erreichbarkeit der Emissionsneutralität erschwert bzw. verschiebt sich
- Nach Aussagen des Umweltbundesamtes (UBA) sind die Treibhausgas-Emissionen im Jahr 2023 zwar deutlich gesunken - doch zusammen mit dem Verkehr hat der Gebäudesektor erneut sein Klimaschutzziel verfehlt
- Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß von Gebäuden sank von 111 auf 102 Millionen Tonnen und liegt damit noch um ca. 1,2 Millionen Tonnen über der Zielmarke
- Die milde Witterung der letzten Jahre trägt hierbei ebenso wie die Anpassung des Nutzerverhaltens aufgrund der Preisentwicklung mit zur Reduzierung der Energieverbrauchswerte bei
- **Zur Erreichung der Klimaneutralität im Jahr 2045 ist erheblich mehr in die Sanierung von Gebäuden zu investieren. Alle Klimaszenarien gehen davon aus, dass die Sanierungsrate von aktuell gut 0,7 % auf mindestens 1,6 %, eher auf ca. 2% steigen muss. Dazu sind Effizienzmaßnahmen im Betrieb sowie die Nutzung regenerativer Energien zu stärken.**

Nachfrage-Index<sup>1</sup> zur energetischen Gebäudemodernisierung in den Jahren 2017 bis 2022 (Januar 2017 = Index 100)



## KLIMASCHUTZ IM GEBÄUDESEKTOR: TRENDUMKEHR BEI SANIERUNGEN NÖTIG

Der Klimaschutz kommt im Gebäudesektor nicht voran, weil Deutschland immer weniger in die Gebäudesanierung investiert. Der Trend geht aktuell in die falsche Richtung. Um Klimaneutralität zu erreichen, müsste die Sanierungsrate deutlich steigen.



Quelle:  
news aktuell GmbH,  
D - 20148 Hamburg

## Inhalt

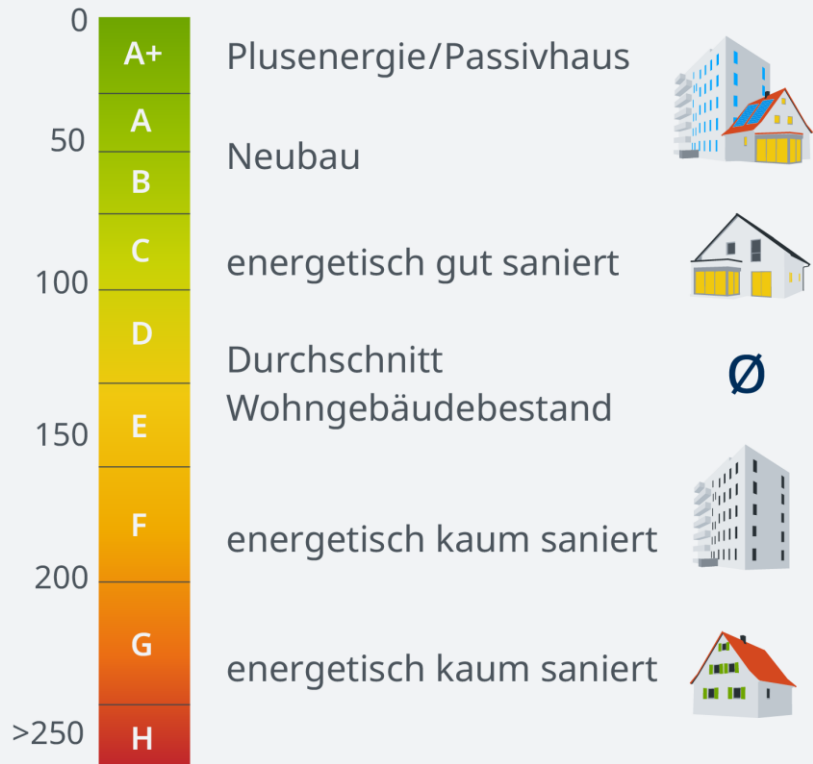
- Entwicklung des Energieverbrauchs in den Sektoren – Der Weg zur Emissionsneutralität
- **Effizienzmaßnahmen im Bereich Hochbau – Förderung von Effizienzmaßnahmen**
- Effizienzmaßnahmen im Bereich Technik – Wärmeerzeuger im Alt- und Neubau
- Anforderungsebenen der Energiekonzeptentwicklung
- Optionen der Lastermittlung – vom Kennwert – Vollbenutzungsstunden – Simulation - Monitoring
- Die Rolle von Wärmespeichern in Versorgungssystemen
- Anwendungsbeispiele
  - Schulgebäude - Sanierung
  - Wärmeversorgung von Kirchen
  - Geothermie in Produktionsgebäuden
  - Nachhaltigkeitskonzepte für Liegenschaften
- Zusammenfassung und Ausblick



## Einflussfaktoren auf die Energieeffizienz im Gebäudebereich

### Energieverbrauch von Häusern

Für Wärme in Kilowattstunden pro m<sup>2</sup> im Jahr

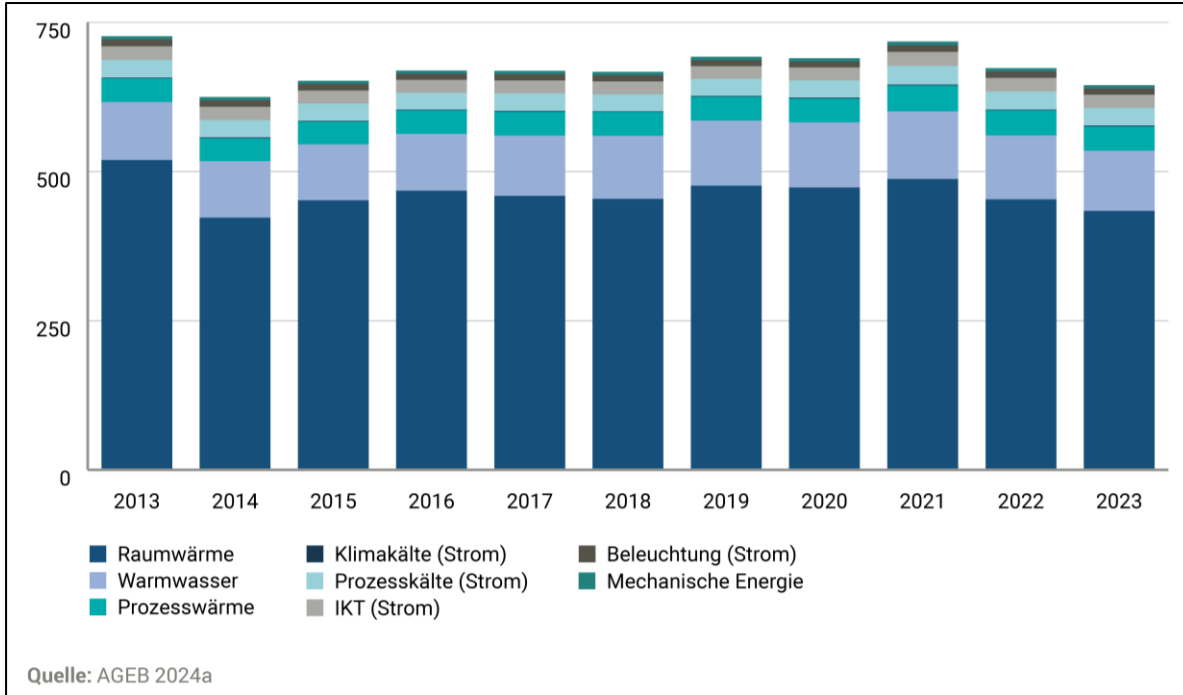


Quelle: Verbraucherzentrale

### Effizienzmaßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs im Gebäudebereich

- Entwicklung von auf die Gebäude und die Nutzung angepassten Wärmeschutz- und Energieversorgungskonzepten (Reduzierung der Heiz- und Kühllast)
- Genaue Lastermittlung bzw. Bedarfsprognosen über Verbrauchswerte im Fall der Sanierung oder (ggf. simulationsunterstützte) Bedarfsprognosen für den Neubau
- Integration regenerativer Energien in die Energieversorgung
- Abstimmung des Anlagenbetriebes aufeinander und Integration von Speicherkapazitäten
- Messwertunterstützte Inbetriebnahme und Umsetzung eines Monitorings als messtechnische Begleitung der Betriebsphase in unterschiedlichen Intensitäten
- Überprüfung der Zielvorgaben (über Kennwertbildung) und Umsetzung von Maßnahmen zur Betriebsoptimierung (PDCA-Zyklus)

## Gebäudesektor – Endenergieverbrauch in Wohngebäuden nach Anwendungen und für Heizung und Trinkwarmwasser in TWh

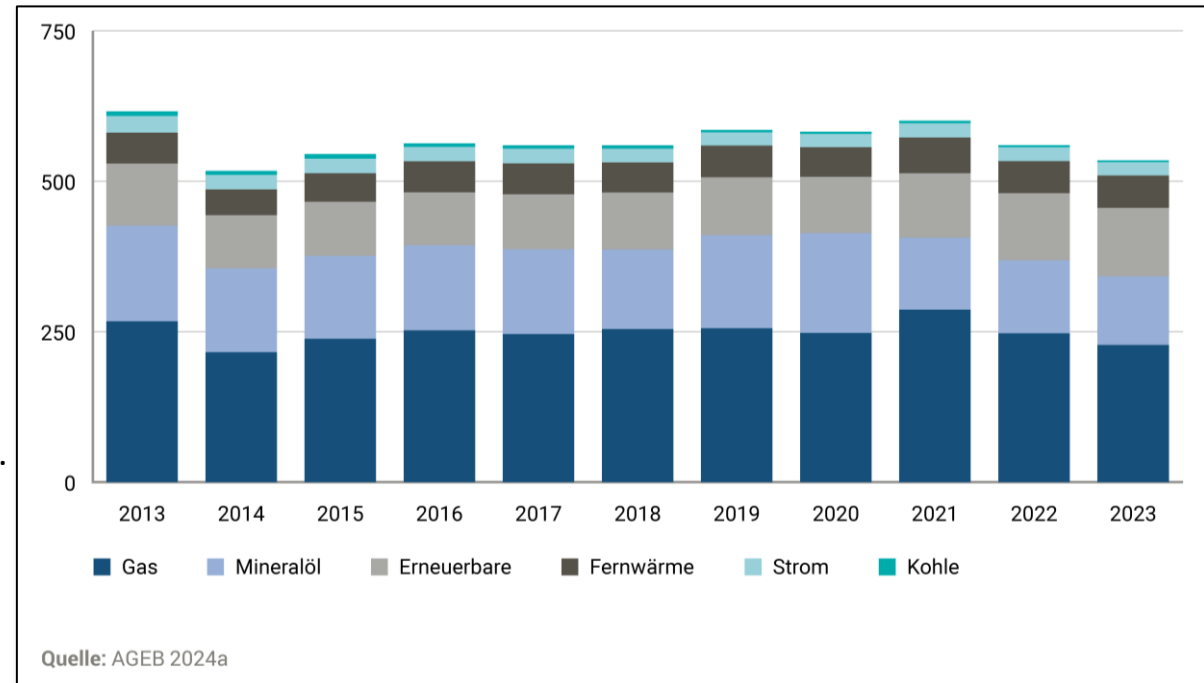


### Anwendungsbereiche beim Endenergieverbrauch in Wohngebäuden

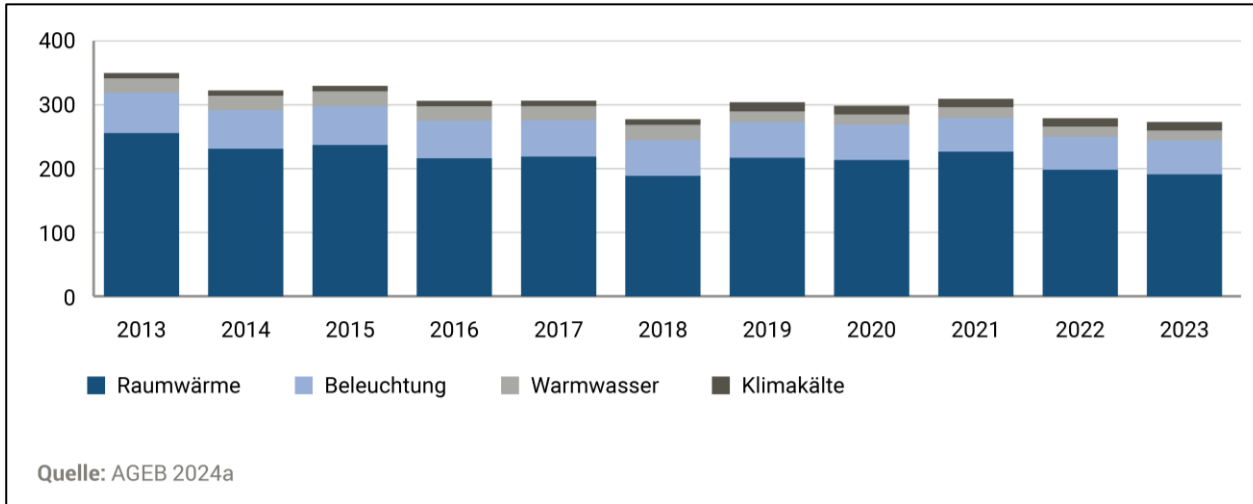
- Raumwärme und Warmwasser dominieren mit 522 TWh (67 % Raumwärme u. 16 % für TWW)
- Prozesswärme (Kochen und Waschen) stellt mit rd. 41 TWh (6%) - den drittgrößten Bereich
- Prozesskälte 30 TWh (5 %), IKT 22 TWh (3 %), Beleuchtung bzw. 10 TWh (2 %)

### Endenergieverbrauch für Raumwärme und Trinkwarmwasser

- Verbrauchswert im Jahr 2023 522 TWh, Rückgang um rd. 38 TWh zu 2022
- Erdgas stellt größten Anteil - 228 TWh (44 %), Rückgang um 19 TWh (7,8 %) zu 2022, Öl hat Anteil von 114 TWh, Rückgang um 8 TWh (6,4 %)
- Fernwärme und Strom konstant bei 76 TWh (15 %), der Anteil von erneuerbare Energien liegt bei 101 TWh (19 %) im Jahr 2023



## Gebäudesektor – Endenergieverbrauch in Nichtwohngebäuden nach Anwendungen und für Heizung und Trinkwarmwasser in TWh

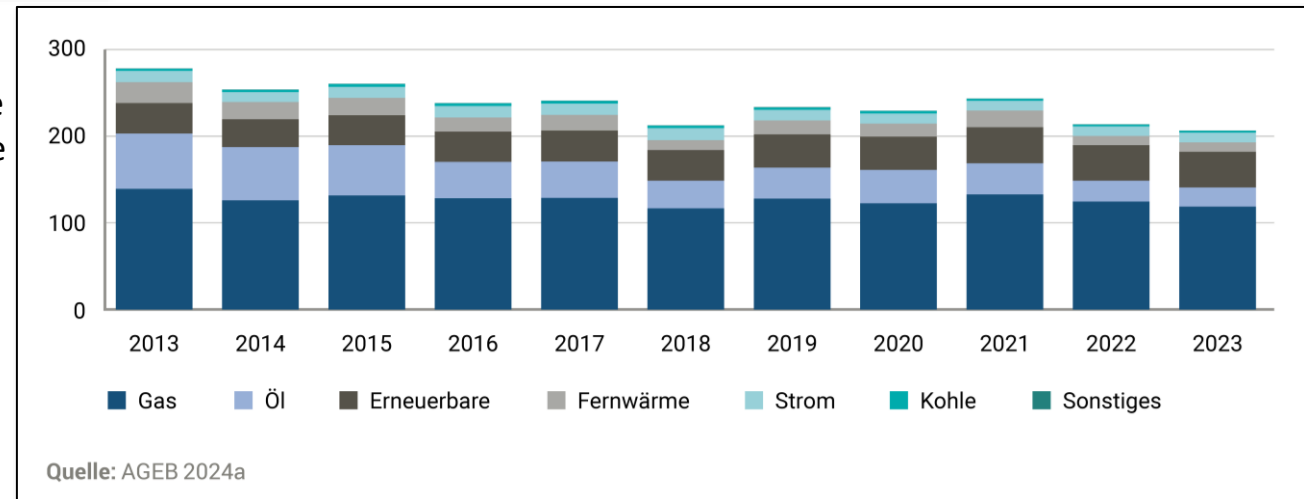


### Endenergieverbrauch für Wärme – Heizung und Trinkwarmwasser

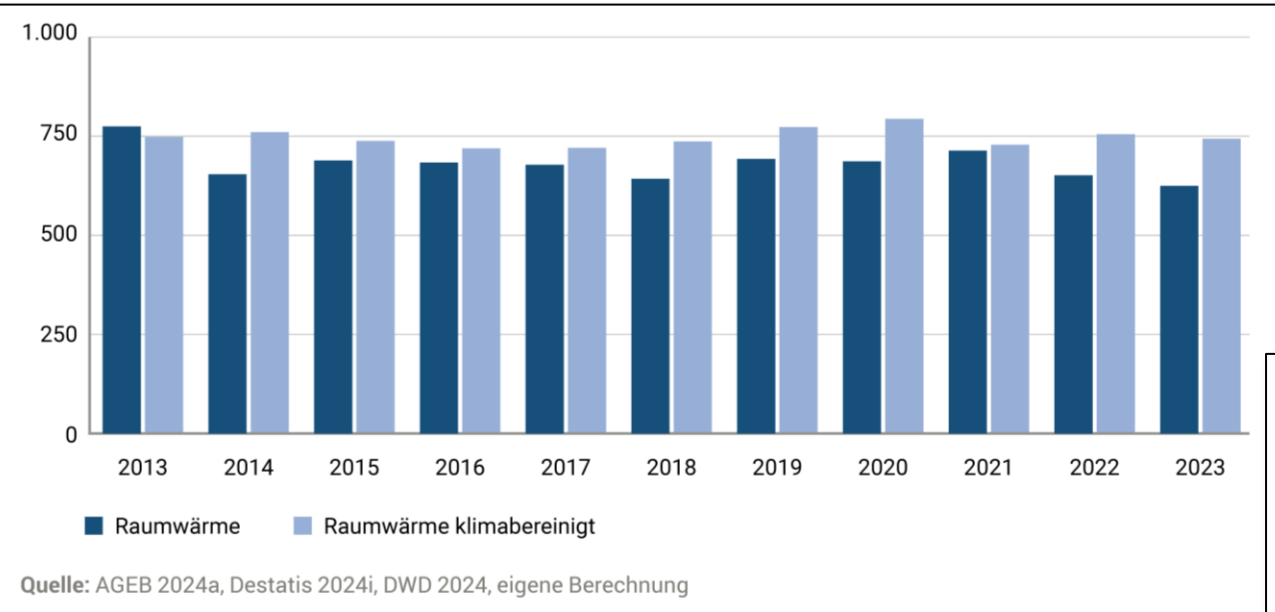
- Der Wärmeverbrauch in Nichtwohngebäuden lag im Jahr 2023 bei 207 TWh (Reduzierung um 26 % seit 2013)
- Im Jahr 2023 lag der Anteil fossiler Energien am Endenergieverbrauch in Nichtwohngebäuden bei rund 143 TWh (69 %), der Gasanteil beträgt dabei 119 TWh (57 %)
- Der Energieverbrauch von erneuerbaren Energien stieg im Jahr 2023 mit 43 TWh (21 %) im Vergleich zum Vorjahr um 1,7 Prozentpunkte an, der Verbrauch von Fernwärme ging mit 9 TWh um knapp 0,5 Prozentpunkte zurück

### Endenergieverbrauch nach Anwendungsbereichen

- Ausschließliche Betrachtung von Raumwärme, Warmwasser, Klimakälte und Beleuchtung, da Prozesswärme, Prozesskälte, IKT und mechanische Energie Nutzungen nicht eindeutig zuzuordnen sind
- Im Nichtwohngebäude ist der Wärmebedarf für die Trinkwarmwasserbereitung im Vergleich zu Wohngebäuden deutlich reduziert (im Jahr 2023 nur rd. 16 TWh und damit 84 % weniger)
- Die Raumwärme lag mit 191 TWh um 55 % unter dem Verbrauch von Wohngebäuden, fast der gesamte Klimakälteverbrauch entfällt jedoch auf Nichtwohngebäude - 91 % des gesamten Verbrauchs

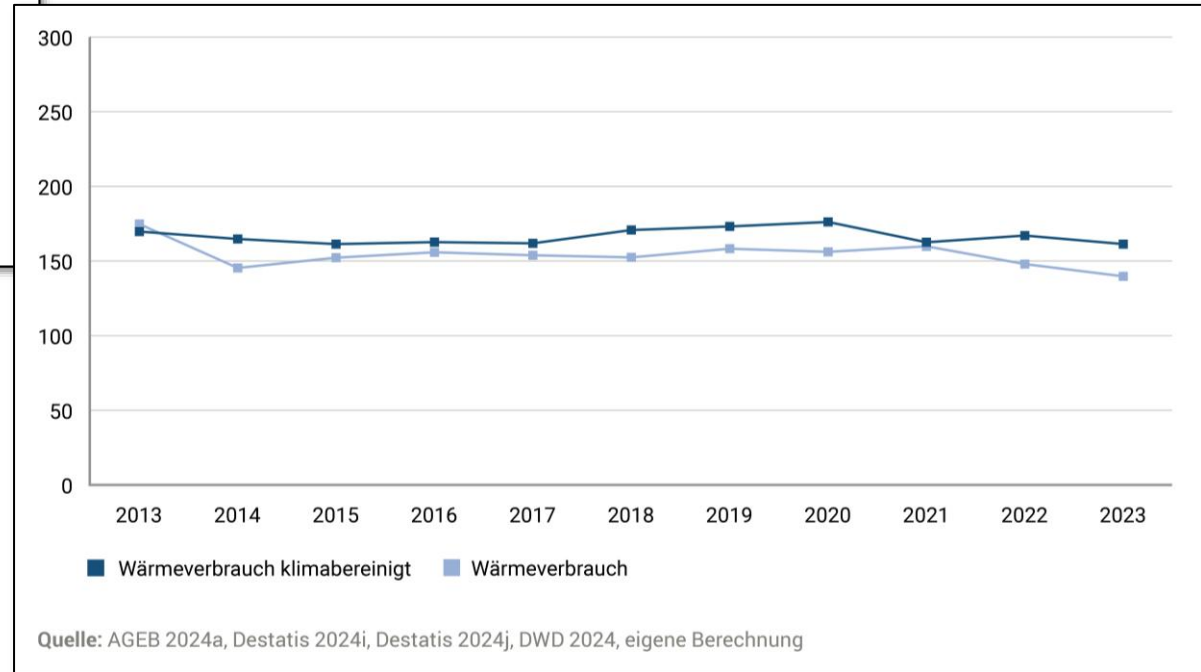


## Gebüdesektor – Gesamtverbrauch in TWh und resultierender mittlerer flächenbezogener Verbrauch in kWh/(m²a)



### Flächenbezogener Verbrauch von Wohngebäuden

- Im Jahr 2023 lag der klimabereinigte Wärmeverbrauch bei 158,4 kWh pro m² Wohnfläche und Jahr (Rückgang um 9,6 kWh/(m²a) bzw. 5,7 % zu 2022)
- Zusammen mit dem Jahr 2015 ist der klimabereinigte Verbrauch damit auf den niedrigsten Wert im Betrachtungszeitraum gefallen



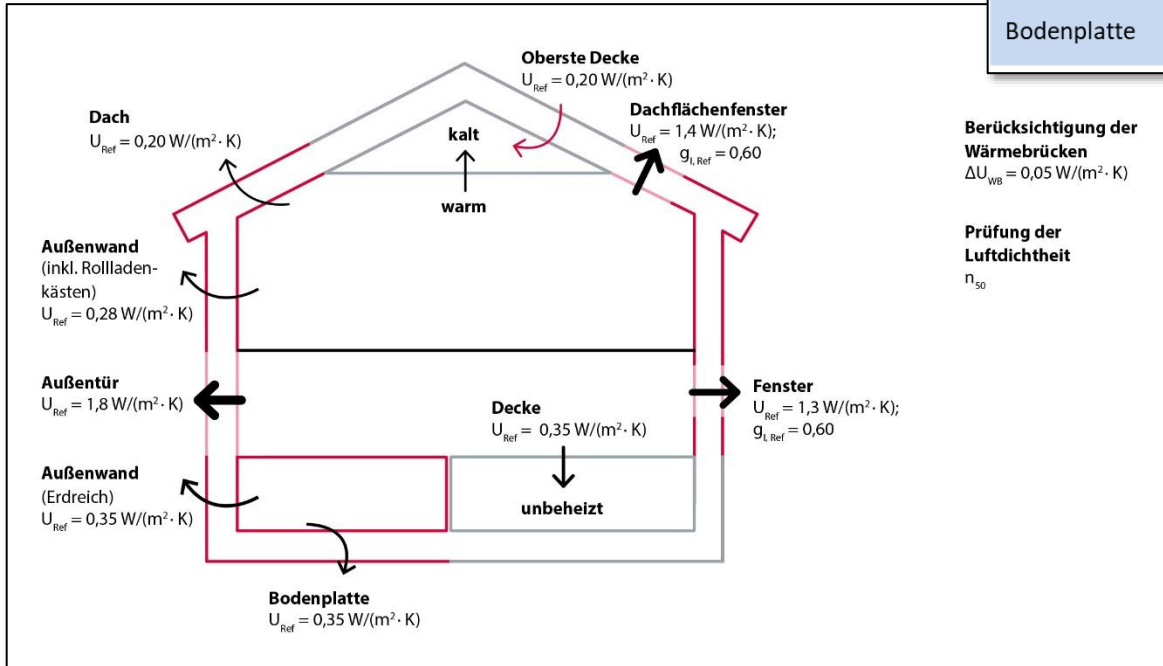
### Raumwärmeverbrauch in Gebäuden in TWh

- Der witterungsbereinigte Verbrauch lag aufgrund der Witterungsbereinigung bei den im Durchschnitt höheren Außentemperaturen zu den stets höher (in fünf der letzten sechs Jahre lag der Klimafaktor jeweils über 1,1)
- Der witterungsbereinigte Raumwärmeverbrauch ist seit 2016 nicht gesunken. Der höchste Verbrauch des nicht bereinigten Raumwärmeverbrauchs lag im besonders kalten Jahr 2013

### Gebäudesektor – Baulicher Wärmeschutz bei verschiedenen Dämmstandards

- Die Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz variieren in Abhängigkeit des Dämmstandards
- Um Fördermittel für die energetische Sanierung nutzen zu können, liegt der Aufwand höher als die Anforderung im GEG

Bauteil	GEG Neubau	BEG-EM	EG 40	Passivhaus
Fenster	1,30 W/(m²K) (2-fach Verglasung)	0,95 W/(m²K) (3-fach Verglasung)	1,00 W/(m²K) (3-fach Verglasung)	0,80 W/(m²K) (3-fach Verglasung)
Außenwand	0,24 W/(m²K) (~ 15 cm - WLG 035)	0,20 W/(m²K) (~ 18 cm - WLG 035)	0,20 W/(m²K) (~ 18 cm - WLG 035)	0,15 W/(m²K) (~ 24 cm - WLG 035)
Dach (Flachdach)	0,20 W/(m²K) (~ 18 cm - WLG 035)	0,14 W/(m²K) (~ 25 cm - WLG 035)	0,14 W/(m²K) (~ 25 cm - WLG 035)	0,12 W/(m²K) (~ 29 cm - WLG 035)
Dach (Steildach)	0,24 W/(m²K) (~ 15 cm - WLG 035)	0,14 W/(m²K) (~ 25 cm - WLG 035)	0,14 W/(m²K) (~ 25 cm - WLG 035)	0,12 W/(m²K) (~ 29 cm - WLG 035)
Bodenplatte	0,30 W/(m²K) (~ 12 cm - WLG 035)	0,25 W/(m²K) (~ 14 cm - WLG 035)	0,25 W/(m²K) (~ 14 cm - WLG 035)	0,20 W/(m²K) (~ 18 cm - WLG 035)



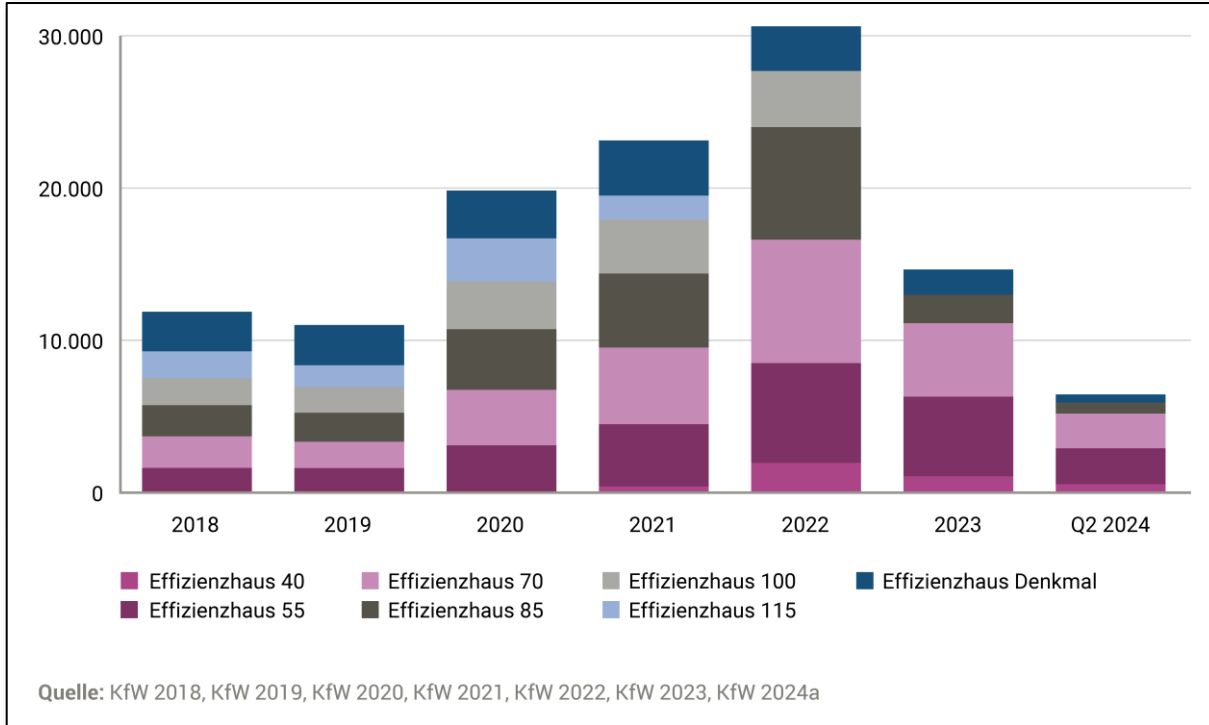
Dämmstärke im Vergleich

Ausführung der Wärmedämmung des Referenzgebäudes (Wohngebäude) nach Anlage 1 GEG

Quelle: BBSR, GEG-Infoportal, <https://www.bbsr-geg.bund.de>



Gebäudesektor – Entwicklung der Förderzusagen zur Gebäudeenergieeffizienz im Wohngebäudebereich – Sanierung und Neubau

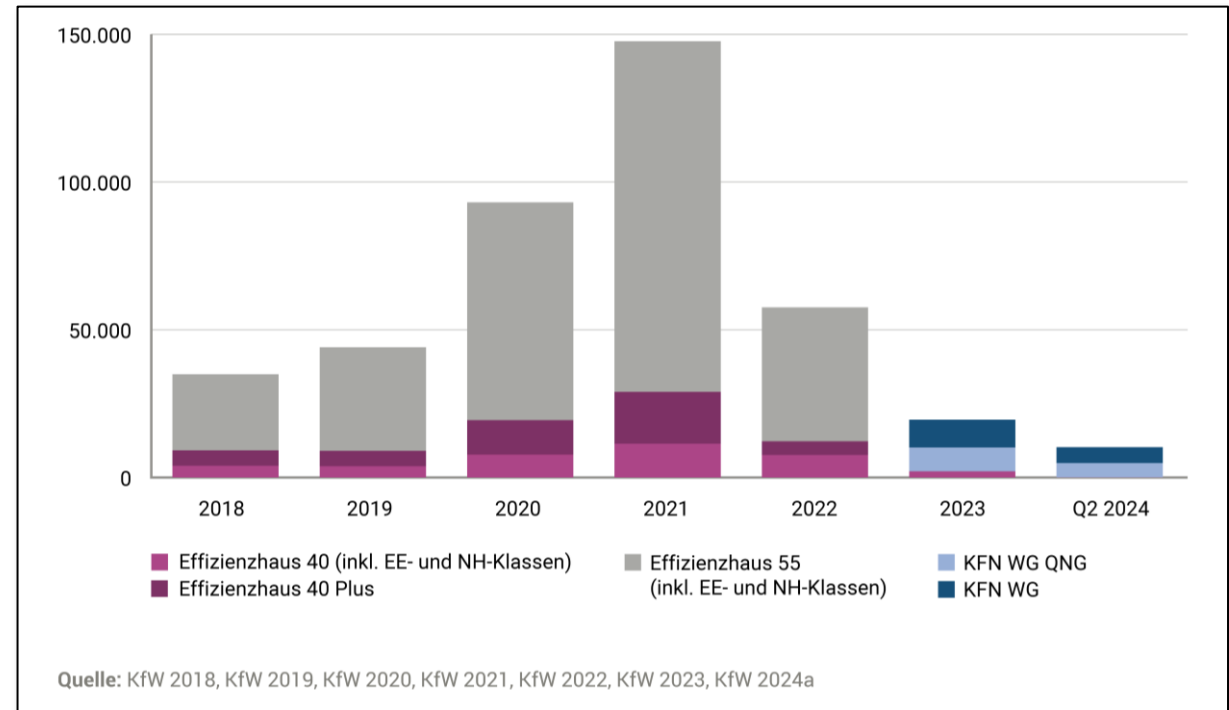


Förderzusagen Sanierung Wohngebäude

- Von gesamt 120.000 Effizienzhausanträgen seit 2018 entfallen mit rd. 28.000 Förderanträgen die meisten auf die Effizienzhausstufe 70, gefolgt von der Stufe EH55 mit rd. 25.000 und dem EH85 mit ca. 23.000 Anträgen.
- Anstieg der Anteile von EH70, 55 und 40 bis zum ersten Halbjahr 2024 - Trend zu energieeffizienteren Förderklassen erkennbar

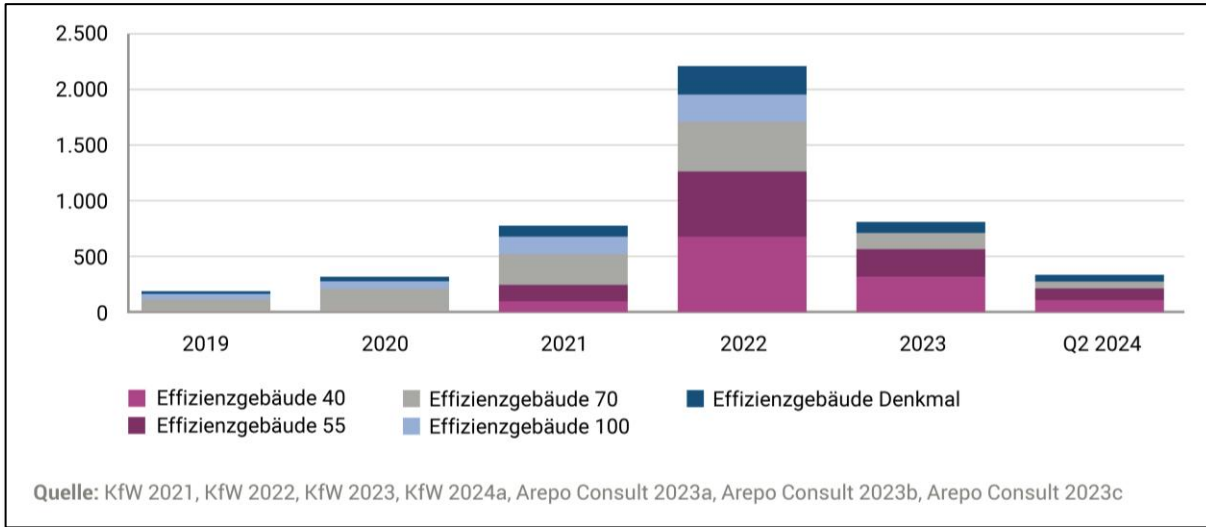
Förderzusagen Neubau von Nichtwohngebäuden

- Starker Anstieg der Antragszahlen für Effizienzhäuser im Neubau bis zum Jahr 2021, danach starkes Absinken (Einstellung der EH55-Förderung zum 24.01.2022)
- Im Jahr 2023 Einführung des Förderprogramms Klimafreundlicher Neubau (KFN) – zwei Stufen: KFN und KFN QNG, mit Qualitätssiegel



Quelle: dena, Gebäudereport 2025

Gebäudesektor – Entwicklung der Förderzusagen zur Gebäudeenergieeffizienz im Nichtwohngebäudebereich – Sanierung und Neubau

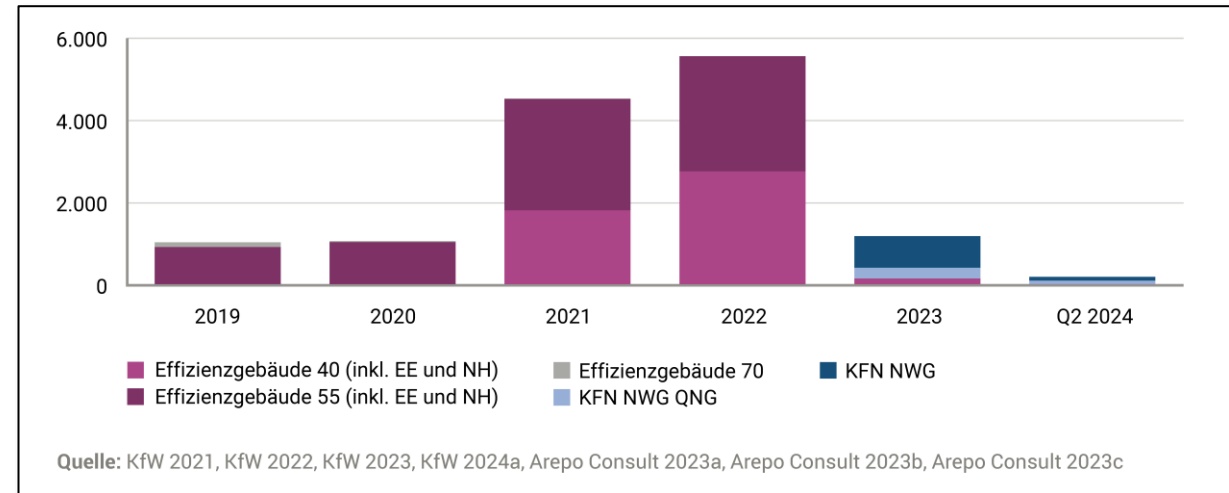


Förderzusagen Neubau von Nichtwohngebäuden

- in den Jahren 2021 und 2022 deutlich mehr Anträge als in den übrigen Jahren
- Der höchste Wert lag bei 5.534 Anträgen im Jahr 2022. Im Jahr 2023 sowie im ersten Halbjahr 2024 sind die Antragszahlen wieder zurückgegangen.

