

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Prof. Dr. Philip Leistner

Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer

IBP-Bericht Nr. EER - 016/2017/952

Windheizung 2.0– Energiespeicherung und Stromnetzregelung mit hocheffizienten Gebäuden

Projektphase 2017

Durchgeführt im Auftrag des
Bayerischen Landesamts für Umwelt
Ökoenergie-Institut Bayern
Bürgermeister-Ulrich-Str. 160, 86179 Augsburg
Finanziert durch das Bayerische Ministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie

Der Bericht umfasst
79 Seiten Text
9 Tabellen
13 Abbildungen

Matthias Pazold, Matthias Kersken, Johannes Gantner, Michael Jäger, Herbert Sinnesbichler

Holzkirchen, 4. Dezember 2017

Institutsleiter



Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer

Abteilungsleiter



Prof. Dr. Gunnar Grün

Inhalt

1	Einleitung und Aufgabenstellung	4
2	Methodik	5
3	Randbedingungen	6
3.1	Analyse des Börsenstrompreises	6
3.2	Klimadatensatz	8
3.3	Festlegung des Typgebäudes	9
3.3.1	Betrieb in der Heizperiode	11
3.3.2	Systeme zur Trinkwarmwasserbereitung	13
3.3.3	Betrachtung des großen Warmwasserspeichers	13
3.3.4	Betrachtung der Bauteilaktivierung als Speicher	16
3.4	Kostenannahmen zur ökonomischen Analyse	20
3.5	Analyse der Umweltwirkungen	24
4	Qualität des Gebäudes (Vor-Analyse)	25
4.1	Methodik der Analyse	25
4.2	Entwicklung der Kostenfunktion	25
4.3	Auswahl der Varianten für die Simulationsstudie	28
5	Ergebnisse der Simulationsstudie	29
5.1	Methodik	29
5.2	Simulationsumgebung	30
5.3	Übersicht über die Varianten	31
5.4	Bewertung der Überschussstromdeckung	32
5.5	Bewertung des Endenergiebedarfs	33
5.6	Überschuss- und Reststrombedarf	34
5.6.1	Überschussstrombedarf	34
5.6.2	Reststrombedarf	34
5.7	Bewertung des thermischen Raumkomforts	35
5.8	Bewertung der ökologischen Auswirkungen	37
5.9	Bewertung der ökonomischen Auswirkungen	38
6	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	40
7	Literaturverzeichnis	42
A.1	Dokumentation der Bauteilaufbauten 43	44

A.2	Details der Kostenermittlung	50
A.3	Ergebnisse der Auswertung	52
A.3.1	Darstellung der Überschussstromdeckung und des energetischen Verhaltens	55
A.3.2	Darstellung des thermischen Raumkomforts	62
A.3.3	Darstellung der Umweltwirkungen	68
A.3.4	Darstellung der ökonomischen Bewertung	71
A.3.5	Darstellung der ökonomischen Bewertung (40 Jahre)	78
A.3.6	Überschussstrompreiszyklen	79

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien betrug im Jahr 2016 in der Bundesrepublik Deutschland etwa 191 TWh, dies sind ca. 30 % der erzeugten Gesamtstrommenge. Hiervon wurden 38 TWh mit Photovoltaikanlagen (PV) und 80 TWh mit Windkraftanlagen [1] erzeugt, die nicht regelbar sind und daher zur Sicherung der Netzstabilität zeitweise vom Netz genommen werden müssen. Aufgrund des schnell wachsenden Zubaus besonders von Windkraftanlagen, wird diese Erzeugungsmenge auch in Zukunft weiter steigen. Da die Solar- und Windstromproduktion nicht bedarfsabhängig erfolgen, resultieren daraus Überschussstrommengen. Zukünftig gilt es, den Stromverbrauch zu flexibilisieren, um das Angebot fluktuierender Stromerzeugung sinnvoll nutzen zu können. Damit ist ein Paradigmenwechsel von der „verbrauchsabhängigen“ Erzeugung hin zu einer „angebotsorientierten“ Nutzung von Energie verbunden. Mit der Umstellung des Energiesystems im Rahmen der Energiewende geht nicht nur ein erhöhter Anteil regenerativer und fluktuierender Stromerzeugung einher, sondern es sind auch eine erhöhte Effizienz bzw. ein erhöhter Anteil regenerativer Energie im Sektor Wärme zur Erreichung der gesteckten politischen Ziele notwendig.

Im Rahmen der Windheizung 2.0 Studie der Projektphase 2015/16 wurden anlagentechnische Konzepte erarbeitet, die es erlauben, Gebäude nahezu ausschließlich mit Überschussstrom (z.B. aus Starkwindereignissen) zu beheizen und die Zeiten zwischen verfügbarem Überschussstrom ohne einen nennenswerten Wärmebedarf für Heizung und Trinkwarmwasser (TWW) zu überbrücken. Zur Überbrückung dieser Zeiträume kommen unterschiedliche Speichersysteme in Frage. Im Rahmen der hier dargestellten Studie wird einerseits die Wärmespeicherung in thermisch aktivierten Betondecken (Bauteilaktivierungen; BTA) und andererseits die Speicherung in mehrere Kubikmeter großen Warmwasserspeichern betrachtet. Im Rahmen dieser Untersuchungen hat sich gezeigt, dass hierzu vor allem Einfamilienhäuser mit einem sehr hohen wärmetechnischen Standard geeignet sind. Als wirtschaftliche Speicherlösungen zeigen sich vor allem zwei Systeme: zum einen die Nutzung von großen Warmwasserspeichern (WWS) in Kombination mit Niedertemperatur-Flächenheizsystemen wie Fußbodenheizungen und zum anderen die Nutzung von thermischen Bauteilaktivierungen (BTA) zur parallelen Wärmespeicherung und Raumtemperierung. Im Rahmen der vorangegangenen Projektphase [2] wurden auch Hochtemperatur-Steinspeicher betrachtet, die konzeptionell großen, zentralen Nachtspeicherheizungen mit mehrtägiger Wärmespeicherung ähneln. Die abgeschätzten energetischen und wirtschaftlichen Ergebnisse sind vielversprechend. Da es sich hierbei allerdings um eine Technologie im Entwicklungsstadium handelt, wird sie im Rahmen dieser Studie nicht weiter betrachtet.

Ziel der hier beschriebenen Projektphase 2017 ist es, für Windheizung 2.0-Gebäude Kostenfunktionen bzw. Kostenoptima für die energetische Qualität der Gebäudehülle, die Rückwärmzahl der Lüftungsanlage und den Speichergrößen zu entwickeln. Diese Kostenfunktionen werden für unterschiedlich häufige und lange Möglichkeiten des Überschussstrombezugs (Strombezugszyklen) und verschiedene Preise für den Überschussstrom im Netz berechnet. Es werden aus-

schließlich Mehrkosten im Vergleich zur energetischen Mindestanforderung nach EnEV 2014 bewertet. Dieses Vergleichsniveau entspricht der Referenz aus der vorangegangenen Projektphase [2]. Im Rahmen dieser Studie werden zwei unterschiedliche Systemansätze untersucht: Die Wärmespeicherung in einem großen Warmwasserspeicher sowie mittels Bauteilaktivierung.

2 Methodik

Das Vorgehen bei dieser Studie teilt sich in 3 Phasen auf. In der 1. Phase, der in Abschnitt 4 dargestellten Voranalyse, wird eine Kostenfunktion entwickelt, die die Mehrkosten eines Windheizung 2.0-Gebäudes aus der energetischen Qualität der Gebäudehülle und der Lüftungsanlage in Abhängigkeit vom resultierenden spezifischen Endenergiebedarf für die Heizung darstellt. Zusätzlich werden die größenabhängigen Kosten für jedes Speichersystem errechnet. Somit stehen die Investitionskosten für jede Gebäude-Speicher-Kombination fest. Anschließend wird der spezifische Endenergiebedarf für die Beheizung der Gebäude bei einer Reihe unterschiedlicher Bauteilqualitäten und Rückwärmzahlen der Lüftungsanlage ermittelt und die ökonomischsten Lösungen selektiert. Diese Auswertungen werden stationär nach dem DIN V 18599-Monatsbilanzverfahren [3] (IBP18599-Software [4]) durchgeführt. Für die weiteren Projektphasen werden 5 Gebäudequalitäten (Bauteil U-Werte und Rückwärmzahl), die auf dieser optimierten Kostenfunktion liegen, gewählt und als dynamische Simulationsmodelle in WUFI® Plus abgebildet.

Mit Hilfe dieser in Abschnitt 3.3 beschriebenen dynamischen Modelle des Typgebäudes werden der Endenergiebedarf für die Heizung und Trinkwarmwassererwärmung (TWW) für diese gewählten 5 Gebäudequalitäten zusammen mit den beiden unterschiedlichen Speichersystemen und verschiedenen Speichergößen berechnet. Hieraus wird der jeweilige Überschuss- und Reststrombedarf und entsprechend die Überschussstromdeckung ermittelt. Reststrom bezeichnet im Rahmen der Studie konventionell erzeugten Strom, der dem deutschen Energiemix entstammt und zum Normaltarif bewertet wird. Dabei wird die Häufigkeit der Verfügbarkeit von Überschussstrom durch die Verwendung von 3 verschiedenen Strombezugszyklen zusätzlich variiert, so dass sich für jeden dieser Bezugszyklen eigene Werte für den Energiebedarf und die Überschussstromdeckung ergeben.

Basierend auf diesen Energiebedarfswerten werden die Betriebskosten für das jeweilige Windheizung 2.0-Gebäude und für jeden Strombezugszyklus ermittelt. Hierbei werden die entsprechenden Börsenstrompreise des jeweiligen Strombezugszyklus mit 4 unterschiedlichen Stromkostenzuschlägen (2,5; 5; 10 und 15 ct/kWh) erhöht. Die so ermittelten Energiekosten werden zu den Wartungs- und Investitionskosten des jeweiligen Gebäudes addiert und der resultierende Kapitalwert über den Bewertungszeitraum ermittelt. Somit sind alle Kosten bekannt und es kann eine Gesamtkostenfunktion und das resultierende Optimum für das jeweilige Speichersystem ermittelt werden, welches für den jeweiligen Strombezugszyklus und den jeweiligen Stromkostenzuschlag gültig ist.

3 Randbedingungen

3.1 Analyse des Börsenstrompreises

Der EPEX Börsenstrompreis des Intraday-Handels bestimmt, zu welchem Zeitpunkt das Windheizung 2.0-Gebäude in dieser Studie mit Überschussstrom beladen werden kann. Fällt der Börsenpreis unter einen definierten Grenzwert, steht nach Windheizung 2.0-interner Definition Überschussstrom zur Verfügung. Für diese Studie wird der gehandelte EPEX Intraday-Börsenstrompreis aus dem Jahr 2015 und 2016 herangezogen. Gemäß einer Untersuchung des ZIES [5] zeigen die Werte unter einem gewichteten mittleren Strompreis von 1 ct/kWh eine gute Korrelation mit Starkwindereignissen.

Fällt der gewichtete Durchschnittspreis des Intraday-Handels unter eine bestimmte Grenze des Strompreises, kann das Gebäude mit Überschussstrom beladen werden. Für diese Studie sind drei Grenzen festgelegt: -1; 0 und 1 ct/kWh. Folglich werden drei Zeitprofile bzw. drei Überschussstrompreiszyklen für die Heizperiode abgeleitet, die als Randbedingung für die Simulation herangezogen werden können. Diese legen nun fest, zu welchen Zeiten Überschussstrom vorhanden ist, bzw. zu welchen Zeiten das Gebäude mit Überschussstrom beladen werden kann.

Der Börsenstrompreis für den kontinuierlichen Intraday-Handel enthält Einzelstunden-Kontrakte und 15-Minuten-Kontrakte. Ein abwechselnder Erwerb von 1h- und 15min-Kontrakten des Intraday Marktes ist möglich. Folglich werden beide Kontrakte zur Bestimmung der Strompreiszyklen herangezogen. Fällt der gewichtete Durchschnitt des Einzelstunden-Kontraktes unter die jeweilige Grenze, kann das Gebäude die gesamte Stunde mit Überschussstrom beladen werden. Fällt nicht der Stunden- aber ein 15-Minuten-Kontrakt unter die Grenze, kann das Gebäude auch im 15-Minuten Takt beladen werden. Die Handelsgebühren von 0,01 ct/kWh werden hierbei ebenfalls berücksichtigt.

