

Planungsunterstützung für die Umrüstung auf Wärmepumpenbetrieb

Einleitung

Im Objekt DE-52076 Gangolfsweg 52, Aachen, Gymnasium Inda Schulbau wurde ein temperaturbasierter hydraulischer Abgleich durchgeführt. Hierfür wurden die Heizkörper in einer hydraulischen Volllastsituation so einreguliert, dass die Heizkörper bei geeigneter, konstanter Vorlauftemperatur in jedem Heizkreis eine ähnliche Mitteltemperatur (MT) aufweisen $[MT = (Vorlauftemperatur(VLT) + Rücklauftemperatur(RLT))/2]$ und somit gleichmäßig versorgt sind. Unter Berücksichtigung der sich nach dieser Einregulierung einstellenden Raumtemperaturen wurde, bezogen auf die jeweiligen Auslegungsraumtemperaturen, die Versorgung betroffener Heizkörper gezielt eingestellt.

Die Messungen von VLT, RLT, Raumtemperatur (RT) und Außentemperatur (AT) in einem Beharrungszustand (Mitteltemperatur am Heizkörper und Raumtemperatur annähernd konstant) im abgeglichenen Zustand wurden verwendet, um anhand der Temperaturverhältnisse und der Norm-Heizkörperleistungen, der Heizkörper-Exponenten, sowie Leistungsminderungen aufgrund der Einbausituation die raumweise Heizlast und benötigte Vorlauftemperaturen zu ermitteln. Dem gegenübergestellt werden benötigte Heizkörperleistungen für verschiedene Temperaturszenarien im Fall der Wärmeherzeugung mit Wärmepumpen (WP).

Methodik

Heizlastberechnung

Für die Heizlastberechnung wurde die für die Region vorgegebene Auslegungsaußentemperatur, sowie die Auslegungsraumtemperaturen herangezogen.

Die **Auslegungs-Außentemperatur** für den Standort wurde über die Homepage des Bundesverbandes Wärmepumpe (BWP) über die Angabe der Postleitzahl mit **-8,8 °C** ermittelt.

Folgende Daten können über BWP Homepage abgefragt werden:

<https://www.waermepumpe.de/normen-technik/klimakarte/>

Jahresmitteltemperatur: +10,1°C
Norm-Außentemperatur: -8,8°C
Höhe: 270 m
Klimazone: 6

Da vor der Durchführung des hydraulischen Abgleichs (Zeitpunkt der Datenerfassung) vom Kunden keine Angaben über die gewünschten Rauminnentemperaturen und Absenkbbedingungen übermittelt wurden, wurden die in der DIN EN 12831 (in der jeweils gültigen Fassung) aufgeführten Norm-Innentemperaturen für beheizte Räume für die weitere Betrachtung angenommen.

Die **Auslegungsraumtemperaturen** wurden daher laut DIN EN 12831 mit

- +24°C für Bäder und Waschräume
- +15°C für Lager
- +20°C für alle anderen Räume

definiert.

Die Umrechnung der Messwerte in Heizlasten erfolgt über folgende Formel:

$$\dot{Q}_{\text{Betrieb}} = \dot{Q}_{\text{Norm}} * \left(\frac{\frac{VLT_{\text{Betrieb}} - RLT_{\text{Betrieb}}}{\ln \left(\frac{VLT_{\text{Betrieb}} - RT_{\text{Betrieb}}}{RLT_{\text{Betrieb}} - RT_{\text{Betrieb}}} \right)}}{\frac{75^{\circ}\text{C} - 65^{\circ}\text{C}}{\ln \left(\frac{75^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}}{65^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}} \right)}} \right)^n$$

\dot{Q}_{Betrieb} ... Leistung im aktuellen Betriebszustand
 \dot{Q}_{Norm} ... Normheizleistung
 n ... Exponent
 VLT_{Betrieb} ... Vorlauftemperatur im aktuellen Betriebszustand
 RLT_{Betrieb} ... Rücklauftemperatur im aktuellen Betriebszustand
 RT_{Betrieb} ... Raumtemperatur im aktuellen Betriebszustand

Diese Formel wird auch für die Berechnung der Heizkörperleistungen in den verschiedenen Szenarien sowie zur Berechnung der notwendigen Vorlauftemperaturen (VLT) herangezogen.

Verwendete Messdaten

Für die zu ermittelnden, raumweisen Heizlasten wurden Temperaturmessdaten eines Beharrungszustandes vom Do 18.07.2024 vormittags herangezogen.

Wie sind die dargestellten Diagramme zu lesen?

In den Diagrammen werden in den verschiedenen System-Temperaturscenarien die installierte Heizleistung mit der Heizlast pro Raum ins Verhältnis gebracht. Diese Darstellung zielt darauf ab, über- bzw. unversorgte Räume/Heizkörper zu erkennen.

In Abbildung 1 ist das Verhältnis der Heizkörperleistung (bei Auslegungs-Strang-VL-, -Strang-RL und -Raumtemperaturen) und der Heizlast (im Auslegungsfall = Auslegungs-Außentemperatur und Auslegungs-Raumtemperatur) für den im vorherigen Absatz genannten Beharrungszustand dargestellt. Jeder Balken stellt einen Heizkörper bzw. dessen Heizkörpernummer dar. Die vertikale schwarze Linie markiert das Verhältnis 1 (Heizleistung deckt genau die Heizlast). Werte über 1 bedeuten, dass die installierte Heizleistung bei den angegebenen Systemtemperaturen größer als die Heizlast ist (das bedeutet, dass der entsprechende Heizkörper überdimensioniert ist). Das abgebildete Verhältnis bezieht sich auf den gesamten Raum (Raumheizleistung/Raumheizlast). Räume mit mehreren Heizkörpern werden daher im Diagramm durch identische Balken dargestellt. Die Sortierung der Heizkörper erfolgt aufsteigend gemäß den Verhältnissen während des Beharrungszustandes.

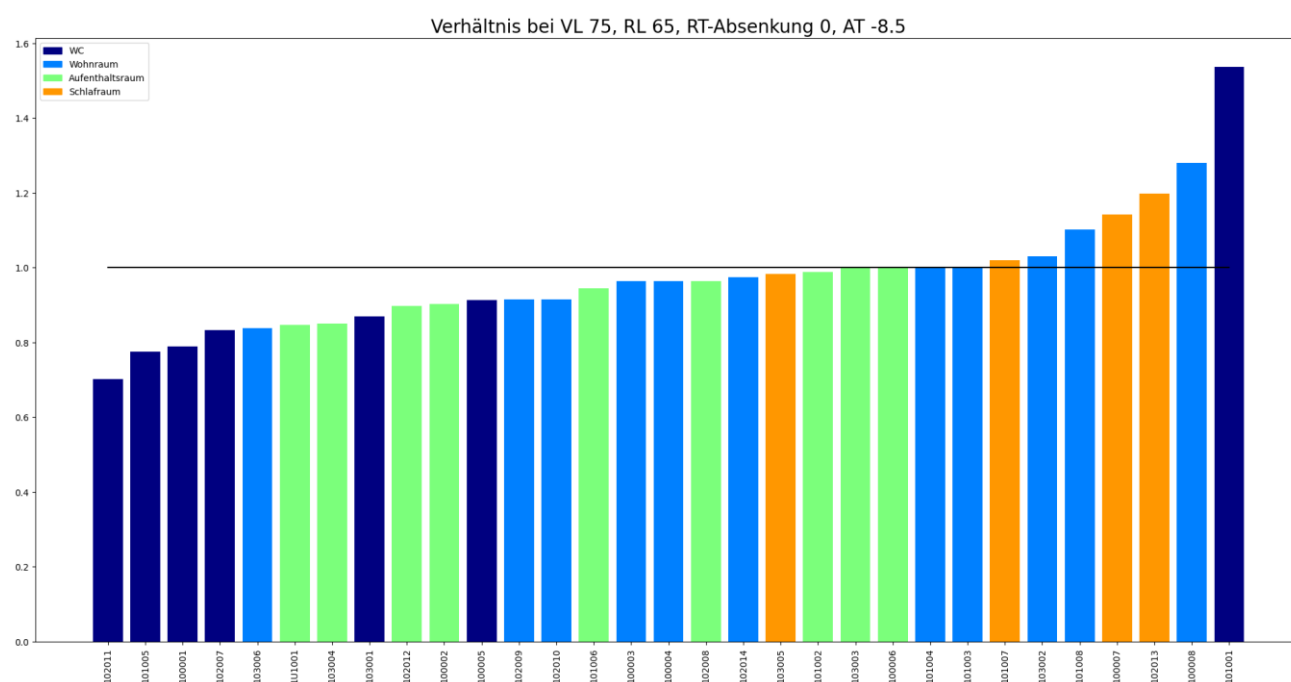


Abbildung 1 Beispieldiagramm Verhältnis der Norm-Heizkörperleistung zur Heizlast

Ergebnisse der Heizlastberechnung bei Normheizkörperleistung

Hier wird graphisch dargestellt und beschrieben, wie sich das Verhältnis Norm-Heizkörperleistung zu Heizlast pro Raum mit abnehmender Auslegungsraumtemperatur und zunehmender Außentemperatur verändert.

Die installierte Heizkörperleistung entspricht der Normheizkörperleistung bei

- Vorlauftemperatur: +75°C
- Rücklauftemperatur: +65°C
- Raumtemperatur: +20°C

Diese Ergebnisdarstellung soll ein gutes Verständnis für das eigene Gebäude bei unterschiedlichen Bedingungen erzeugen.

Abbildung 2 beschreibt das aktuelle Verhalten bei anzuwendender regionaler Auslegungs-Außentemperatur von -8,8°C. Man kann davon ausgehen, dass dieser Extremwert in der Regel nur für wenige Tage im Jahr erreicht wird. Prinzipiell liefern alle Heizkörper mehr als die notwendige Heizleistung in diesem Szenario. Vereinzelt sind Waschräume und Lager nur knapp zu 100% versorgt.