Förderzusagen Sanierung Nichtwohngebäude

- Seit 2019 insgesamt rund 4.600 Anträge für die Sanierung von Nichtwohngebäuden zu Effizienzgebäuden
- fast die Hälfte – ca. 2.200 Anträge - im Betrachtungszeitraum des Jahres 2022
- Der Rückgang im Jahr 2023 lag bei 63 %. Die Antragszahlen des ersten Hj. 2024 lagen hingegen 30 % über den Antragszahlen des ersten Hj. 2023
- Seit 2019 ca. 1300 Anträge zu Effizienzgebäude 70, seit 2022 Veränderung zu EG 40, EG 55 und dann EG 70 - Trend zu höheren Förderstufen

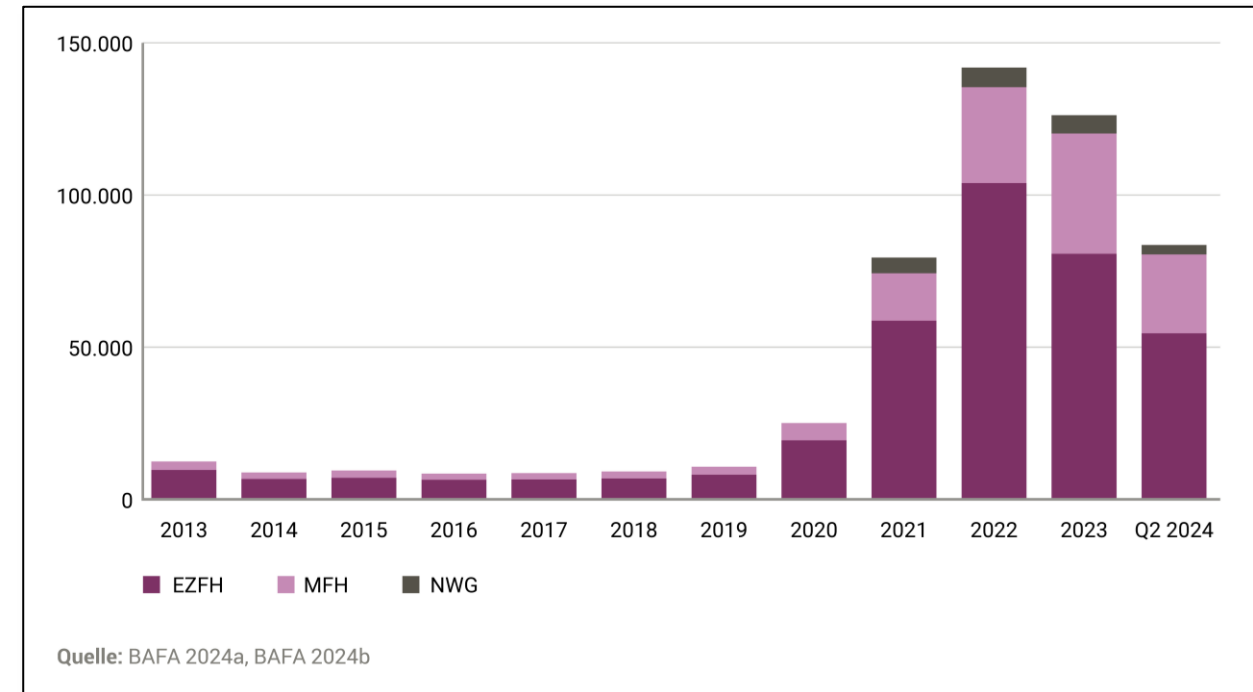


Quelle: dena, Gebäudereport 2025



## Gebäudesektor – Entwicklung der Antragszahlen in der Energieberatung

- Zur Erhöhung der Akzeptanz der Energieberatung für Wohngebäude wurde 2020 der individuelle Sanierungsfahrplan (iSFP) als Beratungsinstrument eingeführt und die Förderung erhöht
- Im ersten Halbjahr 2024 wurden für die Energieberatung für Wohngebäude knapp 80.000 Anträge gestellt (Anstieg um 9 % im Vergleich zum Vorjahreshalbjahr)
- Energieberatungen für Ein- und Zweifamilienhäuser von 2013 bis 2022 lagen immer zwischen 73 % und 79 % aller Energieberatungen für Wohngebäude (2023 und 2024 lag der Anteil bei 67 % bzw. 68 %)
- Im Bereich der Nichtwohngebäude wurde die Förderung der Energieberatung erst im Jahr 2021 eingeführt
- Die Zahl der Anträge liegt deutlich niedriger als bei Wohngebäuden (in den ersten drei Jahren jeweils zwischen 5.000 und 6.500 Anträge, im ersten Halbjahr 2024 ca. 3.100 Anträge – Tendenz sinkend gegenüber dem Vorjahreszeitraum)



Quelle: dena, Gebäudereport 2025

## Inhalt

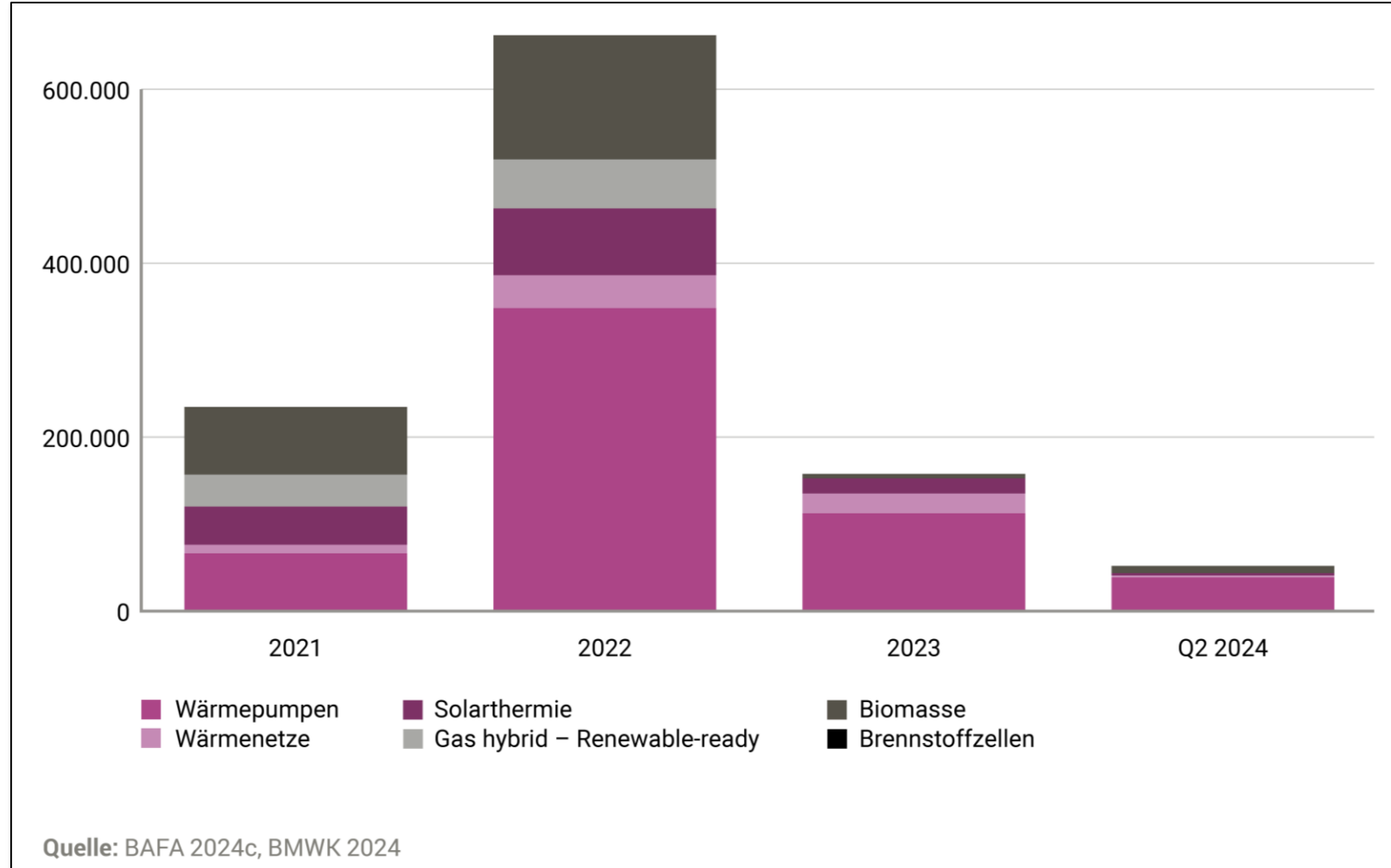
- Entwicklung des Energieverbrauchs in den Sektoren – Der Weg zur Emissionsneutralität
- Effizienzmaßnahmen im Bereich Hochbau – Förderung von Effizienzmaßnahmen
- **Effizienzmaßnahmen im Bereich Technik – Wärmeerzeuger im Alt- und Neubau**
- Anforderungsebenen der Energiekonzeptentwicklung
- Optionen der Lastermittlung – vom Kennwert – Vollbenutzungsstunden – Simulation - Monitoring
- Die Rolle von Wärmespeichern in Versorgungssystemen
- Anwendungsbeispiele
  - Schulgebäude - Sanierung
  - Wärmeversorgung von Kirchen
  - Geothermie in Produktionsgebäuden
  - Nachhaltigkeitskonzepte für Liegenschaften
- Zusammenfassung und Ausblick





## Gebäudesektor – Beantragung von einer Heizungssanierung im Bereich BEG Einzelmaßnahmen

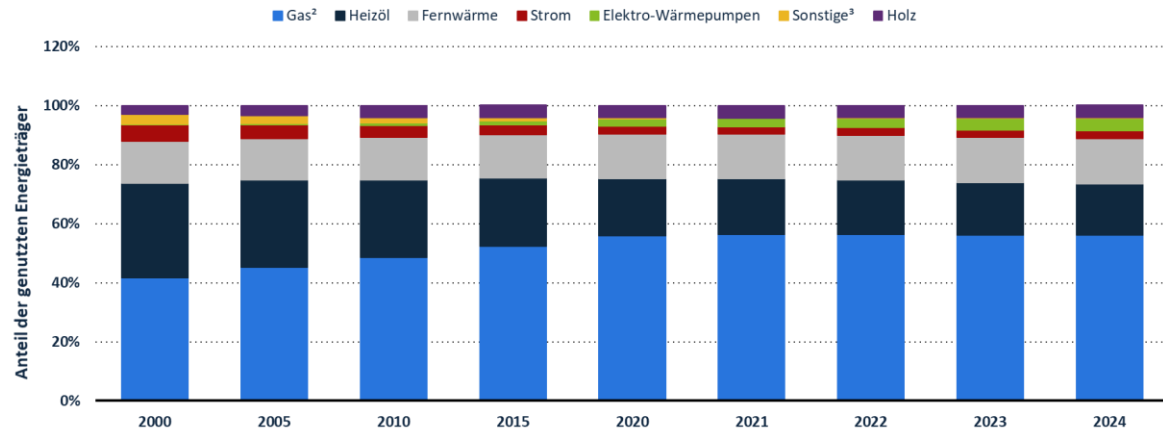
- Über die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) wurden bis zum zweiten Quartal 2024 insgesamt 1,1 Mio. Wärmeerzeuger beantragt
- Davon wurden ca. 660.000 Anträge im Jahr 2022 (60 %) gestellt, seitdem deutliches Absinken der Förderzahlen (Rückgang von 2022 auf 2023 um 76 %)
- **Insgesamt entfallen knapp 570.000 Förderanträge und damit 51 % aller Anträge seit 2021 auf Wärmepumpen.** Der Anteil von Wärmepumpen an der Förderung hat sich dabei kontinuierlich von 28 % im Jahr 2021 auf 74 % im ersten Halbjahr 2024 erhöht. Die zweitmeisten Förderanträge gab es bei Biomasseheizungen mit rund 230.000 Anträgen, gefolgt von Solarthermie-Anlagen. Für sie wurden insgesamt rund 140.000 Anträge gestellt.



Gebäudesektor – Beheizungsstruktur in Bestand und Neubau

Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes<sup>1</sup> in Deutschland in ausgewählten Jahren von 2000 bis 2024

Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes bis 2024

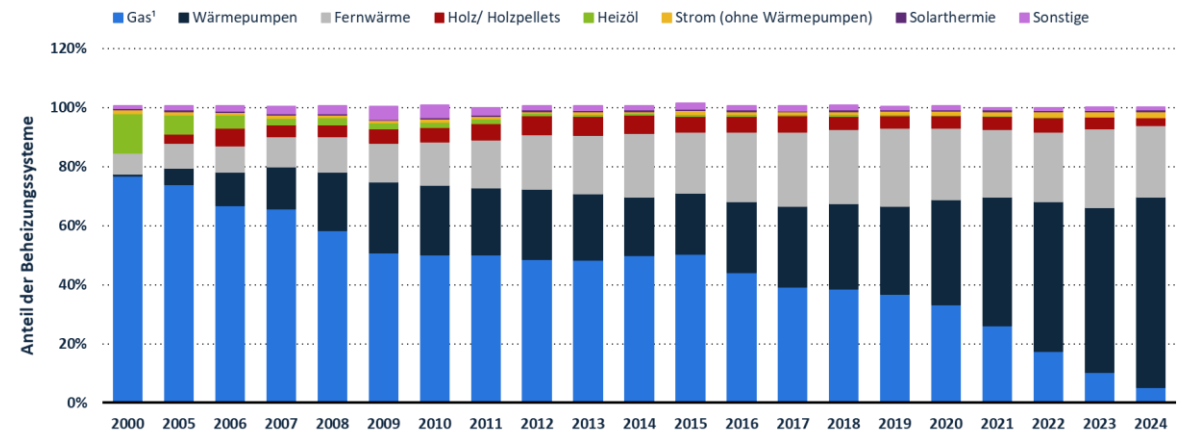


Beschreibung: Die Anzahl der Wohnungen in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden, in denen eine Heizung vorhanden ist, belief sich in Deutschland im Jahr 2024 auf rund 43,6 Millionen. Davon wurden rund 17 Prozent mit Heizöl beheizt. [Mehr](#)  
Hinweis(e): Deutschland, Stand: 12/2024; vorläufig, teilweise geschätzt  
Quelle(n): BDEW

statista

Beheizungsstruktur im Wohnungsneubau in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2024

Verteilung der Beheizungssysteme im Neubau in Deutschland bis 2024



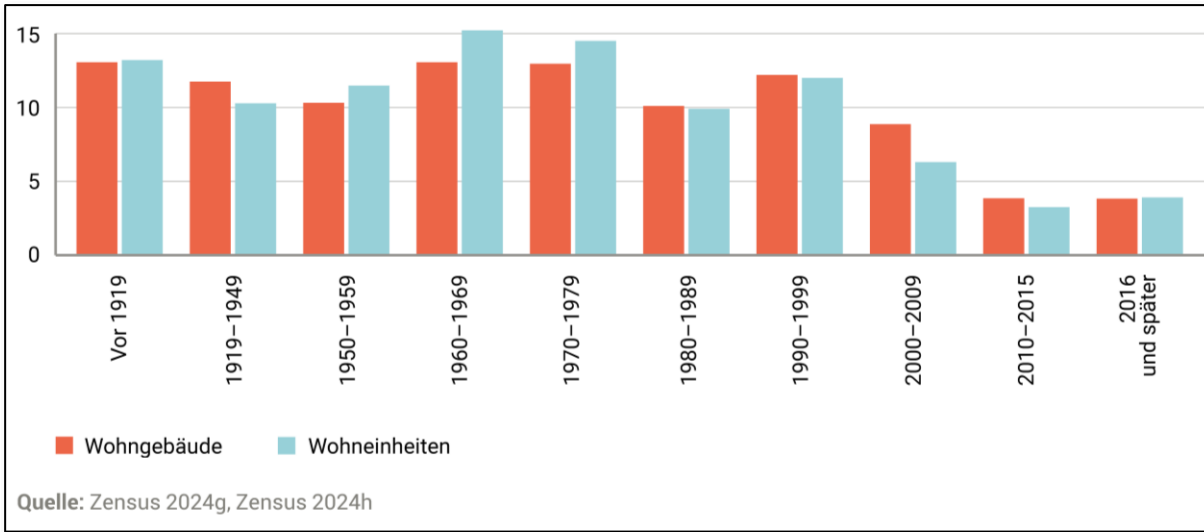
Beschreibung: Im Jahr 2024 lag die Anzahl der zum Bau genehmigten Wohnungen in neu zu errichtenden Wohngebäuden bei 172.322. Davon sollen rund 65 Prozent mit Elektro-Wärmepumpen beheizt werden. [Mehr](#)  
Hinweis(e): Deutschland, Stand: März 2025  
Quelle(n): BDEW, Statistisches Landesamt

statista

Quelle: Statista, Report „Energieeffizienz in Deutschland“, 2025



### Gebäudesektor – Gebäudealtersklassen und zugeordnete Beheizungsstruktur

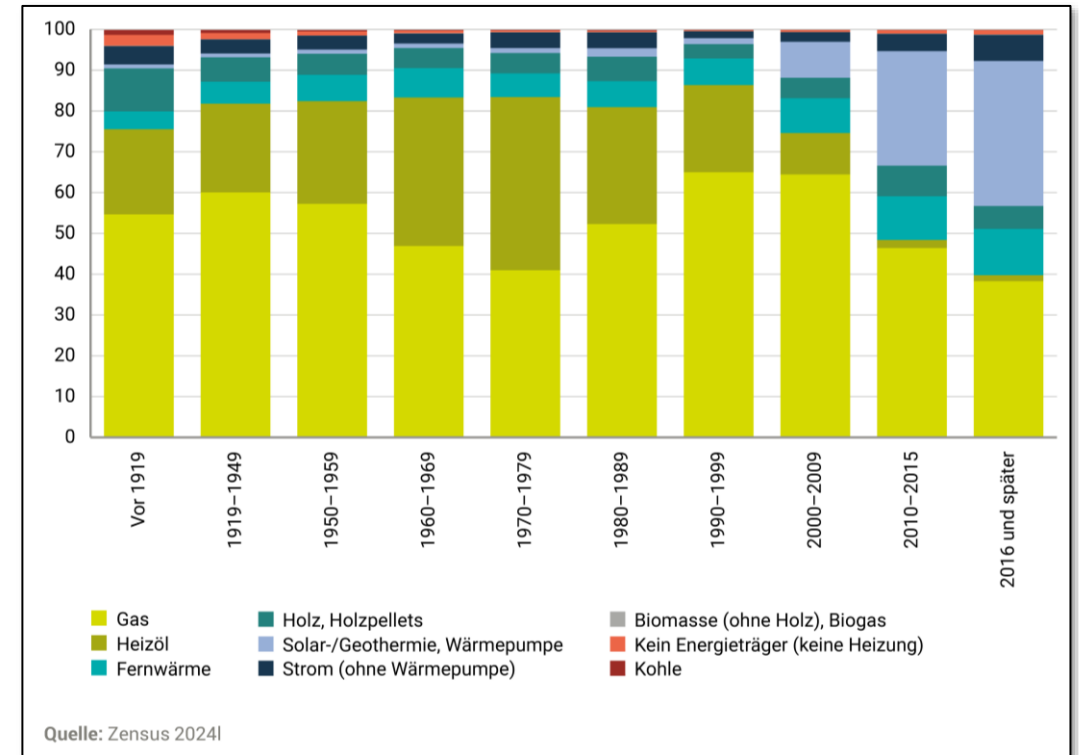


### Wohngebäudebestand nach Baujahrsklasse 2022 in %

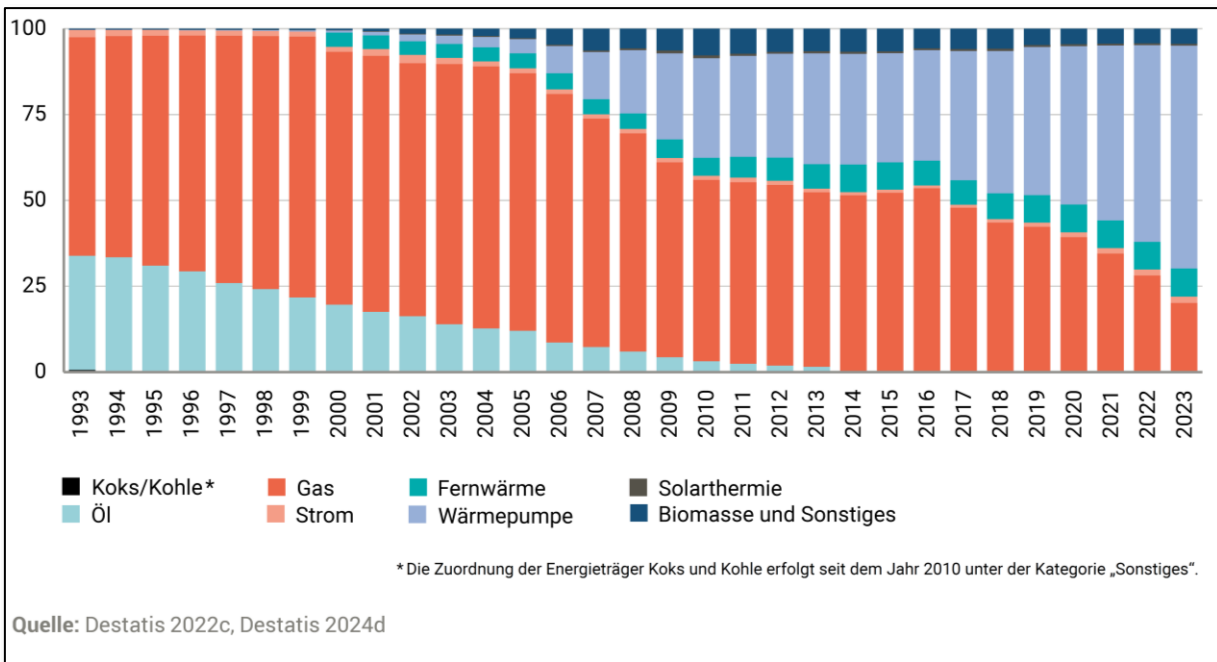
- Bautätigkeit in den vergangenen 30 Jahren hat deutlich abgenommen
- Bezogen auf Wohneinheiten liegt der Anteil von 1990 bis 1999 bei 12 % und von 2000 bis 2009 bei 6,3 %
- Gebäude mit Baujahr zwischen 2010 und 2022 machen 7,7 % des Gebäudebestands und 7,1 % des Wohnungsbestands aus.
- Die Zeitspanne, in der die meisten Wohnungen des aktuellen Gebäudebestands gebaut wurden, liegt zwischen 1960 und 1969

### Beheizungsstruktur des Gebäudebestandes nach Baujahrsklassen in %

- Erdgasheizungen haben in fast allen Baujahrsklassen den größten Anteil an der Beheizung von Wohngebäuden
- Den höchsten Anteil an fossilen Heizungen weisen mit 84 % Gebäude auf, die von 1960 bis 1969 gebaut wurden

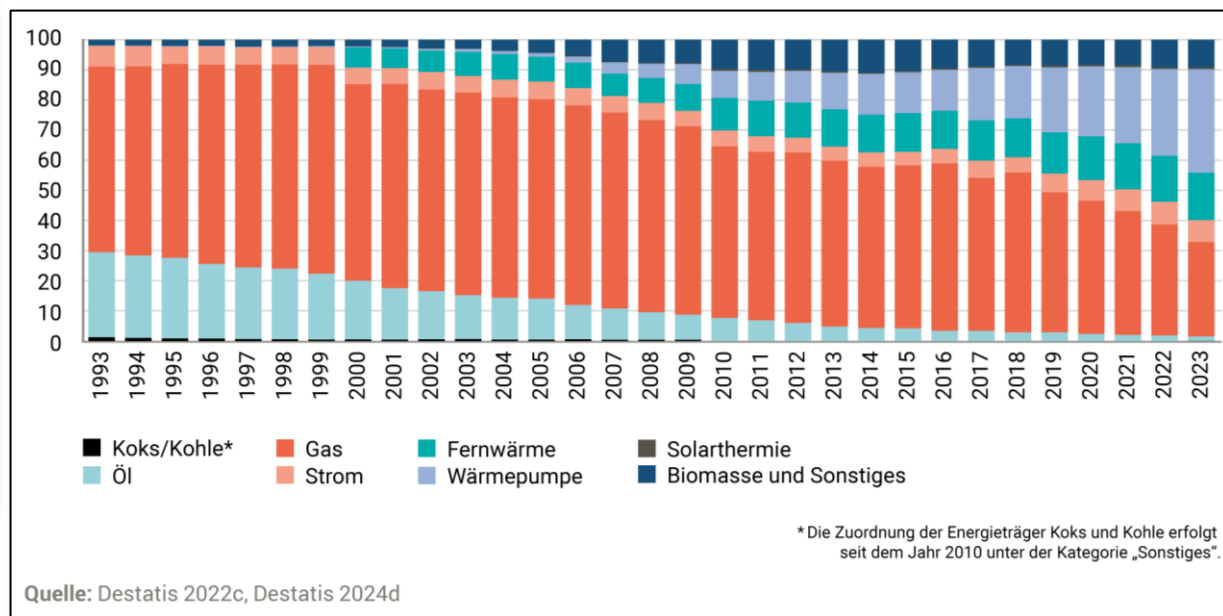


### Gebäudesektor – Fertiggestellte Gebäude nach Energieträger in %



#### Wohngebäude:

- 2023 hatten 65 % der fertiggestellten Wohngebäude eine Wärmepumpe als primäre Heizungsanlage (Anstieg um 7,7 Prozentpunkte)
- Mehrfamilienhäuser und Wohnheime sind mit einem Anteil von 41 % deutlich seltener mit einer Wärmepumpe ausgestattet als Ein- und Zweifamilienhäusern mit 69 %



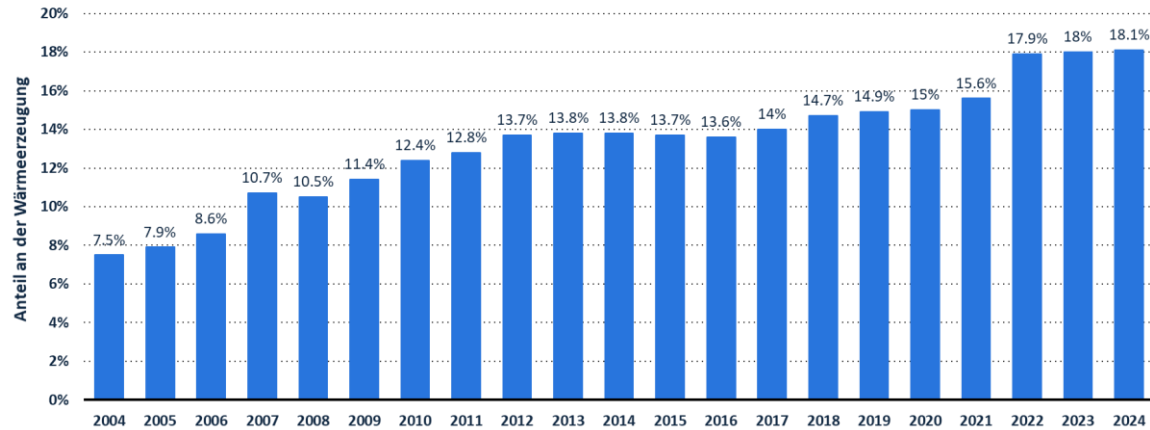
#### Nichtwohngebäude:

- 2023 hatten 34 % der fertiggestellten Nichtwohngebäude eine Wärmepumpe als primäre Heizungsanlage (Anstieg um 5,6 Prozentpunkte), erstmalig weist ein regeneratives Heizsystem damit den höchsten Anteil auf
- Fernwärmeanteil mit Anstieg auf 15,7%

## Gebäudesektor – Beiträge Regenerativer Energie zur Deckung des Wärmebedarfs in Deutschland

### Anteil Erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte<sup>1</sup> in Deutschland in den Jahren 2004 bis 2024

Anteil Erneuerbarer Energien am Wärmeverbrauch in Deutschland bis 2024



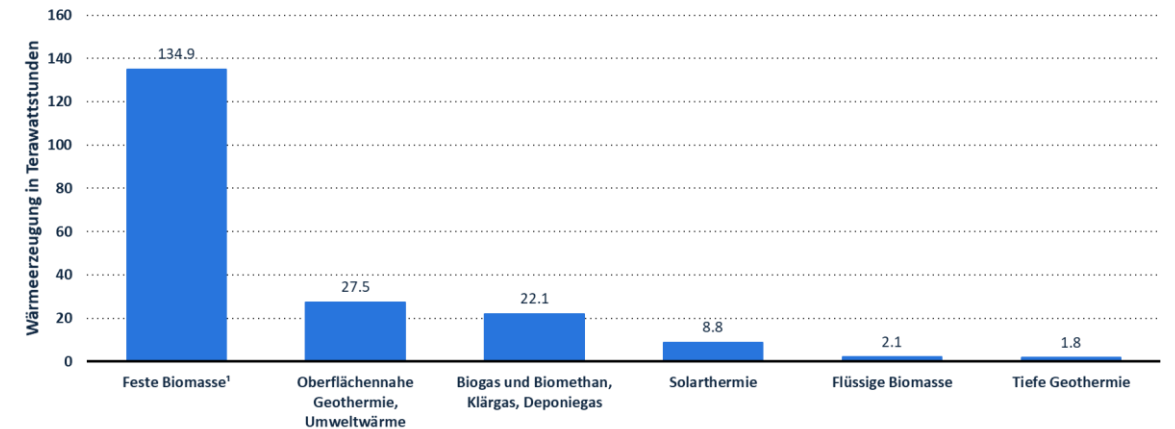
Beschreibung: Die Statistik zeigt den Anteil Erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte in Deutschland in den Jahren 2004 bis 2024. Im Jahr 2024 wurden rund 18,1 Prozent der verbrauchten Energie für die Wärme- und Kältebereitstellung in Deutschland aus erneuerbaren Energieträgern gewonnen. **Mittel:** Hinweis(e): Deutschland, Stand: Februar 2025. **Quelle(n):** AGEE-Stat, Umweltbundesamt

statista

- Biomasse weist mit 68 % den weitaus größten Anteil auf
- Der Beitrag von Oberflächennaher Geothermie und Umweltwärme ist dagegen mit 14 % deutlich reduziert

### Endenergieverbrauch aus Erneuerbaren Energien im Wärmesektor in Deutschland nach Energieträger im Jahr 2024 (in Terawattstunden)

EE-Energieverbrauch im Wärmesektor in Deutschland nach Energieträger 2024



Beschreibung: Die Statistik zeigt den Endenergieverbrauch aus Erneuerbaren Energien im Wärmesektor in Deutschland im Jahr 2024 nach Energieträgern. Im Jahr 2024 betrug der Verbrauch von Wärme, die aus Solarthermie erzeugt worden ist, rund 8,8 Terawattstunden. Insgesamt konnten im Jahr 2024 rund 197 Terawattstunden Wärme aus erneuerbaren Energieträgern gewonnen werden. **Mittel:** Hinweis(e): Deutschland, Stand: Februar 2025. **Quelle(n):** AGEE-Stat

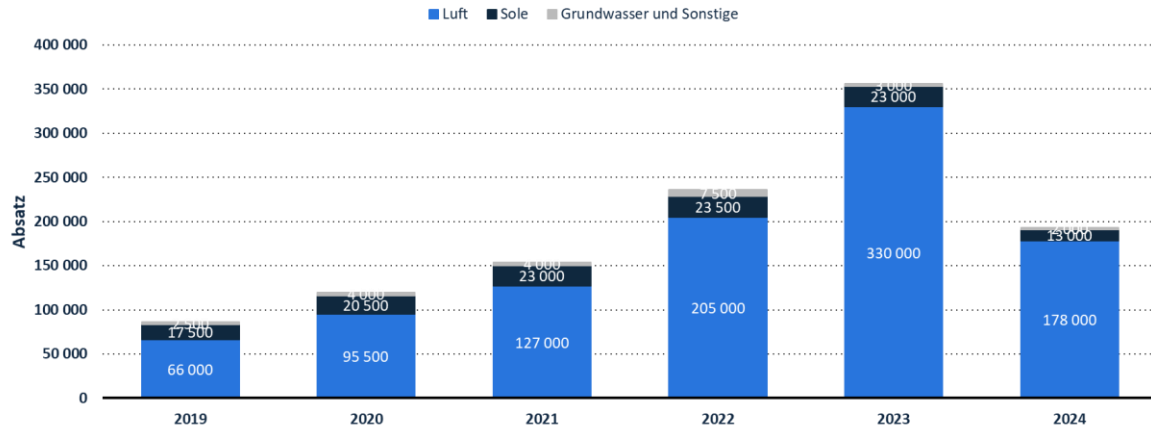
statista

Quelle: Statista, Report „Wärmemarkt in Deutschland“, 2025

## Gebäudesektor – Absatz von Wärmepumpen in Abhängigkeit der Wärmequellen

### Absatz von Heizungswärmepumpen in Deutschland nach Art der Wärmepumpe in den Jahren 2019 bis 2024

Absatz von Wärmepumpen in Deutschland nach Art der Wärmepumpe bis 2024



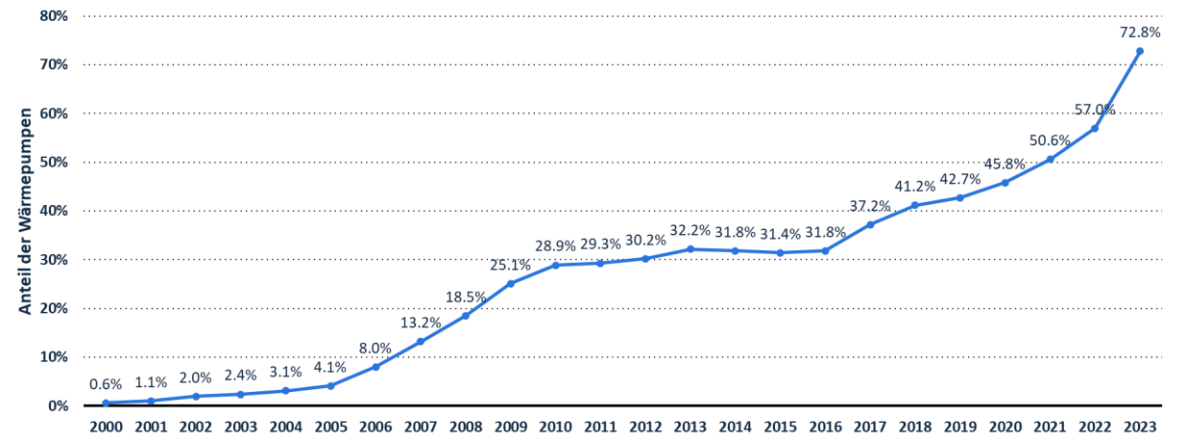
Beschreibung: Es gibt drei Arten von Heizungswärmepumpen in Deutschland. Den höchsten Absatz erreichten in den letzten Jahren die Luft-Wasser-Wärmepumpe. Im Jahr 2024 waren es rund 178.000 Stück. Hinsichtlich der installierten Wärmekapazität von Luft-Wasser-Wärmepumpen belegte Deutschland im europäischen Vergleich zuletzt den siebten Platz, während Italien das Ranking mit deutlichem Abstand anführt. Für den Prozess des Beheizens entziehen Luft-Wasser-Wärmepumpen der Umgebungsluft...

statista

- Luft/Wasser-Wärmepumpen stellen aufgrund der reduzierten Investitionskosten den weitaus größten Anteil an neu installierten Wärmepumpen und dominieren den Markt deutlich

### Anteil der Wärmepumpen im Wohnneubau in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2023

Anteil von Wärmepumpen in neuen Wohngebäuden in Deutschland bis 2023



Beschreibung: Die Statistik zeigt den Anteil der Wärmepumpen im Neubau in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2023. Im Jahr 2023 lag der Anteil von fertig gestellten Wohngebäuden, die durch Wärmepumpen beheizt werden, bei rund 73 Prozent an der Gesamtzahl aller in diesem Jahr neu gebauten Wohngebäude in Deutschland.

statista

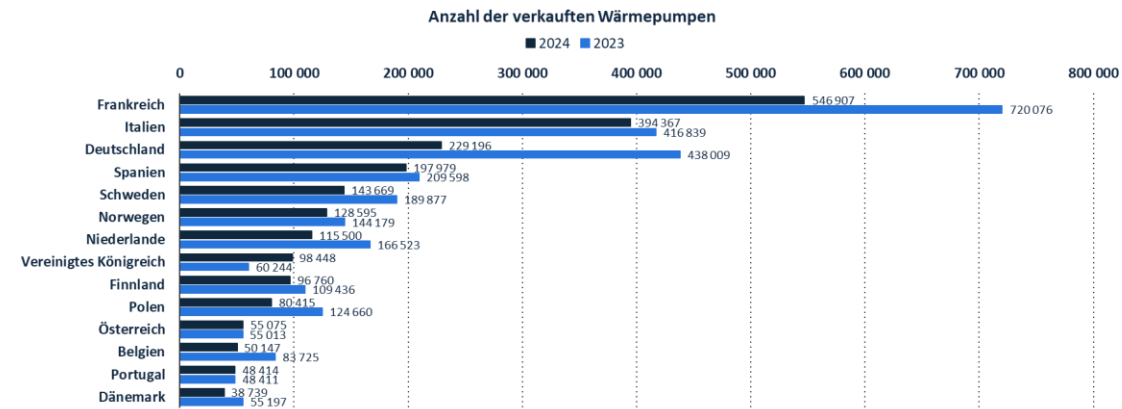
Quelle: Statista, Report „Wärmepumpen“, 2025



## Gebäudesektor – der Wärmepumpenmarkt in Europa

### Absatz von Wärmepumpen in Europa nach Ländern in den Jahren 2023 und 2024

Absatz von Wärmepumpen in Europa nach Ländern 2024



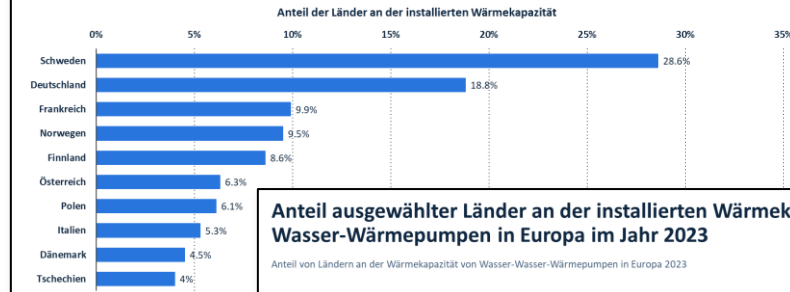
Beschreibung: Im europäischen Ländervergleich wurden im Jahr 2024 in Frankreich die meisten Wärmepumpen verkauft - der Absatz lag bei rund 547.000. Auf Platz zwei des Rankings befindet sich Italien mit rund 394.000 verkauften Wärmepumpen. Insgesamt ist die Anzahl der verkauften Wärmepumpen in Europa im Jahr 2024 zurückgegangen.   
 Hinweis: Europa   
 Quelle: ENRA



- Die Situation der Marktentwicklung hinsichtlich Wärmepumpen ist in Europa vergleichbar, wobei die Wärmequellen in unterschiedlichem Maß erschlossen werden
- Schweden weist den höchsten Anteil an Sole/Wasser-Wärmepumpen, Italien den höchsten Anteil an Luft/Wasser-Wärmepumpen und Deutschland den höchsten Anteil an Wasser/Wasser-Wärmepumpen auf