Die resultierenden Stunden-, bzw. 15-Minuten-Intervalle, in denen das Gebäude in dieser Studie mit Überschussstrom beladen werden kann, sind in Bild 1 akkumuliert dargestellt. Die mittleren Belade- und Überbrückungsdauern sowie die 95 %-Quantile der Belade- und Überbrückungszeitensind in Tabelle 1 zusammengefasst. In der Tabelle ist ebenfalls die Summe der Stunden eingetragen, welche die maximal zur Beladung mit Überschussstrom verfügbare Zeit darstellt. Die Überschussstrombezugspreiszyklen sind im Anhang A.3.6 abgebildet.

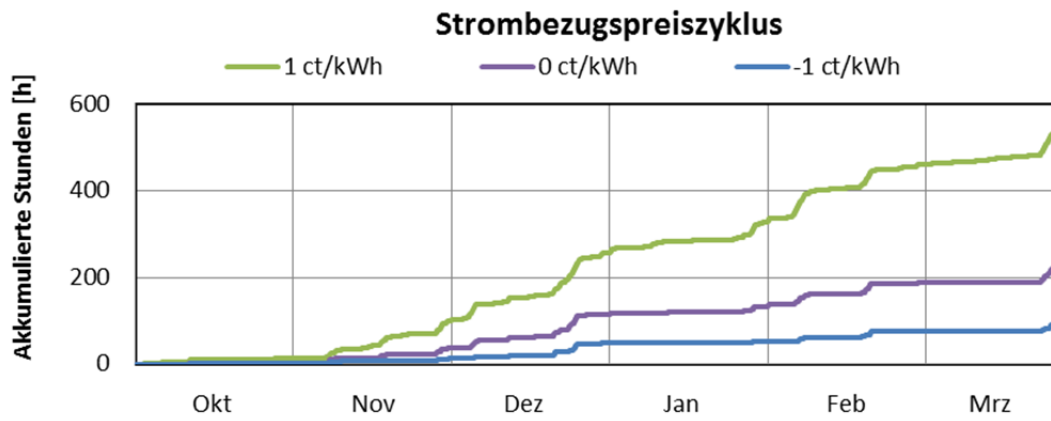


Bild 1:
Akkumulierte Stunden in der Heizperiode in denen, entsprechend dem Strombezugspreis, das Windheizung 2.0-Gebäude beladen werden kann. Diese Darstellung basiert auf den Börsenstrompreisen aus den Jahren 2015/16.

Tabelle 1:
Kenngrößen der Strombezugszyklen. Diese Darstellung basiert auf den Börsenstrompreisen aus den Jahren 2015/16.

Bezugspreisgrenze	-1	0	1	ct/kWh
Handelsgebühr	0,01			ct/kWh
Summe der Beladungsstunden	92	222	535	h
Mittlere Beladedauer	1	1	1	h
Mittlere Überbrückungsdauer	34	18	8	h
Längste Dauer (95 %-Quantil)	4	6	6	h
Längste Überbrückung (95 %-Quantil)	193	80	34	h

3.2 Klimadatensatz

Für das Außenklima wird in Übereinstimmung mit DIN V 18599-10 [3] das Testreferenzjahr des Deutschen Wetterdienstes (DWD) Version 2004 der Region 13 für Potsdam [6] angesetzt (Bild 2 und Bild 3). Extreme Wetterbedingungen werden nicht betrachtet.

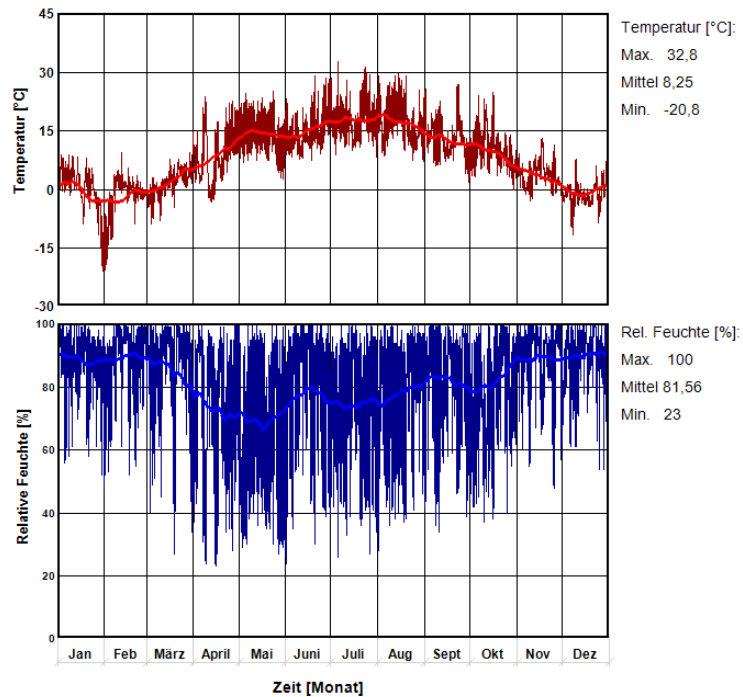


Bild 2:
Außenlufttemperatur und -feuchte der Region 13,
DWD-Testreferenzjahre (Version 2004).

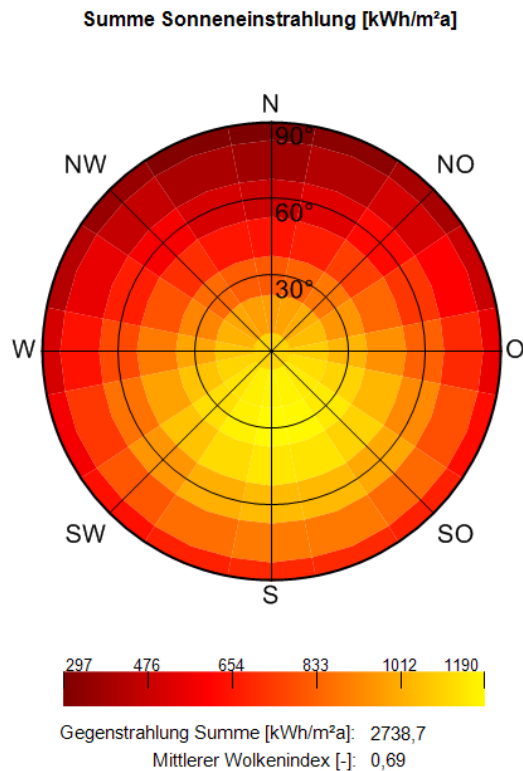
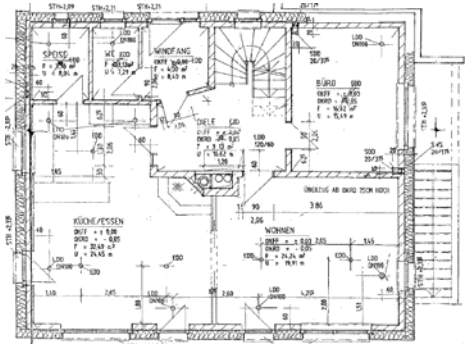


Bild 3:
Für das Testreferenzjahr der Region 13, Version 2004 aus horizontaler Direkt- und Diffusstrahlung resultierender solarer Eintrag in Abhängigkeit von der Orientierung (Ausrichtung) und Neigung.

3.3 Festlegung des Typgebäudes

Im Rahmen dieser Studie wird als Typgebäude der Neubau eines Einfamilienhauses betrachtet. In Übereinstimmung mit der Projektphase 2015/16 [2] wird das Wohnhaus „Leitershofen“ gewählt (siehe Abschnitt 3.2 in [2]). Das Gebäude ist mit einer Wohnfläche von ca. 250 m² zuzüglich einer „warmen“ Kellerfläche von ca. 90 m² zwar überdurchschnittlich groß, bildet so jedoch einen gehobenen Baustandard ab und ist aufgrund der in der Vorstudie gewonnenen Erfahrungen gut zur vergleichenden Einstufung der erzeugten Simulationsergebnisse geeignet. Das Gebäude ist in Bild 4 mit Ansicht und Erdgeschoßgrundriss dargestellt. Dieses Gebäude verfügt über eine Energiebezugsfläche gemäß EnEV [7] von 434 m².



Ansicht

Erdgeschoß

Bild 4:

Ansicht und Erdgeschoßgrundriss des Wohngebäudes Leitershofen.

In der Projektphase 2015/16 werden die Simulationsrandbedingungen in Anlehnung an DIN V18599 [3] festgelegt (siehe Abschnitt 3, [2]). In der aktuellen Projektphase werden abweichend die Randbedingungsannahmen nach der Passivhausprojektierung (PHPP) festgelegt. Die resultierenden Änderungen sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2:

Änderungen bei den Randbedingungen im Vergleich mit der Projektphase 2015/16.

Randbedingungs Parameter	Phase 2015/16 Nach 18599	Phase 2017 Nach PHPP
Infiltrationsluftwechsel [1/h]	0,042	0,021
Nutzungsbedingte Fensterluftwechsel [1/h]	∅0,08	-
Luftwechsel mechanische Lüftung [1/h]	0,378	0,300
Interne Wärmequellen aus Personen, Geräten und Kunstlicht [W/m ²]	1,875	2,1
Rückwärmezahl der WRG	90 %	(60 % - 95 %) -> 95 % ¹
Wärmebrücken [W/(m ² K)] ²	0,05	-
U-Werte der Gebäudehülle	feste U-Werte ([2])	siehe Abschnitt 4.3
Weitere Änderungen nicht in der DIN V 18599 / PHPP begründet		
Leistung Hausanschluss [kW]	160	50
Zulässige operative Raumtemperaturen[°C]	20 - 25	20 - 22
Fensterlüftung bei Überhitzung [-]	-	ja

¹: Ergebnisse der Voranalyse (siehe Abschnitt 4)

²: Berücksichtigung des erhöhten Planungsaufwands bei der ökonomischen Analyse

3.3.1 Betrieb in der Heizperiode

Als Heizperiode des Gebäudes wird der Zeitraum von Anfang Oktober bis Ende März betrachtet, also eine Dauer von 6 Monaten. Eine Heizperiode besteht aus einer Kern-Heizperiode in welcher der wesentliche Anteil des Heizenergiebedarfs anfällt und den Übergangszeiten in Frühling und Herbst. In diesen Übergangszeiten fällt zwar, je nach energetischer Gebäudequalität, noch ein geringer Heizenergiebedarf an, der wesentliche Endenergiebedarf wird jedoch vom jahreszeiten-unabhängigen Bedarf an Trinkwarmwasser (TWW) dominiert. (Der Begriff „Bedarf“ bezeichnet eine nicht gemessene, rechnerisch ermittelte Energiemenge. Die Endenergie enthält die Energiemengen, die zum Betrieb des Gebäudes beschafft werden müssen. Sie enthält also nicht die Erträge der Solarthermie, sondern wird um diese reduziert Die Solarerträge werden sowohl in der Heiz- als auch in der Sommerperiode berücksichtigt). Wegen des reduzierten Wärmebedarfs in Herbst und Frühling sollte die Speicherbeladung aus Überschussstrom in diesen Zeiträumen reduziert werden.

Auf Grund der langen Überbrückungszeiträume bei dem Windheizung 2.0-Konzept bietet sich hierfür eine prädikative Regelung an, die in der Lage ist, sowohl den aktuellen Beladezustand des Gebäudes als auch die vorhergesagte Witterung und die prognostizierten Strompreise zu berücksichtigen. Da allerdings die Entwicklung einer derart komplexen Regelung erst im Rahmen der geplanten folgenden Projektphase möglich sein wird, ist in der vorliegenden Studie zur Definition der Übergangszeiten ein einfacher fixer Umschaltzeitpunkt festgelegt. Die Umsetzungen dieser Umschaltung auf eine reduzierte Speicherbeladung sind für die Warmwasserspeicher (WWS) in Abschnitt 3.3.3 und für die Bauteilaktivierung (BTA) in Abschnitt 3.3.4 erläutert.