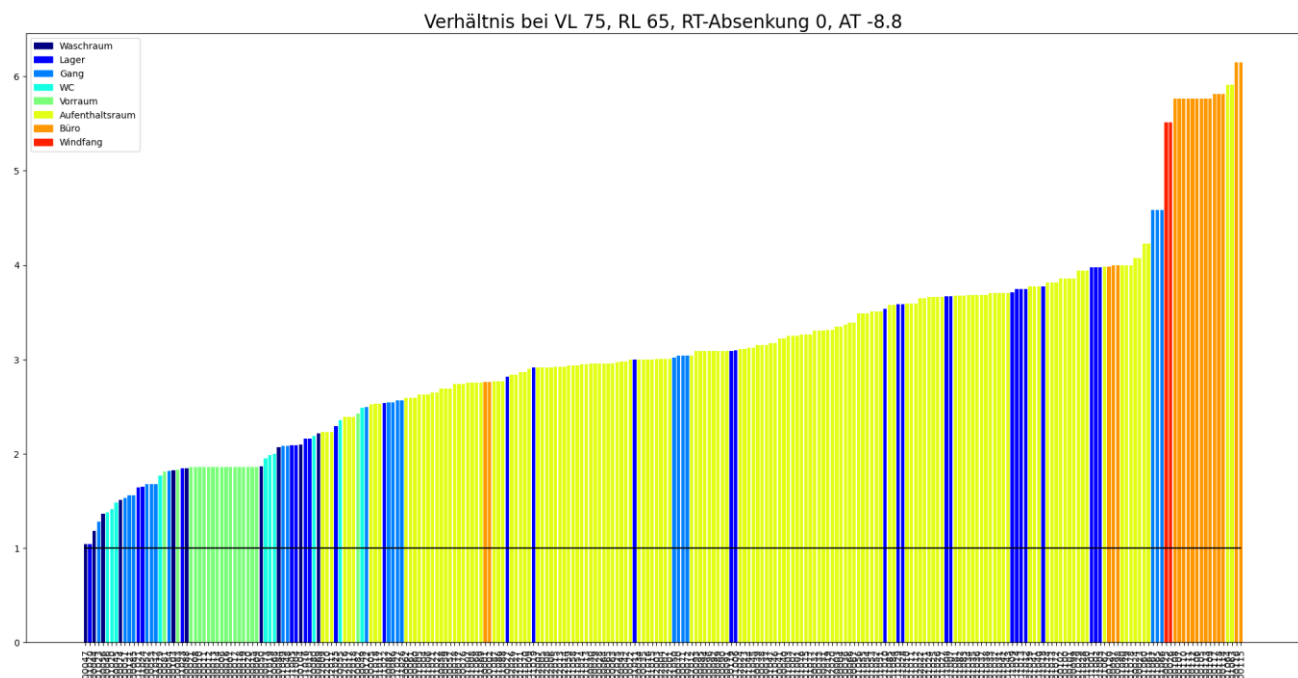


Abbildung 2 VL +75°C / RL +65°C / RT-Absenkung 0K / AT -8,8°C

Die bei diesem Diagramm in der X-Achse dargestellten Heizkörpernummern sind auf Grund der hohen Heizkörperanzahl nur schlecht lesbar. Detailliertere, graphische Darstellungen können jederzeit übermittelt werden.

In Abbildung 3 wird wieder der Fall der Auslegungaußentemperatur von $-8,8^{\circ}\text{C}$ dargestellt, wobei man hier eine Raumtemperaturabsenkung von -1K simuliert. Das bedeutet, dass man die Räume statt mit 20°C nur mit 19°C Raumtemperatur versorgen würde. In diesem Fall sind ebenfalls alle Heizkörper ausreichend versorgt.

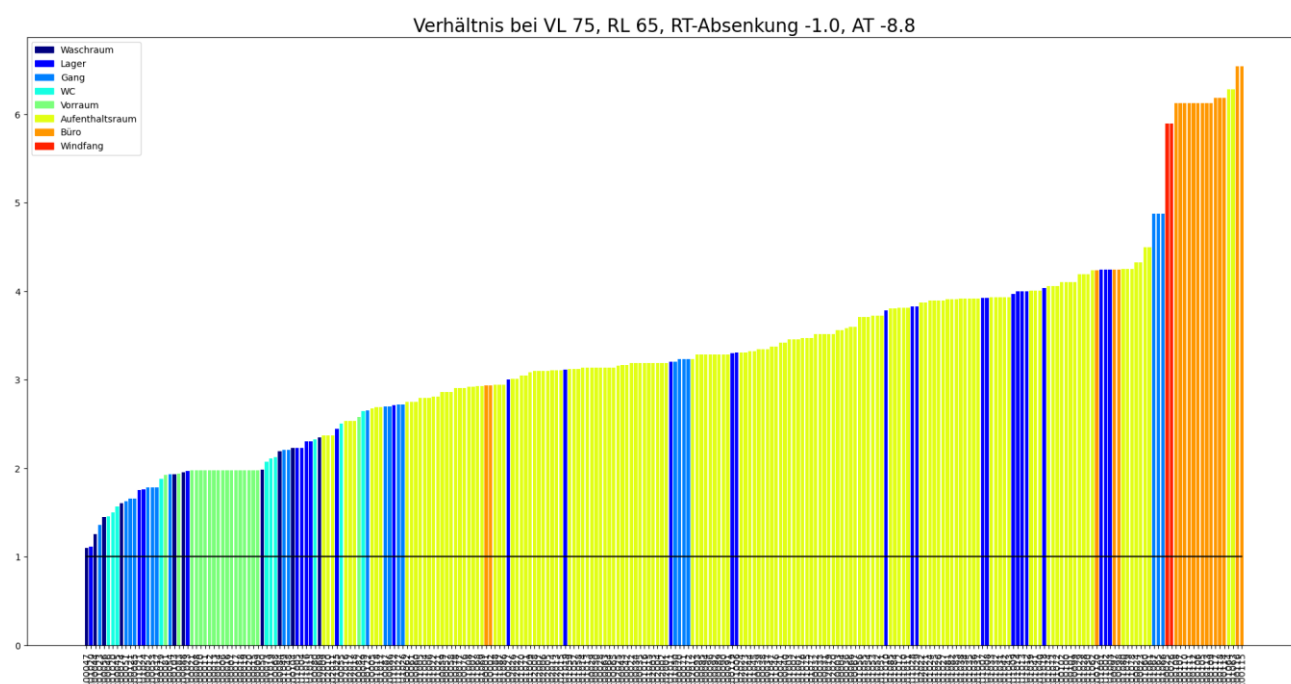


Abbildung 3 VL $+75^{\circ}\text{C}$ / RL $+65^{\circ}\text{C}$ / RT-Absenkung -1K / AT $-8,8^{\circ}\text{C}$

Abbildung 4 beschreibt mit einer Außentemperatur von -4°C den Fall eines normalen, kalten Wintertages, der durchaus mehrere Tage im Jahr vorkommt. Hier kann festgestellt werden, dass alle Räume über mehr als ausreichend installierte Heizleistung verfügen.

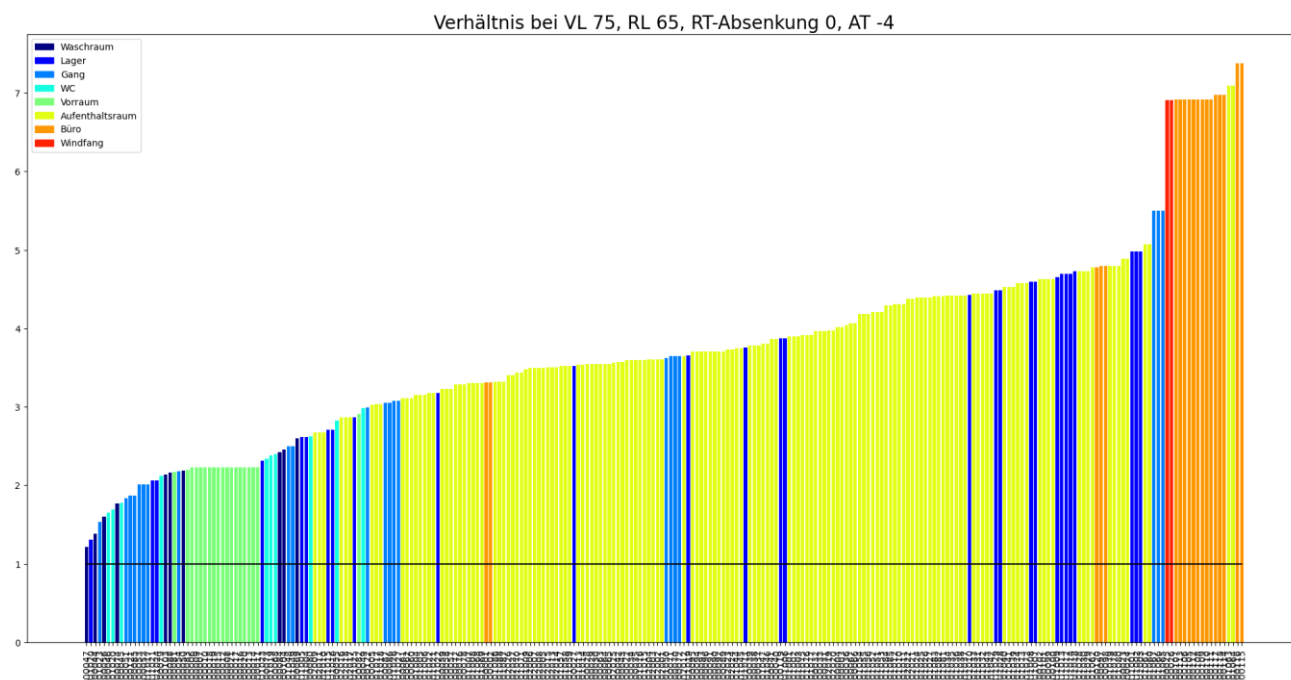


Abbildung 4 VL $+75^{\circ}\text{C}$ / RL $+65^{\circ}\text{C}$ / RT-Absenkung 0K / AT -4°C

In Abbildung 5 wird wieder der Fall mit Außentemperatur -4°C dargestellt, wobei man hier eine Raumtemperaturabsenkung von -1K simuliert. Diese Darstellung verdeutlicht nur den Leistungsüberschuss in allen Bereichen bei dieser Außentemperatur.