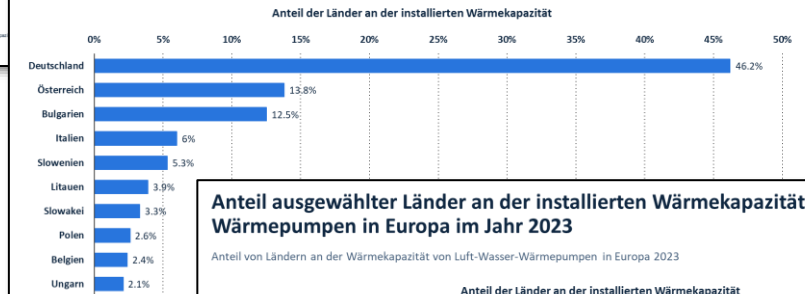
### Anteil ausgewählter Länder an der installierten Wärmekapazität von Sole-Wasser-Wärmepumpen in Europa im Jahr 2023

Anteil von Ländern an der Wärmekapazität von Sole-Wasser-Wärmepumpen in Europa 2023



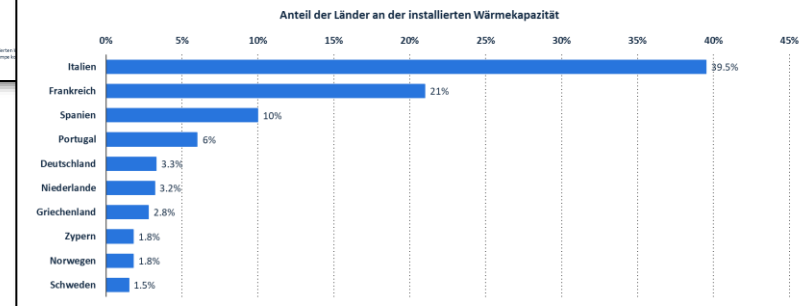
### Anteil ausgewählter Länder an der installierten Wärmekapazität von Wasser-Wasser-Wärmepumpen in Europa im Jahr 2023

Anteil von Ländern an der Wärmekapazität von Wasser-Wasser-Wärmepumpen in Europa 2023



### Anteil ausgewählter Länder an der installierten Wärmekapazität von Luft-Wasser-Wärmepumpen in Europa im Jahr 2023

Anteil von Ländern an der Wärmekapazität von Luft-Wasser-Wärmepumpen in Europa 2023



Beschreibung: Im Jahr 2023 hatte Italien den größten Anteil an der installierten Wärmekapazität von Wärmepumpen (insgesamt 39,5 Prozent). Der deutsche Anteil mit rund 3,3 Prozent demnach ist geringer als im Vorjahr. Der Rest des Balkans erweist sich als Wasser-Wasser-Wärmepumpen (insgesamt 12,5 Prozent), die ebenfalls mehr als die Hälfte des Kapazitätsanteils ausmachen.   
 Hinweis: Europa   
 Quelle: ENRA



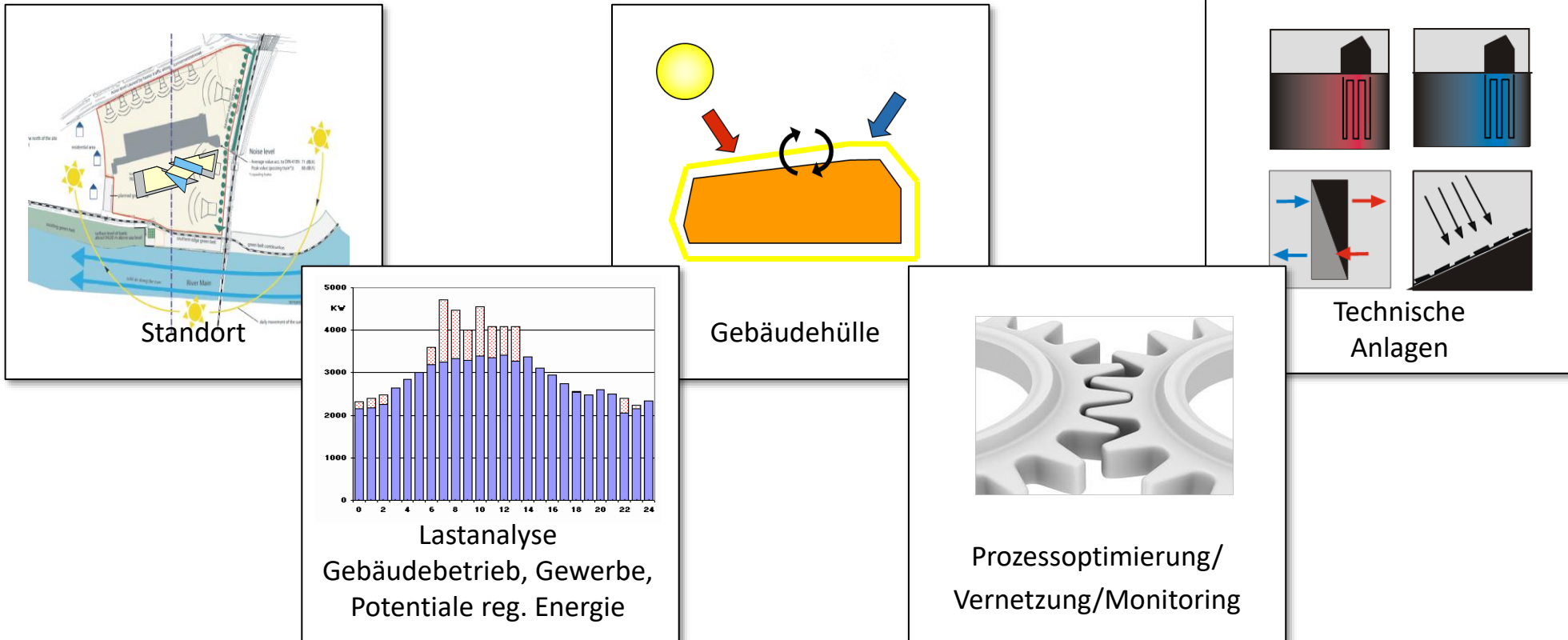
Quelle: Statista, Report „Wärmepumpen“, 2025

## Inhalt

- Entwicklung des Energieverbrauchs in den Sektoren – Der Weg zur Emissionsneutralität
- Effizienzmaßnahmen im Bereich Hochbau – Förderung von Effizienzmaßnahmen
- Effizienzmaßnahmen im Bereich Technik – Wärmeerzeuger im Alt- und Neubau
- **Anforderungsebenen der Energiekonzeptentwicklung**
- Optionen der Lastermittlung – vom Kennwert – Vollbenutzungsstunden – Simulation - Monitoring
- Die Rolle von Wärmespeichern in Versorgungssystemen
- Anwendungsbeispiele
  - Schulgebäude - Sanierung
  - Wärmeversorgung von Kirchen
  - Geothermie in Produktionsgebäuden
  - Nachhaltigkeitskonzepte für Liegenschaften
- Zusammenfassung und Ausblick



Entwicklung von Energieversorgungskonzepten für Gebäude, Integration regen. Energien



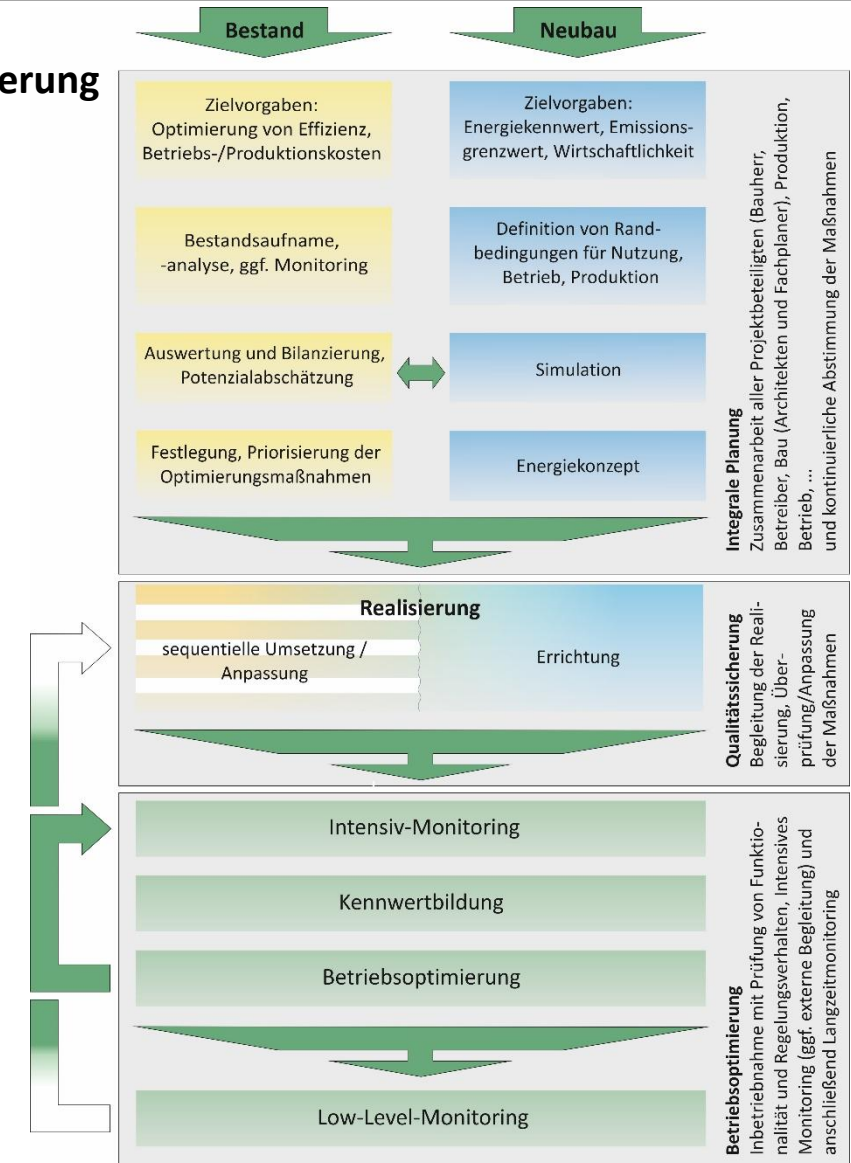
Der Weg zum Energiekonzept

1. Versorgungsaufgabe klären
2. Anschlussleistungen und Lastgänge ermitteln – Wärme, Kälte, Strom, ...
3. Energiebedarfswerte über einen Betrachtungszeitraum (z.B. ein Jahr) ermitteln
4. Konzeptvarianten in Abhängigkeit der Vorgaben zusammenstellen und darstellen
5. Investitionskosten zusammenstellen
6. Energetische, wirtschaftliche und ökologische Bewertung der Varianten
7. Empfehlung nach Prioritäten ableiten

Integration aller Beteiligten (EVU, Planer, Nutzer, Unternehmer, ...), ganzheitliches Konzept als Paket abgestimmter Maßnahmen, Qualitätssicherung in der Umsetzung, Betriebsoptimierung über Monitoring – wirtschaftliche, energetische und ökologische Optimierung

## Effizienzmaßnahmen in Neubau und Bestand - Monitoring als Schlüssel zur Betriebsoptimierung

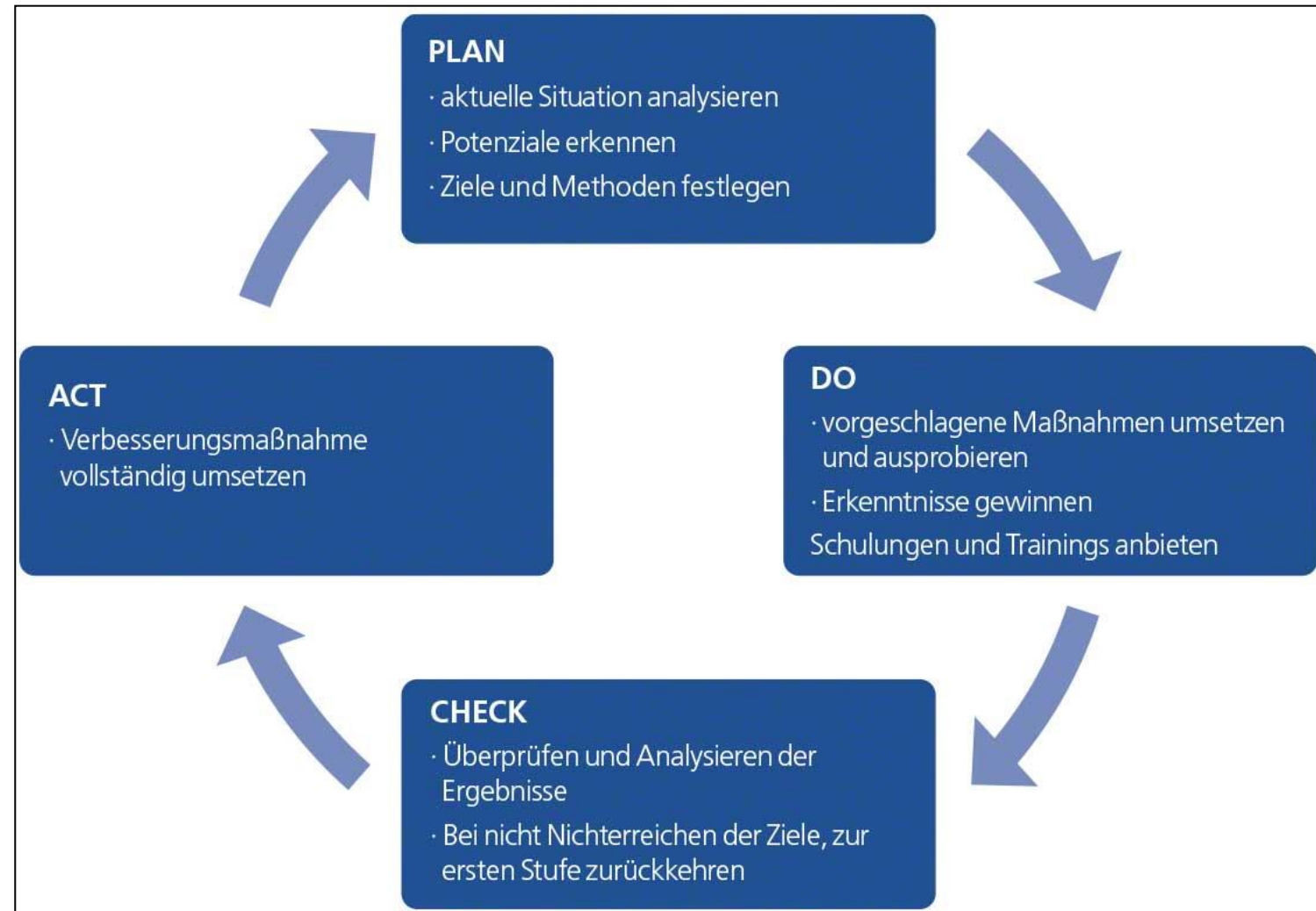
- Im Bestand Entwicklung der Optimierungs- bzw. Sanierungsstrategien über die Analyse des Betriebsverhaltens und der Bildung von Kennwerten und Benchmarking, bei Neubauten in der Regel simulationsgestützte Entwicklung von Integralen Versorgungskonzepten
- Identifikation von Wartungsmängeln (Filter, ...), Fehlfunktionen (Leistung, Volumenströme, Ein- und Ausschalttemperaturen, ...), Mehrverbrauch, ...
- Abschätzung der energetischen und wirtschaftlichen Potenziale von Einzel- oder Verbundmaßnahmen, Festlegung der Reihenfolge der Umsetzung – Priorisierung
- Planung im Kontext der Umsetzbarkeit im laufenden Betrieb bzw. Produktionsprozess
- (sequentielle) Umsetzung der Maßnahmen, Begleitung im Rahmen einer Qualitätssicherung
- Messtechnische Begleitung der durchgeführten energetischen Sanierungsmaßnahmen im Betrieb im Rahmen eines **Intensivmonitorings** (kurze Messintervalle u. kontinuierliche Auswertung,  
**Evaluierung und Betriebsoptimierung**, ggf. Anpassung der Maßnahmen, im Anschluss **Langzeitmonitoring** (längere Messintervalle und abschnittsweise (Monat, Quartal, Jahr) Auswertung





## Strategisches Vorgehen bei der energetischen Verbesserung / Optimierung

- **PDCA-Zyklus** als Grundlage der energetischen Optimierung von Gebäude-/ Prozessbetrieb
- Definition von Vorgaben / Systemanalyse
- Simulationsgestützte Konzeptentwicklung
- Priorisierung der Maßnahmen
- Umsetzung incl. Qualitätssicherung
- Betriebsbegleitung, Monitoring
- Analyse und Bewertung
- Maßnahmen definieren oder Wechsel von Intensiv- auf Langzeitmonitoring



## Inhalt

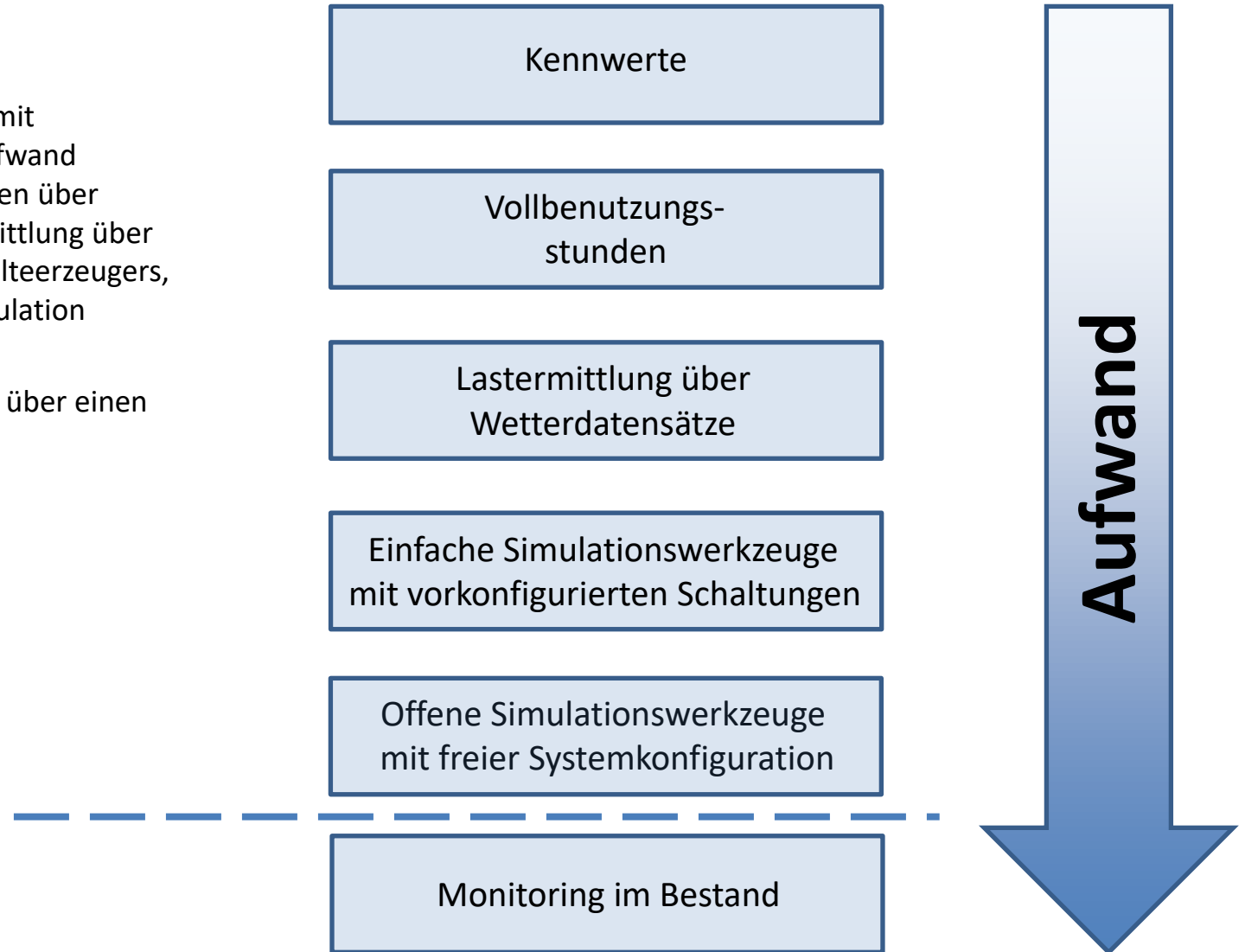
- Entwicklung des Energieverbrauchs in den Sektoren – Der Weg zur Emissionsneutralität
- Effizienzmaßnahmen im Bereich Hochbau – Förderung von Effizienzmaßnahmen
- Effizienzmaßnahmen im Bereich Technik – Wärmeerzeuger im Alt- und Neubau
- Anforderungsebenen der Energiekonzeptentwicklung
- **Optionen der Lastermittlung – vom Kennwert – Vollbenutzungsstunden – Simulation - Monitoring**
- Die Rolle von Wärmespeichern in Versorgungssystemen
- Anwendungsbeispiele
  - Schulgebäude - Sanierung
  - Wärmeversorgung von Kirchen
  - Geothermie in Produktionsgebäuden
  - Nachhaltigkeitskonzepte für Liegenschaften
- Zusammenfassung und Ausblick





### Lastermittlung in verschiedenen Ansätzen

- Die Lastermittlung zur Wärme- und Kälteversorgung kann mit unterschiedlichen Ansätzen und mit unterschiedlichem Aufwand betrieben werden. Ausgehend von einfachen Betrachtungen über veröffentlichte Kennwerte, kann eine näherungsweise Ermittlung über Vollbenutzungsstunden des Betriebes des Wärme- oder Kälteerzeugers, Bewertung der Last über Wetterdatensätze bis hin zur Simulation erfolgen.
- Im Bestand ist die Messung von charakteristischen Größen über einen definierten Zeitraum mit Extrapolation der Werte auf Auslegungstemperaturniveau sinnvoll.



Lastermittlung in verschiedenen Ansätzen – Lastermittlung über Kennwerte

In der VDI Richtlinie 3807 Blatt 4 (2008-08) sind Energiekennwerte für unterschiedliche Anwendungen zusammengestellt.

Auch für den Kältebedarf werden entsprechende Werte je nach Nutzung von Räumen oder Gebäuden aufgelistet.

Tabelle 7. Spezifische Energiebedarfe Kühlkälte

Bedarfsklasse	sehr hoch				hoch				mittel				sehr gering			
	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr hoch	hoch	mittel	gering
<b>Stromverbrauch Kühlkälte (ohne Hilfsenergie)</b>	<b>spezifische installierte Leistung <math>p_{inst}^{KK,Nz}</math> in <math>W/m_{EFF}^2</math></b>				<b>Vollbetriebszeit <math>b_{voll}^{KK,Nz}</math> in h/a</b>				<b>spezifischer elektrischer Energiebedarf <math>W_{el}^{KK,Nz}</math> in <math>kWh/m_{EFF}^2 \cdot a</math></b>							
1 Einzelbüro	41	33	18	10	10	1229	1121	793	522	213	51	37	14	5	2	
2 Gruppenbüro (zwei bis sechs AP)	43	35	19	11	10	1250	1152	837	542	211	54	41	16	6	2	
3 Großraumbüro (ab sieben AP)	43	39	24	14	14	1274	1228	1053	690	212	55	48	25	10	3	
4 Besprechung/Sitzungszimmer/Seminar	63	55	32	21	21	877	764	529	351	189	55	42	17	7	4	
5 Schalterhalle	32	26	13	8	7	1117	990	697	499	207	36	25	9	4	2	
6 Einzelhandel/Kaufhaus (ohne Kühlprodukte)	33	30	18	12	11	1169	1075	862	564	314	39	32	16	7	4	
7 Einzelhandel/Kaufhaus (mit Kühlprodukten)	25	22	13	7	7	593	450	317	156	126	15	10	4	1	1	
8 Klassenzimmer (Schulen)	51	44	25	17	17	340	258	161	132	114	17	11	4	2	2	
9 Hörsaal, Auditorium	117	110	69	46	45	290	254	181	121	113	34	28	13	6	5	
10 Bettzimmer	43	38	22	15	15	985	708	546	470	428	43	27	12	7	6	
11 Hotelzimmer	42	33	16	10	9	1623	1396	845	661	439	69	46	14	7	4	
12 Kantine	66	63	40	26	26	283	233	176	126	119	19	15	7	3	3	
13 Restaurant	65	61	39	26	25	415	347	318	237	235	27	21	12	6	6	
14 Küche in Nichtwohngebäuden	308	301	196	130	129	535	524	470	258	266	165	157	92	34	34	
15 Küche – Vorbereitung, Lager	71	64	39	25	24	879	744	495	298	285	63	48	19	7	7	
16 WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden	51	43	24	18	17	215	164	140	134	116	11	7	3	2	2	
17 Sonstige Aufenthaltsräume	50	42	24	15	14	878	745	467	296	236	44	31	11	4	3	
18 Nebenflächen ohne Aufenthaltsräume	25	17	7	5	5	796	561	318	265	194	20	10	2	1	1	
19 Verkehrsfläche	13	10	5	3	3	781	562	328	257	84	10	5	2	1	0	
20 Lager	25	17	7	5	5	745	508	244	236	166	18	9	2	1	1	
21 Serverraum/Rechenzentrum	127	123	79	41	40	6635	6762	6760	6301	1532	844	831	537	258	62	
22 Werkstatt	75	71	45	30	30	345	268	220	169	157	26	19	10	5	5	
23 Zuschauerbereich	148	129	75	51	49	209	145	104	81	75	31	19	8	4	4	
24 Theater – Foyer	87	79	48	32	31	179	131	99	73	70	16	10	5	2	2	
25 Bühne	92	72	36	18	16	1583	1584	1310	944	482	146	114	47	17	8	
26 Messe/Kongress	45	39	23	14	14	354	293	206	131	106	16	12	5	2	1	
27 Ausstellungsräume und Museum	26	22	12	7	7	655	552	387	258	175	17	12	5	2	1	
28 Bibliothek – Lesesaal	48	46	29	17	17	1214	1117	1044	455	284	58	51	30	8	5	
29 Bibliothek – Freihandbereich	31	24	12	7	6	1250	1020	618	462	336	39	24	7	3	2	
30 Bibliothek – Magazin und Depot	27	19	9	7	6	752	481	232	214	167	20	9	2	1	1	
31 Sporthalle	28	24	14	8	8	1060	886	643	387	312	29	21	9	3	2	

Tabelle 8. Nutzungsbedingungen der Bedarfsklassen Kühlkälte

Bedarfsklasse	sehr hoch		hoch	
	Einflussfaktoren			
<b>Nutzung</b>	Wärmeabgabe durch Personen, Geräte und Beleuchtung; Standardnutzung – Szenario hoch		Wärmeabgabe durch Personen, Geräte und Beleuchtung; Standardnutzung – Szenario hoch	
<b>Baukörper</b>	Fensterflächenanteil der Hauptfassade: 100 % innenliegender Sonnenschutz		Fensterflächenanteil der Hauptfassade: 60 % innenliegender Sonnenschutz	
<b>Anlage</b>	Jahresarbeitszahl der Kälteanlage = 2 (z. B. ältere zentrale Kälteanlage; Kaltwassertemperatur 6/12; Ein-Aus-Regelung oder Raumklima-gerät in Block- oder Splitausführung)		Jahresarbeitszahl der Kälteanlage = 2 (z. B. ältere zentrale Kälteanlage; Kaltwassertemperatur 6/12; Ein-Aus-Regelung oder Raumklima-gerät in Block- oder Splitausführung)	
Bedarfsklasse	mittel			
	Einflussfaktoren			
<b>Nutzung</b>	Wärmeabgabe durch Personen, Geräte und Beleuchtung; Standardnutzung – Szenario hoch			
<b>Baukörper</b>	Fensterflächenanteil der Hauptfassade: 60 % außenliegender Sonnenschutz (z. B. Aluminium-Lamellen)			
<b>Anlage</b>	Jahresarbeitszahl der Kälteanlage = 3 (z. B. moderne zentrale Kälteanlage; Kaltwassertemperatur 6/12; Ein-Aus-Regelung)			
Bedarfsklasse	gering		sehr gering	
	Einflussfaktoren			
<b>Nutzung</b>	Wärmeabgabe durch Personen, Geräte und Beleuchtung; Standardnutzung – Szenario mittel		Wärmeabgabe durch Personen, Geräte und Beleuchtung; Standardnutzung – Szenario mittel	
<b>Baukörper</b>	Fensterflächenanteil der Hauptfassade: 60 % außenliegender Sonnenschutz (z. B. Aluminium-Lamellen)		Fensterflächenanteil der Hauptfassade: 40 % außenliegender Sonnenschutz (z. B. Aluminium-Lamellen)	
<b>Anlage</b>	Jahresarbeitszahl der Kälteanlage ca. 4 (z. B. moderne zentrale Kälteanlage; Kaltwassertemperatur 14/18; mehrstufige Regelung)		Jahresarbeitszahl der Kälteanlage ca. 4 (z. B. moderne zentrale Kälteanlage; Kaltwassertemperatur 14/18; mehrstufige Regelung) freie Kühlung über Rückkühlwert realisiert	

Quelle: VDI 3807 Blatt 4 (2008-08)

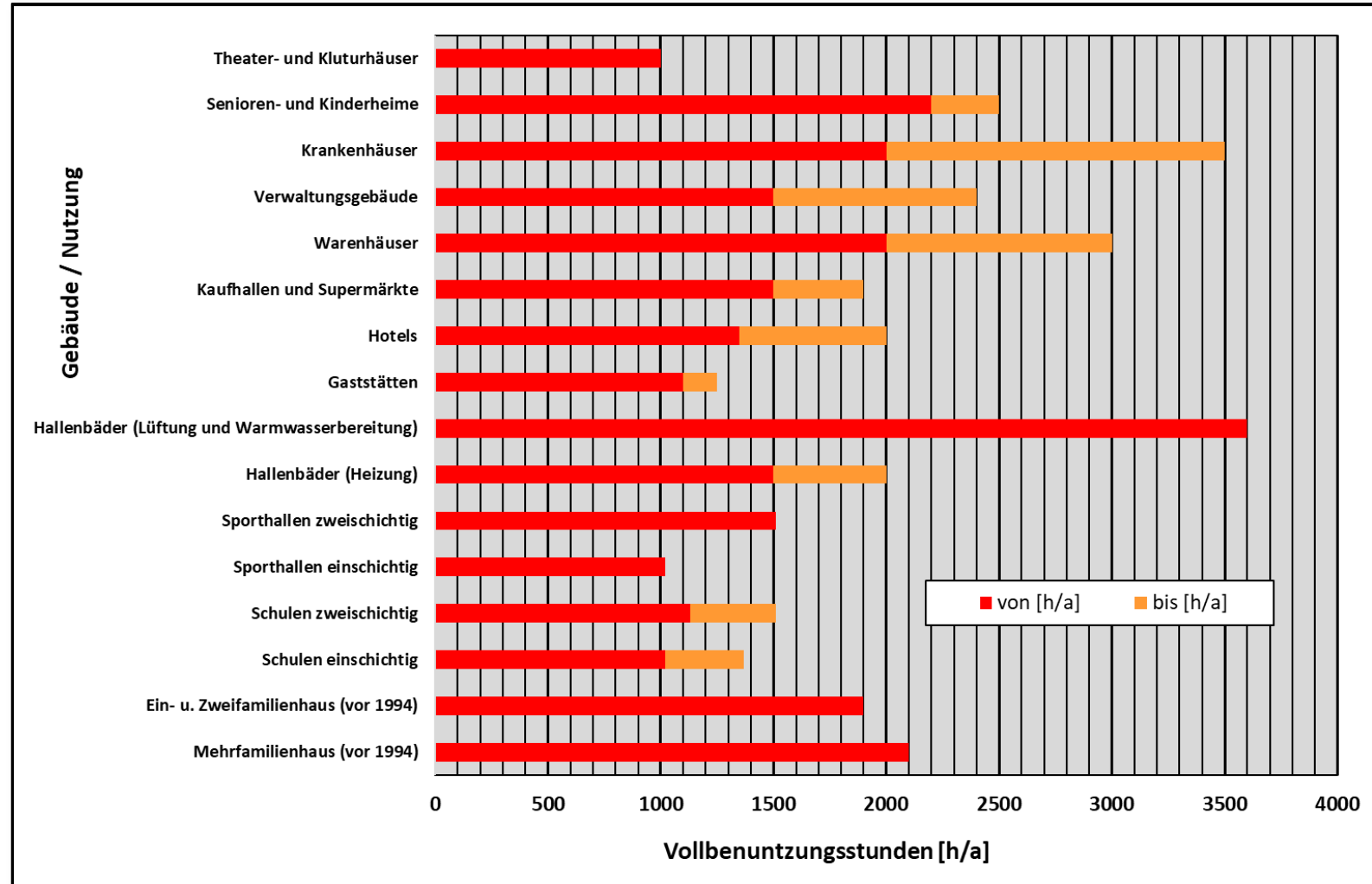
Lastermittlung in verschiedenen Ansätzen – Lastermittlung über Vollbenutzungsstunden

Jahres-Heizenergiebedarf

$$Q_{H,a} = \frac{\dot{Q}_H \cdot b_{VH}}{\eta_a}$$

- $Q_{H,a}$  ... Jahres-Heizenergiebedarf [kWh/a]
- $\dot{Q}_H$  ... Heizleistung [kW]
- $b_{VH}$  ... Jahres-Vollbenutzungsstunden [h/a]
- $\eta_a$  ... Nutzungsgrad  
0,85 NTK  
0,92 BWK  
0,98 Fernwärme

**Beispiel:** 200 kW Heizleistung, 1500 h/a Vollbenutzung, Nutzungsgrad 0,90 ergibt einen Jahres-Heizenergiebedarf von 333 MWh/a



Quelle: nach IfaS – Institut für angewandtes Stoffstrommanagement

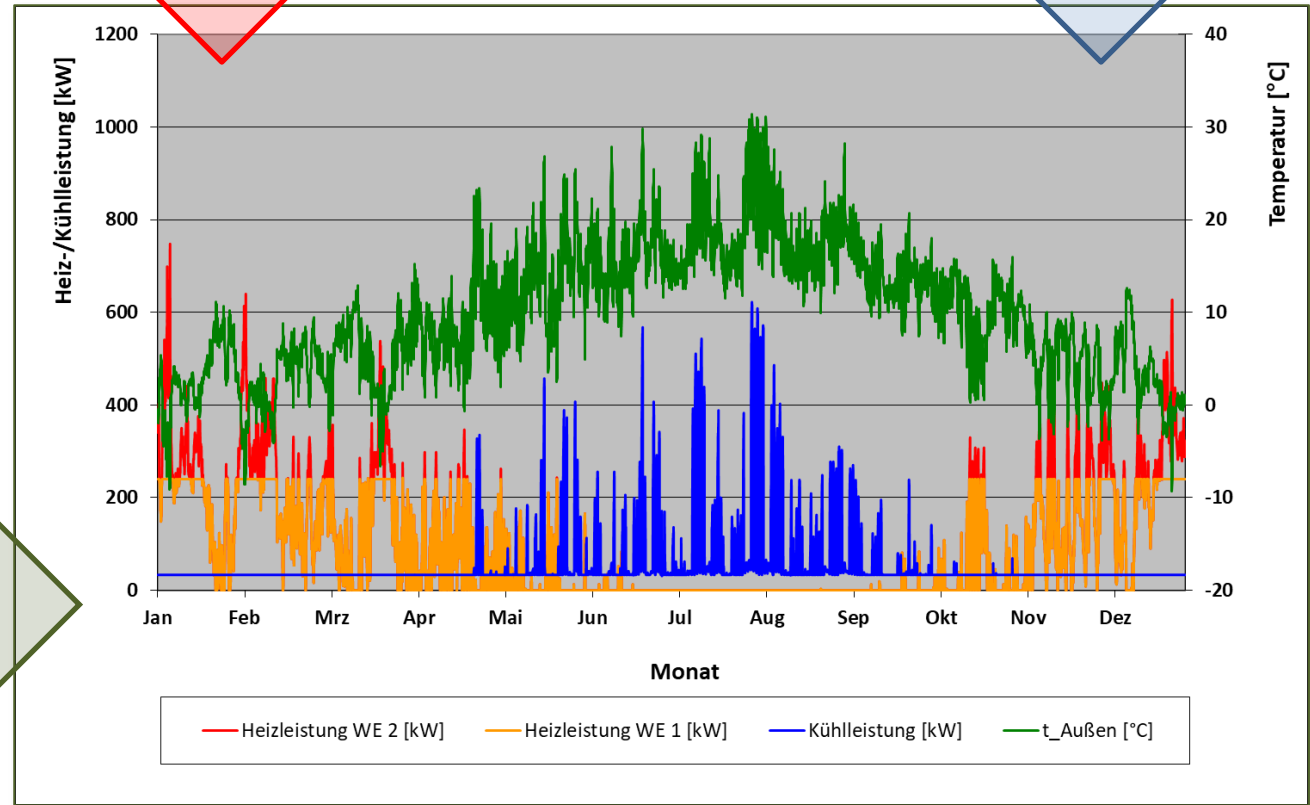
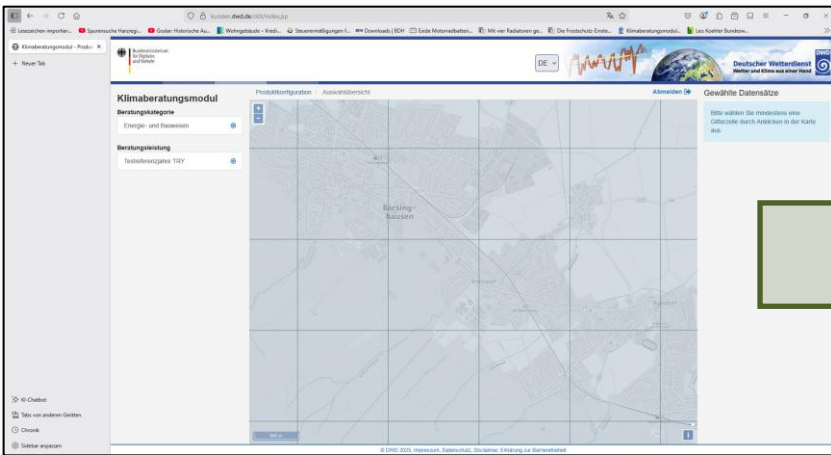
### Lastermittlung in verschiedenen Ansätzen – Lastermittlung über Wetterdatensätze

- Heiz- und Kühllast-Ermittlung über Kennwerte oder Heiz- bzw. Kühllastberechnung
- Wetterdaten standortbezogen über das DWD-Klimaberatungsmodul
- Die Lastabschätzung über Wetterdaten erreicht keine Aussagefähigkeit einer Simulation ! (Speichervorgänge und Kapazitäten werden nicht berücksichtigt)

$$\dot{Q}_H = \dot{Q}_{H,Auslegung} \cdot \left( \frac{1}{\eta_{V,H}} \cdot \frac{\theta_{H,Grenz} - \theta_{Außen}}{\theta_{H,Grenz} - \theta_{Außen,min}} \right)$$

$$\dot{Q}_K = \dot{Q}_{K,Auslegung} \cdot \left( \frac{1}{\eta_{V,K}} \cdot \frac{\theta_{Außen} - \theta_{K,Grenz}}{\theta_{Außen,max} - \theta_{K,Grenz}} \right)$$

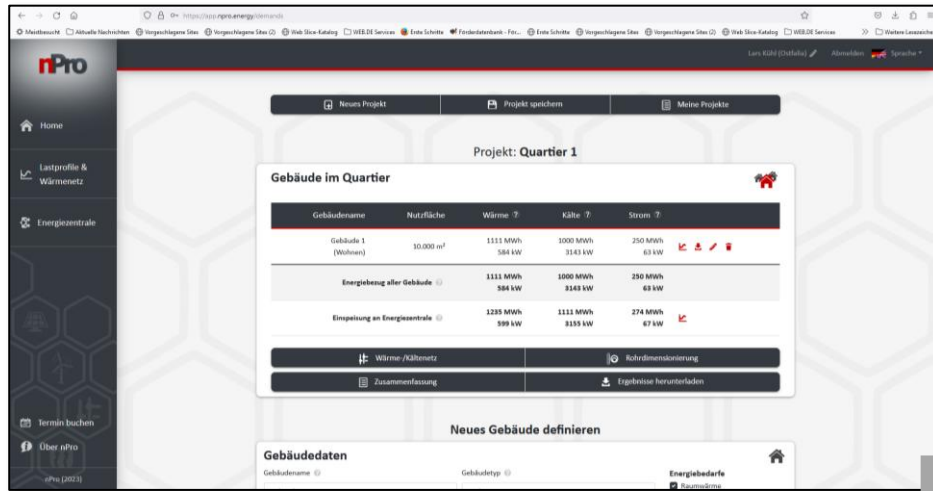
Wetterdatensätze über den Deutschen Wetterdienst (DWD)



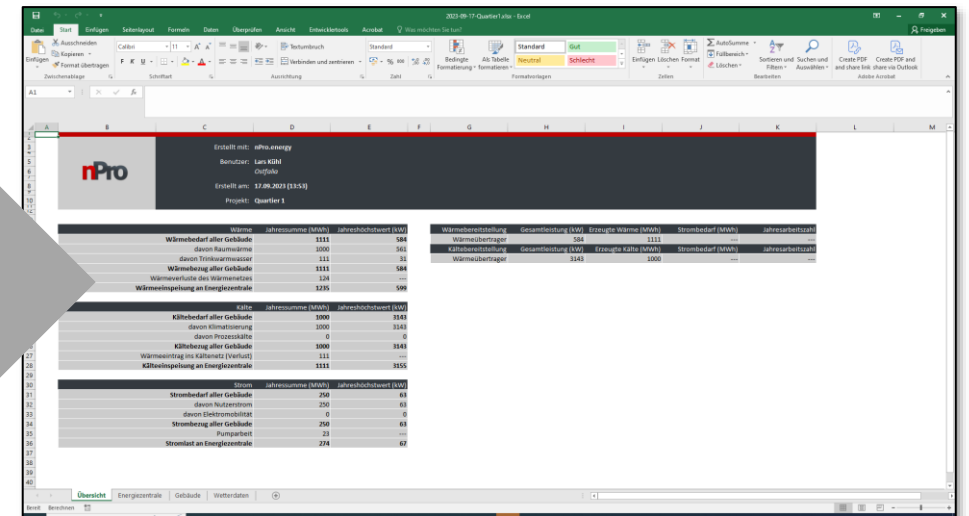
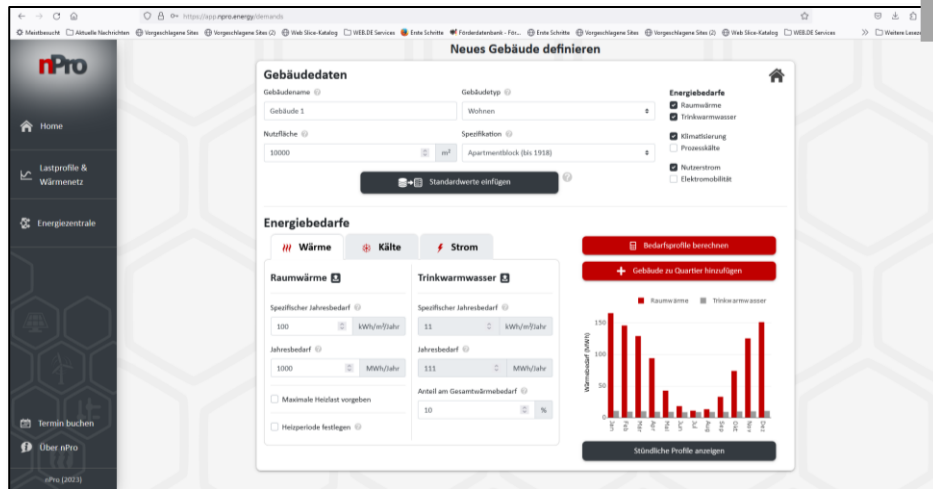
Lastermittlung über Simulation - Polysun – Vela Solaris, Winterthur, CH

The screenshots illustrate the workflow in Polysun software for simulating and reporting on a solar heating system. The process involves selecting system templates, running simulations, and generating detailed reports and energy profiles.