In Bild 5 sind die Verläufe des idealen Heizwärmebedarfs der 5 betrachteten Gebäudequalitäten EnEV20 – EnEV60 (siehe Abschnitt 4.3) dargestellt. Es wird deutlich, dass bei allen 5 Gebäudequalitäten ein wesentlicher Teil des Heizwärmebedarfs (ca. 70 %) in den Monaten Dezember, Januar und Februar anfällt. Entsprechend werden diese 3 Monate als der Kernteil der Heizperiode definiert. Betrachtet man parallel den Verlauf der Außenlufttemperatur während der Heizperiode des in der Studie verwendeten Testreferenzjahres Nr. 4 für Potsdam [6] (Bild 6) ist erkennbar, dass die gewählte Kernheizperiode relativ gut mit dem Zeitraum korreliert, in dem Außenlufttemperaturen unterhalb von 0 °C auftreten.

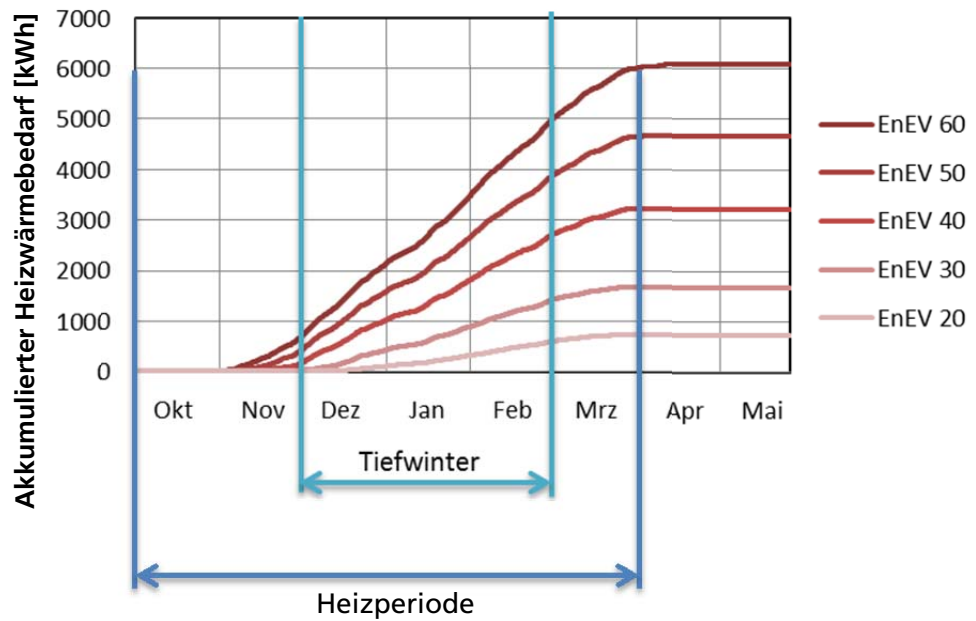


Bild 5:
Verlauf des Heizwärmebedarfs der 5 betrachteten Gebäudequalitäten (EnEV20 – EnEV60, siehe Abschnitt 4.3) für das DWD-Testreferenzjahr Nr. 4 für Potsdam.

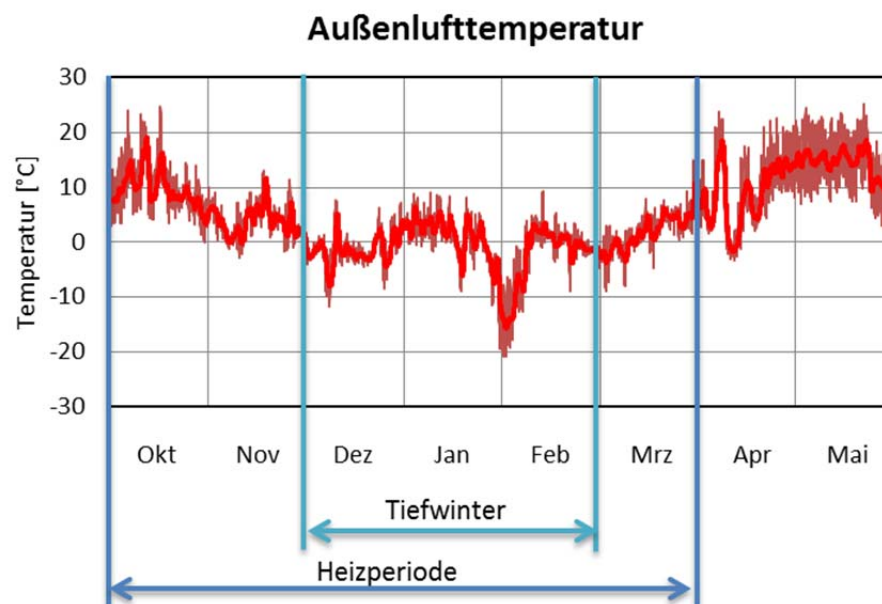


Bild 6:
Verlauf der Außenlufttemperatur des in der Studie verwendeten Testreferenzjahres Nr. 4 für Potsdam [6] während der Heizperiode.

3.3.2 Systeme zur Trinkwarmwasserbereitung

Der Warmwasserspeicher (WWS) bei den Varianten ohne BTA ist als (ggf. sehr großer) Schichtenspeicher ausgeführt. Bei den Varianten mit BTA-System wird zusätzlich ein 915 l-Pufferspeicher verwendet, der ausschließlich der TWW-Bereitung dient. Bei beiden Speichersystemen wird das TWW mittels einer Frischwasserstation mit Wärme aus dem Schichtenspeicher erwärmt. Im Sommerbetrieb wird der Speicher ausschließlich über die thermischen Solarkollektoren (12 m²) auf dem Dach beladen. In der Heizperiode wird der Speicher, zusätzlich zu den Solarthermieerträgen, mit Überschussstrom geladen. Die Beladung der Speicher mit Überschussstrom erfolgt über einen durchflussgeregelten 50 kW-Durchlauferhitzer. Beim WWS wird systembedingt, zusätzlich zum TWW, Heizwarmwasser aus dem Speicher entnommen. Ist die Wassertemperatur im Speicher unterhalb der Zapftemperatur von 45 °C, wird die Differenz im Durchlaufverfahren direktelektrisch nachgeheizt. Die Beladetemperatur der Wasserspeicher wird aus technischen Gründen auf 85 °C begrenzt.

3.3.3 Betrachtung des großen Warmwasserspeichers

Im Rahmen der hier dokumentierten Studie werden 10 unterschiedlich große WWS von 915 l bis 22.000 l untersucht. Eine schematische Darstellung des Gesamtsystems zeigt Bild 7. Es wird angenommen, dass alle Komponenten des WWS im Keller, innerhalb der wärmetauschenden Hüllfläche untergebracht werden. Somit werden alle Speicherverluste (unterstützt durch die Lüftungsanlage) wieder innerhalb des Gebäudes verteilt. Hieraus folgt jedoch dass, um eine Überhitzung des Gebäudes zu vermeiden, die Speicherverluste durch eine entsprechend dimensionierte Dämmung soweit reduziert werden müssen, dass diese Verluste den Wärmebedarf des Gebäudes nicht übersteigen. Die im Rahmen der Studie angenommene minimale Dämmdicke (15 cm) des Speichers entspricht einem U-Wert von 0,25 W/(m²K). Aus Platzgründen wird eine Begrenzung der maximalen Dämmstärken auf 0,5 m festgelegt. Es wird nun für alle 5 energetischen Gebäudequalitäten und alle 10 WWS-Größen ermittelt, welche Dämmstärken notwendig sind, um den mittleren Raumwärmebedarf des Gebäudes in den Übergangszeiten nicht zu übertreffen. Die Ergebnisse dieser Berechnung sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

In den Übergangszeiten werden die Schichtenspeicher nicht vollständig, sondern nur bis zur Position des mittleren Temperaturfühlers bis auf 85 °C beladen. Weitere Details zum TGA-System können dem Abschlussbericht der vorangegangenen Projektphase 2015/16 [2] (Abschnitt 3.5) entnommen werden.

Tabelle 3:
Resultierende Dämmstärken für den WWS bei einer Wärmeleitgruppe der Dämmung von 035.

Speichergröße [l]	Gebäudequalität				
	EnEV60 12,8 kWh/(m²a)	EnEV50 9,9 kWh/(m²a)	EnEV40 7,0 kWh/(m²a)	EnEV30 4,0 kWh/(m²a)	EnEV20 2,5 kWh/(m²a)
915	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
4.000	0,15	0,15	0,15	0,15	0,23
8.000	0,15	0,15	0,15	0,21	0,38
10.000	0,15	0,15	0,15	0,25	0,45
12.000	0,15	0,15	0,15	0,28	0,50
14.000	0,15	0,15	0,15	0,31	0,50
16.000	0,15	0,15	0,15	0,34	0,50
18.000	0,15	0,15	0,16	0,37	0,50
20.000	0,15	0,15	0,18	0,40	0,50
22.000	0,15	0,15	0,20	0,43	0,50

Die WWS werden in allen Fällen mittels eines Durchlauferhitzers mit 85 °C warmem Wasser beladen. Der Durchlauferhitzer ist durchflussgeregelt. Er erhöht also den Durchfluss im Rahmen des technisch Möglichen so weit, dass er unabhängig von der aktuellen Temperaturspreizung seine Maximalleistung an den Speicher abgeben kann. Wie in Abschnitt 3.3.1 erläutert, wird der WWS in den Übergangs- und in der Kernheizperiode unterschiedlich stark beladen. Im Kernwinter wird der gesamte WWS beladen. Der Überschussstrombezug wird also erst dann beendet, wenn der untere Temperaturfühler die maximale Speichertemperatur von 85 °C erreicht, so dass der gesamte Speicher mit 85 °C warmem Wasser beladen ist. In der Übergangszeit wird die Beladung dann beendet, wenn an dem Temperaturfühler in Speichermitte eine Wassertemperatur von 55 °C herrscht. In dieser Situation ist auf Grund der Temperaturschichtung im Speicher etwa die obere Hälfte des Speichers mit heißem Wasser (85 °C) beladen, während die untere Hälfte nahezu unbeheizt bleibt. Dieses Verhalten des WWS in einer Übergangs- und einer folgenden Kernheizperiode ist in Bild 8 dargestellt.

Bei BTA-Systemen wird der kleine Wasserspeicher zur TWW-Bereitung (915 l) analog zu den hier beschriebenen großen WWS betrieben.

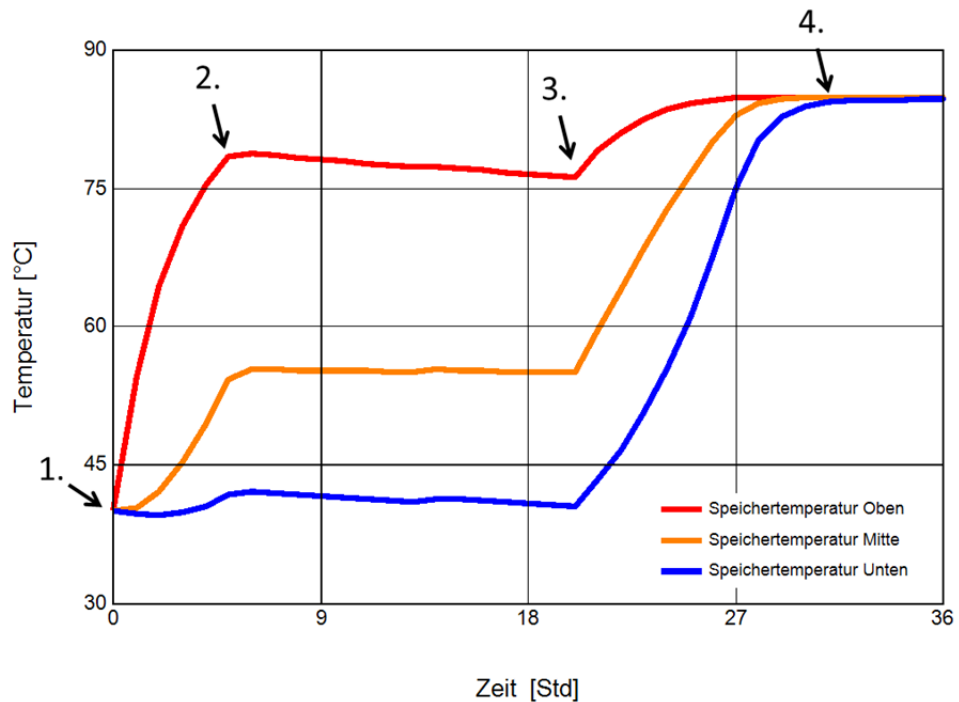


Bild 8:
Darstellung des geschichteten Temperaturverlaufs eines 12.000 l WWS ohne aktive Wärmeentnahme am Beginn der Heizperiode (1.), nach der abgeschlossenen Übergangszeitbelastung (2.), beim Beginn der Beladung für den Tiefwinter (3.) und nach Abschluss der vollständigen Beladung (4.).