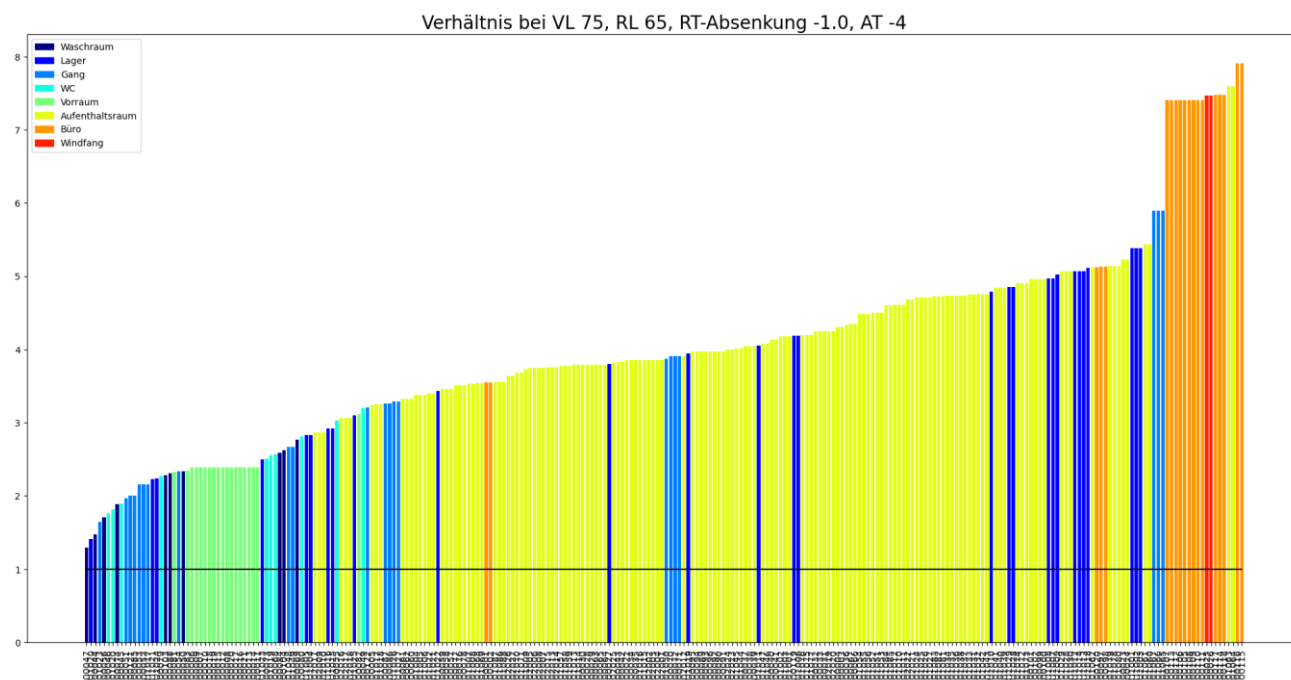


Abbildung 5 VL $+75^{\circ}\text{C}$ / RL $+65^{\circ}\text{C}$ / RT-Absenkung -1K / AT -4°C

Darstellung möglicher Vorlauftemperaturen zur Wärmeversorgung in Abhängigkeit vom Wärmeerzeuger

Systeme die aus Wärmepumpentechnik und einer Nachheizung bestehen fahren in der Regel mit einer Spreizung von 15K. Reine Wärmepumpenanlagen werden mit einer Spreizung von 8K ausgelegt.

Für eine Anlage bestehend aus Wärmepumpe und Nachheizung (SW 15) wurden die ermittelten Vorlauftemperaturen je Heizkörper in Abbildung 6 dargestellt. Bei einer Auslegungsaußentemperatur von $-8,8^{\circ}\text{C}$ ergibt sich demnach eine Vorlauftemperatur zwischen $+55^{\circ}\text{C}$ und $+59^{\circ}\text{C}$.

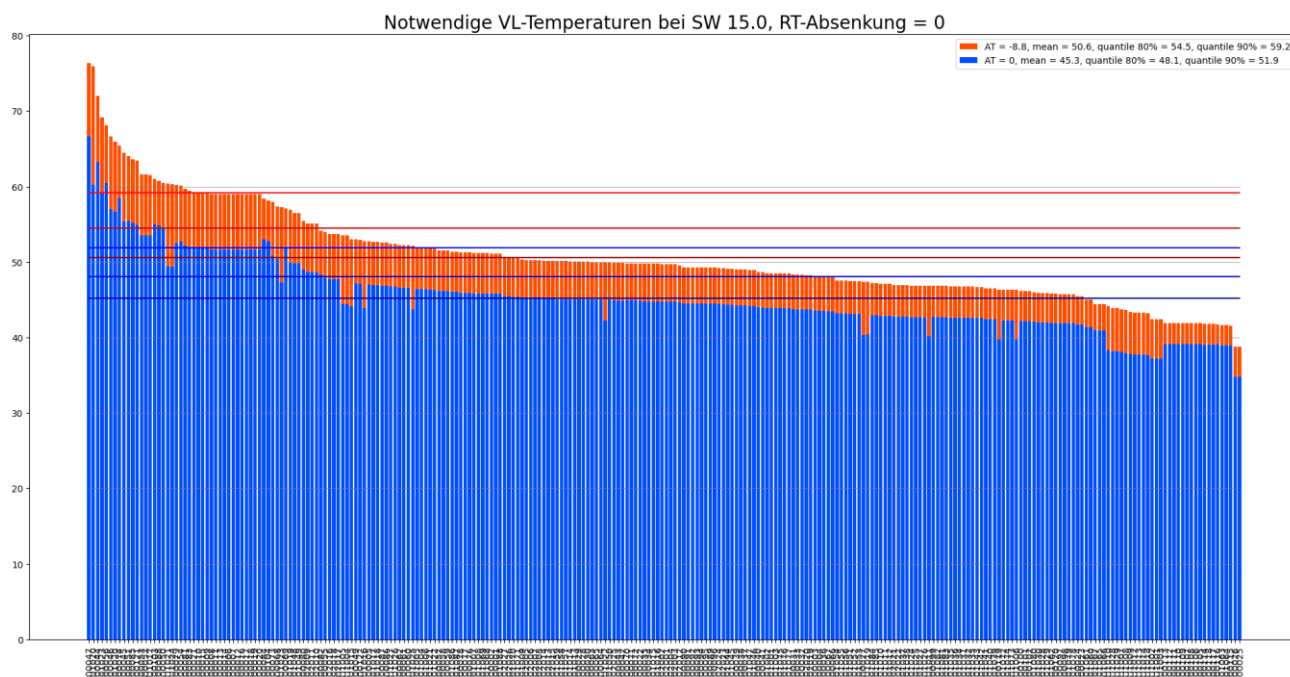


Abbildung 6 ermittelte Vorlauftemperatur bei Spreizung 15K (WP + Nachheizung)

Für eine reine Wärmepumpenanlage (SW 8) wurden die ermittelten Vorlauftemperaturen je Heizkörper in Abbildung 7 dargestellt. Bei einer Auslegungsaußentemperatur von $-8,8^{\circ}\text{C}$ ergibt sich demnach eine Vorlauftemperatur zwischen $+50^{\circ}\text{C}$ und $+55^{\circ}\text{C}$.

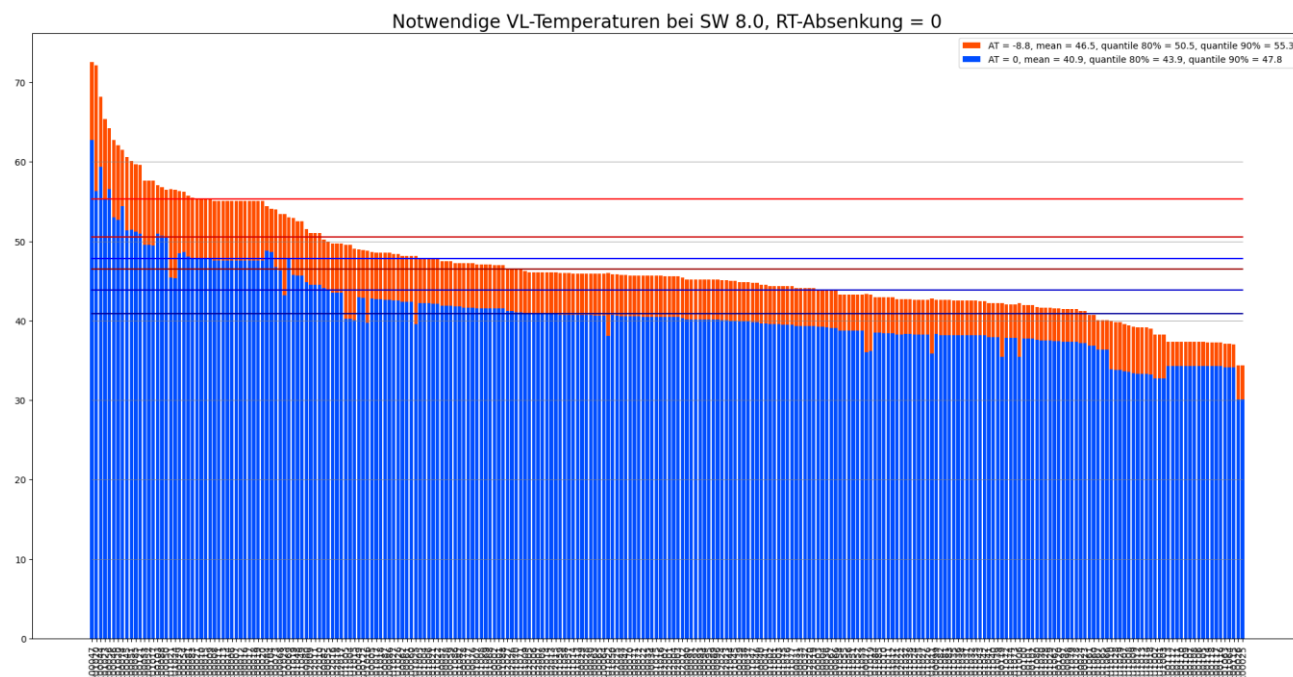


Abbildung 7 ermittelte Vorlauftemperatur bei Spreizung 8K

Wenn wir den gleichen Fall mit einer Raumtemperaturabsenkung von -1K in Abbildung 8 betrachten, können wir eine Vorlauftemperatur von +49°C bis +53°C isolieren.