Lastermittlung über Simulation - Software-Unterstützung bei der Netz-Auslegung - NPro



nPro Energy GmbH  
Am Lerchenpfad 35, D – 41 812 Erkelenz, [www.npro.energy](http://www.npro.energy)



nPro ist ein Online-Softwaretool für die energetische Gebäude- und Quartiersplanung. Funktionen sind die Auslegung und Simulation von Energiesystemen mit Wärme- und Kältenetzen, erneuerbaren Energien, Wasserstoff-Technologien, Wärmepumpen und saisonalen Speichern



## Lastermittlung in verschiedenen Ansätzen – Lastermittlung über Messungen im Betrieb

### Messergebnisse

Objekt: Station 09 AWO Psychatriezentrum

Gebäudeklasse: Pflegeheim

### Messung:

Messzeitraum

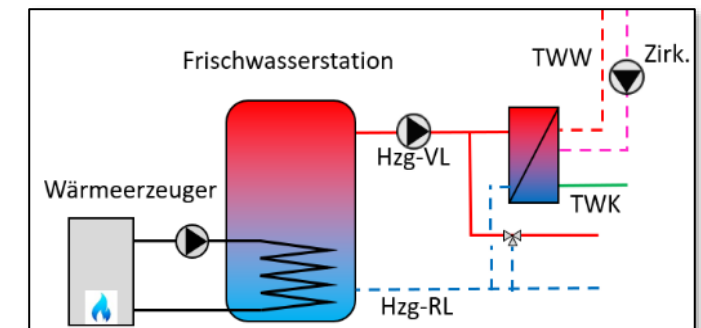
Start: 14.07.2025

Ende: 04.08.2025

Ausgewerteter Messzeitraum

Start: 15.07.2025

Ende: 30.07.2025



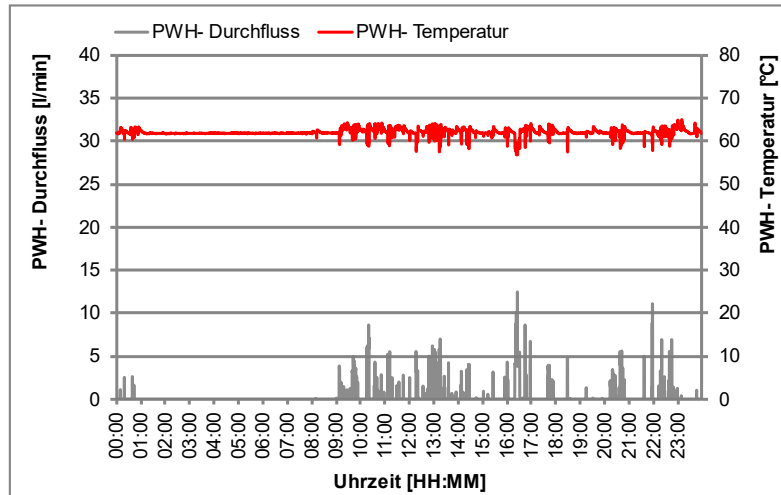
## Steckbrief Station 09

Objekt:	Station 09
Gebäudeklasse:	Pflegeheim
Baujahr:	1911
Anzahl der Zimmer:	12
Anzahl der Bewohner:	26 bis 36
Wärmeerzeuger:	Nahwärmenetz
Gebäudeanschlussleistung Heizung:	115,0 kW
Energieträger:	Gas
TWW-Leistung:	13,5 kW
Speichervolumen:	773 l
Zirkulation:	Ja
Installationsart der Trinkwassererzeugungsanlage:	Frischwasserstation
<u>TWW-Ausstattung</u>	
Spüle:	3
Waschtische:	27
Dusche:	14

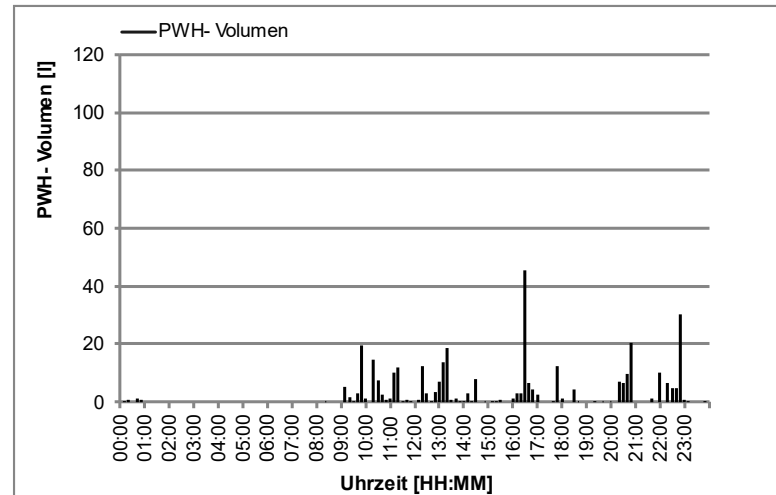




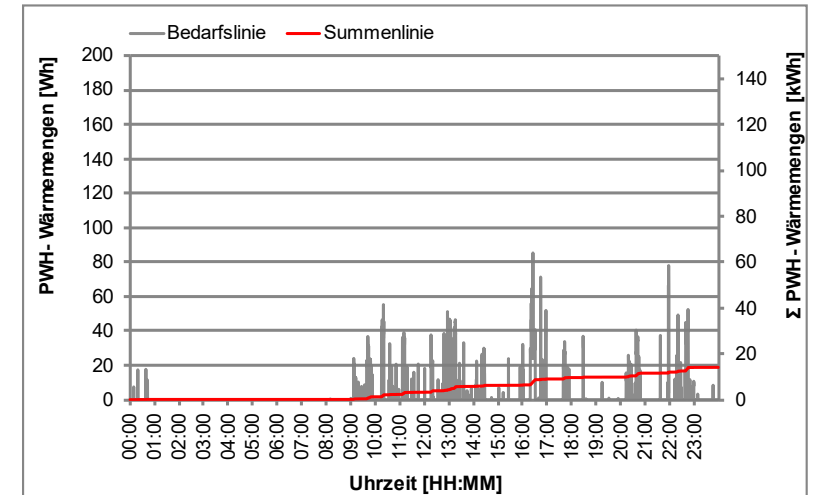
Station 09 - Messung höchster Verbrauch 27.07.2025, Sonntag (Tag 13)



Darstellung PWH-Durchfluss und PWH-Temperatur



Darstellung PWH-Volumen je 10 Minuten

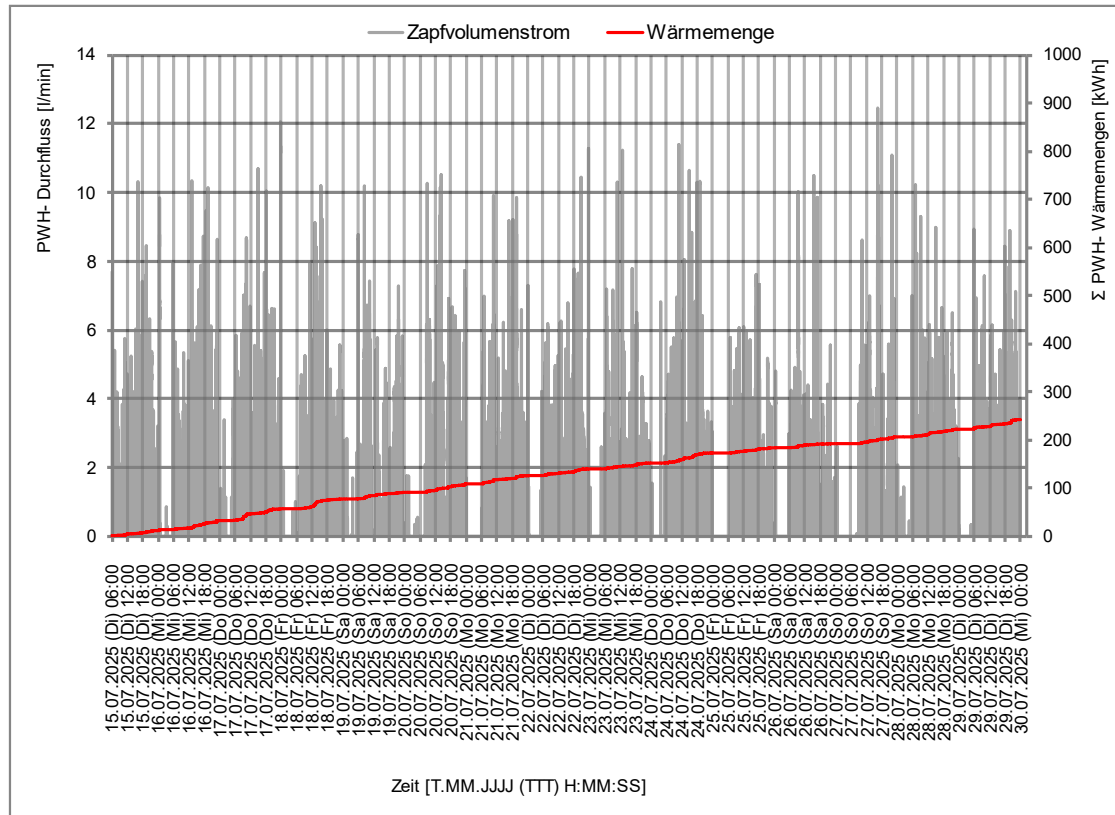


Darstellung Bedarfsprofil und einschlägige Summenlinie

Volumen gesamt	Wärmemenge gesamt	Höchster Durchfluss	Tagesverbrauch PWH	Tagesenergie
$V_{\vartheta_{PWH60\text{ °C}}}$ [l/d]	$Q_{PWH}$ [kWh/d]	$V^*_{PWH}$ [l/min]	$V_{PWH}$ [l/d]	$Q$ [kWh/d]
343,57	14,10	12,46	340,53	14,10



Station 09 - Messung gesamt (15.07.2025 bis 30.07.2025)



Volumen gesamt	Wärmemenge gesamt
$V_{PWH}$ [l]	$Q_{PWH}$ [kWh]
5491,55	242,64

Volumen_max	Wärmemenge_max	Durchfluss_max
$V_{V\vartheta PWH60\text{ }^{\circ}\text{C,max}}$ [l]	$Q_{PWH,max}$ [kWh]	$V_{PWH,max}^*$ [l/min]
551,08	24,63	12,46

Messtag	Messtag	Messtag
$t_{messtag,max}$ [TTTT, MM TT, JJJJ]	$t_{messtag,max}$ [TTTT, MM TT, JJJJ]	$t_{messtag,max}$ [TTTT, MM TT, JJJJ]
Donnerstag, 17. Juli 2025	Donnerstag, 17. Juli 2025	Sonntag, 27. Juli 2025

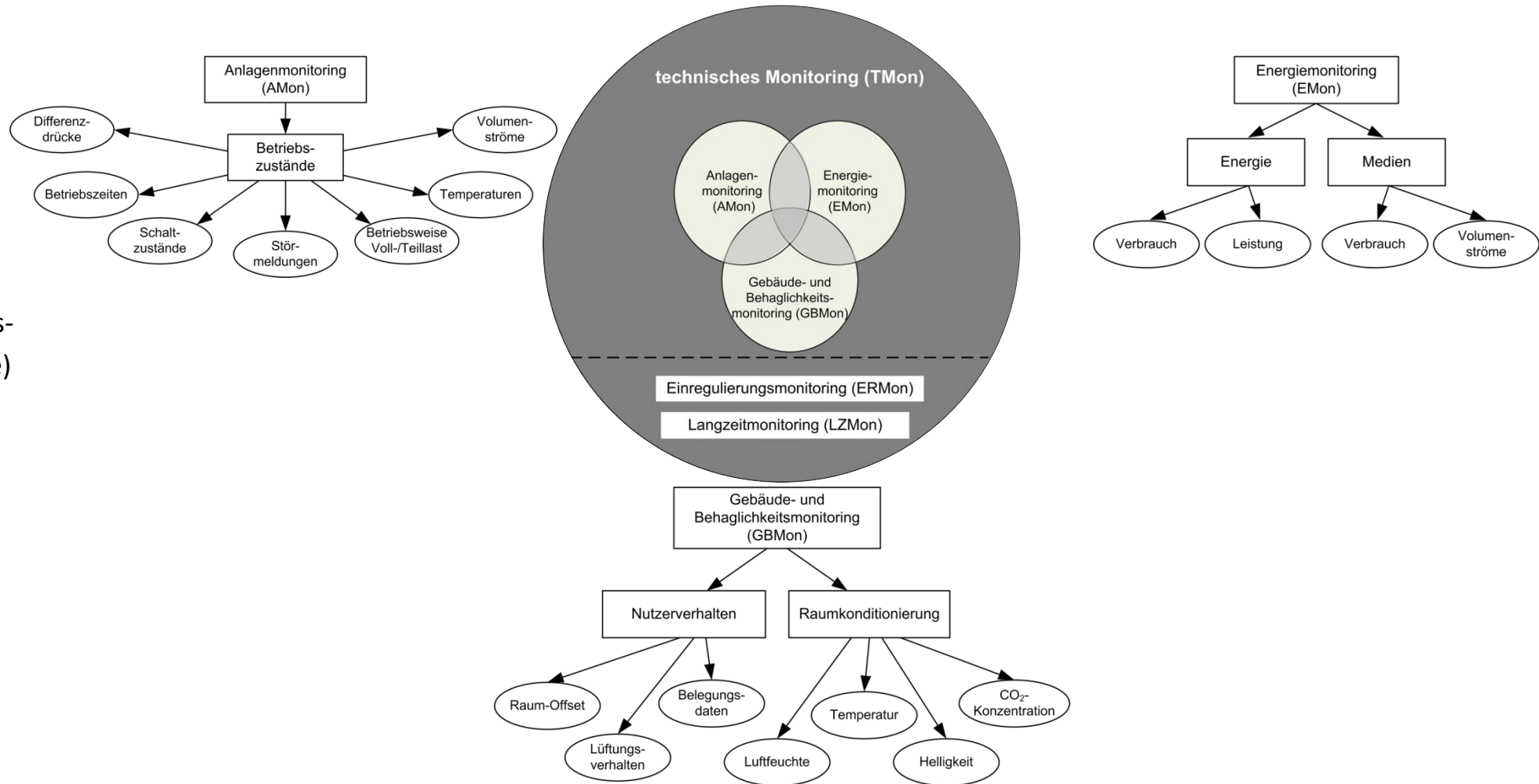
Spitzendurchfluss_1min	Spitzendurchfluss_2min	Spitzendurchfluss_5min	Spitzendurchfluss_10min
$V_{PWH,1min,max}^*$ [l/min]	$V_{PWH,2min,max}^*$ [l/2 min]	$V_{PWH,5min,max}^*$ [l/5 min]	$V_{PWH,10min,max}^*$ [l/10 min]
0,63	1,13	1,62	2,73

Darstellung PWH-Durchfluss und einschlägige Summenlinie des gesamten Messzeitraums

## Monitoring als Schlüssel für die Betriebsoptimierung

### Anlagenmonitoring (AMon)

- Umfasst die Erfassung und Auswertung der Betriebszustände der technischen Anlagen durch Messsysteme und Analyseinstrumente
  - Gebäudeautomations-systeme (GA-Systeme)
  - Fest installierte oder mobile Messsysteme
  - Manuelle Aufnahme
- Bildet die Grundlage für Funktionsprüfung, Funktionsüberwachung und Betriebsoptimierung



## Inhalt

- Entwicklung des Energieverbrauchs in den Sektoren – Der Weg zur Emissionsneutralität
- Effizienzmaßnahmen im Bereich Hochbau – Förderung von Effizienzmaßnahmen
- Effizienzmaßnahmen im Bereich Technik – Wärmeerzeuger im Alt- und Neubau
- Anforderungsebenen der Energiekonzeptentwicklung
- Optionen der Lastermittlung – vom Kennwert – Vollbenutzungsstunden – Simulation - Monitoring
- **Die Rolle von Wärmespeichern in Versorgungssystemen**
- Anwendungsbeispiele
  - Schulgebäude - Sanierung
  - Wärmeversorgung von Kirchen
  - Geothermie in Produktionsgebäuden
  - Nachhaltigkeitskonzepte für Liegenschaften
- Zusammenfassung und Ausblick



## Anlagenkomponenten – Wärmespeicher

### Funktion des Wärmespeichers

- Ausgleich zwischen Energieangebot und Energiebedarf
  - Kurzzeitspeicher: Speicherung einige Tage bis zu ca. 1 Woche
  - Langzeitspeicher: Speicherung über mehrere Monate
- Abdeckung von Leistungsspitzen, teilweise Kompensation der vorzuhaltenden Wärmeleistung
- „Wärmemanagement-Zentrale“ für die Versorgungseinheit, Schnittstelle zwischen Deckung (regenerative Energieträger) und Bedarf
- Anwendung als Warmwasser-Speicher (höheres Druckniveau des Trinkwassernetzes) oder Pufferspeicher (Heizwasser, Druckniveau des Heizsystems)
- Wasser als Speichermedium vorteilhaft, da:
  - hohe Wärmekapazität
  - hohe Verfügbarkeit
  - ungiftig und chemisch stabil
  - Speicherung und Transport über das gleiche Medium



Kurzzeitspeicher

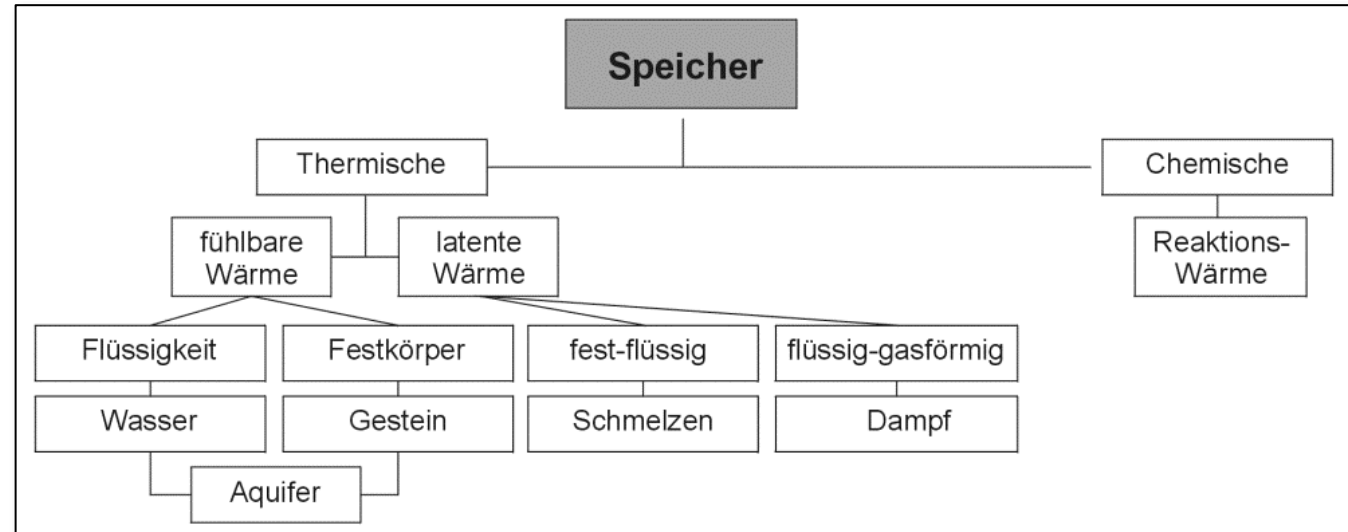
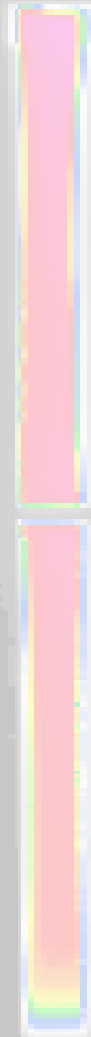


Langzeitspeicher

## Anlagenkomponenten – Wärmespeicher

### Die wichtigsten Bewertungsgrößen von Wärmespeichern

- die Speicherkapazitäten (Brutto- bzw. Netto-Speicherkapazitäten)
- die spezifische Energiedichte des Speichers
- die Be- bzw. Entladungsleistung
- die Energieverluste und der Hilfsenergieverbrauch
- die Dauer der Energiespeicherung
- der Nutzungsgrad
- die betriebswirtschaftlichen Kennwerte (Investitionskosten, Lebens- und Amortisationsdauer)



Speicherart	Energiedichte [kWh/m <sup>3</sup> ]	Speichermedien, z. B.:	Arbeits-temperatur [°C]
Sensibel	60 - 80	Wasser	> 100
Latent	120 ... 200	Salzhydrat	ca. 30 - 80
		Paraffine	ca. 30 - 40
thermochemisch	bis zu 200-300	Metallhydride	ca. 280 - 500
		Silikagele	ca. 40 - 100
		Zeolithe	ca. 130 - 300

## Inhalt

- Entwicklung des Energieverbrauchs in den Sektoren – Der Weg zur Emissionsneutralität
- Effizienzmaßnahmen im Bereich Hochbau – Förderung von Effizienzmaßnahmen
- Effizienzmaßnahmen im Bereich Technik – Wärmeerzeuger im Alt- und Neubau
- Anforderungsebenen der Energiekonzeptentwicklung
- Optionen der Lastermittlung – vom Kennwert – Vollbenutzungsstunden – Simulation - Monitoring
- Die Rolle von Wärmespeichern in Versorgungssystemen
- **Anwendungsbeispiele**
  - **Schulgebäude - Sanierung**
  - Wärmeversorgung von Kirchen
  - Geothermie in Produktionsgebäuden
  - Nachhaltigkeitskonzepte für Liegenschaften
- Zusammenfassung und Ausblick



## Energiekonzept Schulzentrum am Spalterhals

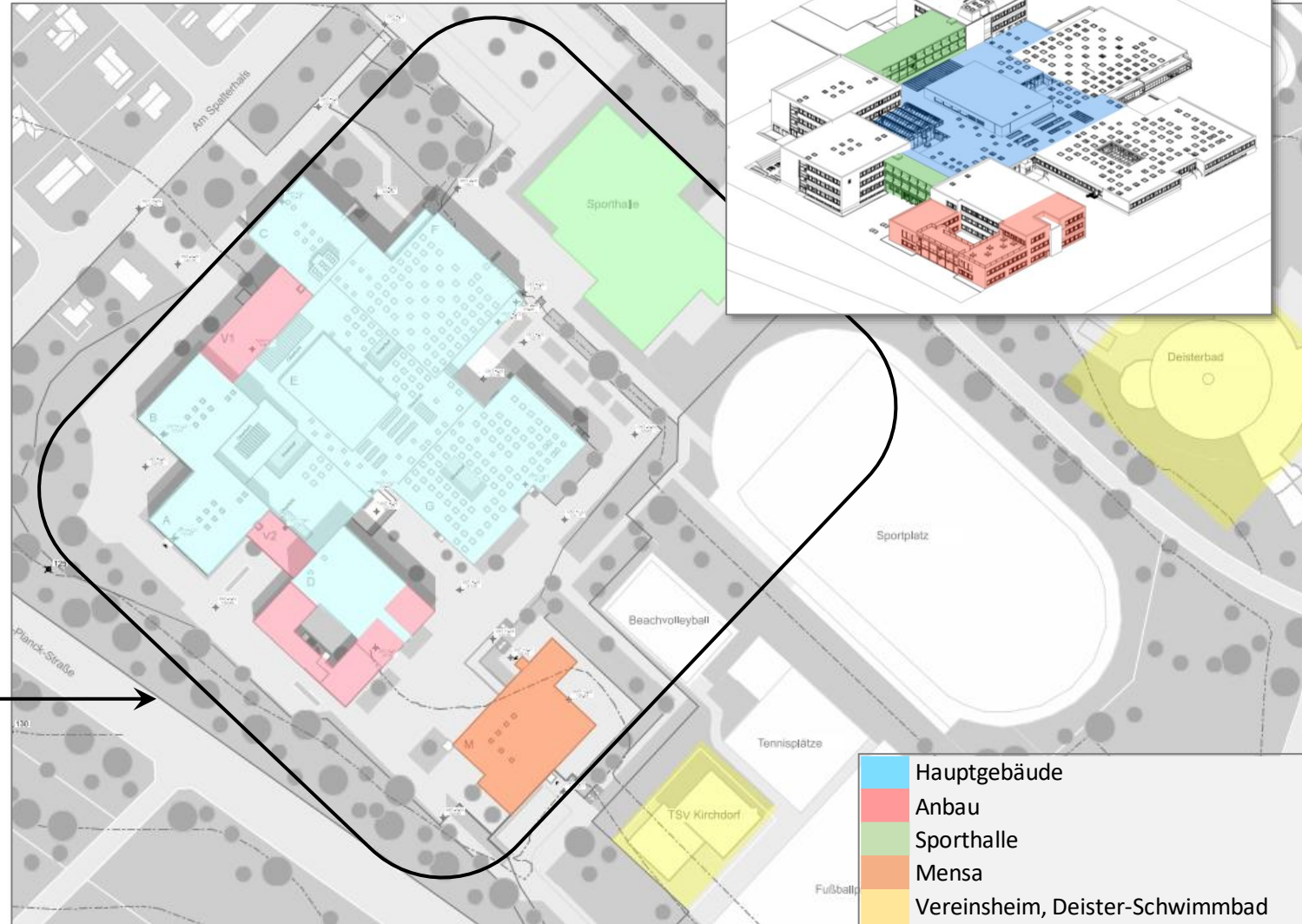
### Geländeplan Schulzentrum am Spalterhals

Die Technikzentrale im Mensagebäude versorgt  
aktuell:

- Schulkomplex (Hauptgebäude, Mensa, Sporthalle)
- Vereinsheim
- Deister-Schwimmbad
- ggf. weitere Verbraucher

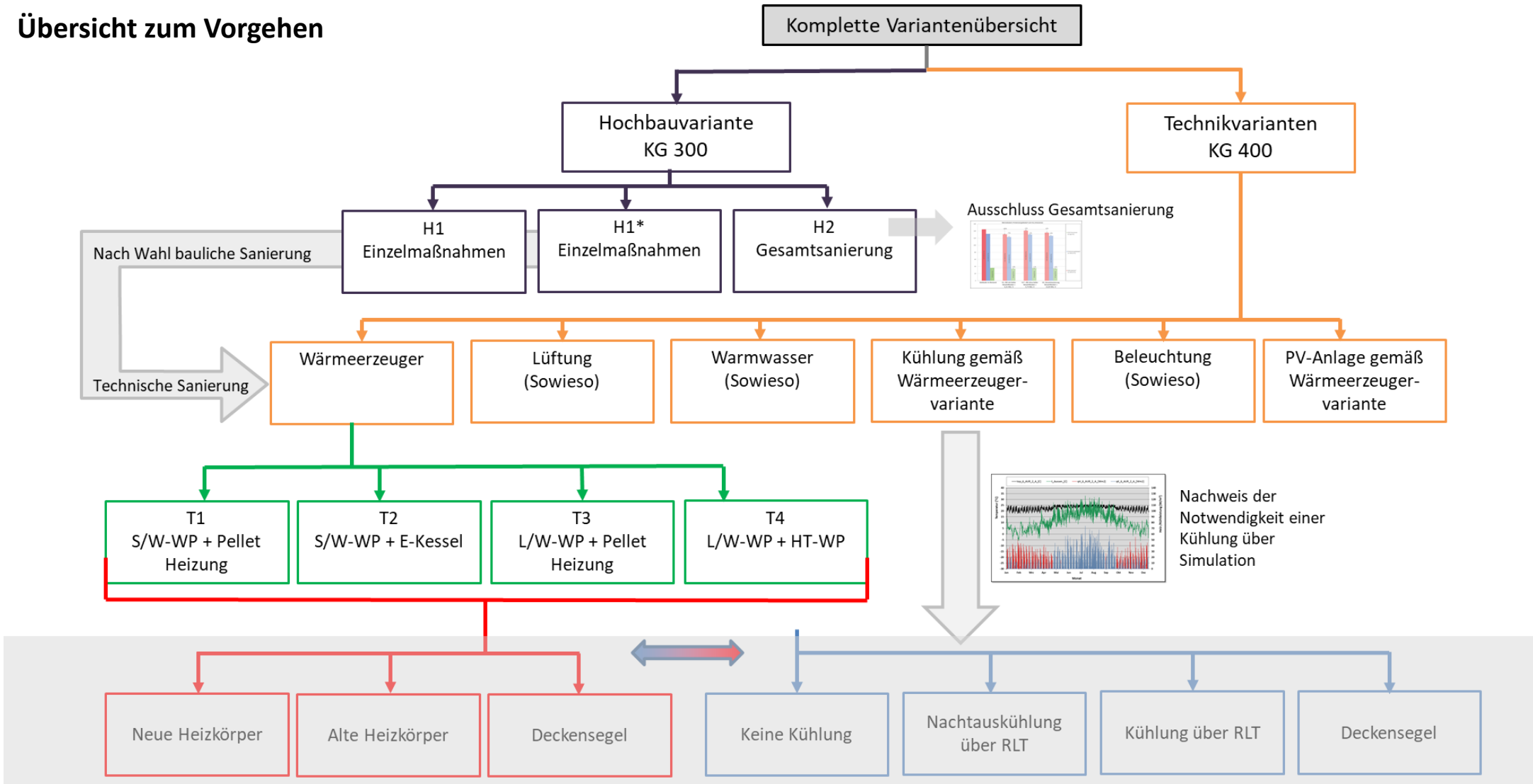
Aufgabenstellung ist die Bedarfsermittlung und  
Konzepterstellung für Wärme und Kälte folgender  
Gebäude:

- Hauptgebäude
- Anbau
- Sporthalle
- Mensa



Quelle: SaS\_2\_AR\_X\_LP\_XX\_ Lageplan Konzeptentwurf

Übersicht zum Vorgehen



ARGE SPALTERHALS

MOSAIK  
architekt:innen bda

Remke Partner  
Architektur.  
Innenarchitektur.

BARSINGHAUSEN  
...hier geht's bergauf!

HANNAH ARENDT  
GYMNASIUM BARSINGHAUSEN  
Gesamtschule

LOW

M+R

## Variantenbetrachtung Einzelmaßnahmen H1

### IST-Zustand:

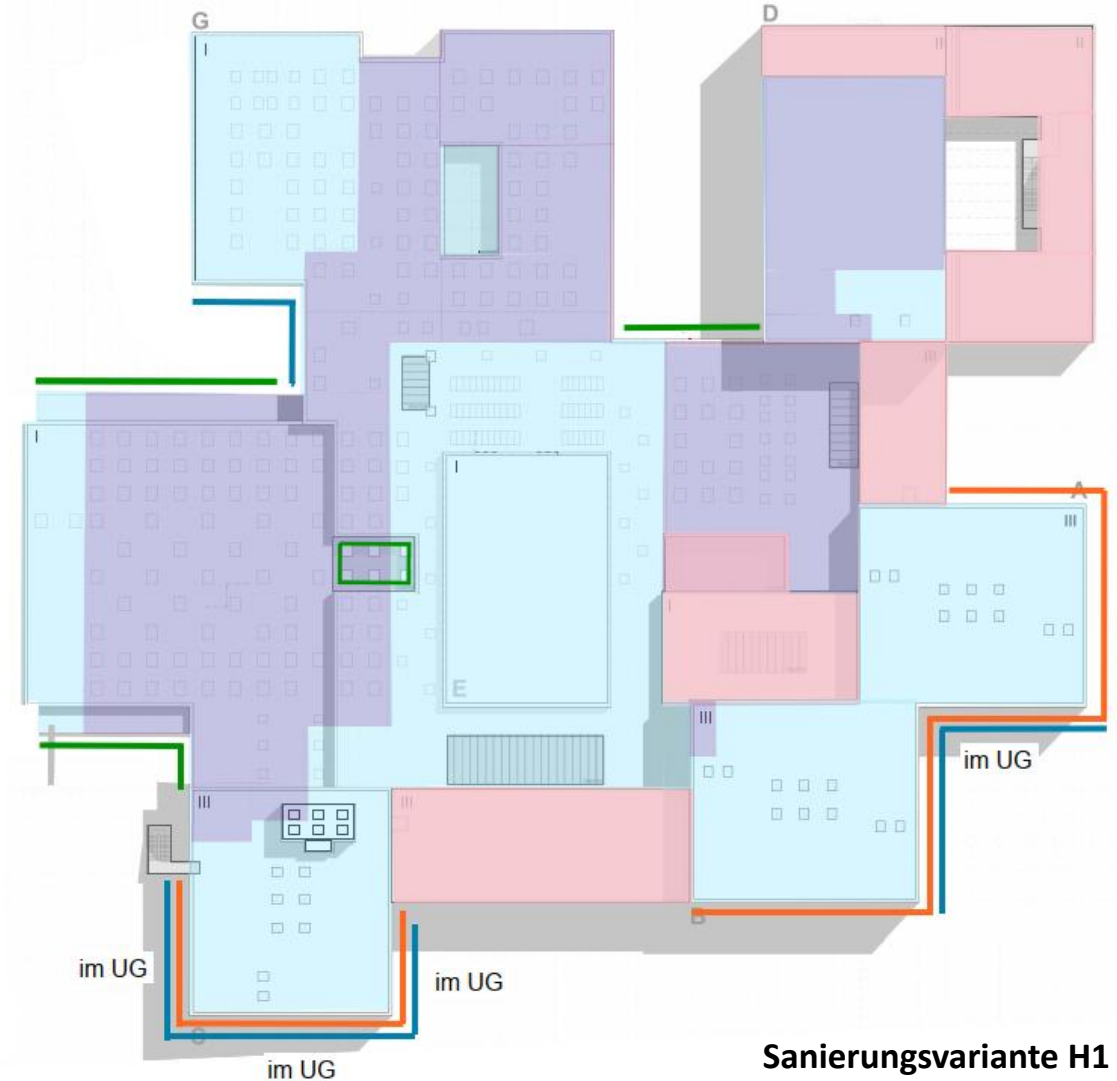
Das Hauptgebäude soll saniert werden. Aktuell entspricht es dem **GEG-Standard** von Bestandsgebäuden (Neubau-Standard + 40%).

Im Weiteren sollen sinnvolle Sanierungsvarianten festgelegt werden und der Sanierungsumfang hinsichtlich Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit abgewogen werden.