3.3.4 Betrachtung der Bauteilaktivierung als Speicher

Bei den Varianten mit Bauteilaktivierung (BTA) soll die Gebäudemasse als Wärmespeicher dienen. In dieser Studie werden die Innendecken sowie die Bodenplatte als thermisch aktivierbare Bauteile genutzt. Das BTA-Rohrsystem wird hierzu in den horizontalen Betonbauteilen an oberer Seite, unterhalb der Trittschalldämmung bzw. des Estrichs angesetzt. Es werden drei Varianten der BTA untersucht. Bei der ersten Variante (BTA1) wird die Betondeckendicke bei 20 cm belassen, analog den Gebäuden mit Warmwasserspeichern (WWS). In einer weiteren Variante wird die thermische Masse deutlich vergrößert, indem die Betondeckendicke (einschließlich Bodenplatte) auf 35 cm erhöht wird (BTA2). Mit einer weiteren Variante (BTA3) werden zusätzlich zu den 35 cm dicken Betondecken auch die Badezimmerinnenwände thermisch, mit badseitig angebrachten BTA-Systemen, aktiviert.

Die Bauteile sollen soweit wie möglich mit Überschussstrom beladen werden, um während der Überbrückungszeiten (Reststrombetrieb) keine weitere Energie zu benötigen. Hierzu ist es notwendig, sowohl die Vorlauftemperatur der BTA als auch den Sollwert der Raumtemperatur während der Zeiten des Überschussstrombezugs zu erhöhen. Festgelegt ist ein Behaglichkeitskorridor im Innenraum von 20 – 22 °C. Abweichend zu den WWS-Varianten werden bei der BTA die Räume bei Überschussstrom bis auf 22 °C aufgeheizt. Die Beladetemperatur

ren der BTA werden je nach Betrieb mit Überschuss- oder Reststrom auf unterschiedliche Niveaus geregelt.

Die untere Grenze des Behaglichkeitskorridors von 20 °C in den Aufenthaltsräumen soll stets eingehalten werden. Im Reststrombetrieb werden die Bauteile mit einer geringeren Vorlauftemperatur erwärmt als bei Überschussstrom. Sobald die Operativtemperatur im Raum unter 20 °C fällt, wird der Massenstrom der einzelnen thermisch aktivierten Bauteile derart geregelt, dass die minimale Operativtemperatur in den Räumen eingehalten wird. Die Beladetemperatur der Bauteile im Reststrombetrieb ist mitentscheidend dafür, dass dem Raum ausreichend Wärme zugeführt wird, um nicht unter die untere Temperaturgrenze zu fallen. Ist sie zu niedrig gewählt, wird das Bauteil zu kalt, um den Raum auf Soll-Temperatur zu halten. Zugleich ist die Beladetemperatur bei Reststrom ebenso entscheidend dafür, dass in Zeiten mit Überschussstrom möglichst viel zusätzliche Wärme eingebracht werden kann. Umso kälter die Bauteile vor einem Beladevorgang sind, desto mehr Energie kann in ihnen gespeichert werden. Sind die thermisch aktivierten Bauteile wärmer als notwendig, um die untere Grenze des Behaglichkeitskorridors zu halten, kann weniger Wärme mit Überschussstrom eingebracht werden.

Folglich soll im Betrieb mit Überschussstrom ein großer Temperaturanstieg in den Bauteilen möglich sein. Hierfür wird die Soll-Operativtemperatur in den Räumen auf 22°C erhöht. Die Bauteile werden so lange beladen, bis die obere Grenze des Behaglichkeitskorridors erreicht ist. Steigt die Temperatur über diese Grenze, wird der Massenstrom der BTA herabgesetzt, bzw. abgestellt. Damit viel Wärme in kurzer Zeit in die Bauteile eingetragen werden kann, wird die Vorlauftemperatur der Bauteile während der Überschussstrombeladungen deutlich erhöht.

Sowohl für den Überschuss- als auch den Reststrombetrieb wird zwischen Übergangszeit und Tiefwinter unterschieden. In der Übergangszeit ist die Heizlast geringer als im Tiefwinter. Die Bauteile sollen nicht zu warm werden. Um eine mögliche Überhitzung der Räume zu vermeiden, wird in der Übergangszeit die Beladetemperatur mit Reststrom um 1 K und mit Überschussstrom um 2 K verringert.

In dieser Studie werden drei Varianten der Beladetemperatur bei Überschussstrom betrachtet. Die gewählten Vorlauftemperaturen der drei Varianten sind in Tabelle 4 angegeben. Die Beladung bzw. der Betrieb des Speichers zur TWW-Bereitung erfolgt analog zum Betrieb des großen WWS (siehe Abschnitt 3.3.3).

Tabelle 4:
Gewählte Vorlauftemperaturen der BTA-Systeme.

Niveau Beladetemperatur		Sollvorlauftemperatur [°C]			
		Übergangszeit		Tiefwinter	
		Überschussstrombetrieb	Reststrombetrieb	Überschussstrombetrieb	Reststrombetrieb
B1	Niedrig	30	24	32	25
B2	Mittel	33		35	
B3	Hoch	35		37	

Weitere Details zum BTA-System können dem Abschlussbericht der vorangegangenen Projektphase 2015/16 [2] (Abschnitt 3.5) entnommen werden. Das resultierende Verhalten der BTA-Vor- und Rücklauftemperaturen bei Überschuss- und Reststrom ist in Bild 9 exemplarisch dargestellt. Abgebildet ist das BTA-Systemverhalten der Zwischendecke unter dem Gästezimmer im Dachgeschoss. Der Kurvenverlauf zeigt in Rot die Vorlauftemperatur und in Orange die Rücklauftemperatur. Die blaue Kurve zeigt die Operativtemperatur im Gästezimmer. Bei Markierung (1.) ist bei dem zugrunde gelegten Strombezugszyklus (0 ct/kWh) Überschussstrom vorhanden und das Bauteil wird mit einer Vorlauftemperatur von 30 °C in der Übergangszeit beladen. Bei Markierung (2.) ist ein Absinken der Operativtemperatur unter 20 °C verhindert worden, da das Bauteil mit Reststrom und einer Vorlauftemperatur von 24 °C warm gehalten wurde. Möglich wäre hier alternativ auch eine sehr kurze Beladung in nächtlichen Schwachlastzeiten mit dann deutlich höheren Vorlauftemperaturen von bis zu 50 °C. Markierung (3.) zeigt die Beladung mit Überschussstrom im Tiefwinter, mit einer erhöhten Vorlauftemperatur auf 32 °C. An dieser Stelle wird die Beladung des Bauteils abgestellt, da sonst die Operativtemperatur im Raum über 22 °C ansteigen würde. Infolge der Trägheit des Systems erfolgt trotz Abschaltung der Bauteilbeladung bei dieser Variante eine minimale Überschreitung der hier angenommenen Grenztemperatur von 22 °C im Raum.

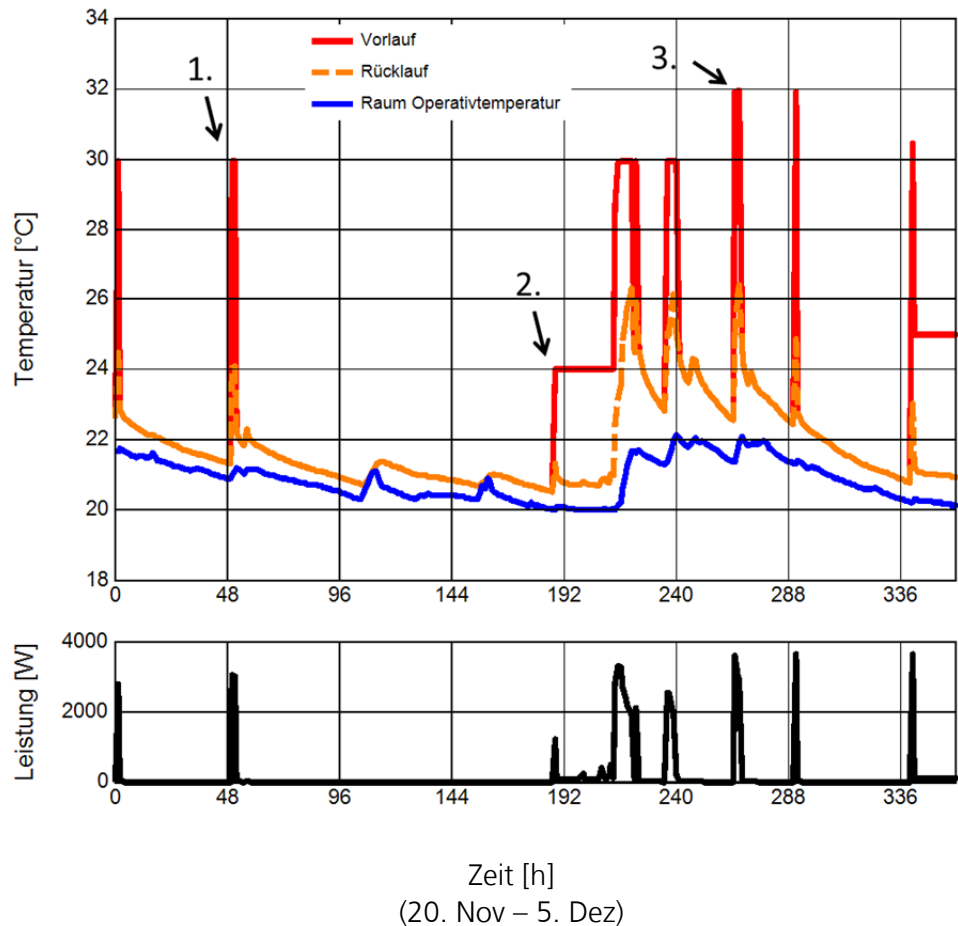


Bild 9:

Beispielhafte Darstellung des BTA-Systemverhaltens der Zwischendecke unter dem Gästezimmer im Dachgeschoss im Zeitraum vom 20. November bis 5. Dezember, der Vorlauftemperatur (Rot), Rücklauftemperatur (Orange) und Operativtemperatur (in diesem Fall im Gästezimmer im Dachgeschoss). Abgebildet ist die Variante mit moderatem Gebäudedämmstandard (ca. $12,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$) im Strombezugspreiszyklus 0 ct/kWh mit niedriger Beladetemperatur (B1) und 20 cm Betondecken (BTA1).

(1.) Beladung des Bauteils in der Übergangszeit ($30 \text{ }^\circ\text{C}$),

(2.) Beladen mit Reststrom ($24 \text{ }^\circ\text{C}$),

(3.) Beladen im Tiefwinter ($32 \text{ }^\circ\text{C}$).

Das Diagramm darunter zeigt die in das Bauteil eingebrachte Wärmeleistung.

3.4 Kostenannahmen zur ökonomischen Analyse

Die dieser Studie zugrundeliegenden Kostenannahmen für die einzelnen Technologien werden einer aktuellen Untersuchung zur Verschärfung der Anforderungen an die Energieeinsparverordnung (EnEV 2017) entnommen [8]. Diese Kostenansätze sind mit den zuständigen Bundesbehörden und sonstigen Interessensvertretern abgestimmt und somit über die Gewerke konsensfähig. Sie stellen bundesweite Mittelwerte dar. Örtliche Preise können daher konjunkturell- oder regionalbedingt abweichen. Mögliche derzeitige Marktverzerrungen sind hier ebenfalls nicht berücksichtigt. Die für die Gebäudeeffizienz zugrundeliegenden Kostenansätze sind Momentaufnahmen des Jahres 2016/17. Grundsätzlich sind hier durch Weiterentwicklung von Ausführungsdetails auch Kostensenkungen (bzw. unter Umständen auch Erhöhungen) für Effizienzmaßnahmen und damit Verschiebungen der Wirtschaftlichkeitsergebnisse möglich.