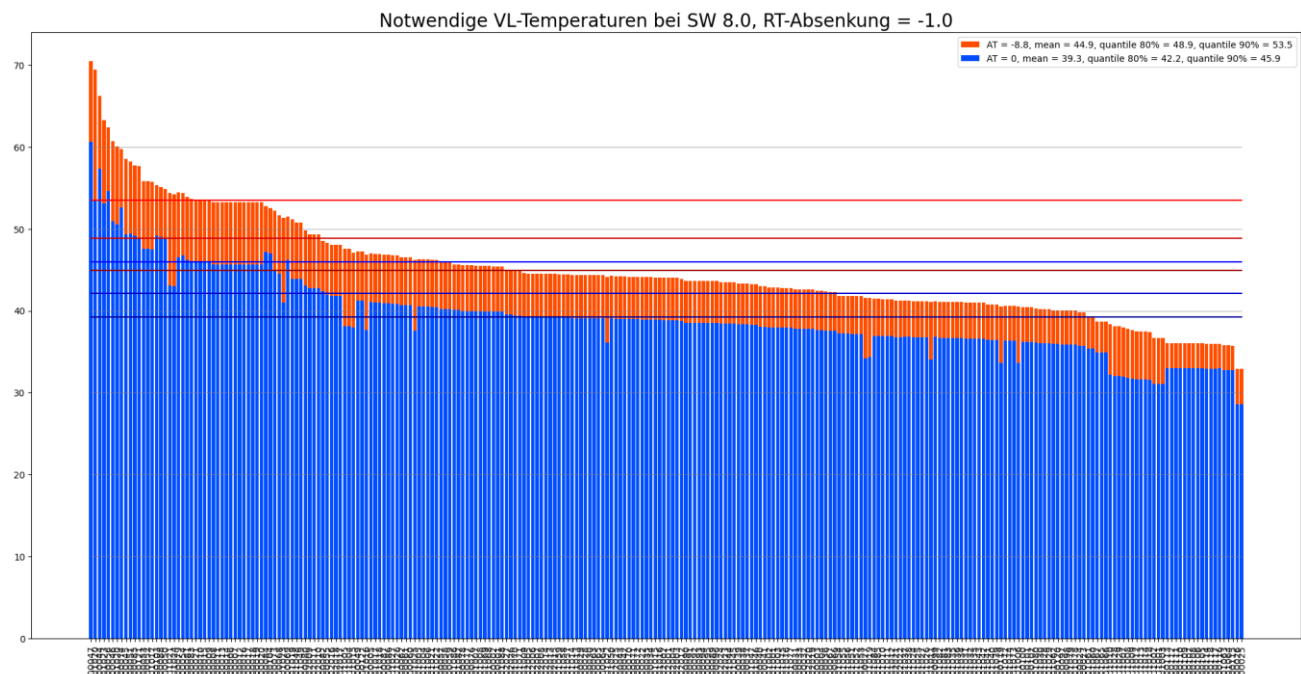


Abbildung 8 Abbildung 8: ermittelte Vorlauftemperatur bei Spreizung 8K und Raumtemperaturabsenkung -1K

Ein üblicher Vorlauftemperaturbereich für Wärmepumpenauslegung wäre bei +50°C bis +55°C anzusetzen. Zentrale Annahme bei dieser Planungshilfe ist jedoch, dass keine Heizkörper im Bestand ausgetauscht oder verändert werden sollen.

Daher legen wir, abgeleitet aus diesen Ergebnissen, in der weiteren Betrachtung besonderes Augenmerk auf Vorlauftemperaturen im Bereich +55°C bis +60°C.

Herleitung der Wärmepumpenszenarien

Um die Tauglichkeit einer Versorgung mit Wärmepumpen zu untersuchen, wurden verschiedene Wärmepumpenszenarien mit unterschiedlichen Vorlauftemperaturen, Außentemperaturen und Auslegungsraumtemperaturen, die auf das vorhandene hydraulische System und die Außenhülle passen, erstellt.

2 Vorlauftemperaturszenarien gewählt

- +60°C
- +55°C

3 Außentemperaturszenarien gewählt

- -8,8°C (Auslegungsaußentemperatur)
- -4°C (Annahme: kalter Wintertag)
- 0°C (Annahme: mittlerer Wintertag)

2 Raumtemperaturszenarien gewählt

- +20°C / +24°C / +15°C (Auslegungsraumtemperaturen laut DIN EN 12831)
- +19°C / +23°C / +14°C (Auslegungsraumtemperatur minus 1K)

Anhand dieser gewählten Wärmepumpenszenarien ergeben sich $2 \times 3 \times 2 = 12$ Kombinationen. In diesen 12 verschiedenen Wärmepumpenszenarien werden die Verhältnisse von Raumheizleistung zu Heizlast pro Raum dargestellt.

Somit ergeben sich folgende Wärmepumpenszenarien:

WP-Szenario	Bezeichnung	VLT	RLT	RT-Absenkung	AT
1	Ratio_60_0_-8,8	60	52	0	-8,8
2	Ratio_60_-1.0_-8,8	60	52	-1	-8,8
3	Ratio_60_0_0	60	52	0	0
4	Ratio_60_-1.0_0	60	52	1	0
5	Ratio_60_0_-4	60	52	0	-4
6	Ratio_60_-1.0_-4	60	52	-1	-4
7	Ratio_55_0_-8,8	55	47	0	-8,8
8	Ratio_55_-1.0_-8,8	55	47	-1	-8,8
9	Ratio_55_0_0	55	47	0	0
10	Ratio_55_-1.0_0	55	47	-1	0
11	Ratio_55_0_-4	55	47	0	-4
12	Ratio_55_-1.0_-4	55	47	-1	-4

Tabelle 1 Gewählte Wärmepumpenszenarien

Graphische Darstellung der ausgewählten Wärmepumpenszenarien

In den folgenden Abbildungen 10 bis 21 sind die einzelnen Wärmepumpenszenarien graphisch dargestellt.

Auf der Y-Achse sind die einzelnen Heizkörpernummern aufgetragen.
Die X-Achse bildet die 12 gewählten Wärmepumpenszenarien ab.

Die Beschreibung des Farbspektrums findet sich im Balken rechts neben dem Diagramm.

Dabei entspricht „Weiß“ einer Deckung der Heizlast durch die installierte Heizkörperleistung im Raum (Verhältnis Heizkörperleistung zu Heizlast gleich 1).

Ist die Heizkörperleistung zu gering (Verhältnis kleiner 1) werden diese Heizkörper im Diagramm in verschiedenen „Violett“ Schattierungen dargestellt.

Ist das Verhältnis größer 1 wird der Heizkörper in Grün dargestellt.

Die danach folgende Darstellung der einzelnen Wärmepumpenszenarien erfolgt aufsteigend laut Tabelle 1.

Ratios Heizleistung / Heizlast mit einer angenommenen Toleranz von $\pm 10\%$ um den Idealwert von 1.