### Sanierungsmöglichkeiten:

- **H1: Einzelmaßnahmen**
  - Dachsanierung inkl. Oberlichter und RWA
  - Sanierung der bauzeitlichen Pfosten-Riegel-Fassade
  - Sanierung der bauzeitlichen Fenster im Untergeschoss
  - Dämmung der freigelegten UG-Wände durch die Gelände-Umgestaltung
- **H2: Gesamtsanierung**
  - Alle Maßnahmen aus H1
  - Fassaden-Komplettanierung (Fenster + WDVS + Aluwelle)  
Gebäudeteile A, B, C, D, F, G

	Dach inklusive Lichtkuppeln/Oberlichter sowie Kriechkellerdecke und -wände
	Dach inklusive Lichtkuppeln/Oberlichter
	Anbau energetische Qualität gem. BEG EM
	Fassadensanierung mit WDVS
	Kompletttausch der bauzeitlichen Fenster im Untergeschoss
	Kompletttausch der gesamten Pfosten-Riegel-Fassade



## Kostenbewertung Sanierungsmöglichkeiten Hochbau

### Übersicht Brutto-Investitionskosten – Variante H1 und H2

Überschlägig ist mit den nebenstehenden Kostenansätzen zu rechnen.

Die Teilsanierung der Schule umfasst ca. 5,7 Mio. Euro (H1\*). Zusätzlich umfasst die Sanierung der beheizten Bauteile angrenzend an den Kriechkeller weitere 580.000 Euro (H1).

Eine Gesamtsanierung zum EG 55 Gebäude kostet ca. 13 Mio. Euro (H2).

#### Ergebnis:

**Eine Gesamtsanierung kostet doppelt so viel im Vergleich zur Teilsanierung.**

Bauteile		H1 EM mit Keller	H1* EM ohne Keller	H2 Gesamtsanierung
Dach	Dachsanierung, inkl. Oberlichter	4.500.000,00 €	4.500.000,00 €	4.500.000,00 €
Fassade	Pfosten-Riegel-Fassade (bauzeitlich)	650.000,00 €	650.000,00 €	650.000,00 €
	WDVS EG/ UG gegen Außenluft	160.000,00 €	160.000,00 €	160.000,00 €
	Fenster UG (bauzeitlich)	420.000,00 €	420.000,00 €	420.000,00 €
Keller	Kriechkellerdecke	520.000,00 €	-	520.000,00 €
	Kriechkellerwände	60.000,00 €	-	60.000,00 €
Neubau	Neubau	Betrachten wir in den Sanierungskosten nicht		
Komplett- sanierung	A	-	-	1.517.000,00 €
	B	-	-	1.487.500,00 €
	C	-	-	1.479.000,00 €
	D	-	-	1.007.500,00 €
	F	-	-	432.000,00 €
	G	-	-	797.500,00 €
	Gesamt			
		6.310.000,00 €	5.730.000,00 €	13.030.500,00 €
<b>GESAMTKOSTEN</b>		<b>6,31 Mio. €</b>	<b>5,73 Mio €</b>	<b>13,03 Mio. €</b>

Angaben gemäß ARGE Spalterhals (MOSAIK architekt:innen bda & Remke Partner  
Architektur, Innenarchitektur)

## Energieeinsparung durch Sanierungsmöglichkeiten im Hochbau

### Übersicht energetische Einsparung im Schulgebäude mit Anbau

Bei Variante H1 sinkt der Wärmebedarf um ca. 10 % im Vergleich zum Bestand.

Es zeigt sich im Vergleich zu H1\* deutlich, dass die Sanierung der Kriechkellerdecken aufgrund des hohen Flächenanteils energetisch die größte Einsparung erzielt.

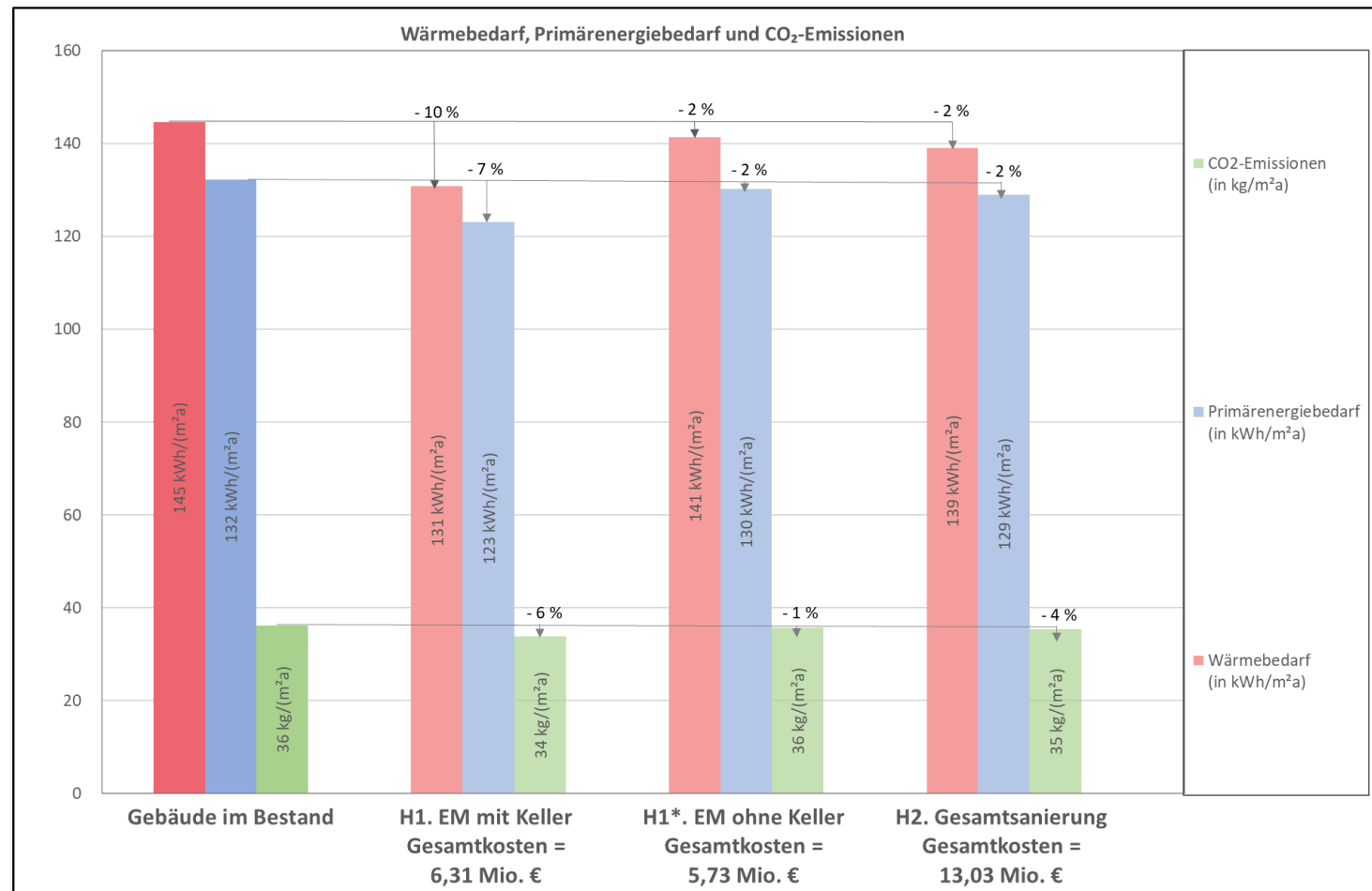
In Variante H2 ergibt sich aufgrund des Fenstertausches eine Steigung des Wärmebedarfs aufgrund reduzierter solarer Wärmegewinne.

#### Ergebnis:

**Aus energetischer Sicht ist die Variante H1 zu wählen.**

#### Dazu:

**Letzte Sanierung Fassade inkl. Fenster: 2001 + 2007, das Baualter rechtfertigt keinen Austausch**



### Zonierung Grundriss

Die Simulation erfolgt für zwei ausgewählte Klassenräume im Bauteil A:

- Zone 5 AUR 3 - A
- Zone 6 AUR 2 – A

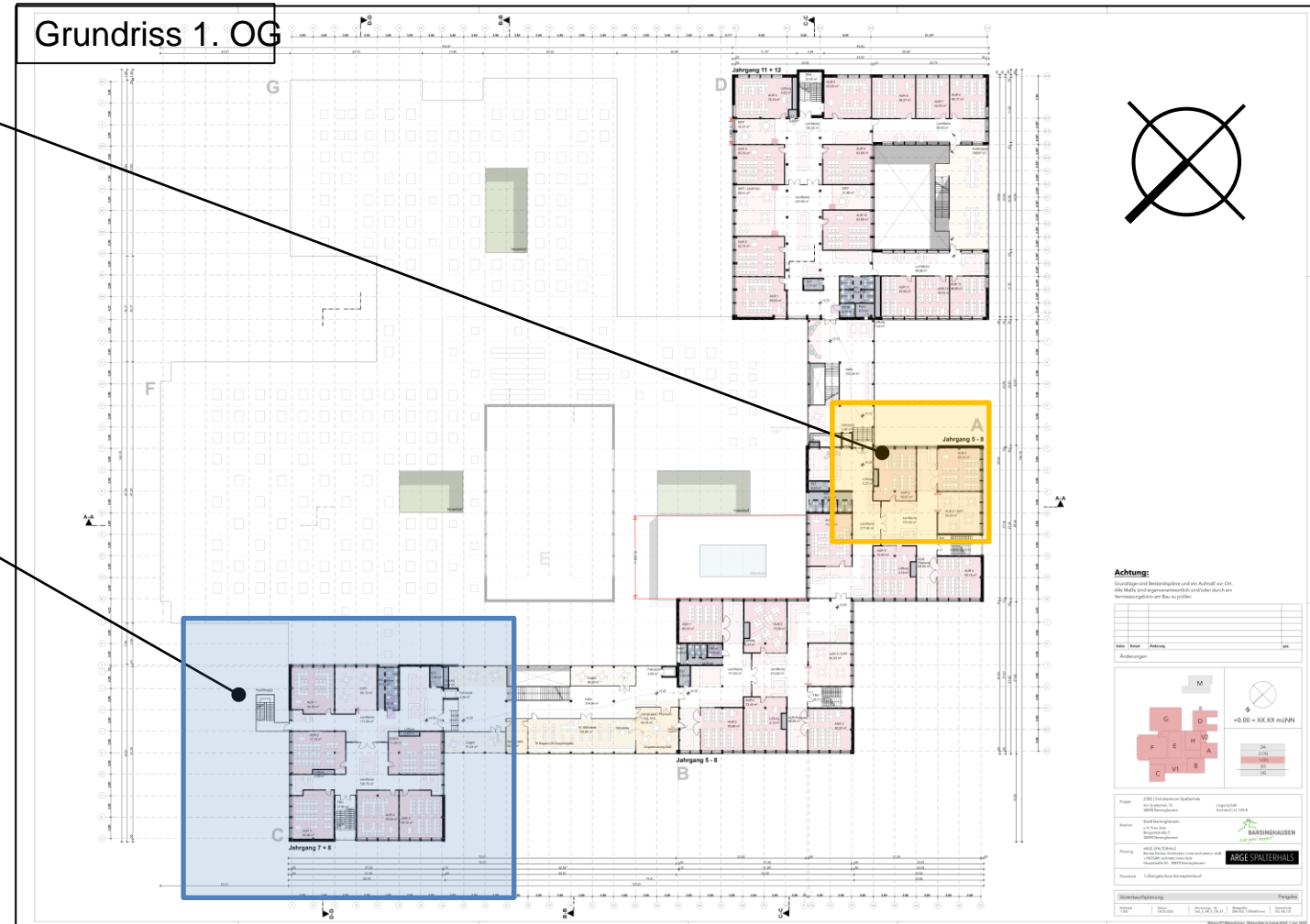
Die Nebenräume dieser beiden Räume sind zur Abbildung der thermischen Bedingungen mit abzubilden.

Die Simulation erfolgt für weitere zwei ausgewählte Klassenräume im Bauteil C:

- Zone 1 AUR 3 - C
- Zone 2 AUR 4 – C

Die Nebenräume dieser beiden Räume sind zur Abbildung der thermischen Bedingungen mit abzubilden.

Die entsprechenden Maße und U-Werte sind mit dem Nutzungsprofil im Modell hinterlegt.



## Simulationsergebnisse – konstante und veränderliche Randbedingungen

### Randbedingungen

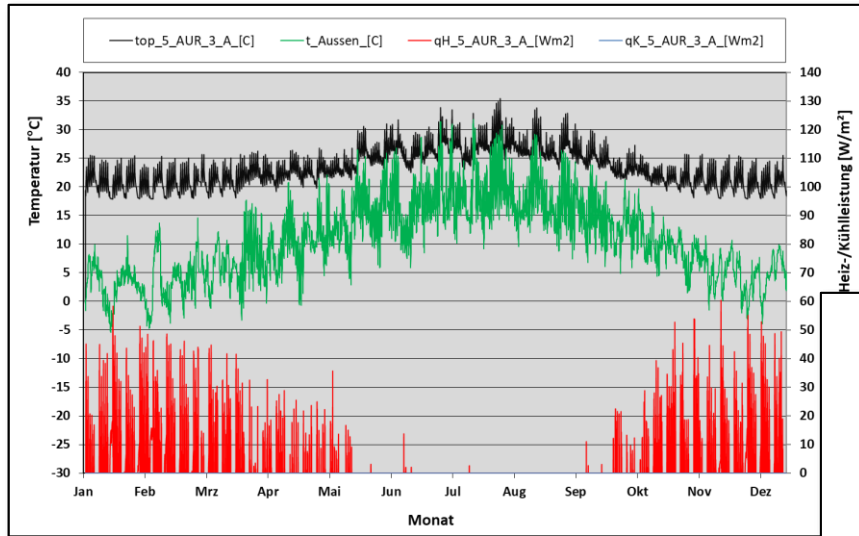
- Keine Bauteilveränderung - Isolierverglasung Bestand, außenliegender Sonnenschutz
- Zuluft mit 80 % WRG und Nachtlüftung,  $n = 2,5 \text{ h}^{-1}$
- Räume AUR 3 – C, AUR 4 – C, AUR 3 – A und AUR 2 – A mit Gleichzeitigkeit bei Raumbelugung von 75%, für die Lernflächen wird keine Gleichzeitigkeit berücksichtigt
- Wetterdatensätze 2015 Normal-/Extremwetter (Sommer) und 2045 Normal-/Extremwetter
- Belegung der Räume nach Profil Teil-/Vollnutzung
- ohne oder mit Kühlung

Zeit	Profil Vollnutzung	Profil Teilnutzung
08:00 - 08:45		
08:45 - 09:30		
09:30 - 09:50	Erste große Pause	
09:50 - 10:35		
10:35 - 11:20		
11:20 - 11:40	Zweite große Pause	
11:40 - 12:25		
12:25 - 13:10		
13:10 - 13:50	Mittagspause	
13:50 - 14:35		
14:35 - 15:20		
15:20 - 15:30	Nachmittagspause	
15:30 - 16:15		
16:15 - 17:00		

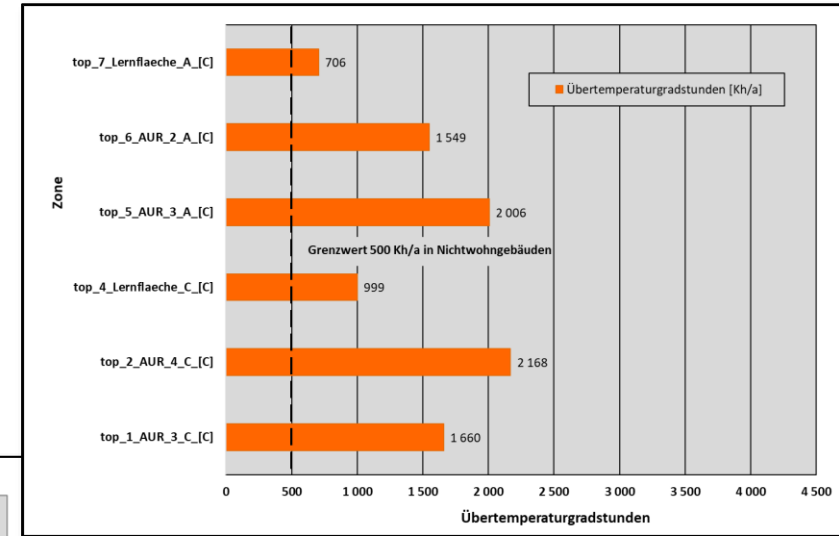
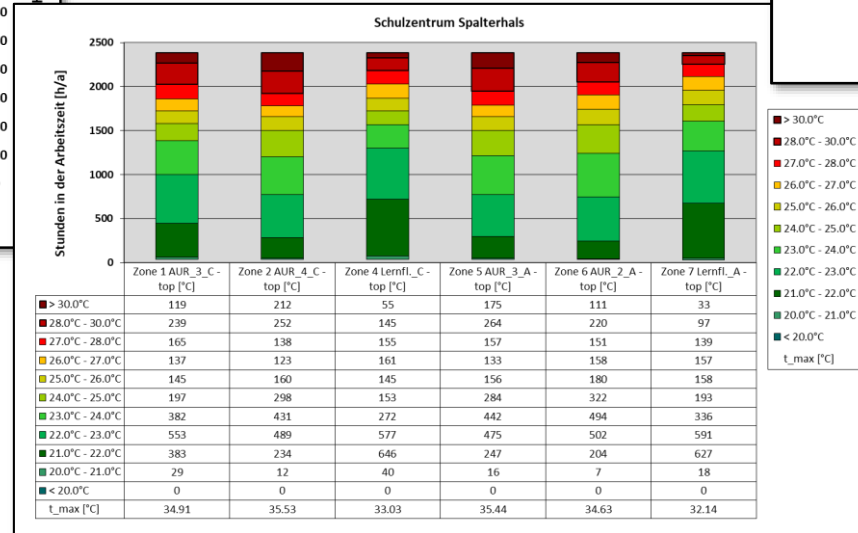
Variantenübersicht

Variante	TRY 2015 N	TRY 2015 E	TRY 2045 N	TRY 2045 E	mit NL	Vollbelegung	Teilbelegung	ohne Kühlung	mit Kühlung	Zuluft-/freie Kühlung RLT
Var 0										
Var 1										
Var 2										
Var 3										
Var 4										
Var 5										
Var 6										
Var 7										
Var 8										
Var 9										
Var 10										
Var 11										
Var 12										
Var 13										
Var 14										
Var 15										
Var 16										
Var 17										20°C
Var 18										20°C
Var 19										20°C
Var 20										20°C
Var 21										20°C
Var 22										20°C
Var 23										20°C
Var 24										20°C

Simulationsergebnisse Variante 11 (Wetterdatensatz 2045 Standard)



Zone 5 AUR 3 - A



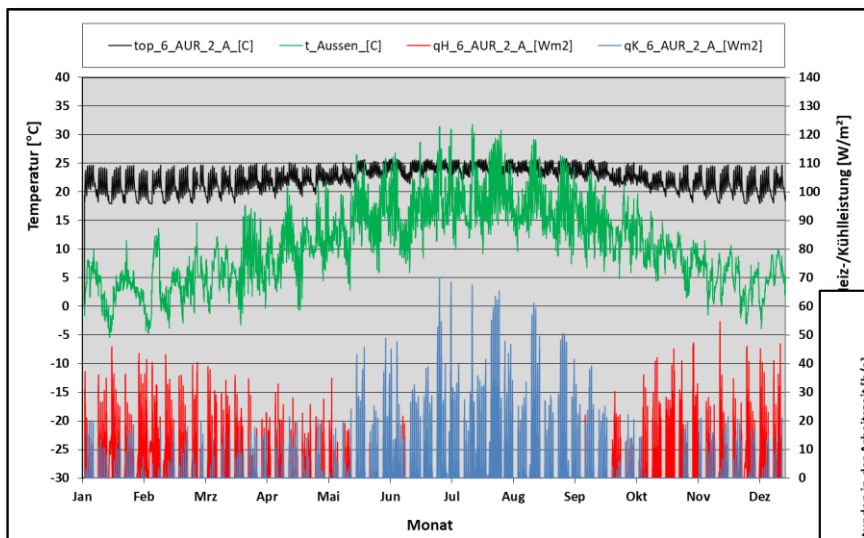
Übersicht  
Übertemperaturgradstunden alle  
Zonen

Simulationsergebnisse Var. 11 (Wetter 2045 Standard)

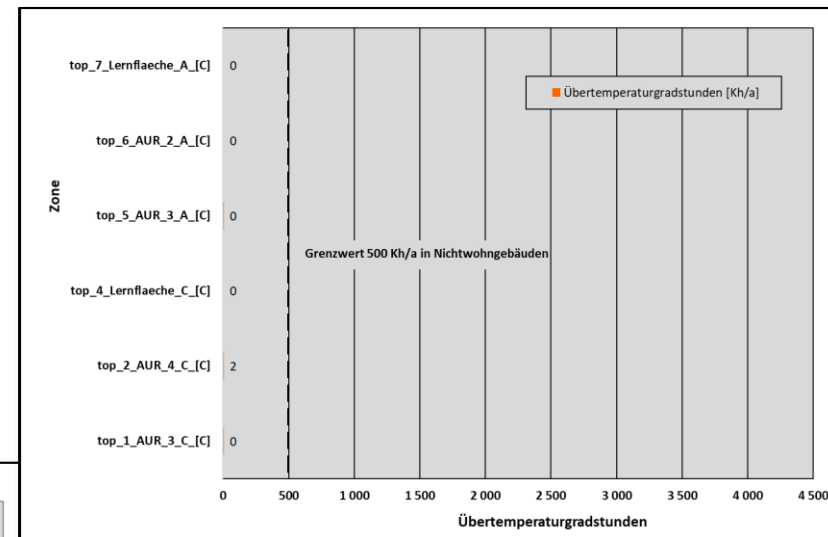
- Isolierverglasung Bestand, außenliegender Sonnenschutz
- Zuluft mit 80 % WRG, ohne weitere Nachbehandlung mit Nachtlüftung
- **ohne Kühlung**
- Teilbelegung

Temperaturstatistik  
alle Zonen

Simulationsergebnisse Variante 12 (Wetterdatensatz 2045 Standard)



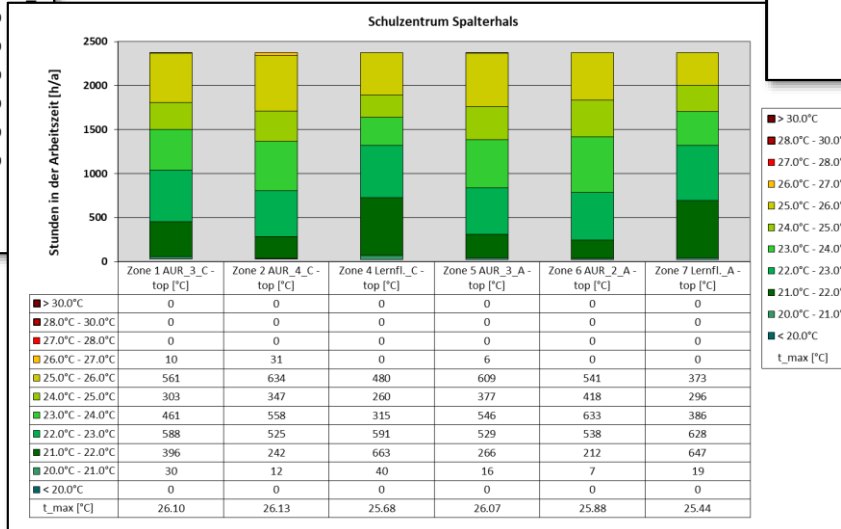
Zone 6 AUR 2 - A



Übersicht  
Übertemperaturgradstunden alle  
Zonen

Simulationsergebnisse Var. 12 (Wetter 2045 Standard)

- Isolierverglasung Bestand, außenliegender Sonnenschutz
- Zuluft mit 80 % WRG, ohne weitere Nachbehandlung
- mit Nachtlüftung
- mit Kühlung
- Teilbelegung



Temperaturstatistik  
alle Zonen

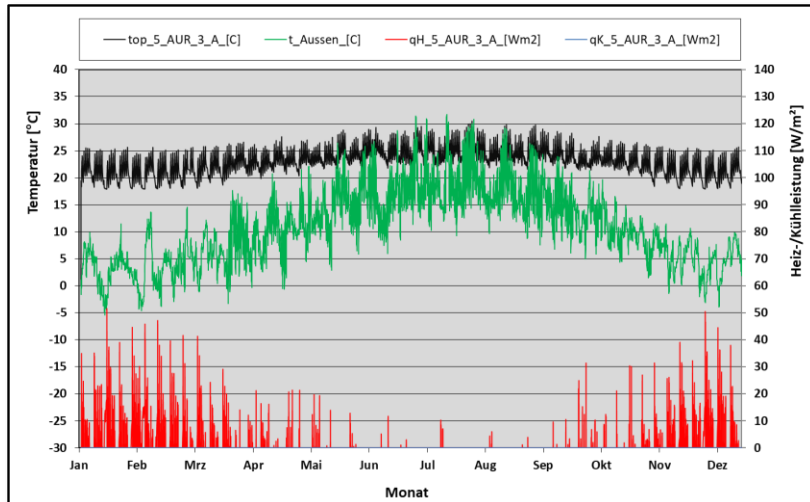
### Weiterführung der simulativen Bewertung der Maßnahmen im Bereich TGA

- In einer Weiterführung wird die Option einer ausschließlichen Konditionierung der Zuluft betrachtet. Es soll bewertet werden, inwieweit über diese anlagentechnische Maßnahme einer möglichen Überhitzungssituation begegnet werden kann
- Als Basis für diese Betrachtung wird die Variante 22 der Simulation herangezogen. Diese Variante berücksichtigt folgende Randbedingungen:
  - Standard-Wetterdatensatz 2045
  - Teilbelegung
  - Keine statische Kühlung auf Raumebene, nur Konditionierung der Zuluft
  - Nachtlüftung
  - Isolierverglasung mit außenliegendem Sonnenschutz

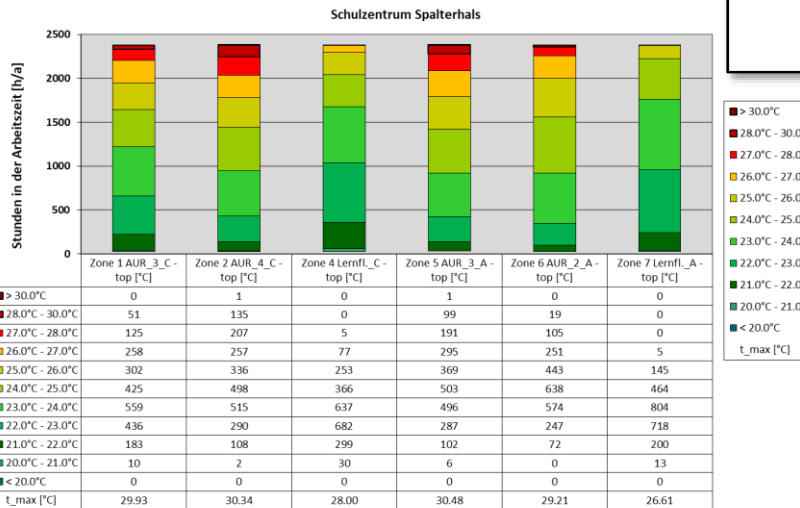
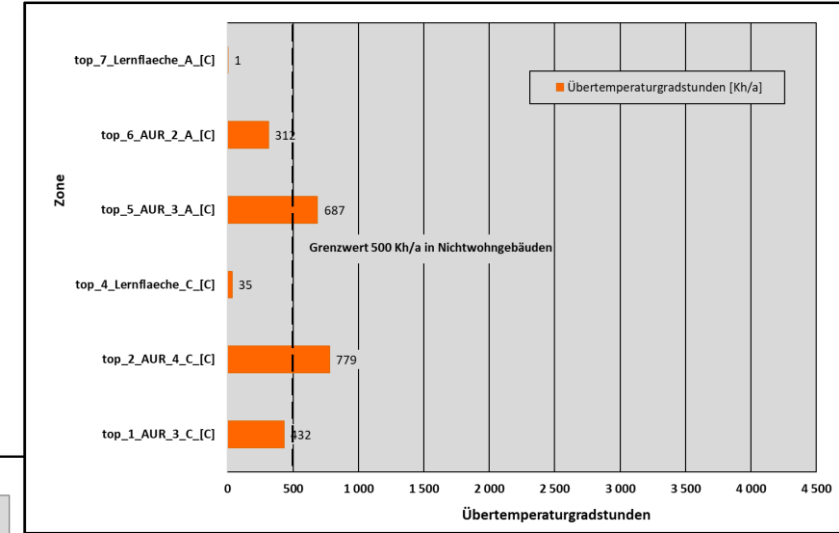
### Variantenübersicht:

Var 22.0										20°C
Var 22.1										18°C
Var 22.2										19°C
Var 22.3										21°C
Var 22.4										22°C
Var 22.5										23°C
Var 22.6										24°C

Simulationsergebnisse Variante 22.2 (Wetterdatensatz 2045 Standard) – L19



Zone 5 AUR 3 - A



Simulationsergebnisse Var. 22.2 (Wetter 2045 Standard)

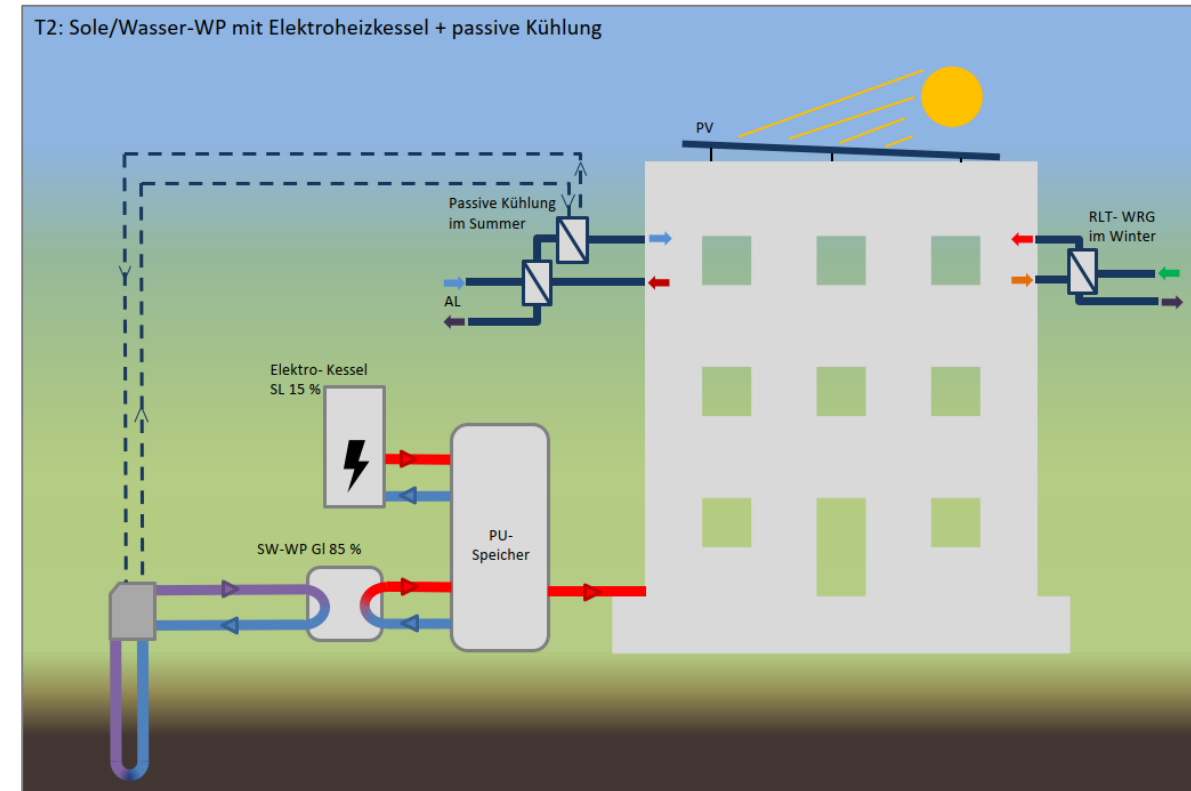
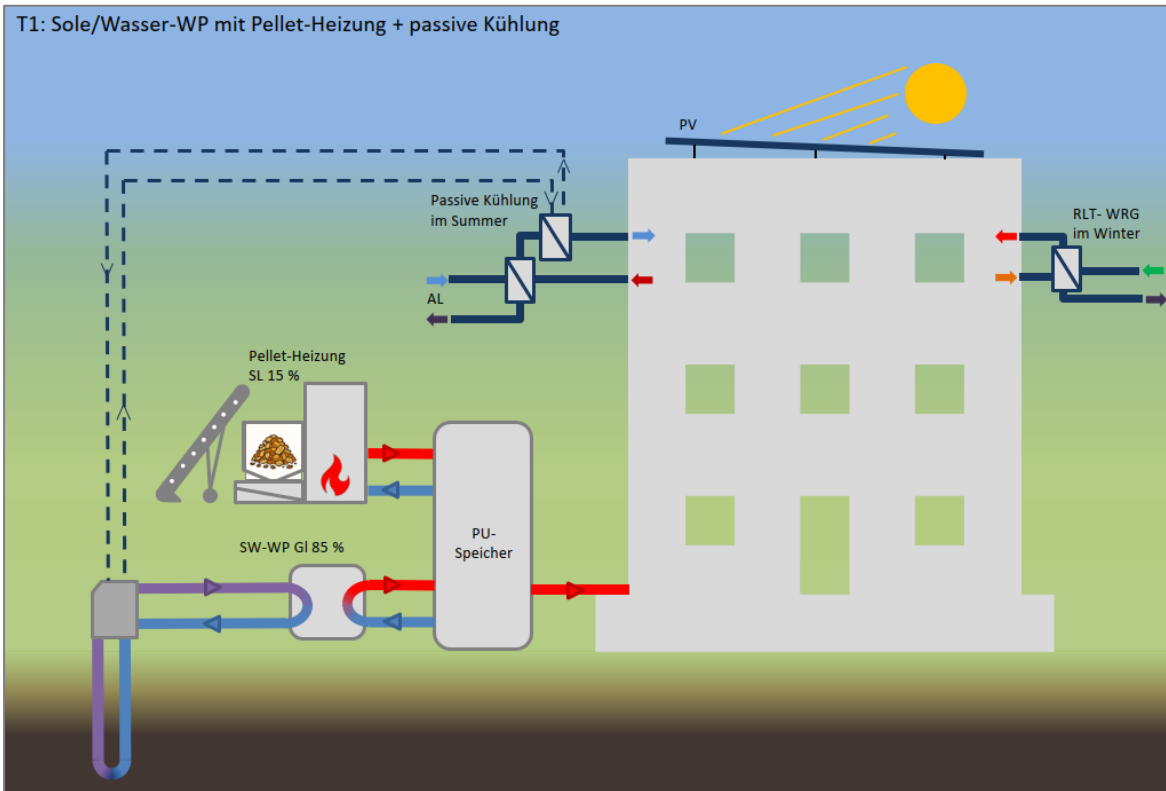
- Isolierverglasung Bestand, außenliegender Sonnenschutz
- Zuluft mit 80 % WRG, ohne weitere Nachbehandlung mit Nachtlüftung
- **Zulufttemperatur im Sommerbetrieb 19°C, freie Kühlung**
- ohne aktive Kühlung (Deckensegel über die Fläche)
- Teilbelegung

Übersicht  
Übertemperaturgradstunden alle Zonen

Temperaturstatistik alle Zonen

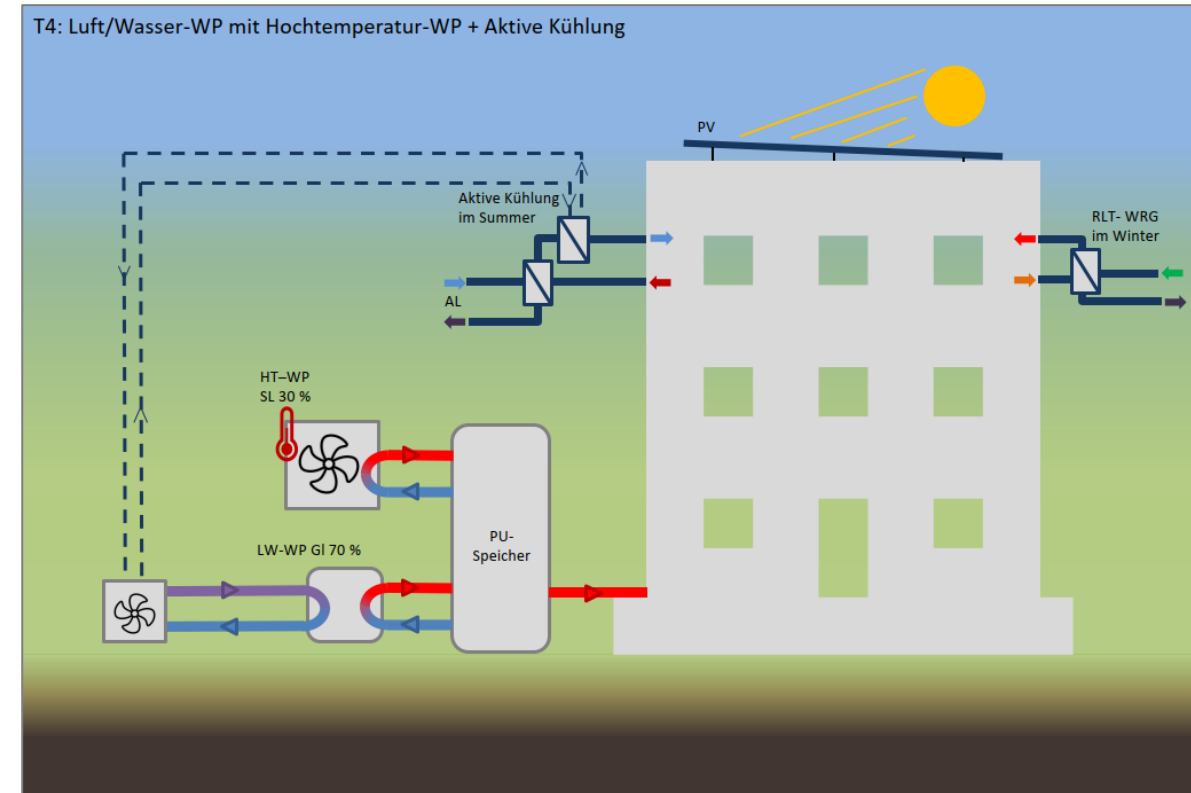
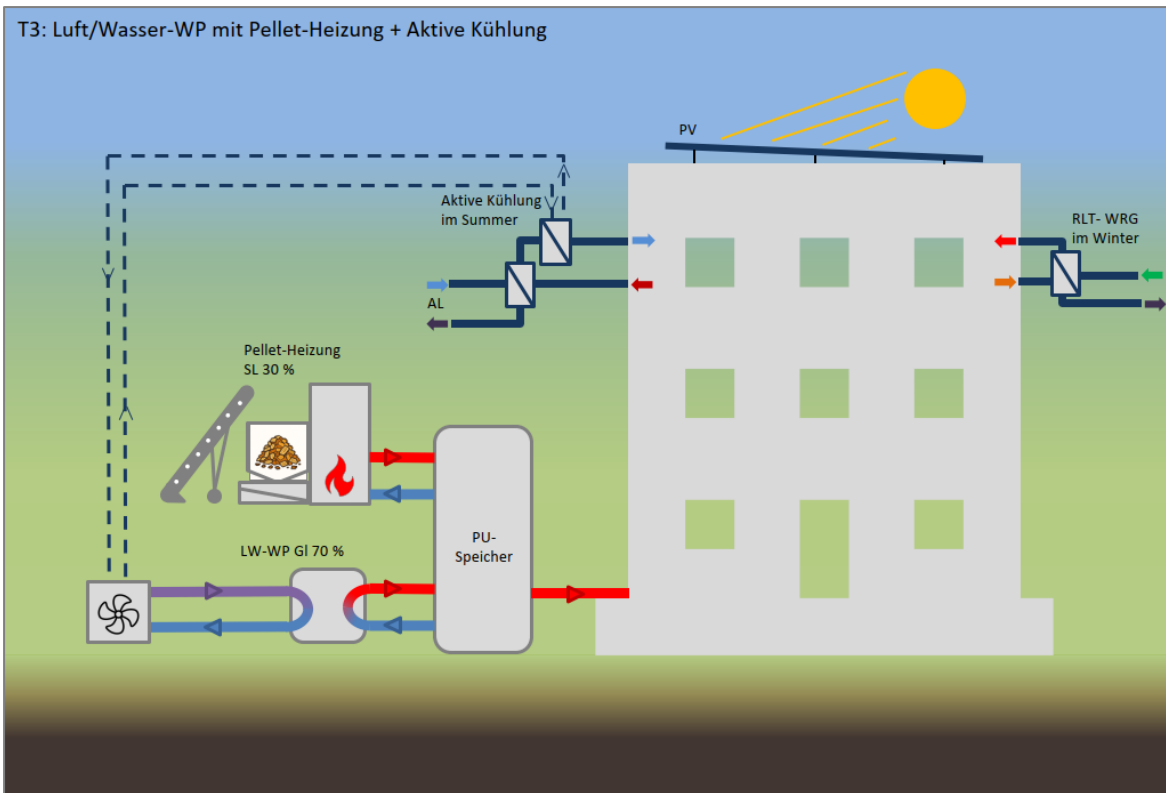
## Wärmeversorgungsanlagen – Variantenübersicht