In dieser Studie werden alle Investitions- und Betriebskosten über eine Laufzeit von 25 Jahren nach der Kapitalwertmethode bewertet. „Der Kapitalwert einer Investition ist die Summe der Barwerte aller durch diese Investition verursachten Zahlungen (Ein- und Auszahlungen). Die Summe der diskontierten Zahlungen entspricht somit dem Integral über den Zahlungsstrom, der mit einer fallenden Exponentialfunktion gemäß Kalkulationszinssatz bewertet wird. Zum besseren Verständnis der Rechenoperation kann der Kapitalwert auch als der errechnete Geldbetrag betrachtet werden, der eingesetzt werden müsste, um unter Berücksichtigung der Verzinsung und der Ein- und Auszahlungen am Ende der Betrachtung zu einem Saldo von 0 zu gelangen. Voraussetzung ist hierbei die Wiederanlageprämisse, d. h. die zwischenzeitliche Anlage der Überschüsse zum Kalkulationszinssatz“ [9].

Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wird zusätzlich ein Bewertungszeitraum von 40 Jahren untersucht. Beiden betrachteten Zeiträumen liegt die Annahme zu Grunde, dass ein Anlagenbetrieb über den gesamten Bewertungszeitraum ohne Reinvestitionen möglich ist.

Die Kostendifferenzen zwischen den einzelnen Windheizung 2.0-Varianten bezogen auf die EnEV-Referenz setzen sich folgendermaßen zusammen. Die einzelnen Kostenpositionen sind in Anhang A.2 dargestellt.

Mehrkosten für die Gebäudequalitäten der Wandheizung 2.0-Gebäude (EnEV60 – EnEV20)

Jede Windheizung 2.0-Variante unterscheidet sich technisch gesehen bezüglich der folgenden 4 Aspekte von dem Referenzgebäude:

- Mehraufwand bezüglich der Dämmung der wärmetauschenden Hüllfläche zum Erreichen der geringeren U-Werte für die jeweilige Gebäudequalität.
- Mehraufwand zur Erstellung einer Lüftungsanlage mit Zu- und Abluft und Wärmerückgewinnung (WRG) verglichen mit den Kosten für eine einfache Abluftanlage (Referenz).

- Mehrkosten für einen Durchlauferhitzer zur thermischen Umwandlung des Überschussstroms.
- Minderaufwand durch den Wegfall des Öl-Brennwertkessels der EnEV (2014)-Referenztechnologie inklusive Heizkörper und Verrohrung.

Hinzu kommen die varianten-spezifischen Kosten für die Speicher- und Übergabesysteme, die weiter unten in diesem Abschnitt erläutert werden.

In dem Gutachten zur EnEV 2017 [8] stehen für die Kostenermittlung die Gesamtkosten der einzelnen Außenbauteile pro Fläche in Abhängigkeit vom angestrebten U-Wert zur Verfügung. Es werden für jedes Außenbauteil die spezifischen Flächenkosten für den Referenz- und für den Windheizung 2.0-Aufbau errechnet und durch Differenzbildung die Windheizung 2.0-Mehrkosten ermittelt. Dieses Vorgehen ist beispielhaft in Bild 10 dargestellt. Diese Differenzkosten werden mit der Fläche des jeweiligen Bauteils multipliziert, um die Windheizung 2.0-Mehrkosten für die einzelnen Bauteile zu ermitteln. Die Summe der Mehrkosten dieser einzelnen Bauteile ergibt die Windheizung 2.0-Mehrkosten zur Verbesserung der Qualität der wärmetauschenden Hüllfläche.

Diese Mehrkosten der opaken Bauteile werden für das betrachtete Typgebäude ohne Berücksichtigung des Baumaterials des Wandbildners ermittelt, da der Wandbildner sowohl bei der Referenz als auch bei der Windheizung 2.0-Variante identisch ist.

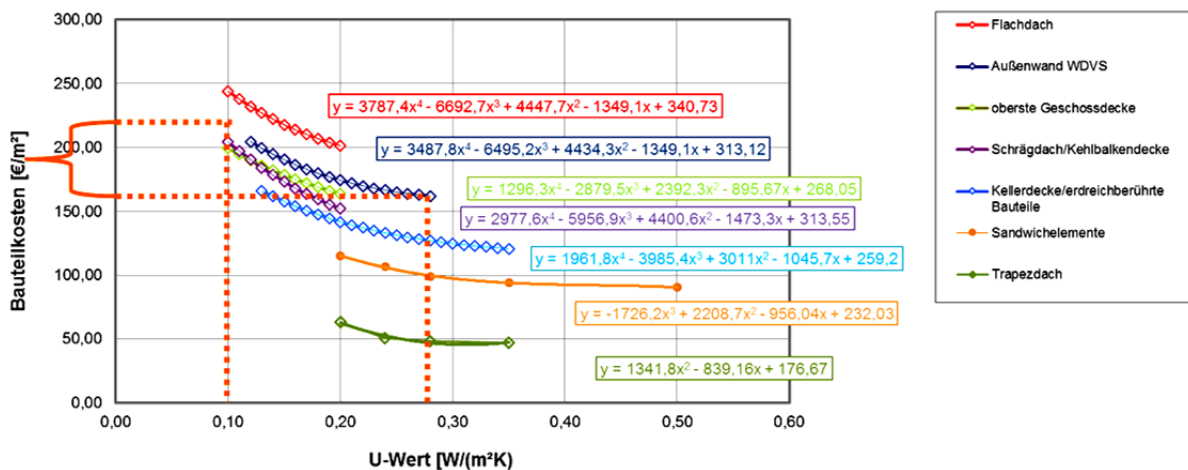


Bild 10: Schematische Darstellung der Ermittlung der Differenzkosten für die Bauteile der wärmetauschenden Hüllfläche am Beispiel der Außenwand. Kostenfunktionen aus [8].

Wie anhand der blauen Linie rechts in Bild 11 erkennbar ist, enthalten die Fensterkosten nach dem EnEV2017-Gutachten innerhalb der 3-fach Wärmedämmverglasungen (U_w -Werte 0,95 – 0,8 $W/(m^2K)$) einen steilen Anstieg. Dieser wird als nicht mehr aktuell erachtet. Die zusätzlich eingeholten Angebote für entsprechende Fenster(-Kosten) für U_w -Werte unterhalb von 0,8 W/m^2K [10] sind deutlich günstiger, enthalten jedoch keine Montagekosten (graue Linie rechts in Bild 11). Aus dem Vergleich dieser beiden Kostenquellen für Fenster mit U_w -Werten von 1,3 und 0,95 $W/(m^2K)$ werden die Montagekosten mit 83 €/m² abgeschätzt. Es resultieren die links in Bild 11 dargestellten, flächenbezogenen Investitionskosten für die transparenten Teile der wärmetauschenden Hüllfläche.

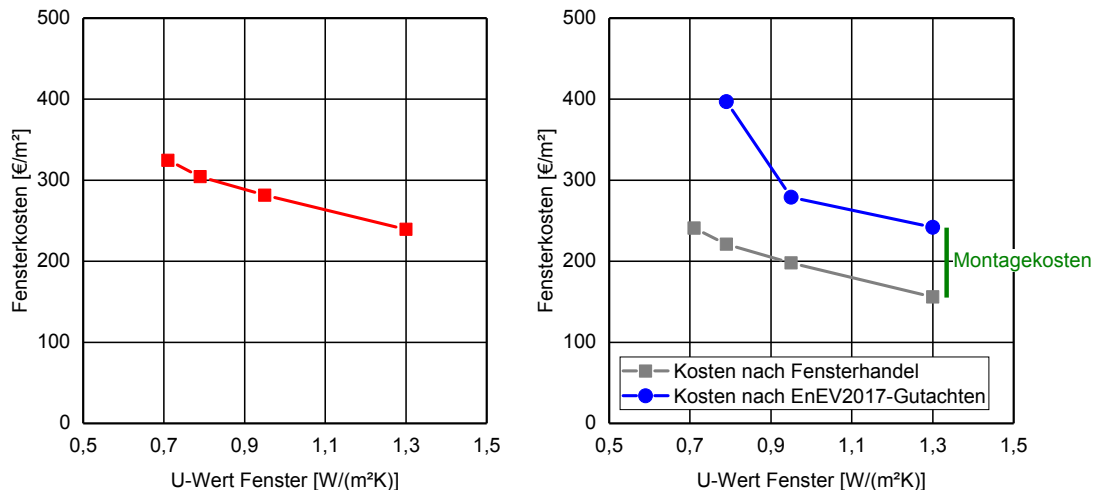


Bild 11:
Angesetzte Fensterkosten (links) und ihre Herleitung (rechts).

Die Mehrkosten für eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, verglichen mit einer reinen Abluftanlage, werden in Abhängigkeit der Wohnfläche ermittelt. Allerdings enthält das für die anderen Kosten herangezogene EnEV2017-Gutachten [8] lediglich die Kosten für eine Lüftungsanlage mit einer Rückwärmzahl von 90 % (Bild 12, rote Markierung). Das Vorgängergutachten für die EnEV 2012 [11] enthält entsprechende Differenzkosten für Rückwärmzahlen von 60 % und 80 %, die linear interpoliert (Bild 12, gestrichelte, orangene Linie) und auf das EnEV2017-Niveau angehoben werden (Bild 12, gelbe Linie). Mit diesem Vorgehen erhält man die Differenzkosten für die benötigten hohen Rückwärmzahlen.

Dieses Vorgehen hat allerdings zur Folge, dass vor allem im aktuell besonders relevanten Bereich mit hohen Rückwärmzahlen (95 %) die Kosten das Ergebnis einer gewissen Extrapolation sind (90 % auf 95 %). Um die so extrapolierte Steigung in diesem Bereich zu überprüfen, werden Kostenangaben des Herstellers Maico für Lüftungsgeräte mit Rückwärmzahlen von 90 % und 95 % verwendet (Bild 12, blaue, gestrichelte Linie; nur Gerät ohne Kanäle etc.) und anschließend zur Berücksichtigung der zusätzlichen Kosten für Kanäle, Luftauslässe, etc. ebenfalls auf das EnEV2017-Niveau angehoben (Bild 12, blaue Linie). Es

ergeben sich fast identische Steigungen zwischen Rückwärmzahlen von 90 % und 95 %. Folglich können die interpolierten und angehobenen EnEV2012-Kosten (Bild 12, gelbe Linie) verwendet werden.

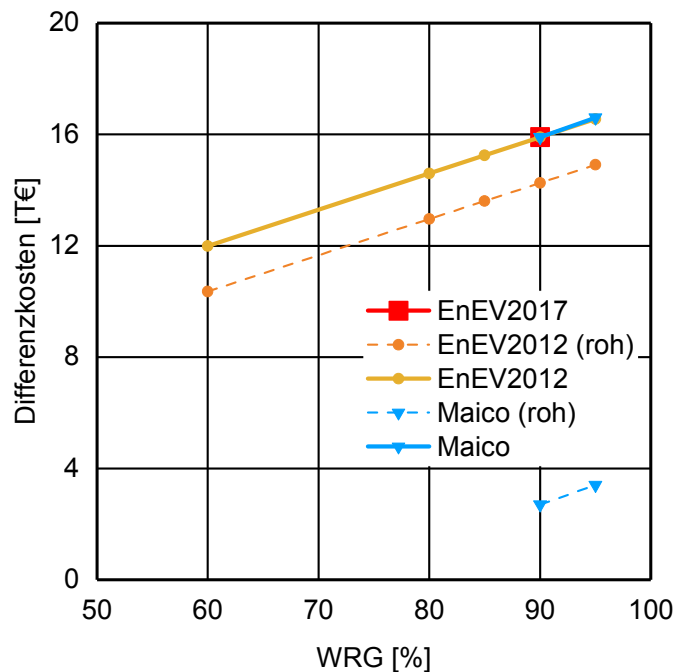


Bild 12:

Herleitung und Festlegung der rückwärmzahlabhängigen Mehrkosten für die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung verglichen mit einer reinen Abluftanlage.