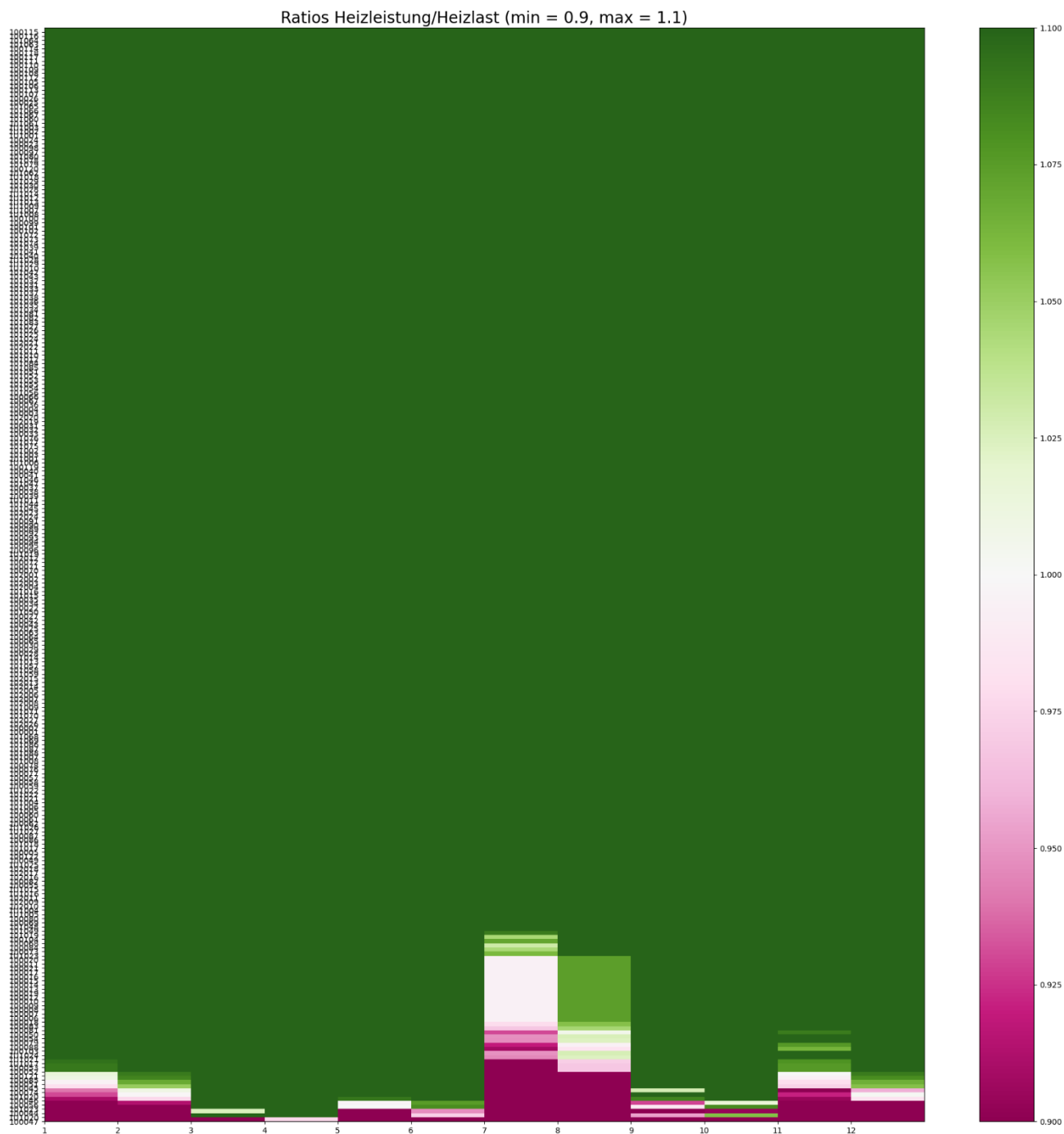


Abbildung 9 Wärmepumpenszenarien 1 bis 12 graphisch dargestellt

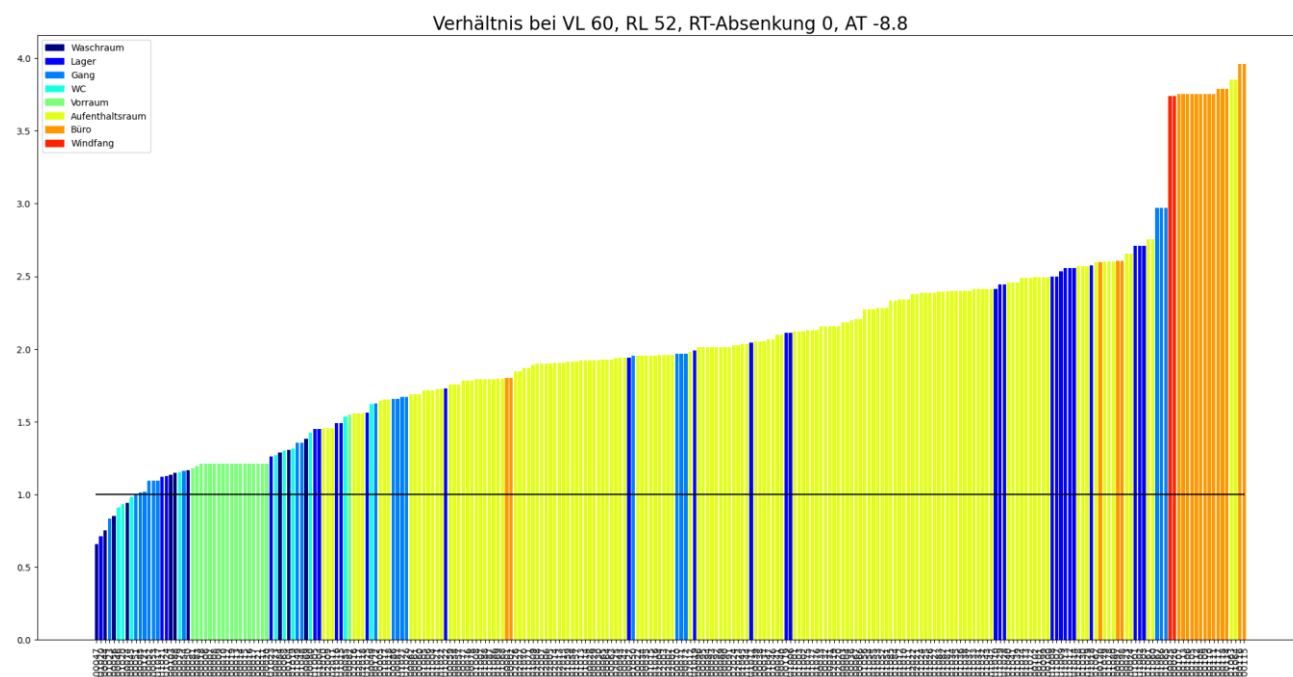


Abbildung 10 Wärmepumpenszenario-Nr. 1

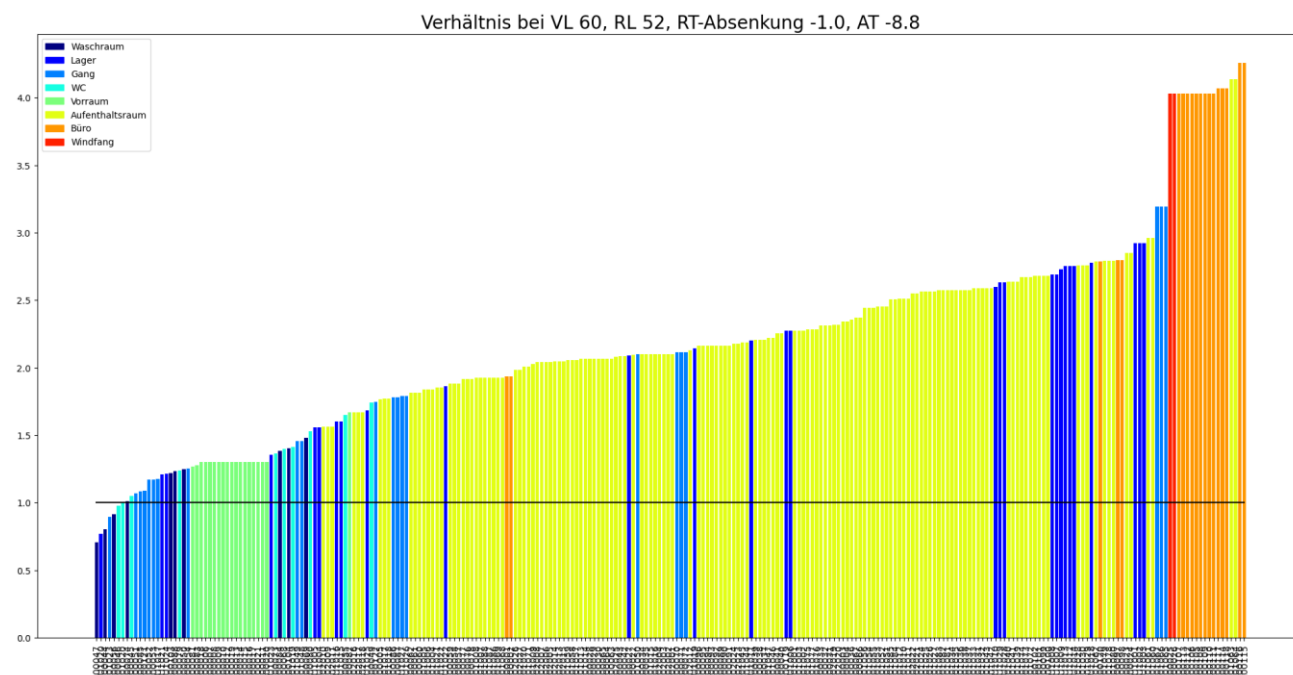