Es werden vier verschiedene Energieversorgungsvarianten betrachtet:



### Wärmeversorgungsanlagen – Variantenübersicht

Es werden vier verschiedene Energieversorgungsvarianten betrachtet:



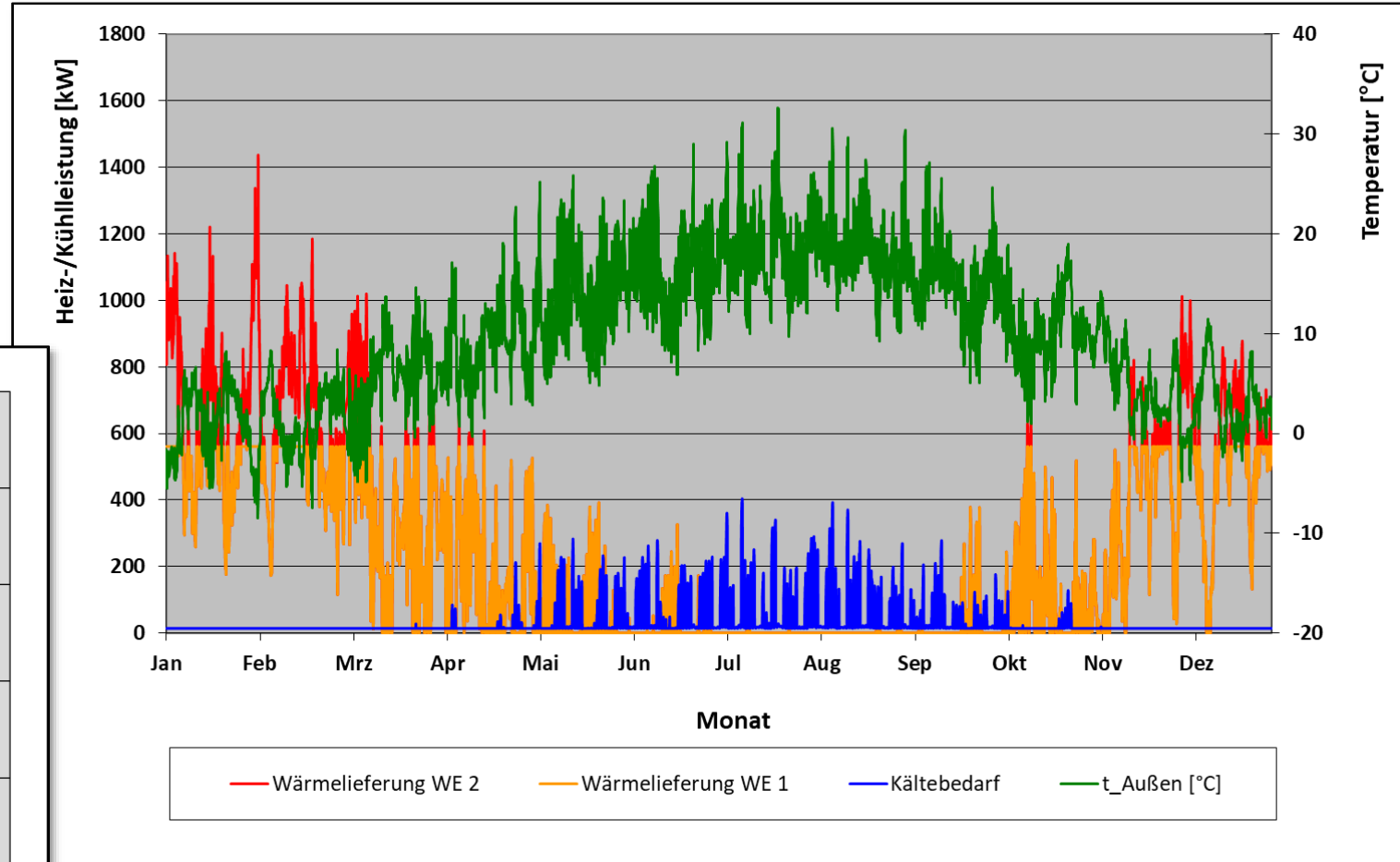
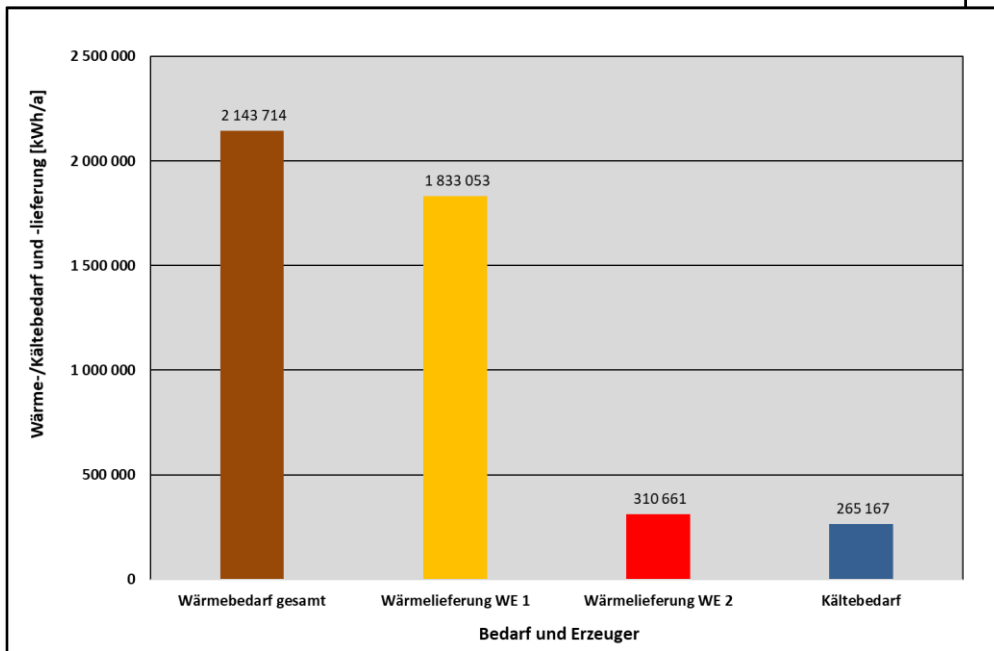
**Grundlage der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von T+K**

Energiebezugsfläche	34.816 m <sup>2</sup>
Vollbenutzungsstunden (Stunden/Jahr)	1.300 h/a
Heizlast	1.650 kW
Jahreswärmearbeit Heizung (kWh/Jahr)	2.145.000 kWh/a
Jahreswärmearbeit Heizung (MWh/Jahr)	2.145 MWh/a

Die Kühlleistung der Anlagen wird mit einem EER = 3,0 angenommen.

Jahresenergien/Strom (Heizung – Arbeitswerte)							
Variante	Kenngrößen der Anlagen (Heizen)		WP-Wärme (MWh/a)	Zusatzwärme (MWh/a)	WP-Strom (MWh/a)	Zusatz-Strom (MWh/a)	Pellets (t/a)
T1: S/W + Pellet (passive Kühlung)	S/W-WP mit JAZ 4,5	Deckung Heizung (85 % WP / 15 % Pellet)	1.823	322	405	–	≈ 50
T2: S/W + E-Kessel (passive Kühlung)	S/W-WP mit JAZ 4,5	Deckung Heizung (85 % WP / 15 % E-Kessel )	1.823	322	405	324	–
T3: L/W + Pellet (aktive Kühlung)	L/W-WP mit JAZ 3,5	Deckung Heizung (70 % WP / 30 % Pellet)	1.502	644	429	–	≈ 100
T4: L/W + HT-WP (aktive Kühlung)	L/W-WP mit JAZ 3,5	Deckung Heizung (70 % WP / 30 % HT-WP, COP ≈ 2,5)	1.502	644	429	280	–

- **Exemplarischer, thermischer Lastverlauf für Variante T1**
- Der Lastverlauf für die Technikvariante T1 ergibt eine ca. 86%ige Deckung über die Grundlast-Wärmepumpe.



- **Stromverbrauch Schulbetrieb allgemein**
- Abschätzung des Stromverbrauchs der Schule über Stromverbrauchskennwerte aus der VDI 3807 Blatt 2
- Bezogen auf NGF ergeben sich Werte zwischen 7 und 11 kWh/(m<sup>2</sup>·a), gewählt 10 kWh/(m<sup>2</sup>·a), Bezug NGF
- Nach Sanierung ergibt sich eine Fläche von  $A_{NGF} = 34.816 \text{ m}^2$
- Entsprechend ergibt sich ein Strombedarf für den Schulbetrieb allgemein von:  
 $W_{el} = 34.816 \text{ m}^2 \cdot 10 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) = 348.160 \text{ kWh/a.}$

All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2014

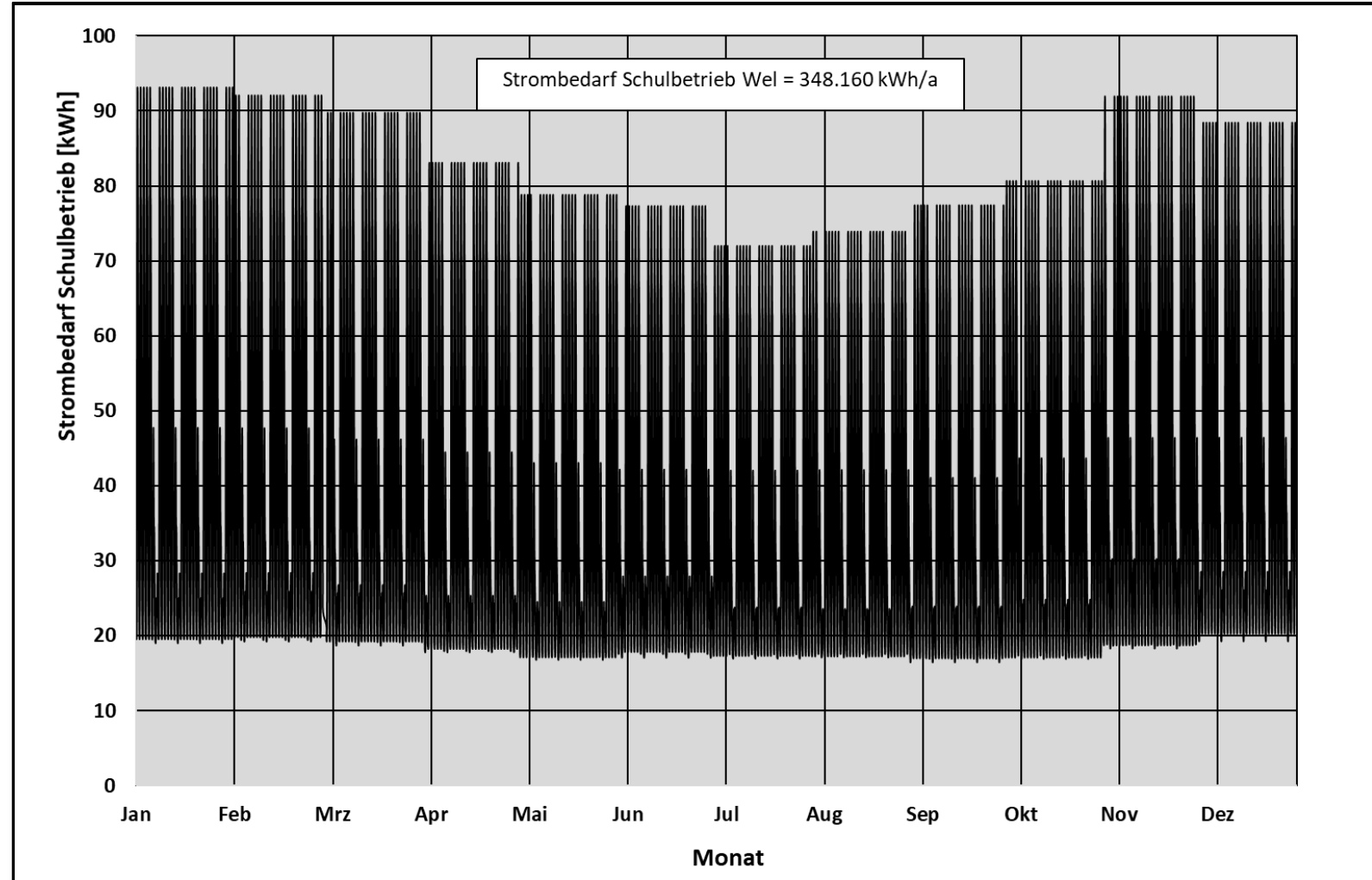
VDI 3807 Blatt 2 / Part 2 – 11 –

Tabelle 2. Stromverbrauchskennwerte nach Gebäudegruppen (Fortsetzung)

BWZ	Gebäudegruppe	Richtwert	Mittelwert	Flächenkorrekturfaktor NGF <sub>E</sub> /BGF <sub>E</sub>	Richtwert	Mittelwert
		kWh/ (m <sup>2</sup> BGF <sub>E</sub> · a)	kWh/ (m <sup>2</sup> BGF <sub>E</sub> · a)		kWh/ (m <sup>2</sup> NGF <sub>E</sub> · a)	kWh/ (m <sup>2</sup> NGF <sub>E</sub> · a)
320000	Krankenhäuser	3300	5000			
		in kWh/(Planbett · a)				
400000	Schulen gesamt (ohne Schwimmbad)	6	10	89 %	7	11
400010	Schulen gesamt mit Schwimmbad	9	27	89 %	10	30
420000	Berufliche Schulen	8	10	90 %	9	11
440000	Kindertagesstätten	10	20	86 %	12	23
441000	Kindergärten	7	12	86 %	8	14
511000	Turn-/Sporthallen	8	17	91 %	9	19
513000	Mehrzweckhallen	10	19	91 %	11	21
521000	Hallenbäder	300	1000			
		kWh/(m <sup>2</sup> Beckenoberfläche · a)				
		25	94			

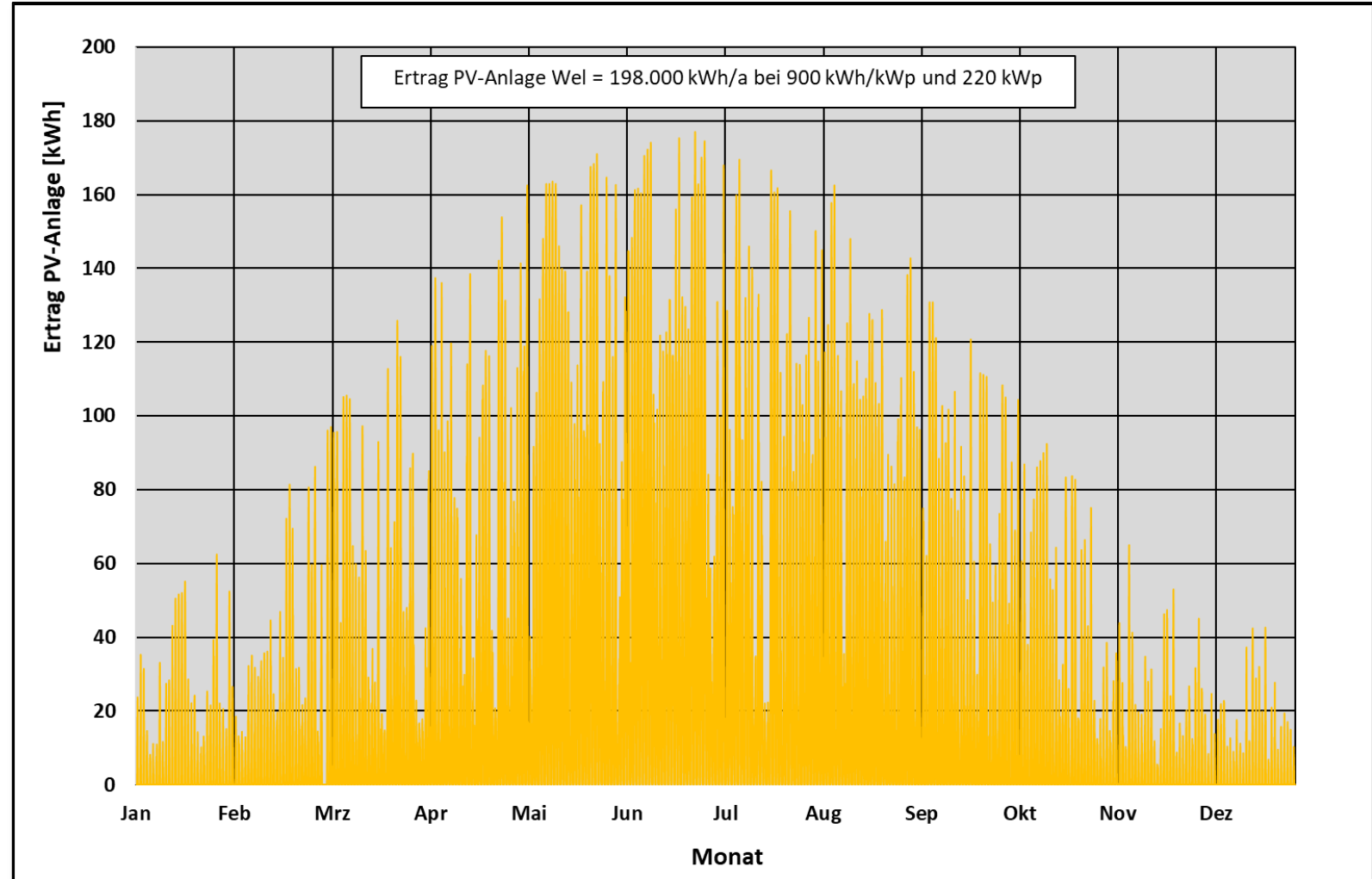


- **Stromverbrauch Schulbetrieb allgemein**
- Der Lastgang des Stromverbrauchs der Schule wird ermittelt über das bdeW-Standardlastprofil 2025 G (für Gewerbe allgemein)
- Hierüber und unter Berücksichtigung des Strombedarfs aus Wärmepumpen- und Kühlbetrieb kann der Eigenanteil der Nutzung des PV-Stroms bewertet werden



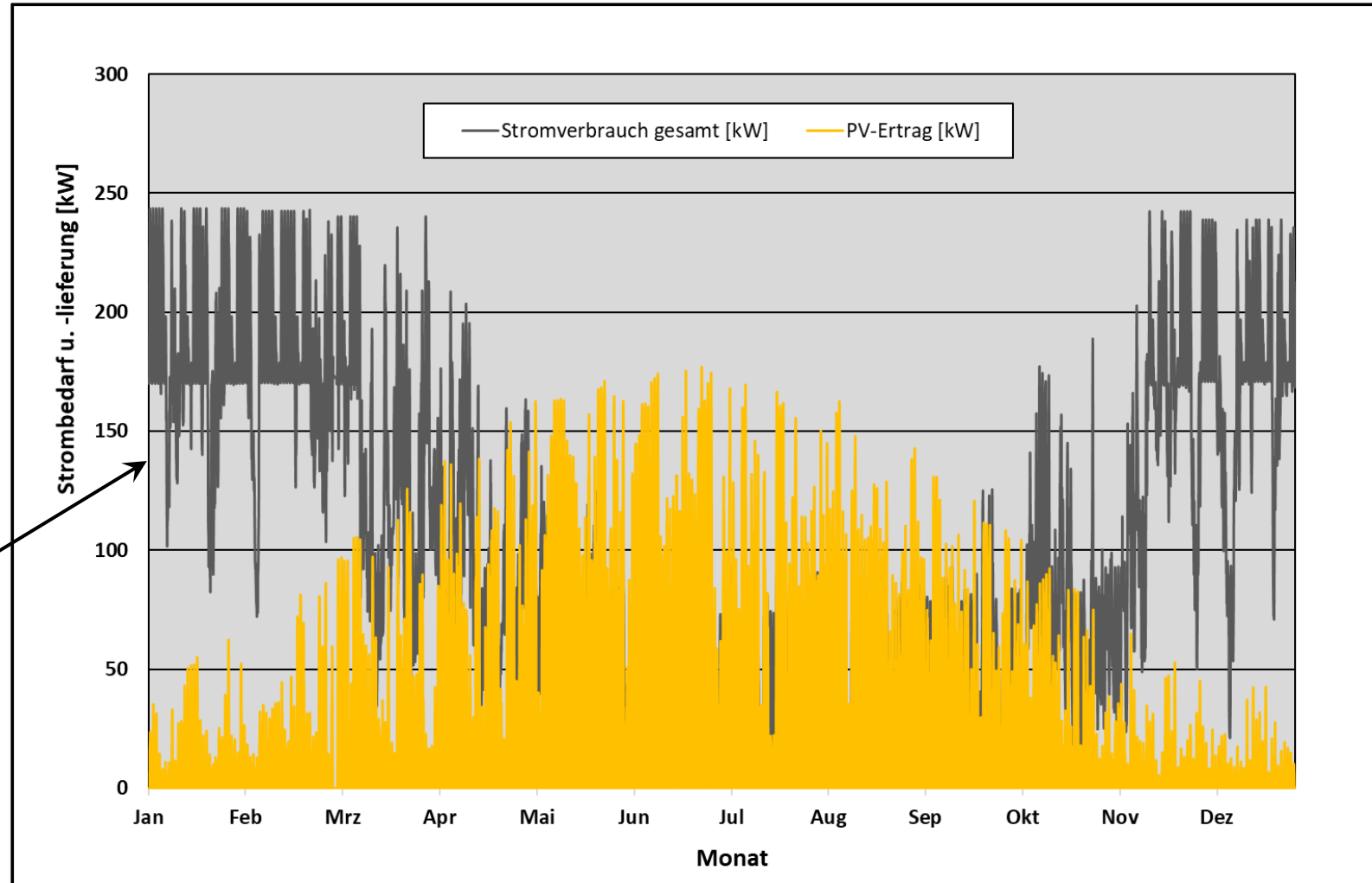
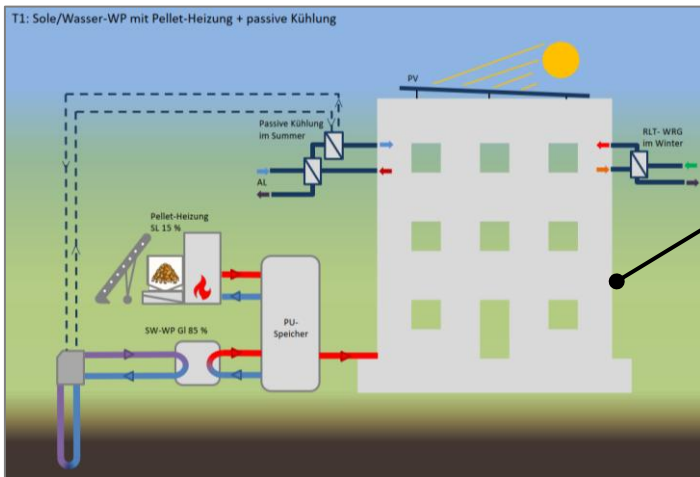


- **Stromverbrauch Schulbetrieb allgemein**
  - Installierte Leistung 220 kWp
  - Leistungsbezogener Ertrag 900 kWh/kWp
  - Hieraus ergibt sich ein Ertrag von insgesamt 198 MWh/a bei einer Globalstrahlung von 1.056 kWh/(m<sup>2</sup>·a) am Standort



- **Strombilanz**

- Der Strombedarf der Variante T1 ergibt sich aus dem WP-Strom und 20 % Hilfsenergie der Heiztechnik bezogen auf den WP-Strom mit Jahres-Arbeitszahl von 4,5 und dem Strombedarf der Nutzung
- Insgesamt ergibt sich ein Eigenverbrauchsanteil des PV-Stroms einschl. dem Strombedarf für die Kühlung (ESEER = 15) von **75 %**



**Brutto-Investitionskosten der Anlagentechnikvarianten T1 bis T4 als Grundlage der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von T+K**

Kostenschätzung je Variante				
Kostenblock (HLS)	T1 S/W+Pellet ( <i>passive Kühlung</i> )	T2 S/W+E-Kessel ( <i>passive Kühlung</i> )	T3 L/W+Pellet ( <i>aktive Kühlung</i> )	T4 L/W+HT-WP ( <i>aktive Kühlung</i> )
Wärmepumpe Grundgerät	535.500 €	535.500 €	595.000 €	452.200 €
Erdsondenfeld	1.701.700 €	1.701.700 €	–	–
Pelletkessel ~500 kW_th	297.500 €	–	297.500 €	–
E-Kessel ~500 kW_th	–	142.800 €	–	–
HT-WP ~500 kW_th	–	–	–	416.500 €
Pelletlager/Förderung	142.800 €	–	142.800 €	–
Passive Kühlung (WT/Pumpen)	119.000 €	119.000 €	–	–
Hydraulik/Puffer/Weichen	119.000 €	119.000 €	95.200 €	119.000 €
GA/MSR (KG 480)	178.500 €	178.500 €	178.500 €	214.200 €
TWW (FWS/Verteilung)	119.000 €	119.000 €	119.000 €	119.000 €
<b>Gesamte HLS Brutto-Kosten</b>	<b>3.213.000 €</b>	<b>2.915.500 €</b>	<b>1.428.000 €</b>	<b>1.320.900 €</b>



## Grundlage der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Für die wirtschaftliche Betrachtung werden innerhalb der Investitionskostenabschätzung nur die Maßnahmen berücksichtigt, die sich in den Varianten untereinander unterscheiden. Die Kosten für die Gebäudehülle, LED-Beleuchtung, Lüftungsanlagen, die dezentrale Warmwasserversorgung und die Photovoltaikanlage werden nicht berücksichtigt.

- Die Kostenansätze für die Baukonstruktion (KG 300) werden vom Büro "Remke Partner Architektur. Innenarchitektur. mbB" ermittelt.
- Die Kostenansätze für die technischen Anlagen (KG 400) werden vom Büro "THEURICH+KLOSE Ingenieur-Gesellschaft mbH" ermittelt.

Es werden verschiedene Kostenaufschläge auf die Netto-Investitionskosten angewendet:

- Unvorhergesehenes: 10 %
- Planung: 15 %

Nutzungsdauer der technischen Komponenten nach VDI 2067

- Energiepreissteigerung Pellets und Strom : 5 %/a
- Inflation: 2 %/a
- Kapital-Zinssatz: 3,25 %/a



### PE-Bedarf und THG-Emissionen

Die Luft/Wasser-Wärmepumpe weist eine geringere Jahresarbeitszahl auf als die Sole/Wasser-Variante. Dies resultiert in einem höheren Primärenergiebedarf und entsprechend höheren Treibhausgasemissionen – wie ein Vergleich der Varianten T1 und T3 in der Grafik rechts verdeutlicht.

**Ergebnis: Nach Primärenergiebedarf ist Variante T1 am besten, gefolgt von T3.**

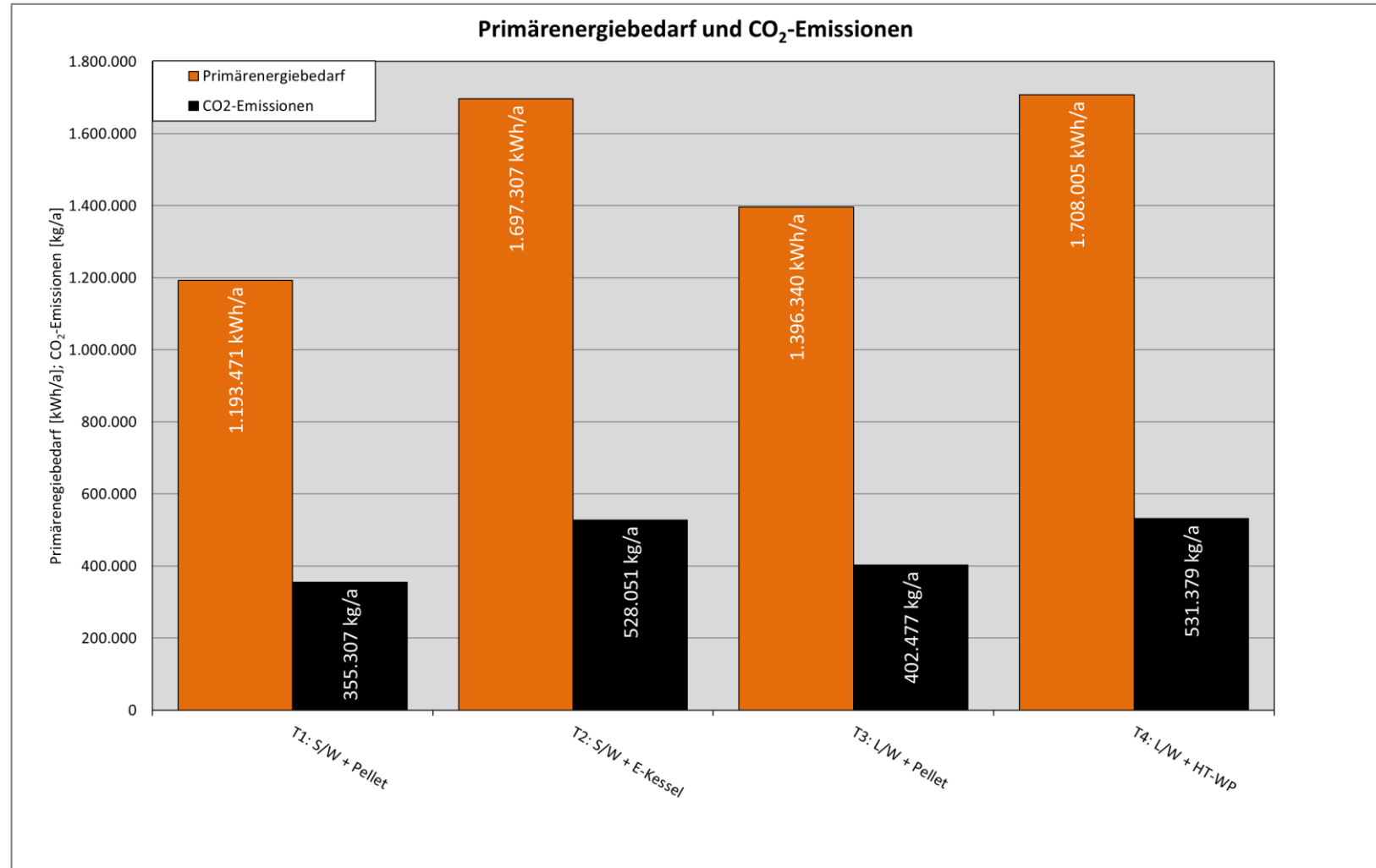
**T1: Sole/Wasser-WP mit Pellet-Heizung + passive Kühlung**

**T2: Sole/Wasser-WP mit Elektroheizkessel + passive Kühlung**

**T3: Luft/Wasser-WP mit Pellet-Heizung + aktive Kühlung**

**T4: Luft/Wasser-WP mit Hochtemperatur-WP + aktive Kühlung**

Primärenergiefaktoren und Emissionen nach GEG		
	Primärenergiefaktor	CO <sub>2</sub> -Emissionen
Pellets	0,2	0,02 kg/kWh
Strom	1,8	0,56 kg/kWh
Strom PV	0	0,00 kg/kWh





## Brutto-Investitionskosten

Die höhere Investitionskosten der Varianten T1 und T2 ergeben sich aus den Notwendigkeit Erdsondenbohrungen durchzuführen.

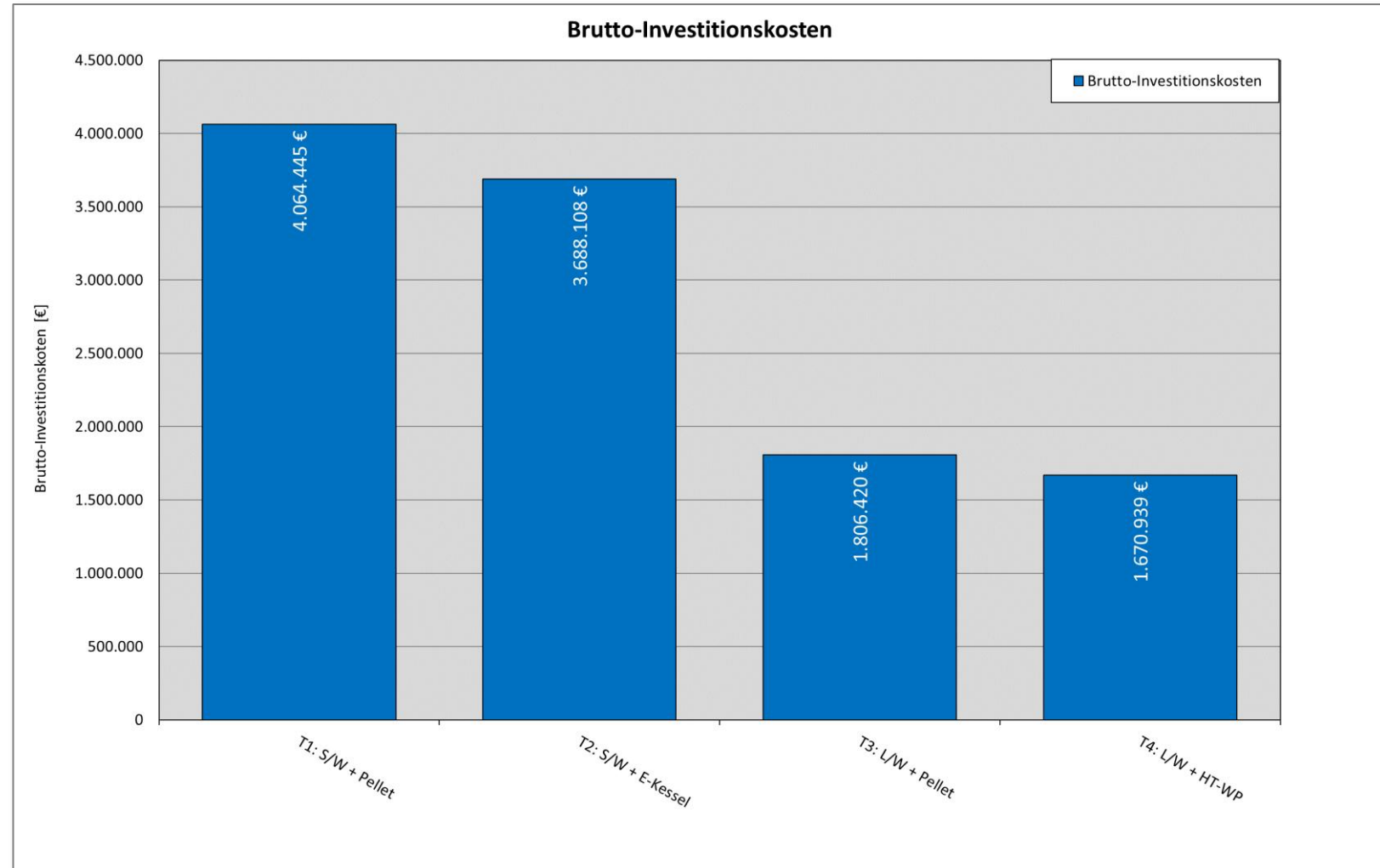
**Ergebnis: Die Investitionskosten für das Erdsondenfeld sind immens, T3 + T4 sind am wirtschaftlichsten.**

**T1: Sole/Wasser-WP mit Pellet-Heizung  
+ passive Kühlung**

**T2: Sole/Wasser-WP mit Elektroheizkessel  
+ passive Kühlung**

**T3: Luft/Wasser-WP mit Pellet-Heizung  
+ aktive Kühlung**

**T4: Luft/Wasser-WP mit Hochtemperatur-WP  
+ aktive Kühlung**





### Brutto-Jahresgesamtkosten

T2+T4 zeigen die höchsten Energiekosten, da beide Spitzenlasterzeuger per Strom betrieben werden. T3 hat im Vergleich zu T1 einen höheren Stromverbrauch, da eine L/W-WP eine schlechtere Jahresarbeitszahl als eine S/W-WP hat. Die Wartungskosten sind bei T1+T2 aufgrund des Wärmetauschers erhöht. Zusätzlich ist in T1 der Wartungsaufwand bei Nutzung eines Pelletkessels erhöht.