Die Mehrkosten für den Durchlauferhitzer werden pauschal auf 800 € abgeschätzt. Da das Wirtschaftlichkeitsgutachten der EnEV 2017 [8] keine Betrachtung eines Öl-Kessels mehr enthält, wird die Kostenseite der Referenz in dieser Studie für einen Gas-Brennwertkessel ermittelt. Dieser Kesselpreis sowie die Kosten für Heizkörper und Verrohrung, beide inklusive laufender Wartungskosten, sind in Abhängigkeit von der Auslegungsleistung des Kessels verfügbar. Die Summe der bereits aufgelisteten Mehrkosten Positionen wird um diese Aufwendungen reduziert.

Mehrkosten für die Speichersysteme

Die Investitionskosten für die Warmwasserspeicher (WWS) zum Vorhalten der notwendigen Heizenergie und TWW zwischen zwei Bezugsperioden werden in Abhängigkeit von ihrem Volumen und ihrer Speicherdämmung (siehe Abschnitt 3.3.3, Tabelle 3) ermittelt. Der Montageaufwand für die WWS wird nach dem SirAdos-Baudaten-Katalog (Stand 2017) [12] errechnet.

Mehraufwand für die Übergabe- und Flächenspeichersysteme

Die Kosten für eine Fußbodenheizung werden analog zu den Kosten des Radiatorsystems, bestehend aus Heizkörpern und Verrohrung, angenommen. Diese Kosten des Radiatorsystems sind ebenfalls ein Teil der wegfallenden Ausstattung der Referenzvariante.

Bei der als thermischer Speicher genutzten hydraulischen Bauteilaktivierungen (BTA) und der Fußbodenheizung in Kombination mit dem WWS werden die Investitionskosten in Abhängigkeit von der aktivierten Bauteilfläche zusammen mit jährlichen Wartungskosten (Kostenannahme für Fußbodenheizungen nach VDI 2067 [13]) in der Höhe von 1 % der Investitionskosten angesetzt. Für alle jährlich anfallenden (Wartungs-)Kosten wird die Preissteigerung (Inflationsrate) entsprechend dem jeweiligen Kostenszenario berücksichtigt.

Preissteigerungsszenario

Abweichend von der Projektphase 2015/16 wird, basierend auf den Preissteigerungsszenarien aus dem EnEV2017-Gutachten [8], für diese Projektphase ein mittleres Preissteigerungsszenario zusammengesetzt. Hierbei werden Inflation und Verzinsung nach den Überlegungen zum Steigerungsszenario „Bundesregierung“ [8] auf 1,5 % festgelegt, während die Energiepreissteigerungen nach dem „EU-Szenario“ [8] auf 3 % für Heizöl und 1 % für (Rest-)Strom gerundet wird. Die Annahme, dass der Überschussstrom keiner Preissteigerung unterliegt, bleibt bestehend. Dieses Preissteigerungsszenario ist in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5:
Ange-setztes Preissteigerungsszenario; jährliche Steigerungsrate.

Kostengruppe	Heizöl	Reststrom	Überschussstrom	Verzinsung	Inflation
Steigerung [%/a]	3 %	1 %	-	1,5 %	1,5 %
Startpreis [ct/kWh]	6,1	20,5	mehrere Szenarien	-	

3.5 Analyse der Umweltwirkungen

Die Ökobilanz (engl. Life Cycle Assessment, LCA) wird in Anlehnung an DIN EN ISO 14040/44 [14] und DIN EN 15978 [15] durchgeführt. Sie bildet damit eine international standardisierte und in Forschung und Industrie etablierte Methode zur Ausweisung der potentiellen Umweltwirkungen, die ein Produkt oder Produktsystem über seinen Lebenszyklus verursacht. Dabei werden sämtliche Ressourcen und Emissionen entlang der Wertschöpfungskette erfasst und die resultierenden Wirkungen auf die Umwelt in verschiedenen Wirkungskategorien, wie dem Beitrag zum Treibhauspotential oder der Nutzung von fossiler Primärenergie, berechnet.

Die Randbedingungen der Ökoanalyse sind identisch mit der Vorgängerstudie, Abschnitt 3.7 in [2]. Die hier untersuchten Varianten der Windheizung 2.0 (WHG) werden der Referenz und untereinander gegenüber gestellt, um sie unter ökologischen Gesichtspunkten zu bewerten. Es werden die Lebenszyklusphasen Herstellung, Instandhaltung (gleichwertiger Austausch von Bauteilen nach Ablauf ihrer Lebensdauer innerhalb des Betrachtungszeitraums), das Lebensende sowie der Gebäudebetrieb über 25 Jahre berücksichtigt. Über diesen Zeitraum werden ebenfalls Umweltprofile für die Wärmebereitstellung aus Strom mit bzw. ohne Überschussstrom-Anteil der Referenz mit Öl-Brennwertkessel gegenübergestellt.

4 Qualität des Gebäudes (Vor-Analyse)

4.1 Methodik der Analyse

In der 1. Phase dieser Studie werden zum einen die ökonomischsten Kombinationen aus Dämmung der Gebäudehülle, Fensterqualität und Rückwärmzahl der Lüftung zum Erreichen eines gewissen spezifischen Endenergiebedarfs für die Heizung ermittelt. Zum anderen wird eine Kostenfunktion entwickelt, mit der die Kosten eines beliebigen neu zu bauenden Windheizung 2.0-Einfamilienhauses, basierend auf einem angestrebten spezifischen Endenergiebedarf für die Heizung, abgeschätzt werden können. Hierzu werden unterschiedliche energetische Qualitäten der Gebäudehülle und der Wärmerückgewinnung festgelegt. Für diese gewählten Varianten werden sowohl die Investitionsmehrkosten (verglichen mit der Referenz) als auch der spezifische Endenergiebedarf für die Heizung berechnet (stationär nach DIN V 18599 [3] aber mit Randbedingungen nach PHPP (siehe Tabelle 2, Abschnitt 3.3) mit EnEV-Bezugsfläche. Diese Differenzkosten werden gegen den Endenergiebedarf für die Heizung aufgetragen. Aus dieser Darstellung (Bild 13, Abschnitt 4.2) kann sowohl die ökonomisch optimale Lösung zum Erreichen eines bestimmten spezifischen Endenergiebedarfs für die Heizung ermittelt werden, als auch die Kostenfunktion dieser ökonomischen Lösungen bezogen auf den spezifischen Endenergiebedarf für die Heizung.

4.2 Entwicklung der Kostenfunktion

Es wird festgelegt, dass ein Windheizung 2.0-Gebäude energetisch deutlich effizienter sein muss als die Referenz nach EnEV-Standard. Somit wird zur Festlegung der energetischen Qualität (U-Werte) der Windheizung 2.0-Varianten von den U-Werten der Bauteile der Referenz ausgegangen und diese für die jeweilige Variante auf X-Prozent reduziert. Die Windheizung 2.0-Variante „EnEV50“ verfügt somit über halb so hohe U-Werte wie die Referenz nach EnEV 2014. Bei allen Windheizung 2.0-Gebäuden ist eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung vorhanden. Zusätzlich zu diesen Qualitäten der Gebäudehülle werden Varianten betrachtet, bei denen die transparenten Bauteile über die angegebene prozentuale Reduktion hinaus zusätzlich verbessert werden (mit „*“ gekennzeichnet). Eine Übersicht der U-Werte für die resultierenden Bauteile befindet sich in Tabelle 6. Bezüglich der Rückwärmzahl der Wohnungslüftungsanlage (WRG) werden ein minimaler Wert von 60 % (Minimum nach EnEV) sowie

das aktuelle technisch mögliche Maximum von 95 % angesetzt. Zusätzlich werden drei Zwischenstufen mit 80 %, 85 % und 90 % betrachtet.

Tabelle 6:

U-Werte der Bauteile der in der Voruntersuchung betrachteten energetischen Gebäudequalitäten der Windheizung 2.0-Gebäude. Bei den mit „*“ gekennzeichneten Varianten ist der U-Wert der transparenten Bauteile zusätzlich verbessert.

Dämmungs-niveau (bezogen auf Referenz)	U-Wert (Außenwand)	U _w -Wert (Fenster)	U-Wert (Dach)	U-Wert (Erdberührend)
100 %	0,28	1,30	0,20	0,35
60 %	0,17	1,04	0,12	0,21
60 %*	0,17	0,90	0,12	0,21
50 %*	0,14	0,85	0,10	0,18
40 %	0,11	0,90	0,08	0,14
40 %*	0,11	0,80	0,08	0,14
30 %	0,08	0,80	0,06	0,11
30 %*	0,08	0,70	0,06	0,11
20 %	0,06	0,80	0,04	0,07
20 %*	0,06	0,70	0,04	0,07

Für jede einzelne Variante, die sich aus den unterschiedlichen U-Werten und Rückwärmzahlen ergibt, wird einerseits der spezifische Endenergiebedarf für die Heizung und andererseits die Differenz der Investitionskosten im Vergleich zur Referenz ermittelt. Die so ermittelten Verhältnisse sind in Bild 13 dargestellt (hellgrüne Punkte). Hierbei kann man erkennen, dass bei allen Varianten sowohl die Wahl einer möglichst hohen Rückwärmzahl (95 %) als auch die zusätzlich verbesserten Verglasungen jeweils die wirtschaftlichste Lösung darstellen. Diese wirtschaftlichsten Lösungen, die als Stützstellen zur Entwicklung der Kostenfunktion genutzt werden, sind in Bild 13 rot dargestellt. Die aus den Stützstellen entwickelte Kostenfunktion ist als gestrichelte dunkelgrüne Linie dargestellt.

Gemäß Gleichung (1) können hierzu die zusätzlichen Investitionskosten (ΔInv) in T€, verglichen mit der Referenz, in Abhängigkeit des spezifischen Endenergiebedarfs für die Heizung ($Q_{h,f}$) berechnet werden.

$$\Delta Inv = -2,123 + \frac{119,275}{1 + \left(\frac{Q_{h,f}}{6,128}\right)^{0,968}} \quad (1)$$

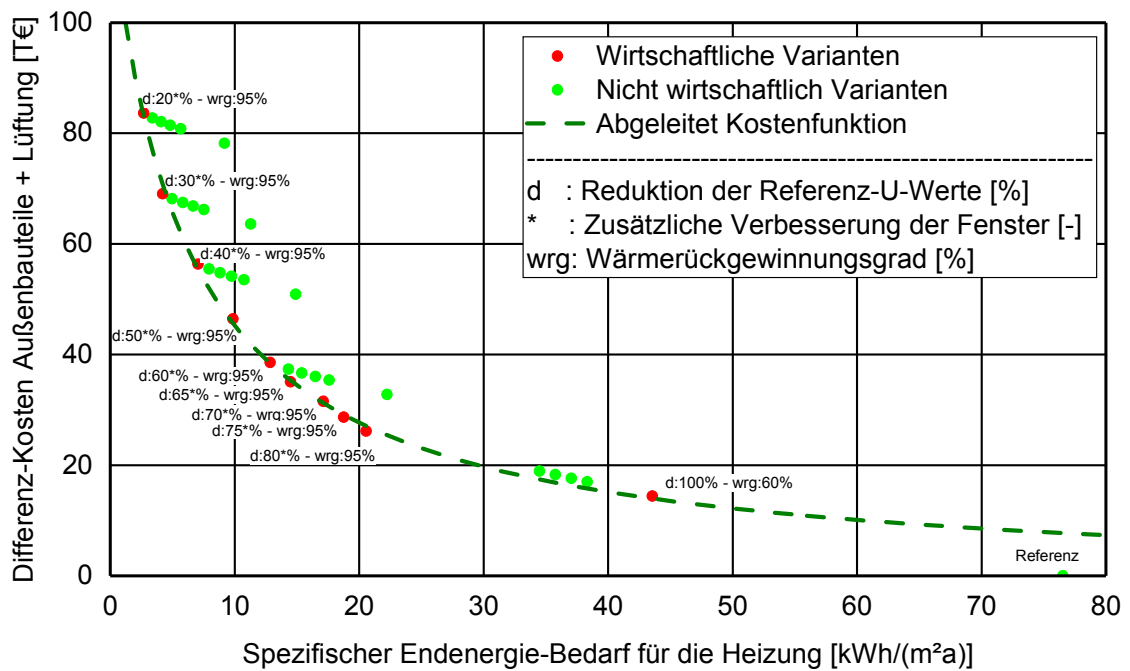


Bild 13:

Darstellung der Differenz-Investitionskosten der energetischen Gebäudequalität, bezogen auf das Referenzgebäude, in Abhängigkeit des spezifischen Endenergiebedarfs für die Heizung der betrachteten Varianten.