Abbildung 11 Wärmepumpenszenario-Nr. 2

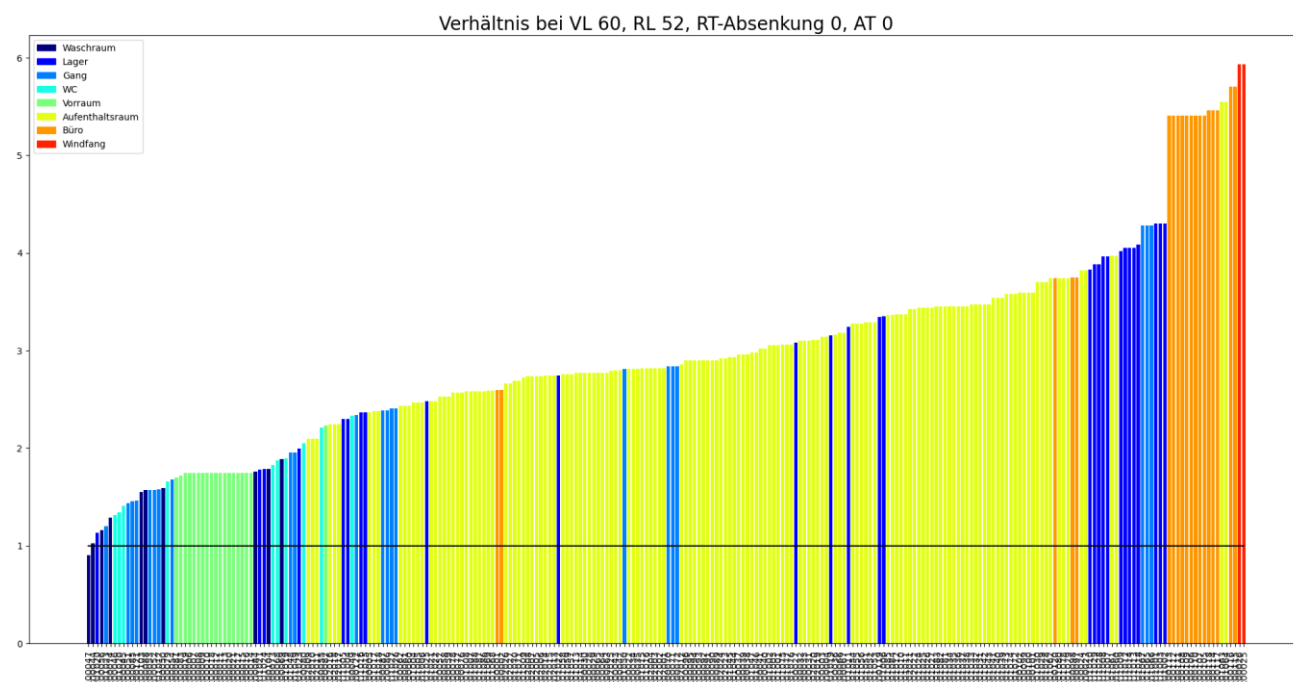


Abbildung 12 Wärmepumpenszenario-Nr. 3

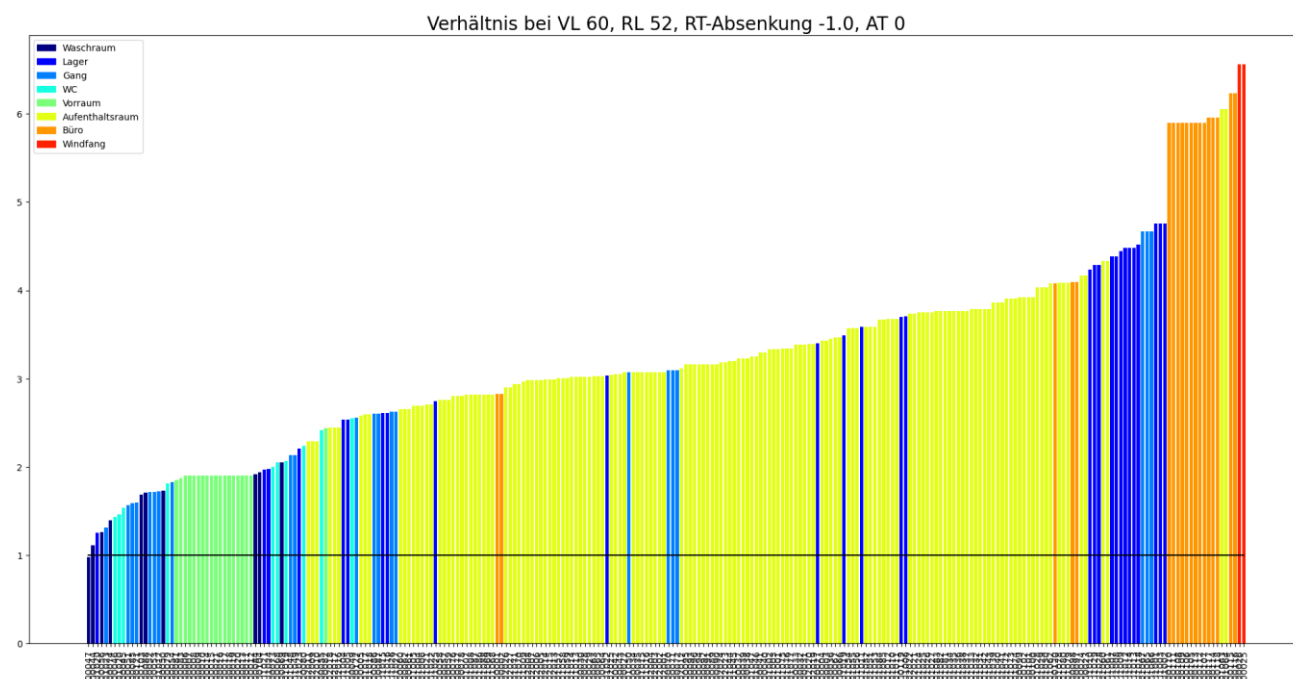
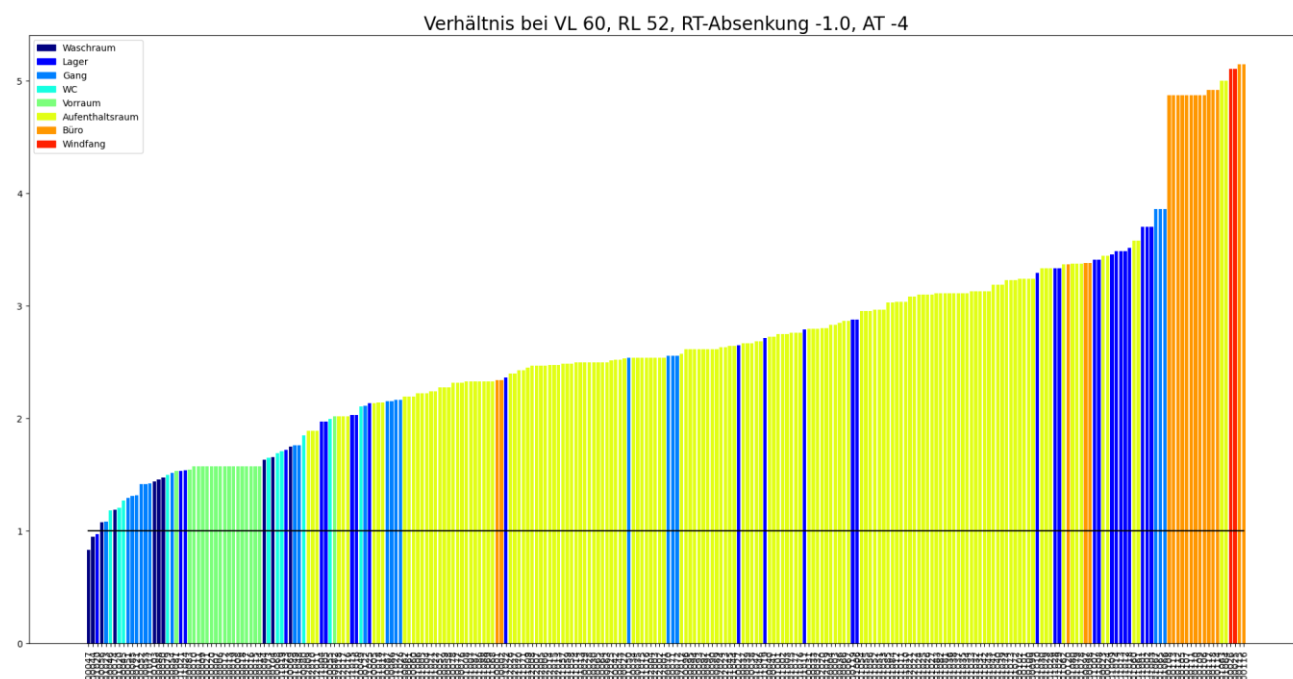
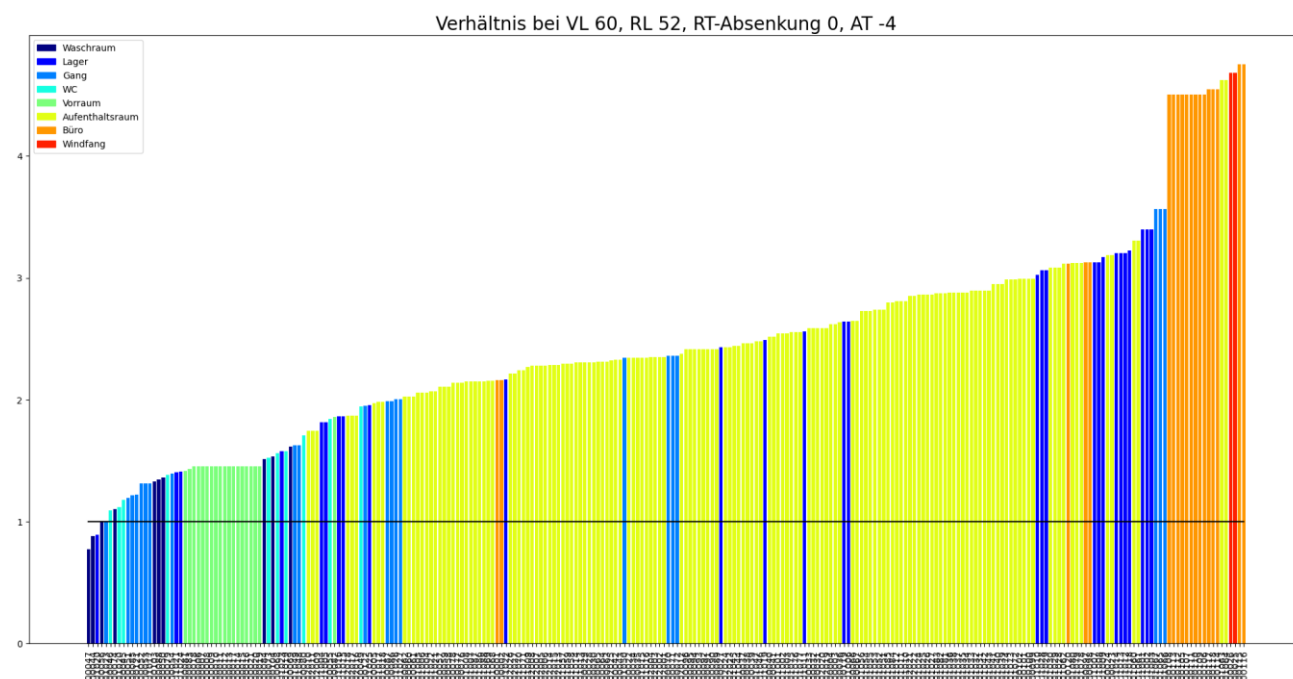