### Ergebnis:

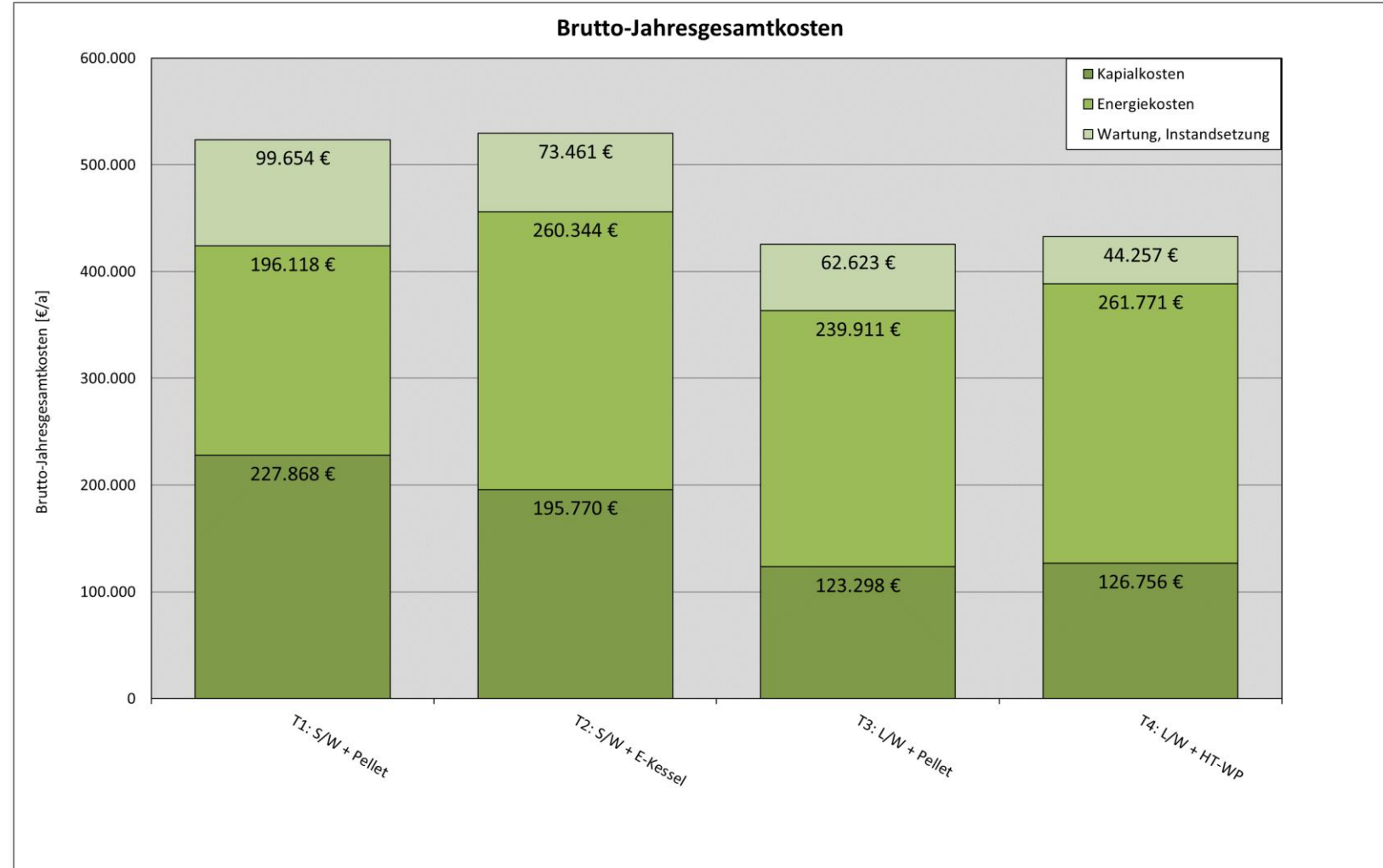
Die Kosten im ersten Jahr des Unterhalts sind bei Variante T3 am geringsten, dicht gefolgt von T4.

**T1: Sole/Wasser-WP mit Pellet-Heizung + passive Kühlung**

**T2: Sole/Wasser-WP mit Elektroheizkessel + passive Kühlung**

**T3: Luft/Wasser-WP mit Pellet-Heizung + aktive Kühlung**

**T4: Luft/Wasser-WP mit Hochtemperatur-WP + aktive Kühlung**





**Kumulierte Brutto-Jahresgesamtkosten:**

Dargestellt sind die kumulierten Jahresgesamtkosten über 40 Jahre mit einer Energiepreiserhöhung von 5 %.

**Ergebnis:** Es zeigt sich über einen Zeitraum von 40 Jahren, dass die kumulierten Brutto-Kosten bei Variante T3 am geringsten sind.

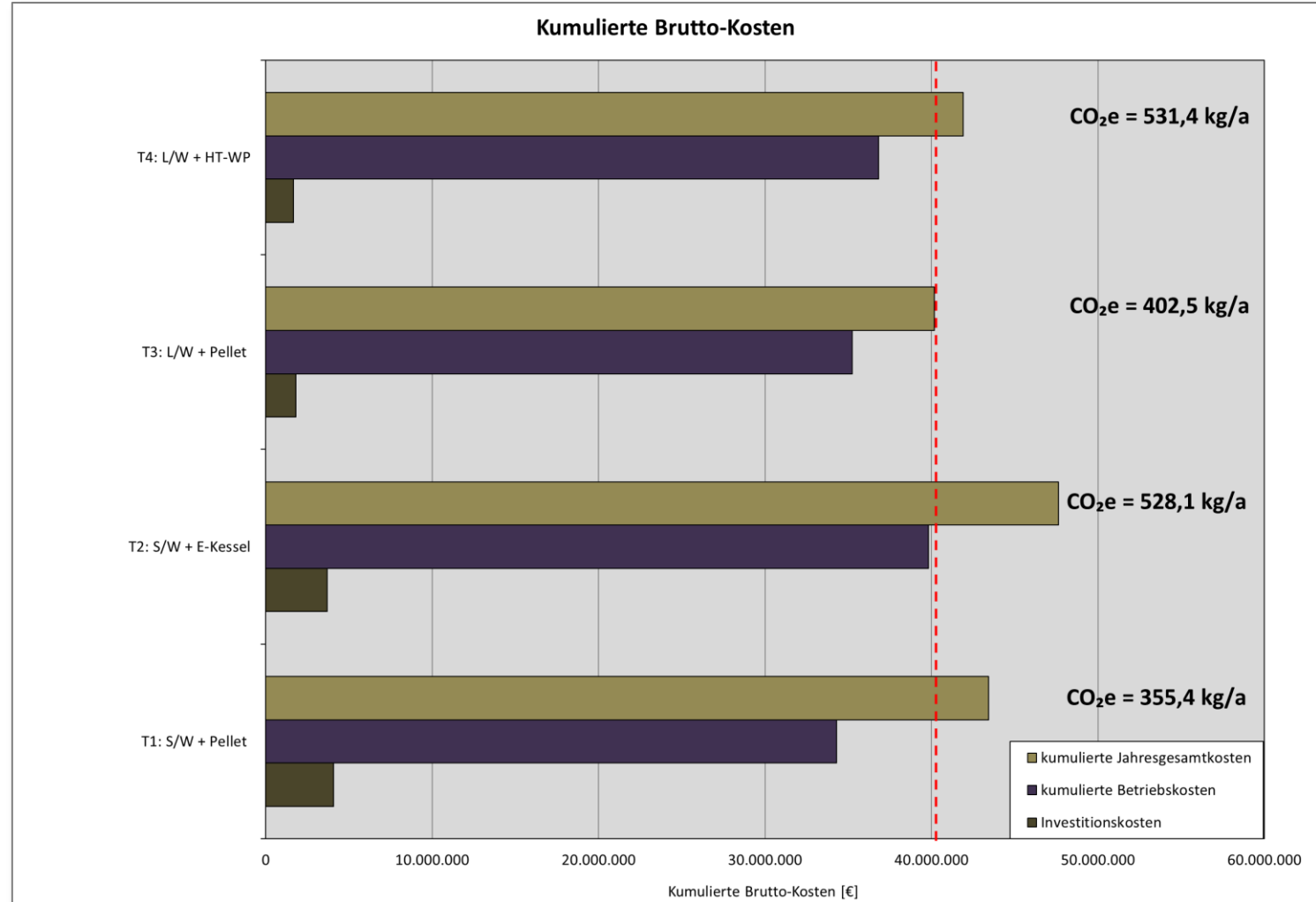
Nach CO<sub>2</sub>-Emissionen ist Variante T1 am besten, gefolgt von T3.

**T1:** Sole/Wasser-WP mit Pellet-Heizung + passive Kühlung

**T2:** Sole/Wasser-WP mit Elektroheizkessel + passive Kühlung

**T3:** Luft/Wasser-WP mit Pellet-Heizung + aktive Kühlung

**T4:** Luft/Wasser-WP mit Hochtemperatur-WP + aktive Kühlung



## Inhalt

- Entwicklung des Energieverbrauchs in den Sektoren – Der Weg zur Emissionsneutralität
- Effizienzmaßnahmen im Bereich Hochbau – Förderung von Effizienzmaßnahmen
- Effizienzmaßnahmen im Bereich Technik – Wärmeerzeuger im Alt- und Neubau
- Anforderungsebenen der Energiekonzeptentwicklung
- Optionen der Lastermittlung – vom Kennwert – Vollbenutzungsstunden – Simulation - Monitoring
- Die Rolle von Wärmespeichern in Versorgungssystemen
- **Anwendungsbeispiele**
  - Schulgebäude - Sanierung
  - **Wärmeversorgung von Kirchen**
  - Geothermie in Produktionsgebäuden
  - Nachhaltigkeitskonzepte für Liegenschaften
- Zusammenfassung und Ausblick



## St. Nicolai Kirche Sarstedt

Standort:	Sarstedt
Größe:	3.592 m <sup>3</sup> (beheiztes Volumen)
Nutzungshäufigkeit:	52 mal pro Jahr (durchschnittlich)
Anzahl Besucher :	50...100 (durchschnittlich pro Veranstaltung)
Basis-Temperierung:	8 °C
Aufheiz-Temperierung:	16 °C
Vorhandene Anschlüsse:	Gas
Bestehender Wärmeerzeuger:	Gasheizkessel
Wärmeübergabesystem im Bestand:	Bankradiatoren, Wandheizkörper

## Aktueller Ansatz zur Heizlastermittlung in Kirchen



St. Nicolai Kirche Sarstedt



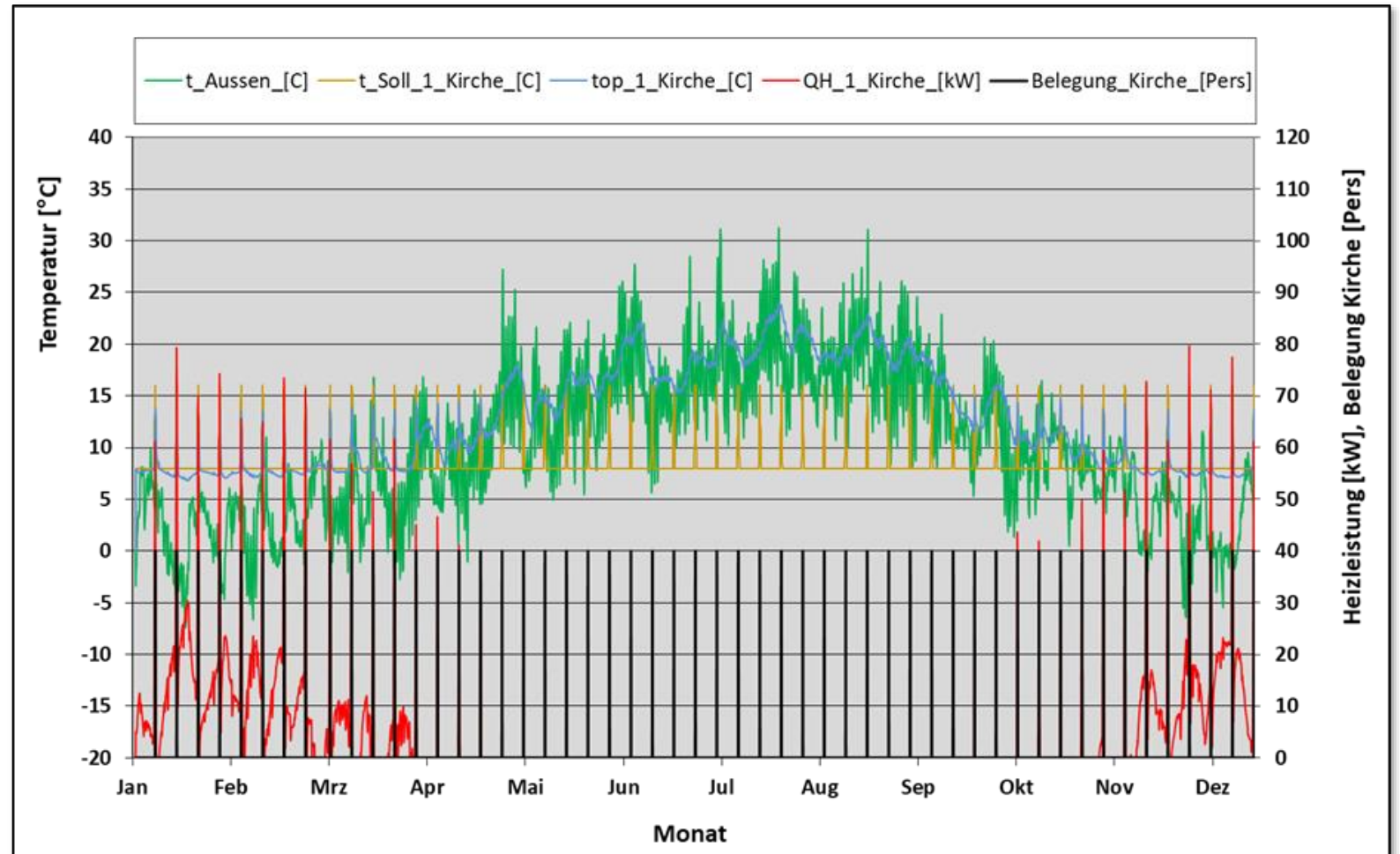
## Randbedingungen – tabellarische Übersicht

Zone / Nutzungsbereich	1 - Kirche	2 - Nebenraum Kirche	3 - Vorraum Kirche	4 - Turm	5 - Dach	6 - Turmdach
Netto-Volumen	3 230.8 m <sup>3</sup>	160.6 m <sup>3</sup>	200.0 m <sup>3</sup>	212.0 m <sup>3</sup>	945.0 m <sup>3</sup>	80.0 m <sup>3</sup>
Bezugsfläche (NGF)	315.0 m <sup>2</sup>	30.2 m <sup>2</sup>	40.0 m <sup>2</sup>	40.0 m <sup>2</sup>	315.0 m <sup>2</sup>	40.0 m <sup>2</sup>
Nutzungszeit	So 09:00 - 12:00 Uhr	So 09:00 - 12:00 Uhr	So 09:00 - 12:00 Uhr	-	-	-
Personen	40	-	-	-	-	-
Interne Gewinne (Personenabwärme)	80 W/Pers	-	-	-	-	-
Interne Gewinne (Personenabwärme)	3 200 W	0 W	0 W	0 W	0 W	0 W
Interne Gewinne (Geräteabwärme)	0.00 W/m <sup>2</sup>	-	-	-	-	-
Interne Gewinne (Beleuchtung)	0.00 W/m <sup>2</sup>	-	-	-	-	-
Interne Gewinne (Geräte u. Beleuchtung)	0 W	0 W	0 W	0 W	0 W	0 W
Interne Gewinne gesamt	<b>3 200 W</b>	<b>0 W</b>	<b>0 W</b>	<b>0 W</b>	<b>0 W</b>	<b>0 W</b>
Feuchtegewinne	50 g / (h Pers)	-	-	-	-	-
Infiltration	0.10 1/h	0.10 1/h	0.10 1/h	0.20 1/h	0.20 1/h	0.20 1/h
Zuluftmenge, Lüftung, ca.	0 m <sup>3</sup> /h	0 m <sup>3</sup> /h	0 m <sup>3</sup> /h	0 m <sup>3</sup> /h	0 m <sup>3</sup> /h	0 m <sup>3</sup> /h
Luftwechsel, Lüftung, ca.	0.00 1/h	0.00 1/h	0.00 1/h	0.00 1/h	0.00 1/h	0.00 1/h
Wärmerückgewinnung - WRG	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
Feuchterückgewinnung - FRG	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
Temperaturprofil	7°C, mit Rampe auf 14°C, Varianten	7°C, mit Rampe auf 14°C, Varianten	7°C, mit Rampe auf 14°C, Varianten	unbeheizt	unbeheizt	unbeheizt
Zulufttemperatur	Außen	Außen	Außen	Außen	Außen	Außen
	Fenster	Fenster	Fenster	Fenster	Fenster	Fenster



## St. Nicolai Kirche Sarstedt

Ergebnis der Simulation – Verlauf von  
Temperaturen, Feuchte und Heizlast,  
hier 16/8°C - Betrieb



## St. Nicolai Kirche Sarstedt

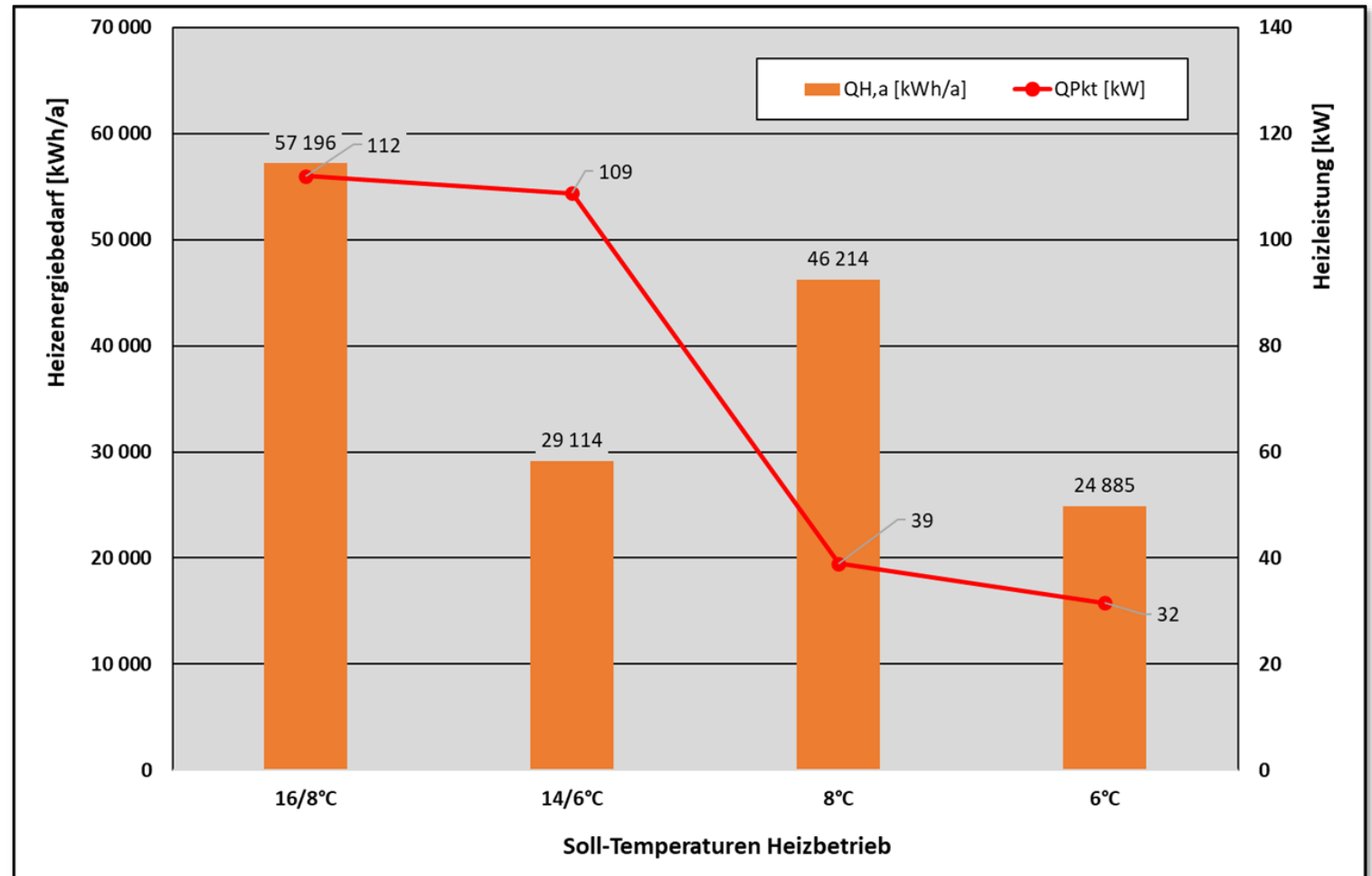
Ergebnis der Simulation:

Energetische Kennwerte für 16/8 °C

Heizlast 112 kW

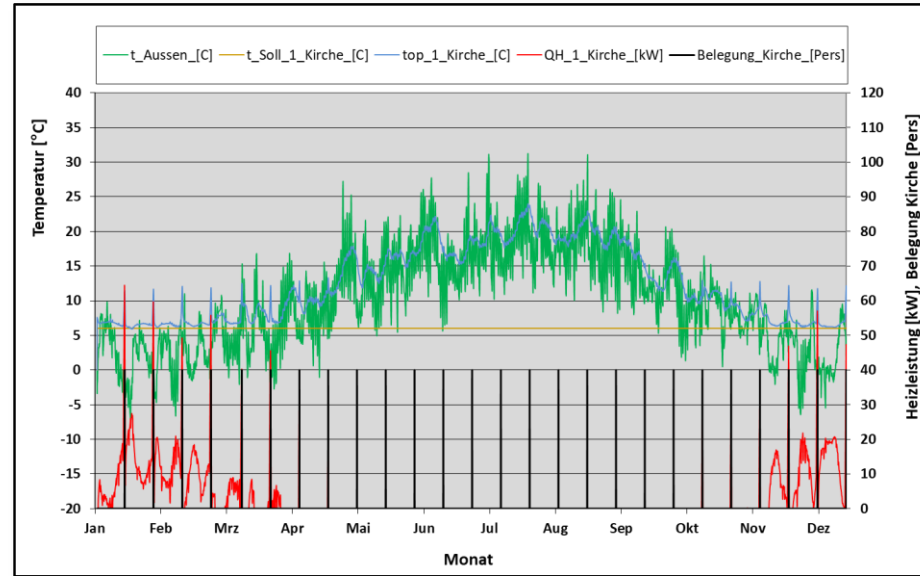
Jahreswärmebedarf 57.196 kWh/a

Aufheizbetrieb mit 1,0 K/h



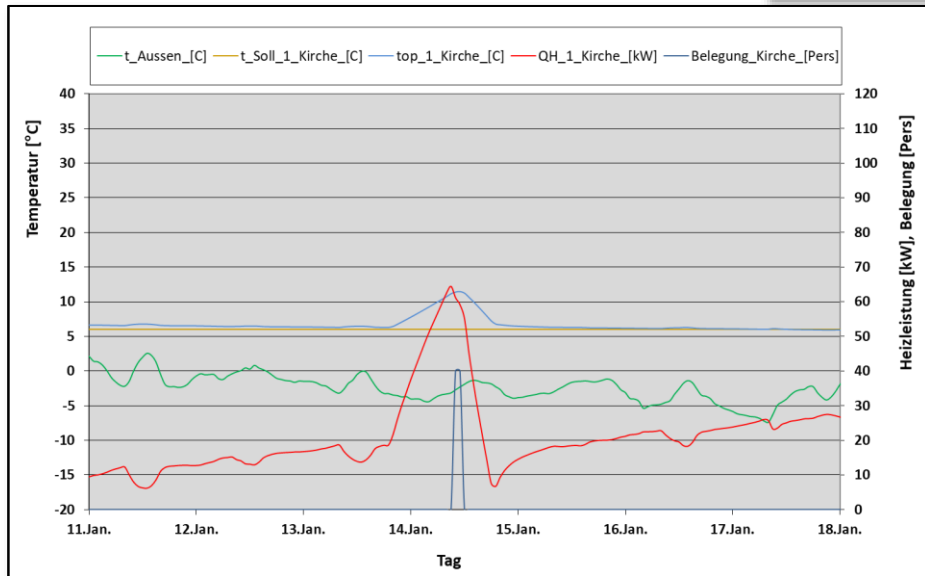
**St. Nicolai Kirche Sarstedt**

Ergebnis der Simulation – Verlauf von  
Temperaturen und Heizlast,  
hier 14/7°C - Betrieb

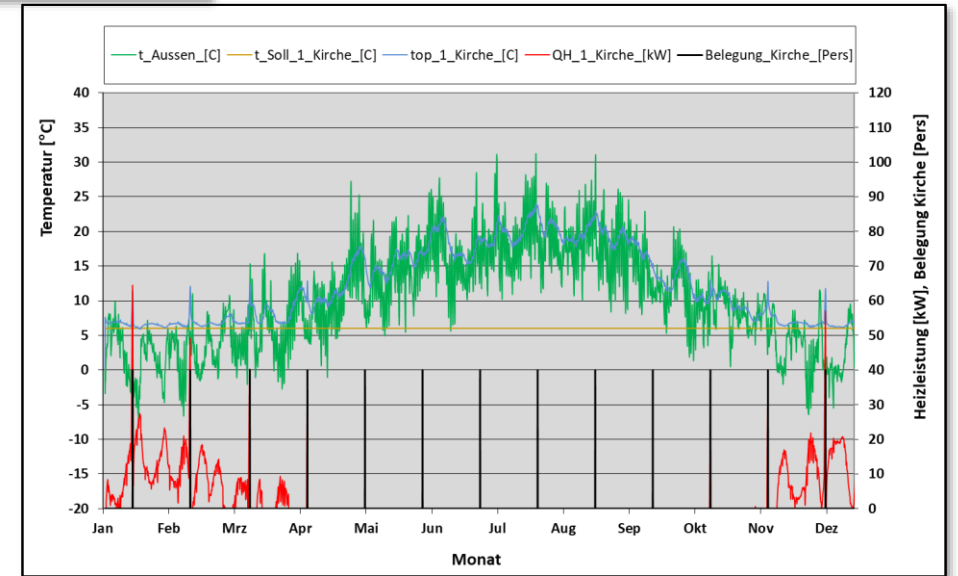


Temperatur 14/7°C und  
2 x Gottesdienst im Monat

Temperatur 14/7°C und  
1 x Gottesdienst im Monat



Temperatur 14/7°C und  
Rampe 0,5 K/h im Aufheizbetrieb



## St. Nicolai Kirche Sarstedt

Ergebnis der Simulation:

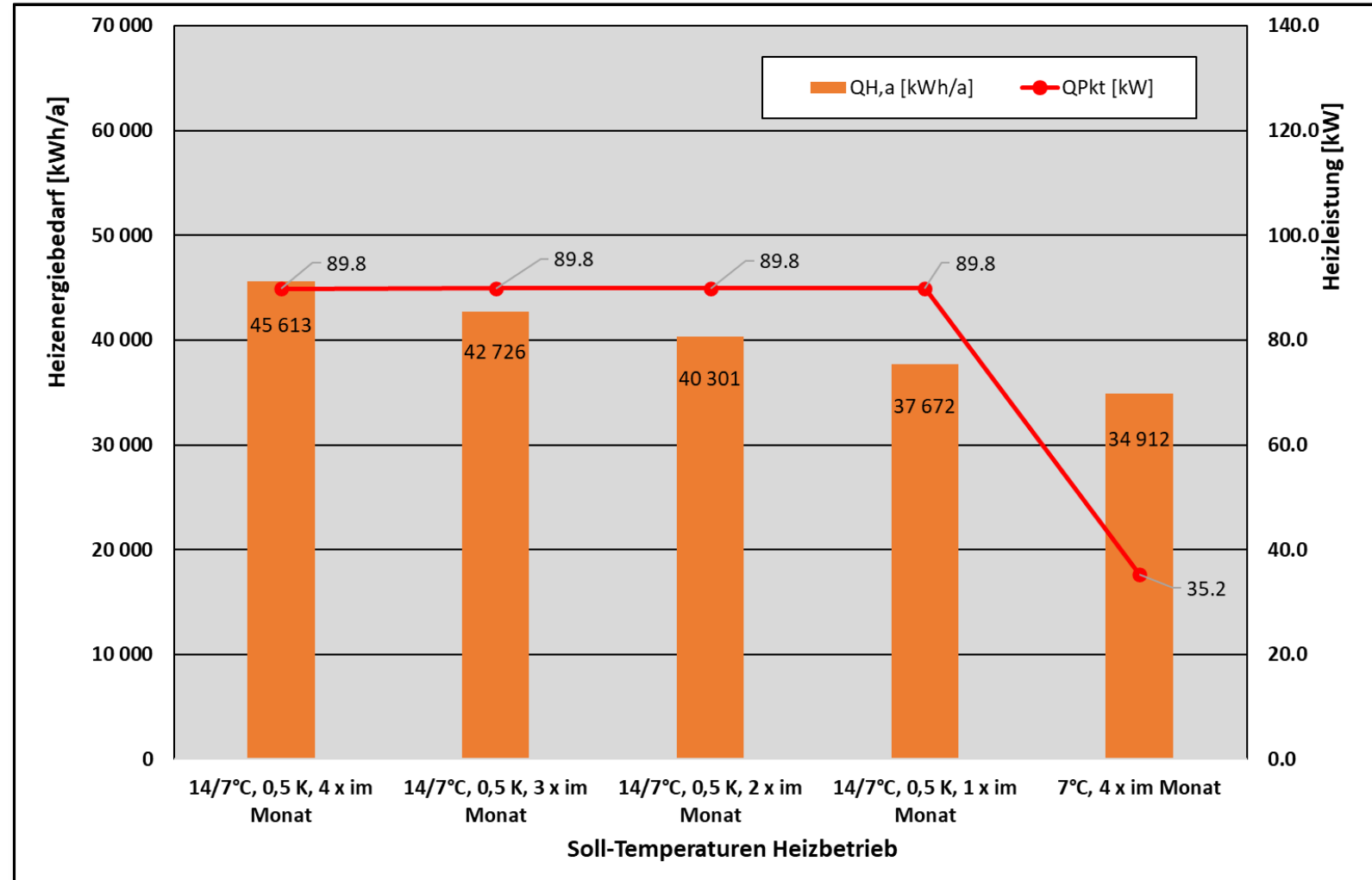
Energetische Kennwerte für 14/7 °C

- Heizlast 90 kW
- Jahreswärmebedarf 45 613 kWh/a
- Aufheizbetrieb mit 0,5 K/h und
  - Absenkbetrieb 1,0 K/h

Veranstaltungen in der Kirche bei Beheizung auf 14°C

- 1 x, 2 x, 3 x und 4x im Monat

Ergänzend wird eine Temperierung der Kirche auf 7°C betrachtet



## Inhalt

- Entwicklung des Energieverbrauchs in den Sektoren – Der Weg zur Emissionsneutralität
- Effizienzmaßnahmen im Bereich Hochbau – Förderung von Effizienzmaßnahmen
- Effizienzmaßnahmen im Bereich Technik – Wärmeerzeuger im Alt- und Neubau
- Anforderungsebenen der Energiekonzeptentwicklung
- Optionen der Lastermittlung – vom Kennwert – Vollbenutzungsstunden – Simulation - Monitoring
- Die Rolle von Wärmespeichern in Versorgungssystemen
- **Anwendungsbeispiele**
  - Schulgebäude - Sanierung
  - Wärmeversorgung von Kirchen
  - **Geothermie in Produktionsgebäuden**
  - Nachhaltigkeitskonzepte für Liegenschaften
- Zusammenfassung und Ausblick

## VW AG Standort Emden, Halle 18

Produktionsgebäude der Volkswagen AG in Emden

- Produktionshalle zur Herstellung von Karosserieteilen in der PKW-Fertigung mit anteiligen Bürobereichen
- Thermische aktivierte Pfahlgründung des Hallenbaus mit 64.000 m<sup>2</sup> Grundfläche
- Integration der Energiepfähle in die Wärme- und Kälteversorgung der Halle und der Produktion



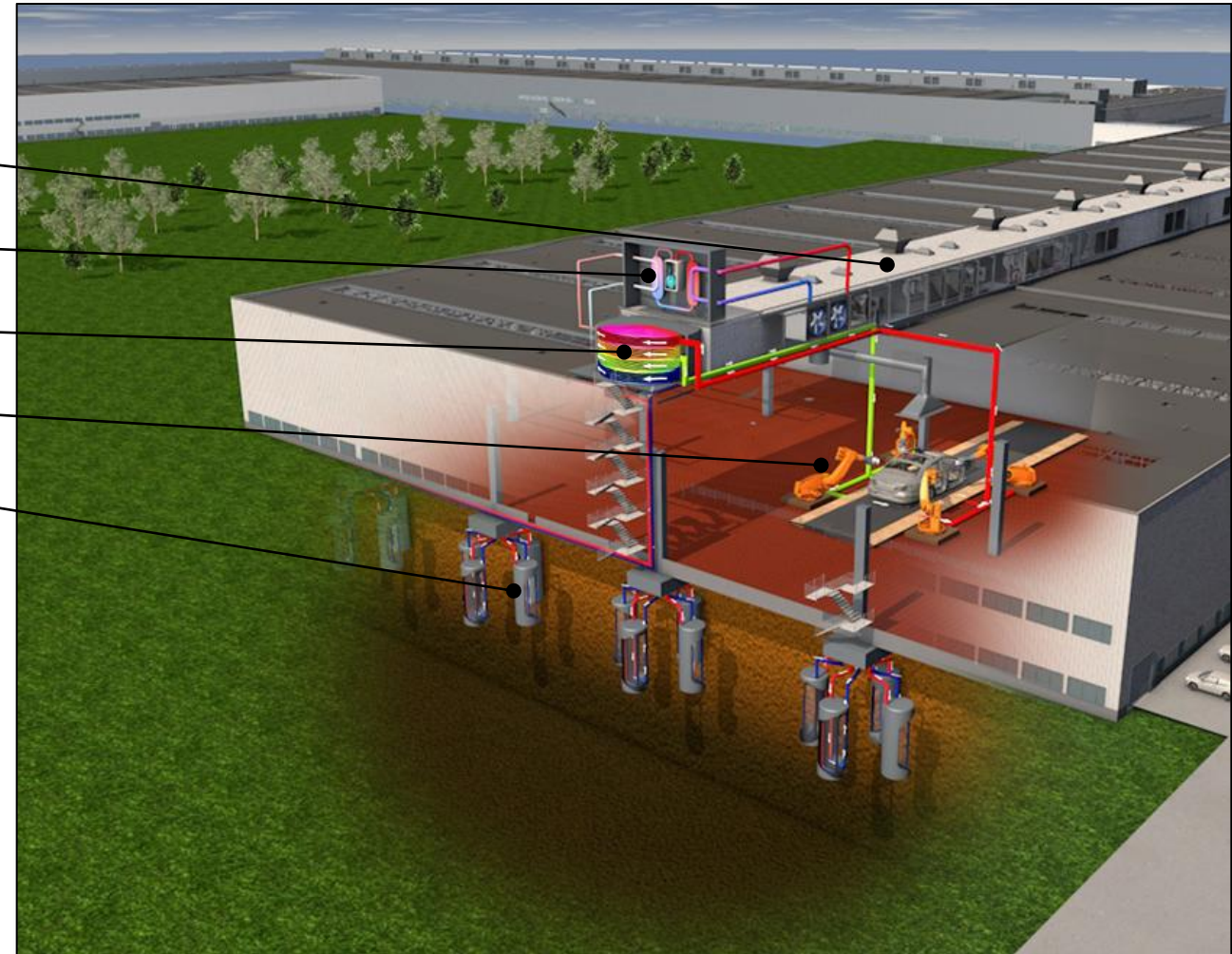
Lüftungsanlagen

Wärmepumpe

Speicher

Schweißroboter

Energiepfähle



## VW AG Standort Emden, Halle 18

- Produktionshalle mit 64.000 m<sup>2</sup> Grundfläche (ca. 530 x 120 m)
- Pfahlgründung mit ca. 5.000 Pfählen (Durchmesser: 40 cm) mit einer Tiefe von 17,5 m
- 3.300 Pfähle sind als Energiepfähle integriert
- Die von den Schweißrobotern erzeugte Wärme wird im Untergrund gespeichert und kann über 4 Wärmepumpen (je 1,43 MW, 45/33°C) in 4 Hallenteilen zum Heizen genutzt werden
- Zur Beheizung der Halle sind zentrale Lüftungsanlagen mit 45 °C Wasservorlauftemperatur installiert
- Die Energiepfähle enthalten ein Doppel-U-Rohr aus PE 100, 25 x 2,3
- Eine weitere Komponente ist ein geschichteter Wasserspeicher (Zortström-Verteiler), der unterschiedliche Temperaturniveaus in verschiedenen Höhen bietet

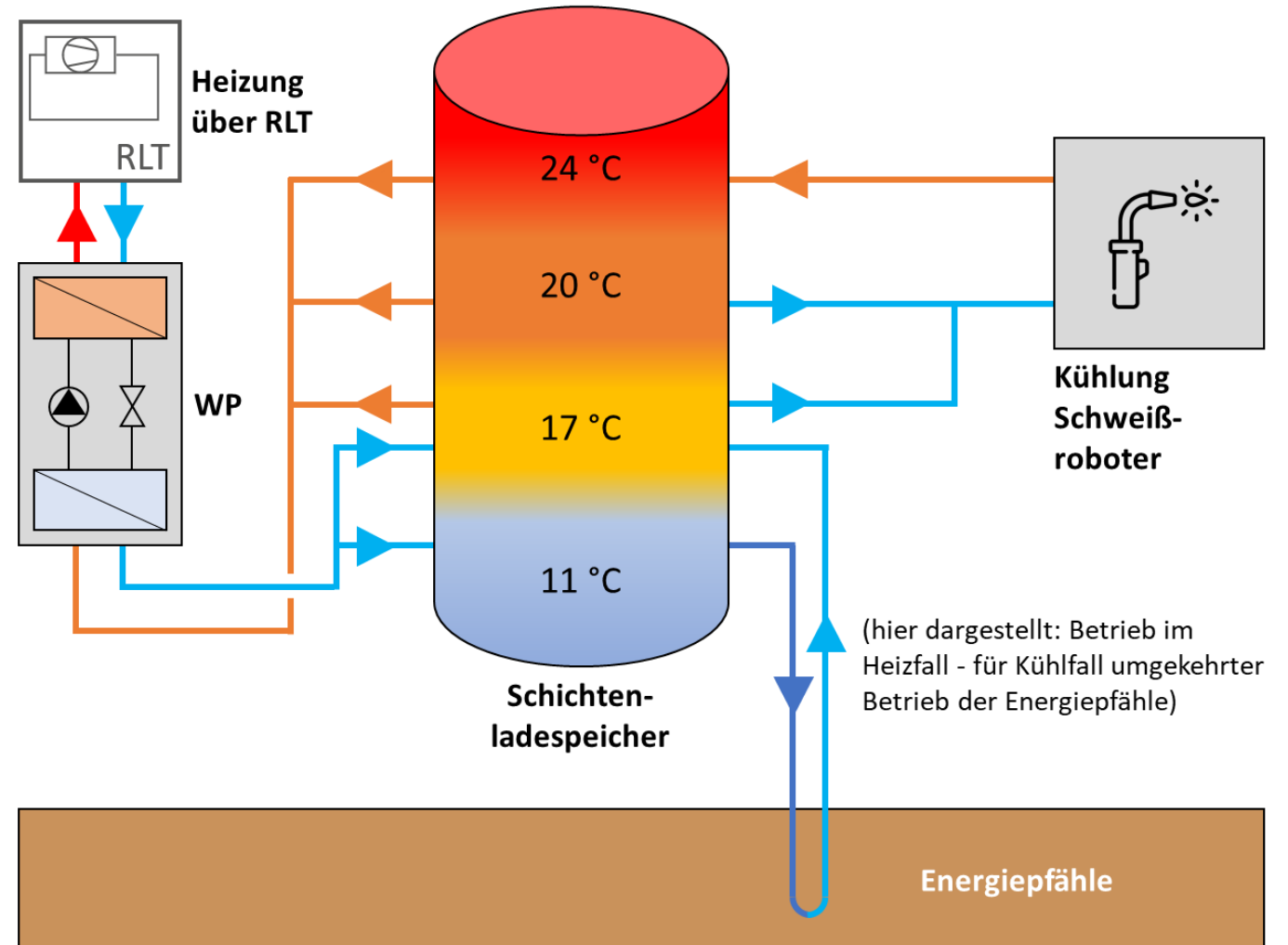


### VW AG Emden – Energieversorgungsschema

- geschichteter Wasserspeicher (Zortström-Verteiler) als hydraulische Weiche
- Wärmepumpe hebt Temperatur auf 45 °C Vorlauftemperatur für die RLT-Anlagen an
- Schweißroboter werden mit ca. 20 °C Vorlauftemperatur gekühlt, Abwärme wird in Speicher eingespeist
- Die Energiepfähle im Erdreich dienen je nach Bedarf als Wärmequelle oder -Senke