Die wirtschaftlichsten Lösungen, die als Stützsteller zur Entwicklung der Kostenfunktion genutzt werden, sind rot dargestellt; nicht verwendete Varianten mit ungünstigerer Ökonomie in hellgrün. Die aus den Stützstellen entwickelte Kostenfunktion ist als gestrichelte dunkelgrüne Linie dargestellt und kann in Gleichung (1) abgelesen werden.

Berücksichtigt ist hier der spezifische Endenergiebedarf für die Heizungen. Der zusätzliche Endenergiebedarf für Trinkwarmwasser ist nicht dargestellt und beträgt 6,5 kWh/(m²a). Randbedingungen nach PHPP (siehe Tabelle 2, Abschnitt 3.3) mit EnEV-Bezugsfläche. Zur Umrechnung auf die PHPP-Bezugsfläche muss der Endenergiebedarf mit dem Faktor 1,44 multipliziert werden. Nicht berücksichtigt sind hier mögliche zusätzliche finanzielle Fördermöglichkeiten bei höherem Effizienzstandard. Die für die Gebäudeeffizienz zugrundeliegenden Kostenansätze sind Momentaufnahmen des Jahres 2016/17. Grundsätzlich sind hier durch Weiterentwicklung von Ausführungsdetails auch Kostensenkungen (bzw. unter Umständen auch Erhöhungen) für Effizienzmaßnahmen und damit Verschiebungen der Wirtschaftlichkeitsergebnisse möglich.

4.3 Auswahl der Varianten für die Simulationsstudie

Aus den in Bild 13 rot dargestellten wirtschaftlichsten Lösungen werden die in Tabelle 7 aufgelisteten Varianten zur weiteren Betrachtung innerhalb der in Abschnitt 5 erläuterten dynamischen Simulationsrechnungen ausgewählt. Als statischer Wandbildner wird Kalksandstein mit einer Dichte von 2000 kg/m^3 gewählt. Die detaillierten Aufbauten der energetisch relevanten Bauteile können Anhang A.1 entnommen werden. Im Folgenden werden die Qualitäten der Gebäudehülle mit ihrem Endenergiebedarf für die Heizung nach EnEV definiert. Diese Bedarfsberechnung basiert auf dezentralen Elektroheizungen zur Raumbeheizung und der TWW-Bereitung über einen direktelektrisch beheizten, bivalenten Solarspeicher. Zusätzlich werden, zur Anpassung der Randbedingungen nach PHPP, die Wärmebrücken auf $0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, die mechanischen Luftwechsel auf $0,30 \text{ h}^{-1}$, der n_{50} -Wert auf $0,30 \text{ h}^{-1}$ und die Wärmerückgewinnung auf 95% festgelegt. Als Bezug dient die EnEV-Bezugsfläche. Der resultierende TWW-Bedarf ist bei allen betrachteten Varianten identisch und beträgt, nach Abzug der nutzbaren Erträge durch die Solarthermie, $6,5 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$.

Tabelle 7:

Auswahl der Varianten der energetischen Gebäudequalität für die dynamischen Simulationsrechnungen. Bei den mit „*“ gekennzeichneten Varianten ist der U-Wert der transparenten Bauteile zusätzlich verbessert.

Varianten Name	Endenergiebedarf Heizung * [kWh/(m ² a)]	Dämmung (Bezogen auf Referenz)	U-Wert (Außenwand)	U _w -Wert (Fenster)	U-Wert (Dach)	U-Wert (Erdbe-rührend)	WRG
EnEV60	12,8	60 %*	0,17	0,90	0,12	0,21	95 %
EnEV50	9,9	50 %*	0,14	0,85	0,10	0,18	95 %
EnEV40	7,0	40 %*	0,11	0,80	0,08	0,14	95 %
EnEV30	4,2	30 %*	0,08	0,70	0,06	0,11	95 %
EnEV20	2,7	20 %*	0,06	0,70	0,04	0,07	95 %

*: Randbedingungen nach PHPP (siehe Tabelle 2, Abschnitt 3.3) mit EnEV-Bezugsfläche. Zur Umrechnung auf die PHPP-Bezugsfläche muss der Endenergiebedarf mit dem Faktor 1,44 multipliziert werden.

5 Ergebnisse der Simulationsstudie

5.1 Methodik

Im Rahmen der Simulationsstudie werden die gewählten Varianten der energetischen Gebäudequalität zusammen mit ihrer Anlagentechnik detailliert dynamisch berechnet. Hierfür kommt die in Abschnitt 5.2 beschriebene Softwareumgebung WUFI® Plus zum Einsatz.

In dieser Software werden die Gebäude-Speicher-Kombinationen, inklusive ihrer Interaktionen, während der Heizperiode berechnet. Hieraus kann der Energiebedarf getrennt nach Überschuss- und Reststrom extrahiert werden. Je nach Variante ist der Wärmespeicher des Gebäudes am Ende der Heizperiode mehr oder weniger stark geladen. Je nach Größe des Speichers hat der Ladezustand einen wesentlichen Einfluss auf den durch das TWW verursachten Reststrombedarf in den ersten Sommermonaten. Um diesen Einfluss zu berücksichtigen, wird die Simulation zwei Monate über die Heizperiode hinaus fortgeführt. Außerhalb der Heizperiode ist das Heizsystem deaktiviert, d.h. das TGA-System muss ausschließlich den TWW-Bedarf decken. Auch wird außerhalb der Heizperiode der Wasserspeicher nicht mehr mit Überschussstrom beladen. Folglich steht in der Sommerperiode ausschließlich der Ertrag der Solarthermie zur regenerativen TWW-Bereitung bzw. Speicherbeladung zur Verfügung. Ist die Speichertemperatur zur TWW-Bereitung nicht ausreichend, wird – wie auch während der Heizperiode – das TWW nach der Frischwasserstation direkt elektrisch im Durchlaufprinzip nacherwärmt. Der Reststrombedarf der restlichen Sommermonate wird in jeweils 10 Simulationsrechnungen, separat für die 10 Speichergrößen, berechnet und den einzelnen Variantenrechnungen im Rahmen des Post-Processings hinzuaddiert.

Als Ergebnis dieses Vorgehens liegen sowohl die Energiebedarfswerte zur Bewertung des Endenergiebedarfs, des Rest- und Überschussstrom-Bedarfs und der Überschussstromdeckung sowie die resultierenden operativen Raumlufttemperaturen zur Bewertung des thermischen Raumklimas vor.

Der Hilfsstrombedarf zum Betrieb der Anlagentechnik wird kontinuierlich angenommen und je nach Überschussstrompreiszyklus, anteilig in Überschussstrom und Reststrom aufgeteilt, im Post-Processing berücksichtigt.

Die ökologische Bewertung findet ebenfalls im Rahmen des Post-Processings statt. Als Eingangsdaten werden einerseits die jeweiligen Überschuss- und Reststrommengen und die Veränderung der Materialmenge in der Windheizung 2.0-Konstruktion gegenüber der Referenz angesetzt. Eine detaillierte Beschreibung der ökologischen Analyse findet sich in Abschnitt 5.8.

Auch die ökonomische Analyse findet im Rahmen des Post-Processings statt. Hierfür werden zunächst die zusätzlichen Investitionskosten berechnet, die verglichen mit der Referenz anfallen. Parallel werden die aus den veränderten TGA-Komponenten resultierenden Änderungen bei den Wartungskosten als Differenz zur Referenz berücksichtigt. Die Rest- und Überschussstrommengen

werden mit ihren jeweiligen Energiekosten und der entsprechenden Kostensteigerung gemäß Preissteigerungsszenario in Abschnitt 3.4 angesetzt.

5.2 Simulationsumgebung

Um das energetische Gebäudeverhalten bei intermittierendem Gebäudebetrieb sowie die thermische Behaglichkeit infolge der Oberflächen-Bauteiltemperaturen und der Raumlufttemperatur abbilden zu können, ist eine dynamische Gebäudesimulation notwendig. Hiermit kann unter anderem der Einfluss von thermischen Speichermassen bei zeitabhängigen Überschussstrombezugszyklen (Be- und Entladen) berücksichtigt werden. Für die Durchführung dieser thermischen Simulationen wird die instationäre Gebäudesimulationssoftware WUFI® Plus [16] in der internen Testversion 3.1.1.7 angewendet.

Grundlage der Simulation ist die Raumlufttemperatur und die Bilanz der Wärmeströme im Raum, bzw. in einer Zone. Die Bilanz berücksichtigt Energieströme über die Raumumschließungsflächen (opake und transparente Gebäudebauteile), über den Luftaustausch durch natürliche und mechanisch angetriebene Lüftung sowie innere Wärmequellen und -senken und die Anlagentechnik. Die Eingabe der Gebäudegeometrie erfolgt dreidimensional. Über dieses Gebäudemodell sind sämtliche Flächen der Gebäudebauteile, deren Ausrichtung und Typ (opak oder transparent) sowie deren Randbedingungen auf Außen- und Innenseite definiert. Auf der Außenseite von Außenbauteilen wird somit das Außenklima inklusive Solarstrahlung angesetzt, auf der anderen Seite das simulierte Innenraumklima. Bei Innenbauteilen wird an den jeweiligen Oberflächen das dort vorherrschende Klima des entsprechenden Raumes berücksichtigt. Die mehrschichtigen Bauteilaufbauten werden entsprechend dem Gebäudetyp und der Bauweise (siehe Abschnitt 3.3) definiert. Bei der Simulation wird das Temperaturfeld, bzw. der Temperaturverlauf im Bauteil und dessen Änderung berechnet [17]. Die Wärmeströme interagieren über die Oberflächen mit dem Raumklima.

Die über die Fenster eintreffende solare Strahlung erwärmt zu 10 % direkt die Raumluft, der Rest wird flächenproportional auf die angrenzenden Oberflächen einer Zone verteilt. Innere Wärmequellen werden als 50 % strahlend und 50 % konvektiv angenommen. Entsprechend erwärmen diese direkt die Raumluft, der Rest wird flächenproportional direkt auf die Oberflächen verteilt. Die Simulation erfolgt, auf Grund der Anwendung des Luftdurchströmungsmodells [18] und der detaillierten Anlagentechnik, im expliziten Rechenmodus. In diesem Fall wird das Raumklima nicht iterativ angepasst bis die Wärmebilanz einer Zone ausgeglichen ist, sondern die Zeitschrittweite auf ein Minimum reduziert (im Normalfall 30 Sekunden) und das Raumklima entsprechend der Wärmebilanz für den nächsten Zeitschritt berechnet. Die Ergebnisausgabe zur Analyse erfolgt in Stundenzeitschritten.

5.3 Übersicht über die Varianten

Die Grundlage der Simulationsstudie bilden die fünf, in Abschnitt 4.3 ausgewählten Varianten der energetischen Gebäudequalität. Diese fünf Qualitäten werden jeweils mit den in den Abschnitten 3.3.3 und 3.3.4 definierten 10 WWS- und 9 BTA-Speichersystemen (3 x Beladetemperatur, 3 x Deckendicke) variiert. Die hieraus resultierenden 19 Windheizung 2.0-Gebäude (Qualität + Speicher) werden jeweils mit drei unterschiedlichen Strombezugszyklen simuliert. Hieraus resultieren 285 Bedarfswerte für Wind- und Reststrom sowie die zugehörige Überschussstromdeckung. Für die Analyse der ökonomischen Auswirkungen des Gebäudekonzepts „Windheizung 2.0“ werden die resultierenden börsenpreisbezogenen Überschussstromkosten um jeweils 4 unterschiedlich hohe Überschussstrompreiszuschläge ergänzt. Somit ergeben sich für die Gesamtauswertung 885 zu berücksichtigende Einzelergebnisse, die in Tabelle 8 zusammengefasst sind.

Tabelle 8:
Übersicht über die Varianten bei der Simulationsstudie.