Abbildung 13 Wärmepumpenszenario-Nr. 4



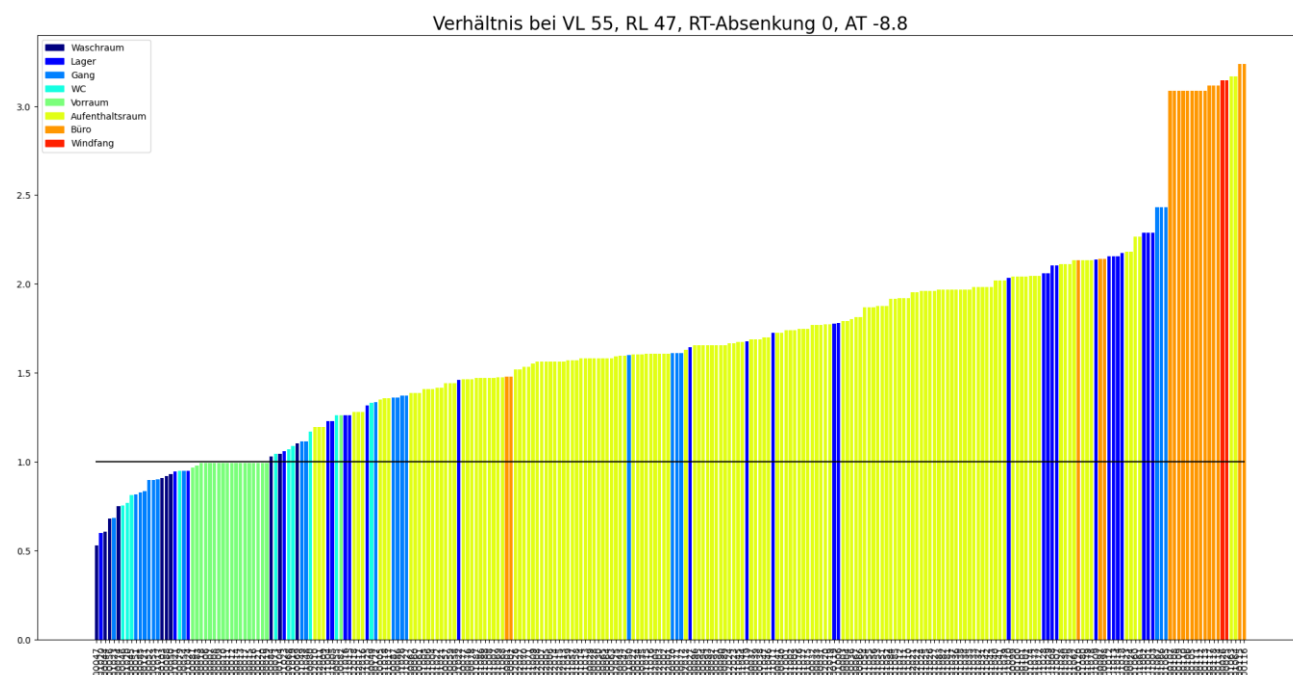


Abbildung 16 Wärmepumpenszenario-Nr. 7

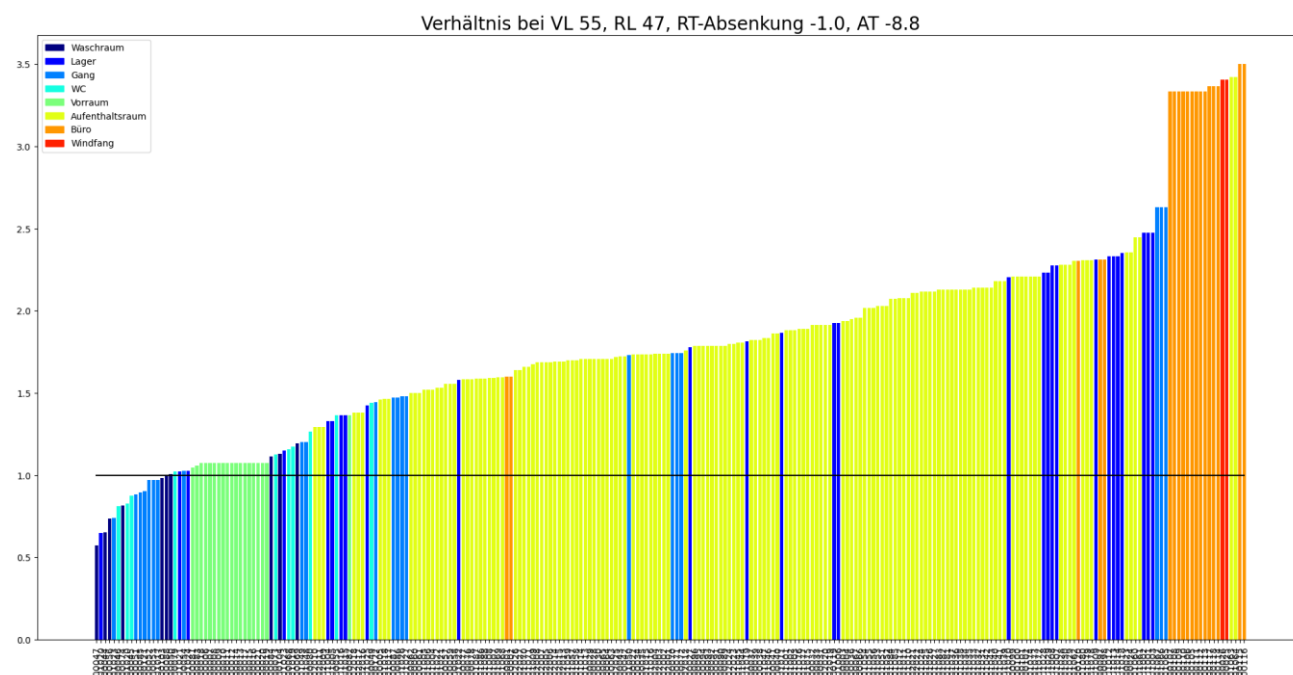
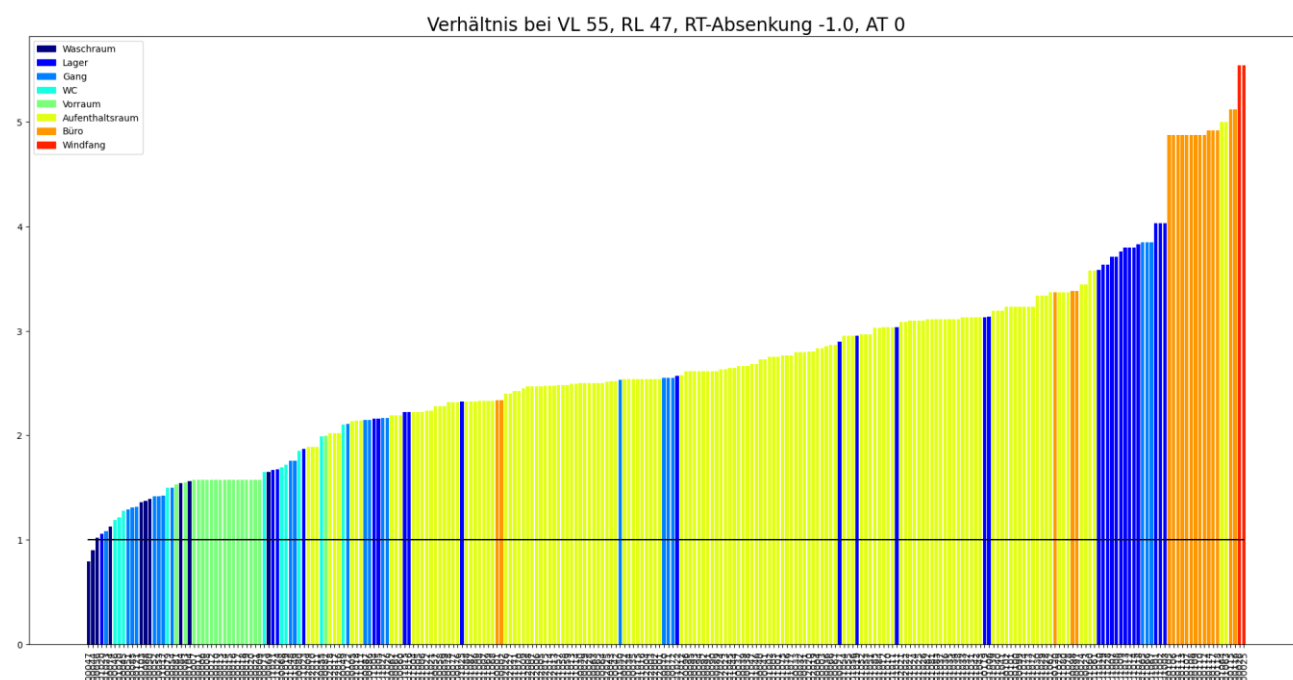
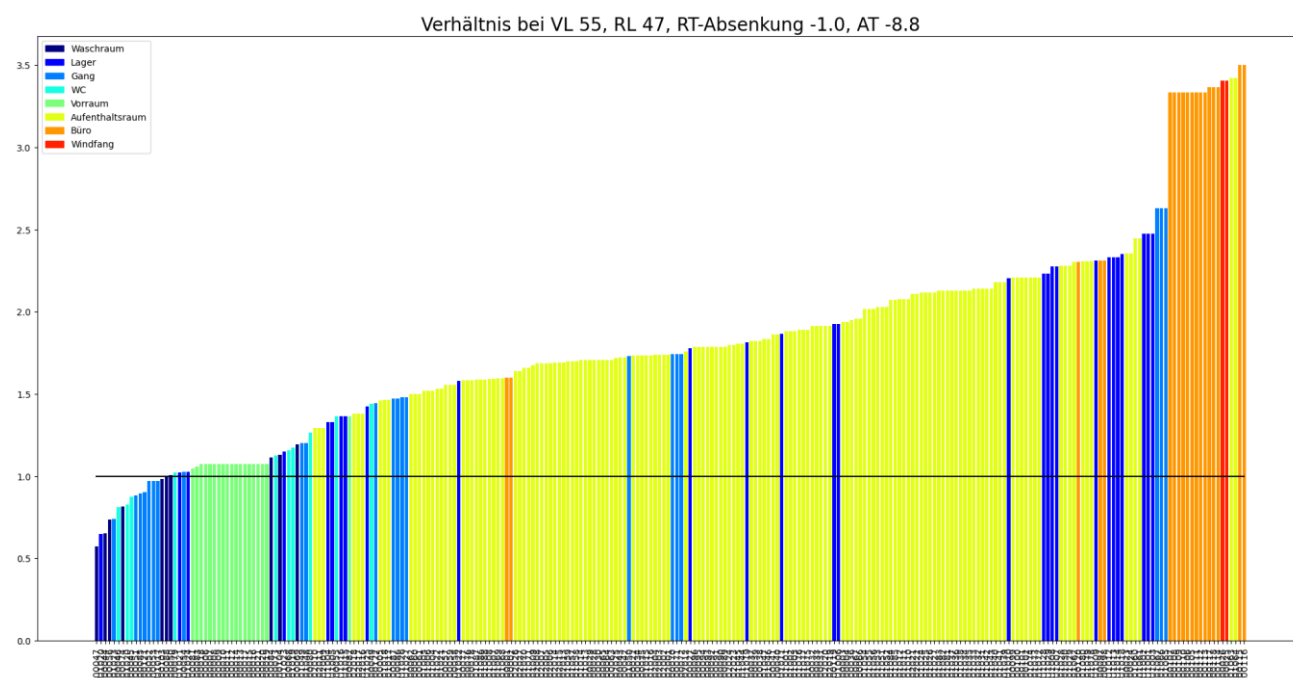