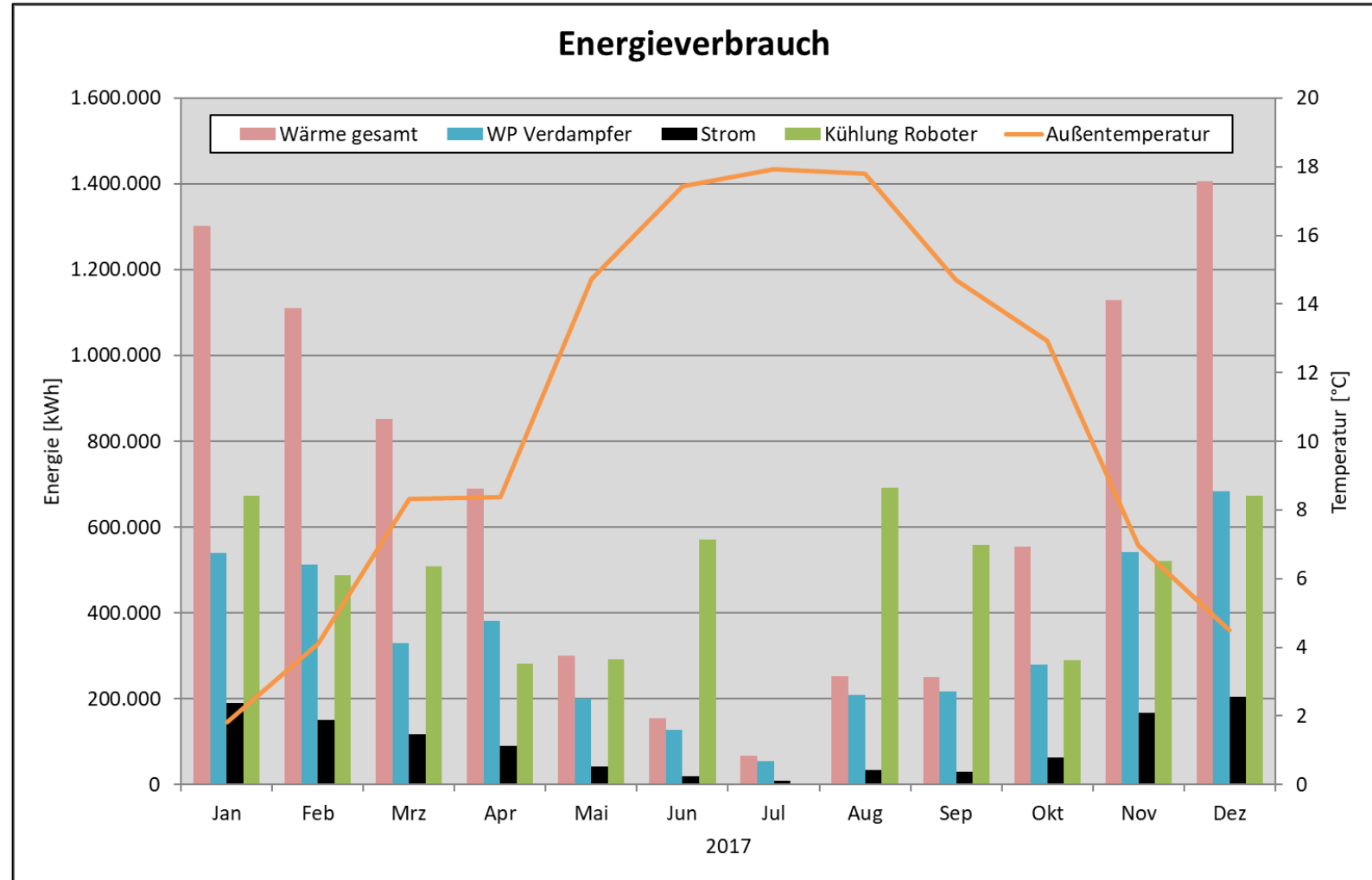


Am Standort in der Halle 18 im VW Werk Emden umgesetzter „flinker Speicher“



VW AG Emden – Monitoring Energieverbräuche – Jahresbilanz

- Wärmemenge aus der Roboterkühlung ist nicht jahreszeitlich abhängig, sondern annähernd konstant über das ganze Jahr (im Juli gering wegen Werksferien)
- Wärmebedarf zur Beheizung des Gebäudes ist abhängig von den Außentemperaturen

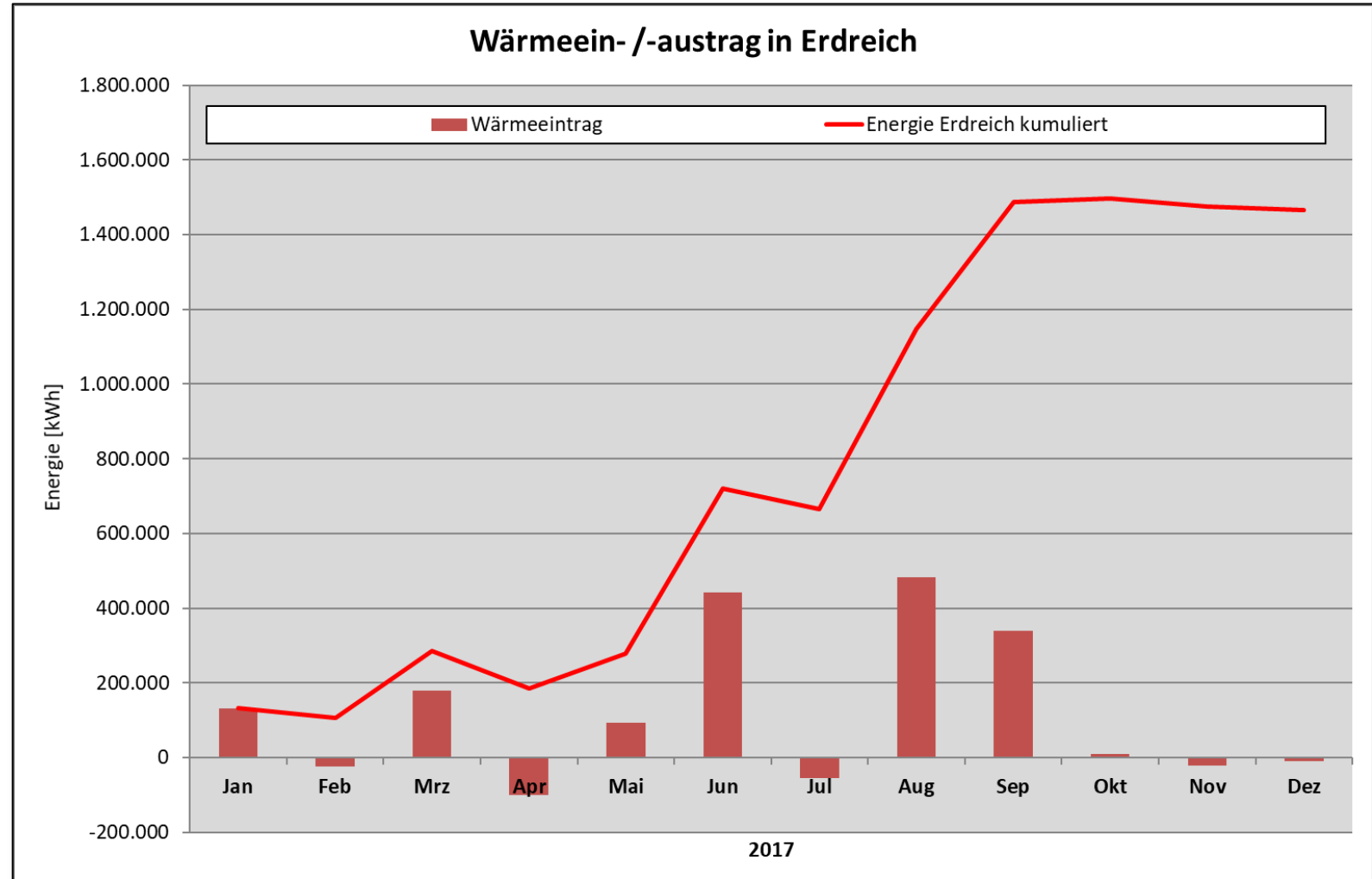


Verlauf des Wärme- und Kältebedarfs der Halle 18 im VW Werk Emden

## VW AG Emden – Monitoring Energieverbräuche – Bilanz Erdreich

- im Sommer werden die größten Wärmemengen in das Erdreich eingespeist
- in den Wintermonaten wird jedoch nicht die gleiche Wärmemenge entnommen
- sogar in einigen Wintermonaten erfolgt Einspeisung
- rote Linie zeigt die sich daraus ergebende Summe der Energie, die im Erdreich gespeichert ist
- bei ausgeglichenem Betrieb wäre ein annähernd sinus-förmiger Verlauf der kumulierten Energie zu erwarten, der nach einem Jahr etwa den gleichen Wert anzeigt
- im gesamten Jahresverlauf wurden ca. 1.500 MWh Abwärme aus den Robotern in die Erde eingespeichert

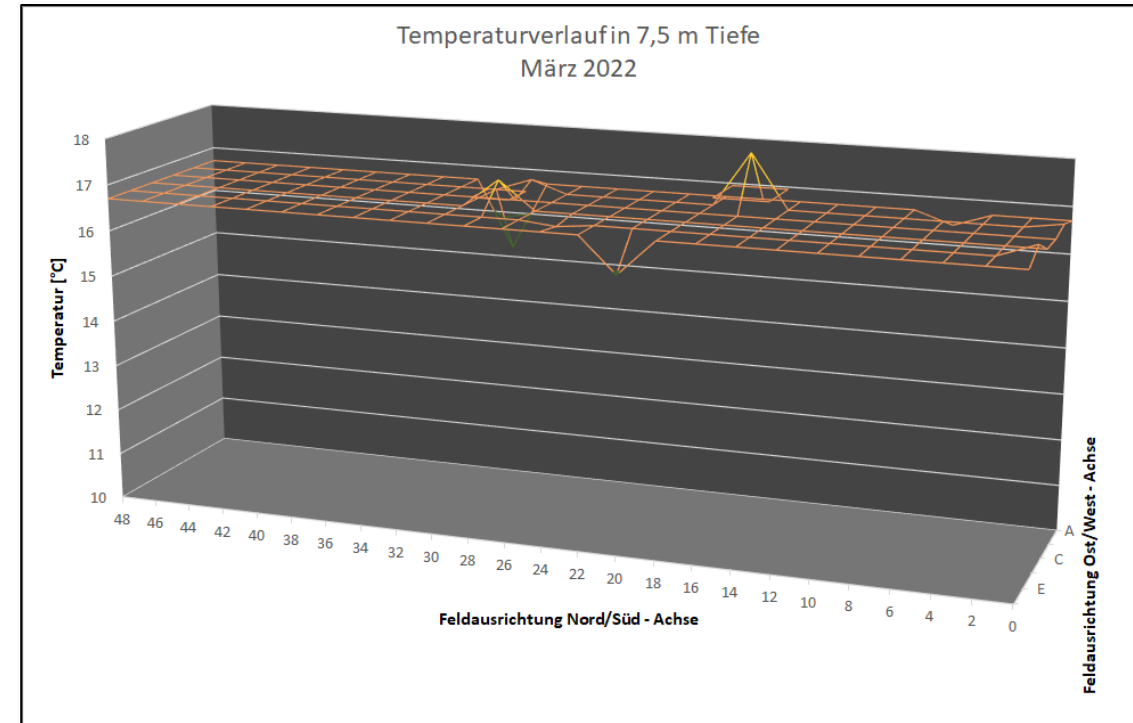
Verlauf des Wärmeentzugs bzw. der Wärmeeinspeisung ins Erdreich der Halle 18 im VW Werk Emden



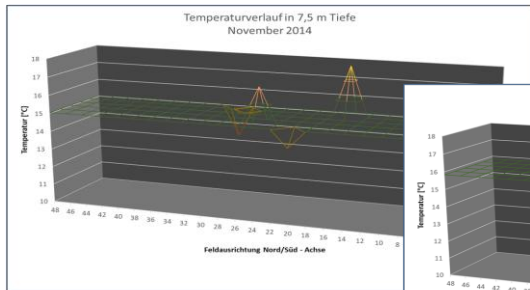
## VW AG Emden – Monitoring Temperaturverlauf im Erdreich

- Dauerhaft größerer Wärmeeintrag als -Entzug führt zu einer Erhöhung der Erdreichtemperatur

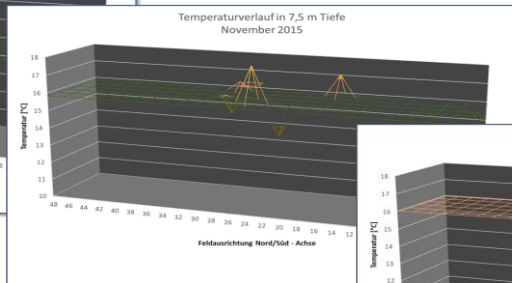
**März 2022**  
Durchschnittl.  
Temperatur: : 16,7 °C



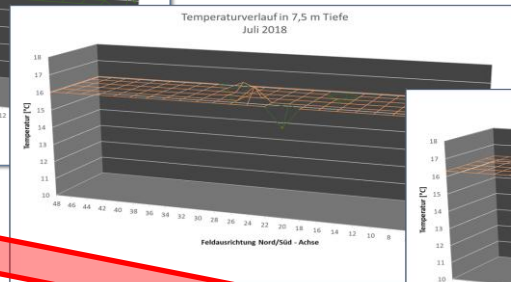
**November 2014**  
Durchschnittl. Temperatur: 15,0 °C



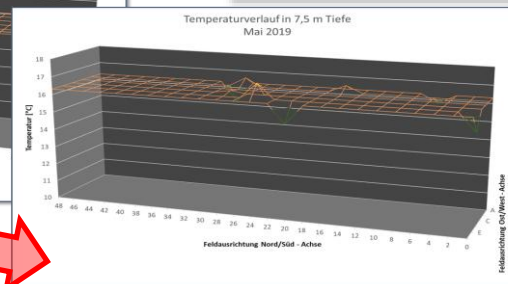
**November 2015**  
Durchschnittl.  
Temperatur: 15,8 °C



**Juli 2018**  
Durchschnittl.  
Temperatur: 16,0 °C



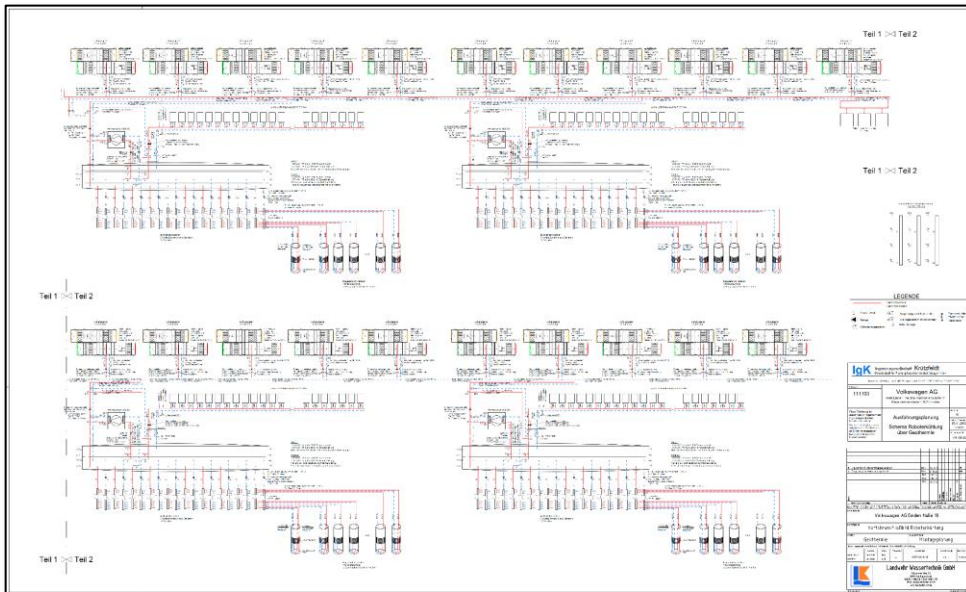
**Mai 2019**  
Durchschnittl.  
Temperatur: 16,3 °C



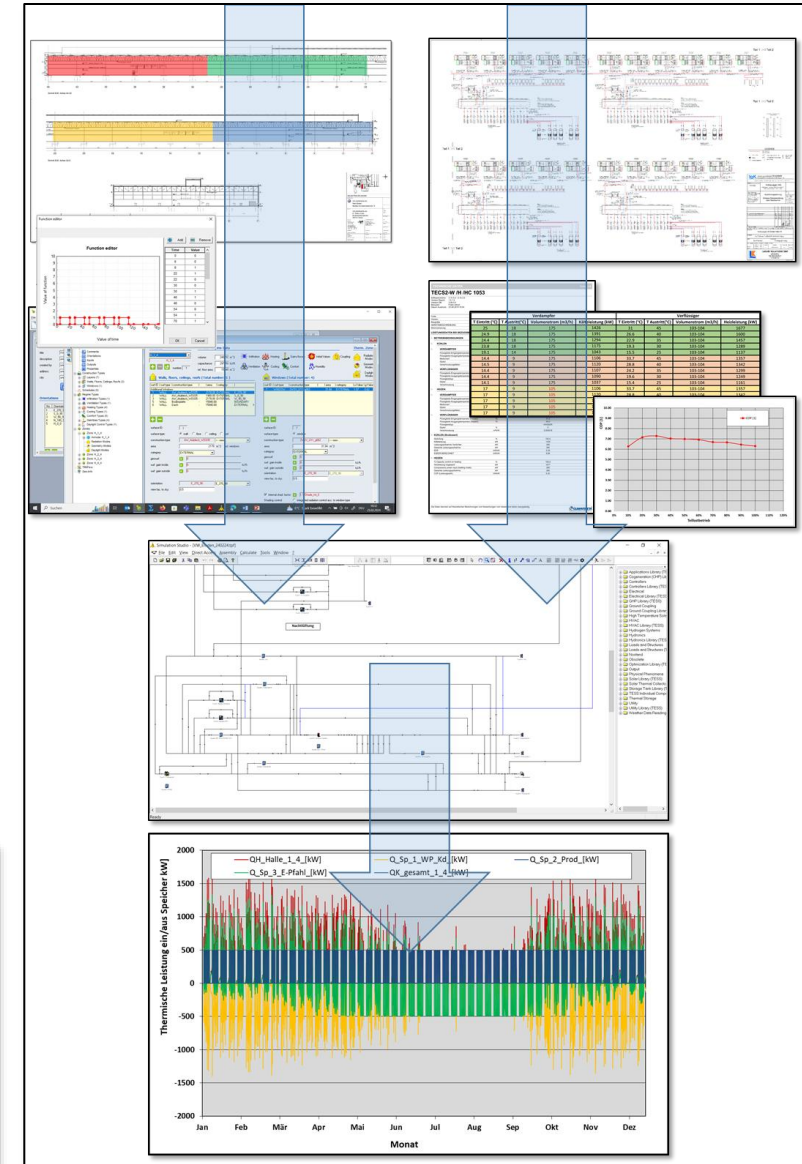
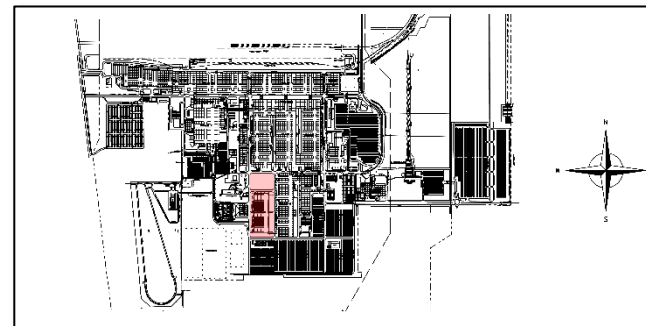
## VW AG Emden - Abbildung des Gebäudes und der Anlagentechnik im Simulationsmodell

- Modellierung nach Planungsunterlagen mit Anpassung an die Ausführung
- Abbildung in 4 Zonen entsprechend der ursprünglichen Zuordnung der Wärmepumpeneinheiten
- Anpassung von internen Lasten und Randbedingungen in der Produktion

## Anlagenschema Heizung/Kühlung für Halle 18 im VW Werk Emden

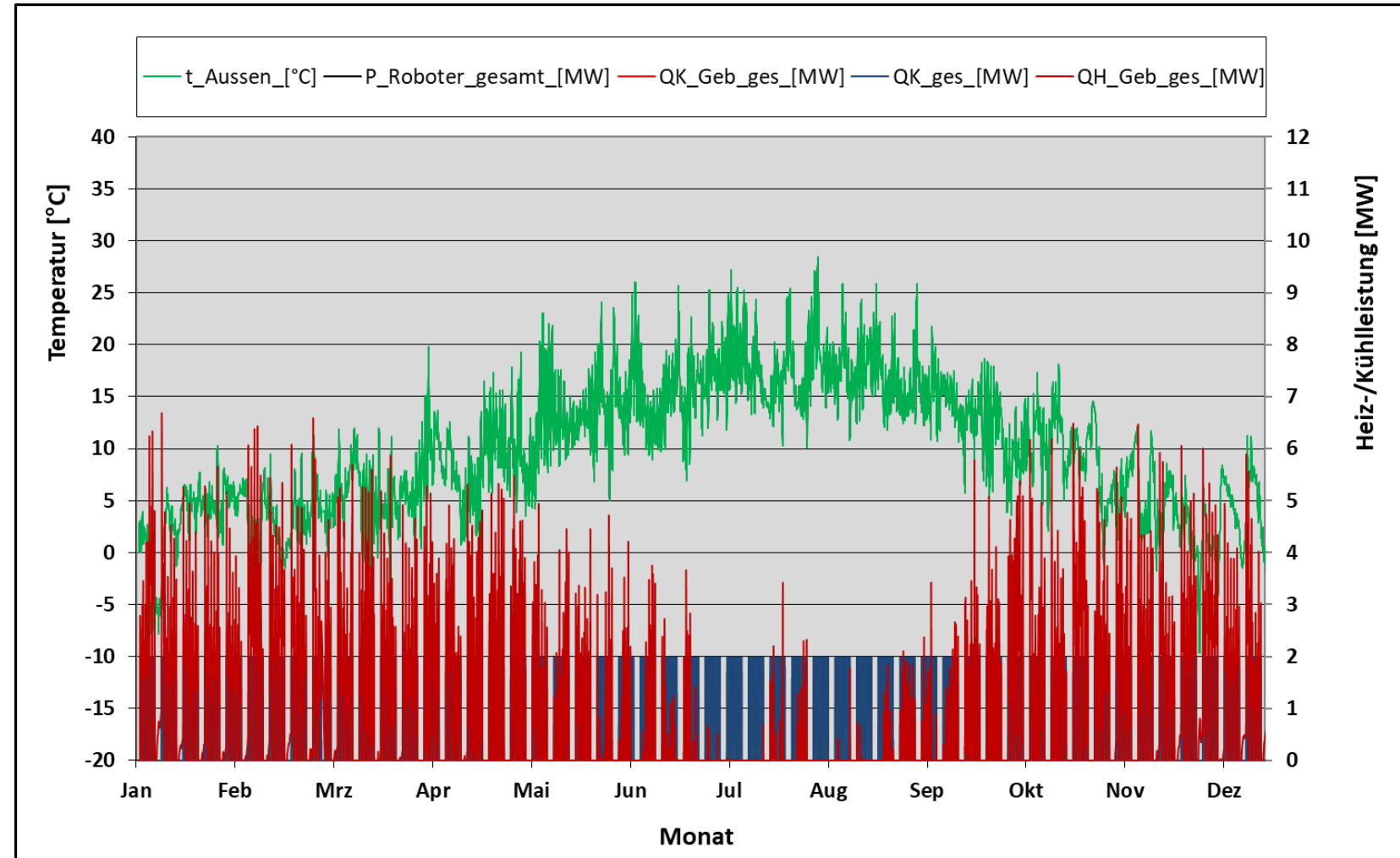


## Lage der Halle 18 im VW Werk Emden



### VW AG Emden – Simulationsergebnisse – Jahresverlauf des Kälte- und Wärmebedarfs

- konstanter Betrieb der Schweißroboter mit entsprechendem Kältebedarf
- außentemperaturabhängiger Wärmebedarf zur Beheizung des Gebäudes

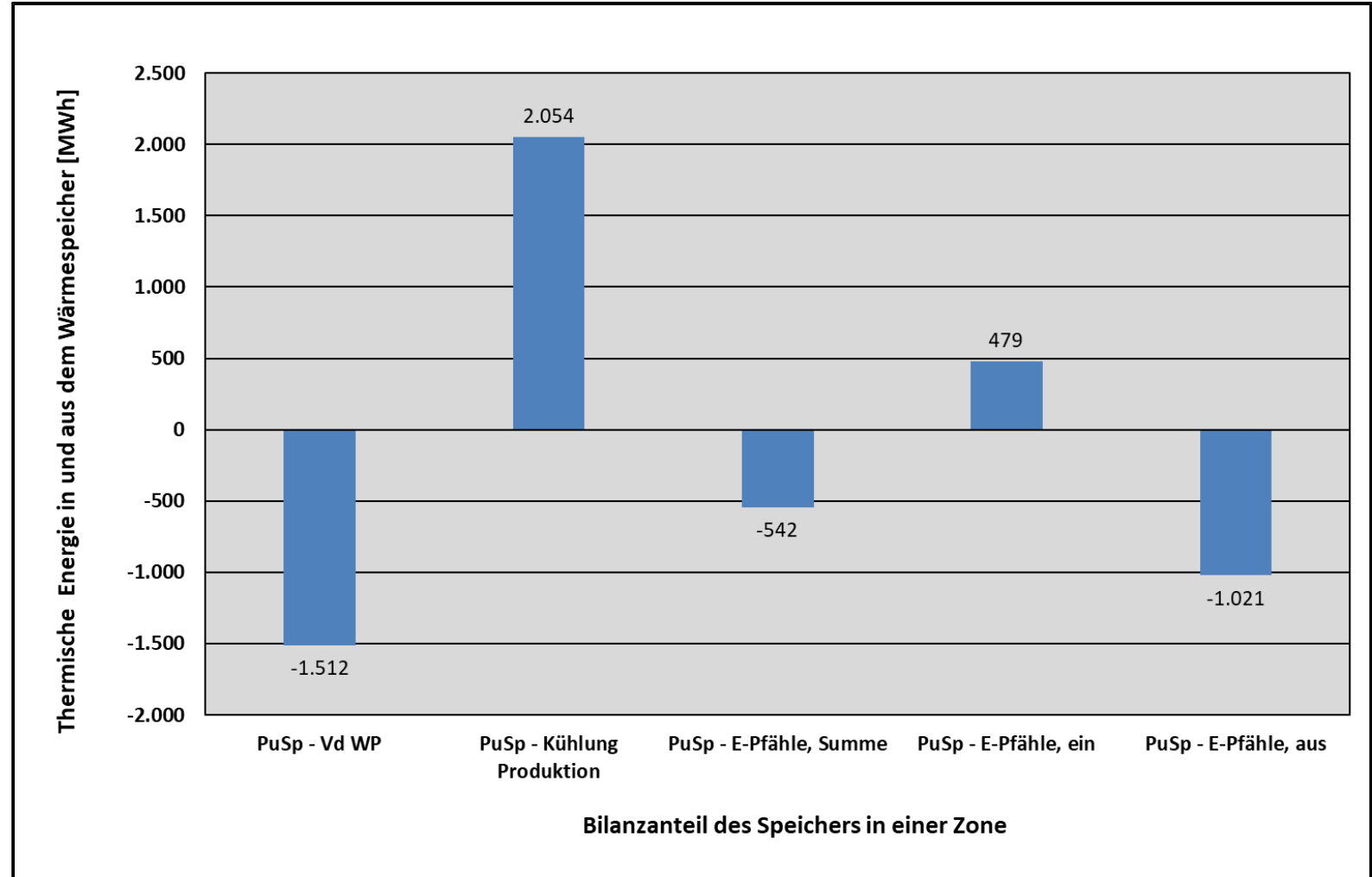
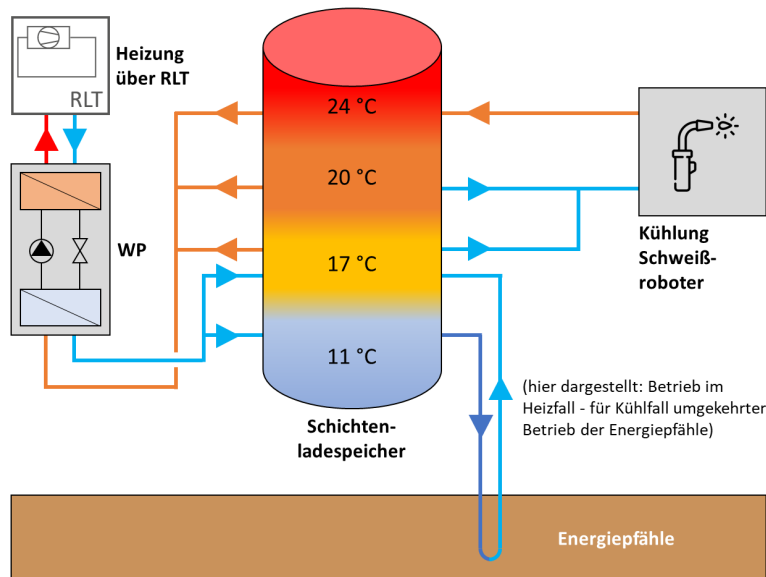


Verlauf des Wärme- und Kältebedarfs der Halle 18 im VW Werk Emden

VW AG Emden – Simulationsergebnisse – Jahresverlauf des Kälte- und Wärmebedarfs

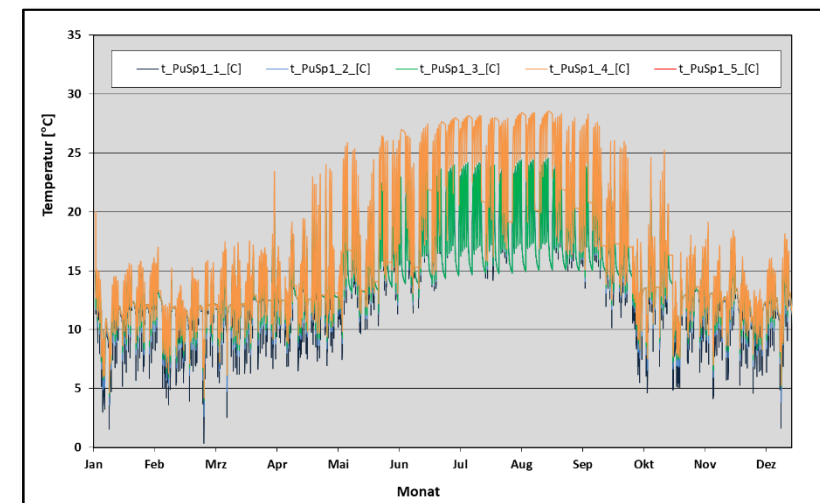
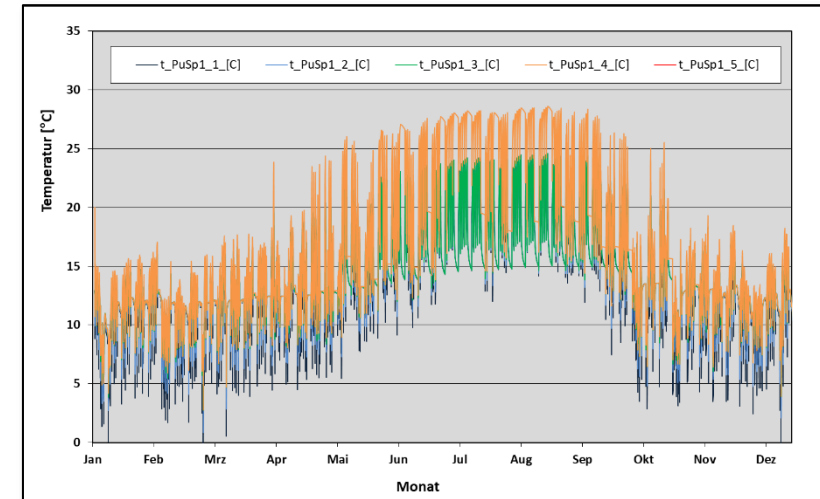
Wärmeüberschuss in der Halle 18

Mit der sich so bilanziell ergebenden Überwärmung des Erdreichs ergibt sich eine Zunahme der Temperatur im Erdreich, die hier zu einem Wert von  $\Delta\theta_{\text{Erdreich}} = 0,23 \text{ K}$  im Betrachtungszeitraum eines Jahres führt.



## VW AG Emden – Simulationsergebnisse – Speichervariationen

- Umgesetztes Volumen/Leistungs-Verhältnis von unter 5 l/kW (1.677 kW WP / 7,5 m<sup>3</sup> Volumen)
- erscheint sehr gering, zeigt sich aber in der Praxis als taugliche Größe in Kombination mit einer funktionierenden Schichtenladeeinrichtung
- Variationen von bis zu 35 l/kW Speichervolumen haben keine signifikante Veränderung von Temperaturverlauf und Speicherbilanz ergeben (*siehe Bilder rechts – oben: 5 l/kW, unten: 35 l/kW*)
- Speicher übernimmt damit im System lediglich die Funktion einer hydraulischen Weiche und einer temperaturgeführten Verteileinrichtung der ein- und austretenden Wärmeströme
- **im Gegensatz zur Erhöhung der Speichergröße hat sich im Betrieb die Notwendigkeit der Integration einer Schnittstelle am Speicher zur Auskopplung überschüssiger Wärme aus der Produktion in das Verteilnetz am Standort ergeben**
- **ermöglicht über Anhebung des Temperaturniveaus über die Wärmepumpe die Nutzbarmachung von überschüssiger Produktionsabwärme für andere Bereichen des Standortes**
- **Anhebung des Temperaturniveaus im Erdreich sowie in der Rückspeisung von Kühlwasser in die Produktion kann wirksam vermieden werden**
- **wesentlicher identifizierter Verbesserungspunkt im Bereich der Wärmeversorgung an diesem Standort und zur Optimierung der Nutzung des trägen Speichersystems**



## Quervergleich der Konzeptansätze flinker und träger Speichersysteme

geothermische Anlagen als träge Speichersysteme	herkömmliche Pufferspeicher als flinke Speichersysteme
geringes Temperaturniveau ➤ Option des „direct-cooling“-Betriebs ➤ bei Benötigung von höheren Temperaturniveaus ist die Einbindung von Wärmepumpen notwendig	höheres Temperaturniveau ➤ keine Option des „direct-cooling“-Betriebs ➤ höhere Temperaturniveaus ohne Einbindung von Wärmepumpen direkt nutzbar
großes Volumen benötigt, jedoch „nur“ unterirdisch	oberirdischer Platzbedarf im Gebäude bzw. auf dem Gelände der Liegenschaft
Option der saisonalen thermischen Energiespeicherung/Wärmeverschiebung ➤ Reduzierung der Energiekennwerte	nur kurzzeitige Speicherung
Notwendigkeit der Kombination mit einem „flinken“ Speicher als Bindeglied zwischen den auftretenden Wärmeströmen	eigenständiges Speichersystem
Grundlastfähigkeit bei großen umzusetzenden Wärmemengen	

→ Im direkten Vergleich stellt das träge Speichersystem insbesondere für Gewerbe- oder Produktionsgebäude das geeignetere Speichersystem dar.



### Fazit

- Im Projekt geo\_base wurde die Eignung der geothermischen Energienutzung für die Beheizung und Kühlung von Produktionsgebäuden und -prozessen untersucht.
  - Die Integration von thermischen Speichern in Abwärme oder regenerative Energien nutzende thermische Energieversorgungssysteme für Industrie- und Gewerbeanwendungen ist nach den Ergebnissen aus den begleiteten Projekten innerhalb dieses Vorhabens in jedem Fall sinnvoll.
  - Zielvorgaben für die sinnvolle Planung und Auslegung der Geothermienutzung sind ein langzeitliches stabiles Temperaturprofil im Erdreich, das durch eine bereits während der Planungsphase durchgeführte simulative Bewertung erreicht werden kann, sowie die angepasste ergänzende Einbindung von flinken Speichersystemen, um einen effizienten und funktionsgerechten Betrieb zu ermöglichen.
  - Änderungen an der Anlagentechnik und der Regelungsstrategie im Betrieb und Produktionsänderungen (Lastveränderungen), die nicht auf das Geothermiesystem abgestimmt werden, können zu Betriebsproblemen führen.
  - Über ein betriebsbegleitendes Monitoring können bestehende Probleme identifiziert und Optimierungsstrategien erarbeitet werden.
  - Die Überwachung und Bilanzierung des Systemverhaltens in der frühen Betriebsphase helfen, Probleme, Fehlfunktionen und unausgewogenen Betrieb zu erkennen.
  - Eine begleitende Systemsimulation in der Betriebsphase kann dabei helfen, weitere Optimierungsstrategien zu entwickeln.
- **Ausgewogene geothermische Systeme sind in der Lage, die Grundlast zum Heizen und Kühlen von Produktionsgebäuden und -prozessen zu decken und können dazu beitragen, die Emissionen und den Primärenergieverbrauch zu reduzieren. Somit können geothermische Systeme in Gewerbe und Industrie einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten.**

## Inhalt

- Entwicklung des Energieverbrauchs in den Sektoren – Der Weg zur Emissionsneutralität
- Effizienzmaßnahmen im Bereich Hochbau – Förderung von Effizienzmaßnahmen
- Effizienzmaßnahmen im Bereich Technik – Wärmeerzeuger im Alt- und Neubau
- Anforderungsebenen der Energiekonzeptentwicklung
- Optionen der Lastermittlung – vom Kennwert – Vollbenutzungsstunden – Simulation - Monitoring
- Die Rolle von Wärmespeichern in Versorgungssystemen
- **Anwendungsbeispiele**
  - Schulgebäude - Sanierung
  - Wärmeversorgung von Kirchen
  - Geothermie in Produktionsgebäuden
  - **Nachhaltigkeitskonzepte für Liegenschaften**
- Zusammenfassung und Ausblick



## Zusammenfassung und Ausblick

- Die Wärmewende ist noch nicht geschafft, die Herausforderung bleibt groß. Bei reduzierter Sanierungstätigkeit verschiebt sich die Lösung in Richtung Technik
- Im Fall von Sanierungsmaßnahmen geht der Trend bei geförderten Projekten in Richtung höherer Energieeffizienz
- Im Fall von Neubauten sind bei geförderten Projekten Nachhaltigkeitsaspekte (LCA-Analysen, Baustoffbewertung in Richtung Naturkatastrophen, Resilienz gegen Klimaveränderungen ...) zu bewerten
- Wärmepumpen entwickeln sich national und international die Standardlösung in der Wärmeversorgung. Dies gilt insbesondere für Wohngebäude, aber auch im Nichtwohngebäudebereich bieten sich Potenziale für Wärmepumpenlösungen
- Die Lastermittlung muss objektbezogen und bei komplexen Strukturen mit höherem Aufwand betrieben werden. Anforderungen hinsichtlich Nutzerkomfort haben in Nichtwohn- und auch in Wohngebäuden wesentlichen Einfluss auf die Lösungsfindung
- Speicher stellen in jedem Fall eine sinnvolle Maßnahme in Energieversorgungskonzepten dar, eine Geothermieanbindung mit Grundlastqualitäten lässt sich auch in die Versorgung von Produktionsstätten mit Heiz- und Kühlbedarf sinnvoll integrieren



**Herzlichen Dank  
für Ihre Aufmerksamkeit**