Abbildung 17 Wärmepumpenszenario-Nr. 8



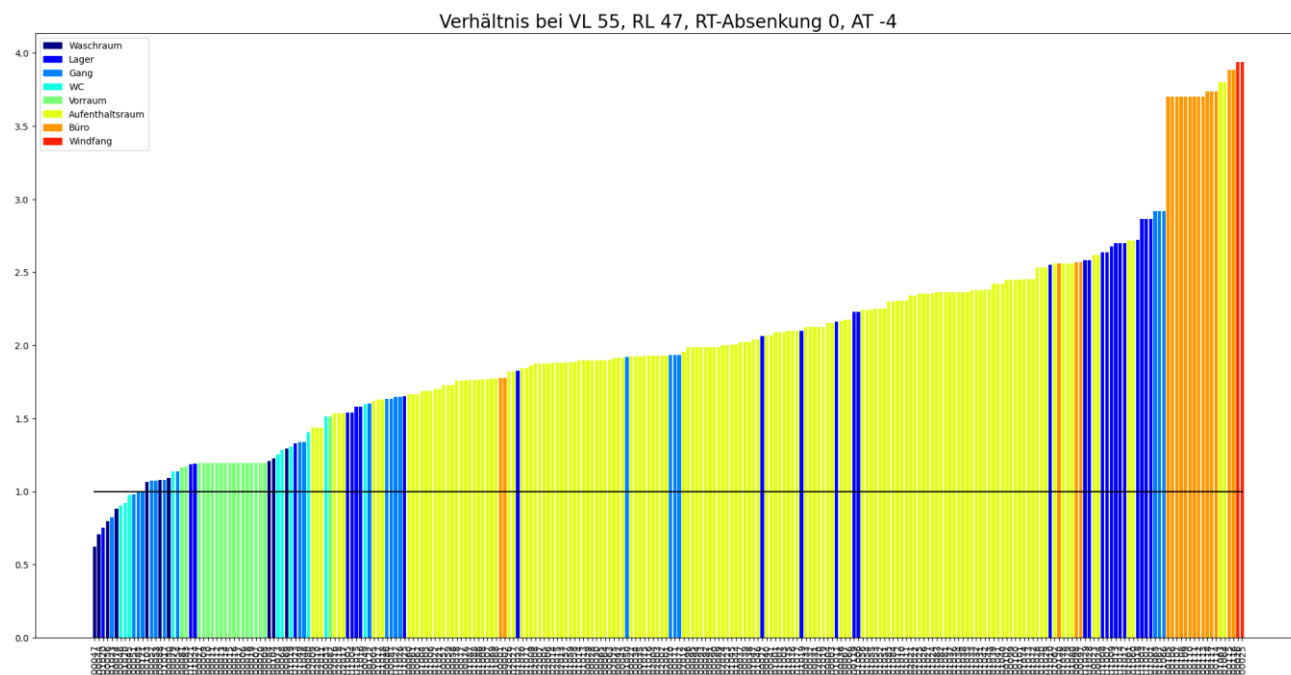


Abbildung 20 Wärmepumpenszenario-Nr. 11

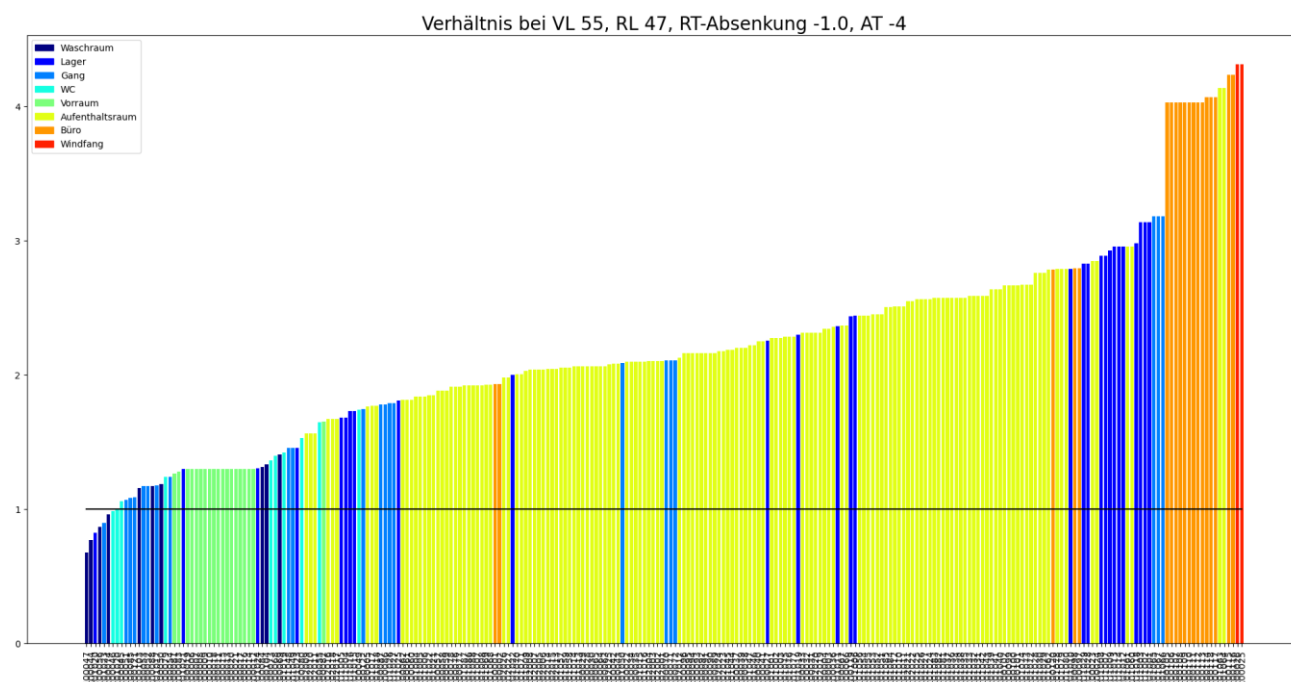


Abbildung 21 Wärmepumpenszenario-Nr. 12

Planungshilfe Wärmepumpenbetrieb

Als optimale Vorlauftemperaturen für ein Heizkörpergeführtes Bestandssystem wurden in den gewählten Wärmepumpenszenarien Vorlauftemperaturen von +60°C und +65°C angenommen. Ein mögliches angepasstes Nutzerverhalten wurde mit der Absenkung der Auslegungsraumtemperatur um -2K simuliert.

Die Außentemperaturen während des Analysezeitraums lagen zwischen +12°C und +13°C und die Vorlauftemperatur pendelte sich bei +65°C ein.

Die Heizkörper zur Wärmeabgabe sind in diesem Objekt zum größten Teil leicht überdimensioniert. Das sind prinzipiell die richtigen Voraussetzungen für eine Umrüstung auf eine Wärmepumpe bzw. für die Senkung der VL-Temperaturen ohne nennenswerten Komfortverlust. Die verschiedenen Wärmepumpenszenarien zeigen auf, mit welchen Kombinationen aus VL, RT und AT die einzelnen Heizkörper noch die notwendige Heizleistung aufbringen. Anhand der Daten ist ersichtlich, dass

- eine VL-Temperatur von +55°C bei Außentemperaturen bis 0°C für einen Großteil der Räume ausreichend wäre (Szenario 9).
- eine VL-Temperatur von +60°C bei Außentemperaturen bis -4°C für einen Großteil der Räume ausreichend wäre (Szenario 5).
- ohne Reduktion der Raumtemperatur bei der Auslegungsaußentemperatur von -8,8°C mit einer Vorlauftemperatur von +60°C für ca. 90% der Heizkörper die gewünschte Heizleistung bereitstellen (Szenario 1).

Das Objekt kann mit Wärmepumpentechnologie und mit Hilfe von elektrischer oder gasbefeuertter Nachheizung versorgt werden. Es sind jedoch bei kalten Außentemperaturen für Wärmepumpen relativ hohe Vorlauftemperaturen notwendig. Somit ist mit einer geringeren Effizienz bzw. Jahresarbeitszahl zu rechnen. Der Austausch eines Teils der verbauten Heizkörper auf Typen mit höherer Normleistung würde die benötigte VLT erheblich senken.

Anhang A: Ergänzende Informationen zur Planungshilfe

An dieser Stelle weisen wir zusätzlich darauf hin, dass unsere Messergebnisse Einflüssen unterliegen, die wir nicht alle in vollständigem Umfang berücksichtigen können. Dazu zählen zum Beispiel:

- **Unkontrollierte Lüftung**
Besonders in bewohnten Gebäuden (Mietshäuser) erfolgt durch die Nutzer unregelmäßiges Lüften der Räume durch vollständiges Öffnen und Kippen von Fenstern. Durch das Austreten von Wärmemenge muss mehr Heizleistung in die Räume eingebracht werden, als ohne Lüftung notwendig wäre.
- **Solare Einträge als Fremdwärme**
Wärmeeinträge aufgrund des Sonnenverlaufes je nach Lage der Räume/Wohnungen gegenüber dem Sonnenweg durch Fenster und Fens-
tertüren. Dachflächenfenster sind hier besonders anzuführen.
- **Interne Gewinne als Fremdwärme**
Als Beispiele seien hier ein ausgeprägtes Kochverhalten des Nutzers und Aquarien oder Terrarien erwähnt.
- **Leckagen Außenhülle**
Diese haben einen undefinierbaren Einfluss auf die Messergebnisse zur Er-
mittlung der Heizlast.
- **Erhöhte Außentemperaturen**
Diese entsprechen nicht dem klassischen Heizszenario im Winter oder in der Übergangszeit.

Unsere Analyseergebnisse sind vor diesem Hintergrund geeignet, das Gebäude bezüglich einer Eignung für den Einbau von Wärmepumpen valide einzuordnen und entsprechende Maßnahmen, die im Vorfeld umzusetzen sind, zu identifizieren. Die vorliegenden Daten können ebenfalls genutzt werden, um mit dem Wärmepumpenhersteller eine mögliche Auslegung zu planen und den Entscheidungsträgern eine bessere Grundlage für das Abwägen zwischen den verschiedenen Interessen (wirtschaftlich, ökologisch, ...) zu bieten. Für detaillierte Planungen zu konkreten Wärmepumpenmodellen muss auf jeden Fall ein Wärmepumpenhersteller herangezogen werden.

Ergänzend kann bedacht werden, dass aufgrund des Klimawandels die Außentemperaturen steigen und somit weniger tiefe Auslegungs-AT notwendig sein können. Hierbei sei erwähnt, dass die Auslegungstemperaturen auch aktuell in den seltensten Fällen erreicht werden und die im Winter häufiger auftretende Außentemperatur eher um $\pm 0^{\circ}\text{C}$ liegen wird.

Zusätzlich kann bedacht werden, dass aufgrund des Klimawandels die Auslegungsaußentemperaturen wahrscheinlich regional steigen und somit weniger tiefe Auslegungs-AT zu berücksichtigen sind. Hierbei sei erwähnt, dass die Auslegungstemperaturen auch aktuell nur an wenigen Tagen im Jahr erreicht werden und die im Winter häufiger auftretende Außentemperatur im Bereich von -5°C bis $+5^{\circ}\text{C}$ liegt.

Anhang B: Erklärung der Variablen in der mitgelieferten Excel-Tabelle

DE-52076 Gangolfsweg 52, Aachen, Gymnasium Inda_Schulbau.xlsx

Spaltenname	Beschreibung
Index	Beginnend mit 0
HK Nr.	Eindeutige HK Nr., die u.A. zur Zuordnung in den Diagrammen verwendet wird.
Gebäude	Name des Gebäudes des HK
Etage	Etage des HKs (0 = EG)
Zone	Zonenname des HK, z.B. eine Wohneinheit beschriftet mit Wohnernamen
Raum	Bezeichnung des Raums
Position	Position des HK im Raum (v.l. = von links)
Widmung	Raumwidmung
Soll-Raumtemperatur	Soll-Raumtemperatur für Raumtemperaturregelung
RTausl	Auslegungstemperatur des Raumes in °C
Heizleistung_norm	Normheizkörperleistung in W
Exponent	Heizkörperexponent
VL	Gemessene Vorlauftemperatur des HK in °C
RL	Gemessene Rücklauftemperatur des HK in °C
RT	Raumtemperatur in °C
Aussentemperatur	Außentemperatur in °C
VLloss_gem	Vorlauftemperaturverluste gemessen in K
VLloss_gesch	Vorlauftemperaturverluste geschätzt in K
SW_gem	Spreizwert gemessen in K
SW_gesch	Spreizwert geschätzt in K
AuslegungsAT	Auslegungsaußentemperatur in °C
UET-gem	Gemessene logarithmische mittlere Temperaturdifferenz in K
WPspreizung	Angenommene Spreizung für WP-Szenarien in K
Heizleistung_gem	Gemessen Heizkörperleistung in W
Heizleistung_gem_K	Gemessen Heizkörperleistung pro Temperaturdifferenz (RT-AT) in W/K
Heizleistung_norm_X	Heizkörperleistung bei 75/65/(AuslegungsRT-X) in W

Heizleistung_X_Y	Heizkörperleistung bei X/(X-WPspreizung)//(AuslegungsRT-Y) in W
Heizleistung_X_Y_vtv	Heizkörperleistung bei X/(X-WPspreizung)//(AuslegungsRT-Y) in W inkl. geschätztem Vorlauftemperaturverlust
Raum_X	Raumweise Heizleistung für X (X = heizkörperweise Leistung) in W
Heizlast_X_Y	Heizlast im Fall RT-Absenkung = X, AT = Y
VLnotw_SWX_RTY_ATZ	Raumweise notwendige Vorlauftemperatur bei einem SW = X, RT-Absenkung = Y, AT = Z
VLnotw_SWX_RTY_ATZ_vtv	Raumweise notwendige Vorlauftemperatur bei einem SW = X, RT-Absenkung = Y, AT = Z inkl. geschätztem Vorlauftemperaturverlust
Ratio_norm_X_Y	Verhältnis Raumheizleistung zu Raumheizlast bei VL = 75, RL = 65, RT-Absenkung = X, AT = Y
Ratio_X_Y_Z	Verhältnis Raumheizleistung zu Raumheizlast bei VL = X, RL = X-WPspreizung, RT-Absenkung = Y, AT = Z
Ratio_X_Y_Z_vtv	Verhältnis Raumheizleistung zu Raumheizlast im bei VL = X, RL = X-WPspreizung, RT-Absenkung = Y, AT = Z inkl. geschätztem Vorlauftemperaturverlust
Heizlast_gesamt	Gebäudeheizlast in W

Tabelle 2 Spaltenbeschreibung Excel Tabelle