Speichersystem	Gebäudeklassen	Strombezugszyklen	WW-Speichergröße	Beladetemperatur	Decken-Dicke	Anzahl
WWS	5	3	10	1	1	150
	60 % - 20 % EnEV	-1; 0; 1 ct/kWh	915 Liter – 22.000 Liter	85 °C	20 cm	
BTA	5	3	1	3	3	135
	60 % - 20 % EnEV	-1; 0; 1 ct/kWh	915 Liter	32°C 35°C 37°C	20 cm 35 cm 35 cm + Bad_IW	
Post-Processing	4 unterschiedliche Zuschläge auf den Überschussstrompreis					885

5.4 Bewertung der Überschussstromdeckung

Die wichtigste Eigenschaft eines Windheizung 2.0-Gebäudes ist es, den (End)Energiebedarf ^{*1} mit einem möglichst hohen Anteil Überschussstrom und einem möglichst geringen Anteil Reststrom zu decken. Wie im Abschnitt 5.1 beschrieben, wird die Überschussstrom- und Reststrommenge mittels dynamischer Gebäudesimulation ermittelt. Die Überschussstromdeckungen der einzelnen Varianten sind in Anhang A.3.1 zusammenfassend grafisch und als Tabellen dargestellt.

**1: Der Begriff „Bedarf“ bezeichnet eine nicht gemessene, rechnerisch ermittelte Energiemenge.*

Die Endenergie enthält die Energiemengen, die zum Betrieb des Gebäudes beschafft werden müssen, also bei dem elektrisch beheizten Windheizung 2.0-Gebäude die Strommengen. Sie enthält also nicht die Erträge der Solarthermie, sondern wird um diese reduziert. Die Solarerträge werden sowohl in der Heiz- als auch in der Sommerperiode berücksichtigt.

Im Unterschied zum Endenergiebedarf enthält der Heizwärmebedarf weder die Verluste von Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Übergabe noch den Energieanteil der TWW-Bereitung.

Erkennbar ist, dass keine Variante eine 100 %-ige Deckung mit Überschussstrom liefert. Dies ist darin begründet, dass der Hilfsstrom zum Betrieb der Anlagentechnik (vor allem der Lüftung) stets erforderlich ist und überwiegend mit Reststrom gedeckt werden muss. Deutlich wird der Effekt bei hocheffizienten Gebäuden. Bei diesen hat der Hilfsstrom, verglichen mit dem Wärmebedarf zur Gebäudeheizung, einen relativ hohen Anteil. Mit steigender Gebäudequalität steigt der Anteil des Hilfsstroms (667 kWh/a nach DIN V 18599) am Gesamt-Endenergiebedarf von etwa 7 % auf 14 %. Die Deckung des Hilfsstroms mit Überschussstrom liegt im Bezugszyklus -1 ct/kWh bei 2 %; mit 0 ct/kWh bei 5 % und mit 1 ct/kWh bei 12 %. Aus diesem Grund sinkt die Überschussstromdeckung bei den höheren Gebäudequalitäten geringfügig, obwohl sich der Reststrombedarf zur Beheizung parallel reduziert. Dies ist insbesondere bei den Strombezugszyklen von 0 bzw. 1 ct/kWh und Endenergiebedarfen unter 7 kWh/(m²a) zu erkennen.

Der absolute Reststrombedarf ist bei den hocheffizienten Gebäuden deutlich geringer als bei den moderat gedämmten Varianten. Die Überschussstromdeckung hat somit eine beschränkte Aussagekraft und sollte somit nicht als die zentrale Kenngröße zur Bewertung einer Windheizung 2.0-Gebäudes innerhalb dieser Studie verwendet werden; vor allem da auf Grund der Hilfsenergie kein sinnvoller minimaler Grenzwert festgelegt werden.

Sehr deutlich wird der geringere Einfluss der Gebäudequalität auf die Überschussstromdeckung bei den untersuchten BTA-Varianten mit nur einem kleinen TWW-Speicher aufgrund der genannten steigenden Anteile am Endenergiebedarf für Hilfsstrom und Trinkwarmwasserbereitung. Hier macht sich in erster Linie ein Unterschied zwischen den verschiedenen Strombezugspreiszyklen bemerkbar. Je häufiger Überschussstrom eingesetzt werden kann, desto höher

ist die Deckung für Hilfsstrom und Trinkwarmwasser. Die Überschussstromdeckung ist bei der BTA von der Gebäudequalität weitestgehend unabhängig, da der Wärmebedarf für TWW einen wesentlichen Teil des Energiebedarfes ausmacht und die Gebäudemasse nicht als Wärmespeicher zur TWW-Bereitung dienen kann.

Bei den Varianten mit Strombezugszyklus „-1 ct/kWh“, bei denen in der gesamten Heizperiode insgesamt nur 92 Stunden mit Überschussstrom geheizt werden kann, wird nur mit hocheffizienten Gebäuden (max. 2,7 kWh/(m²a)) in Kombination mit WWS-Speichergroßen von 8 – 14 m³ eine Überschussstromdeckung im Bereich von 70 – 80 % erreicht. Im Bereich der BTA liegt die maximal erreichbare Überschussstromdeckung für diesen Strombezugszyklus bei 41 %.

Im Strombezugszyklus „0 ct/kWh“ können bei der Verwendung von WWS-Größen von 10 bis 18 m³ auch mit moderaten Gebäudequalitäten gute Deckungen erreicht werden. Bei den Varianten mit der BTA als Wärmespeicher in Kombination mit dicken Betondecken, höheren Beladetemperaturen und mittlerer Gebäudequalität (ca. 7 kWh/(m²a)) werden Deckungen im Bereich von 56 % erreicht. Erkennbar ist auch hier, dass bei den effizienteren Gebäuden mit BTA die Überschussstromdeckung geringfügig fällt. Dies lässt sich zum einen mit dem mehr ins Gewicht fallenden Hilfs-Reststrombedarf und Reststrombedarf für Trinkwarmwasser erklären. Zum anderen wird bei den Varianten mit dicken Innendecken, dickerer Bodenplatte und zusätzlich aktivierten Badinnenwänden (BTA3) aufgrund der größeren Wärme-Übertragungsfläche die maximale Raum-Operativtemperatur früher erreicht und die Beladung der BTA entsprechend früher beendet. Dies kompensiert die zu erwartenden positiven Effekte der höheren thermischen Speichermasse.

Beim Bezugszyklus „1 ct/kWh“ kann mit allen Systemen, außer dem 915 l-WWS, eine sehr gute Überschussstromdeckung von über 76 % erreicht werden. Der Wärmebedarf ausschließlich für die Gebäudebeheizung wird bei diesem Bezugszyklus zu 80 % bis 100 % aus Überschussstrom gedeckt.

5.5 Bewertung des Endenergiebedarfs

Der Endenergiebedarf ist die Summe aus Überschussstrom und Reststrom zur Gebäudebeheizung und Trinkwarmwassererwärmung inklusive Hilfsstrom, bezogen auf die EnEV-Gebäudenutzfläche, hier 434 m². Erträge der Solarthermie sind nicht inbegriffen. (Die Endenergie enthält die Energiemengen, die zum Betrieb des Gebäudes beschafft werden müssen. Sie enthält also nicht die Erträge der Solarthermie, sondern wird um diese reduziert. Die Solarerträge werden sowohl in der Heiz- als auch in der Sommerperiode berücksichtigt.)

Erwartungsgemäß reduziert sich der Endenergiebedarf mit steigender Gebäudequalität. Innerhalb einer Gebäudequalität haben die einzelnen Varianten mit WWS und BTA nur einen geringen Einfluss auf den Energiebedarf, da der Wärme- bzw. Endenergiebedarf überwiegend von der Gebäudequalität bzw. den Wärmeverlusten des Gebäudes bestimmt wird. Ausgenommen sind dabei

ungenutzte Speicher- und Verteilverluste, also Wärmeeinträge über die WWS-Wand oder über beladene Gebäudebauteile, die zu einer erhöhten Temperatur (oberhalb des Sollwerts) im Gebäude führen. Dieser weitestgehend gleichbleibende Bedarf zeigt, dass keine wesentlichen ungenutzten Speicherverluste auftreten.

Auch die betrachteten unterschiedlichen Strombezugspreiszyklen haben nur einen geringen Einfluss auf den Endenergiebedarf, da bei der Angabe des Endenergiebedarfs nicht unterschieden wird, ob die Bedarfsdeckung durch Überschuss- oder Reststrom erfolgt.

Der Endenergiebedarf der einzelnen Varianten ist in Anhang A.3.1 zusammenfassend grafisch und als Tabellen dargestellt.

5.6 Überschuss- und Reststrombedarf

5.6.1 Überschussstrombedarf

Der Überschussstrombedarf ist der Teil des Endenergiebedarfs, der z.B. aus Starkwindereignissen zur Verfügung steht und nicht über Reststrom (Bezug des konventionellen Strommixes) gedeckt werden muss. Da sowohl die ökologischen als auch die ökonomischen Auswirkungen des Überschussstroms gering sind, ist eine möglichst vollständige Deckung des Energiebedarfs eines Windheizung 2.0-Gebäudes mit Überschussstrom anzustreben.

Bei den Varianten mit WWS als Wärmespeichersystem kann umso mehr Überschussstrom abgenommen werden, je größer der Speicher ist. Im Bezugszyklus -1 ct/kWh hat die Gebäudequalität einen geringen Einfluss auf die Menge an abgenommenem Überschussstrom. Bei der seltenen Beladung des Speichers wird dieser häufig bis zum nächsten verfügbaren Überschussstrombezug komplett entladen. Die verschiedenen Gebäudequalitäten spiegeln sich hier im Wesentlichen in den unterschiedlichen Reststrombedarfswerten wider. In den weiteren beiden Bezugszyklen mit häufigerer Beladung kann bei den moderat gedämmten Gebäuden (absolut gesehen) deutlich mehr Überschussstrom in den WWS gespeichert werden. Bei der am stärksten gedämmten Gebäudequalität ändert sich die Menge im Vergleich der Bezugszyklen nur geringfügig.

Bei den BTA-Varianten steigt der spezifische Überschussstrombedarf bei den moderat gedämmten Gebäudequalitäten auf Grund des steigenden Heizwärmebedarfs.

Der Überschussstrombedarf der einzelnen Varianten ist in Anhang A.3.1 zusammenfassend grafisch und als Tabellen dargestellt.

5.6.2 Reststrombedarf

Da ein hoher Reststrombedarf sowohl die ökonomischen als auch die ökologischen Auswirkungen eines Windheizung 2.0-Gebäudes negativ beeinflusst, sollte dieser möglichst gering sein.

Die Referenzvariante weist einen Primärenergiebedarf von 70 kWh/(m²a) auf. Die Reststrombezüge eines Windheizung 2.0-Gebäudes sollen diesen Primärenergiebedarf nicht überschreiten. Unter Berücksichtigung des aktuellen Primärenergiefaktors von 1,8 für den Strommix ergibt sich somit ein maximal zulässiger Reststrombezug von 39 kWh/(m²a) für Windheizung 2.0-Gebäude. Dieser maximale Reststrombezug von 39 kWh/(m²a) wird bei keiner der betrachteten Varianten überschritten.

Wie bereits bei der Überschussstromdeckung in Abschnitt 5.4 beschrieben, ist ein gewisser Reststrombedarf in allen Varianten vorhanden, da Hilfsstrom zum Betrieb der Anlagentechnik, besonders der mechanischen Lüftungsanlage, stets notwendig ist.

Beim Bezugszyklus „-1 ct/kWh“ können nur mit hocheffizienten Gebäuden und WWS im Bereich oberhalb von 8 bzw. 10 m³ geringe Reststrombezüge erreicht werden. Der Reststrombedarf steigt deutlich bei moderater Gebäudequalität. Die Varianten mit dem 915 Liter WWS sowie auch die BTA-Varianten, haben in diesem Strombezugspreiszyklus stets einen hohen Reststrombedarf. Dies ist u.a. auch auf den Bedarf zur Trinkwarmwasserbereitstellung zurückzuführen, da dieser bei der seltenen Beladung des Warmwasserspeichers nur geringfügig mit Überschussstrom gedeckt werden kann.

Beim Bezugszyklus „0 ct/kWh“ können bei allen Gebäudequalitäten mit WWS geringe Reststrombezüge erreicht werden, wobei die nötigen WWS-Größen entsprechend der Gebäudequalität zwischen 8 und 20 m³ variieren.

Bei den BTA-Varianten ist eine deutliche Abhängigkeit des Endenergiebedarfs von der Gebäudequalität, erkennbar. Mit einer Verschlechterung der Gebäudequalität steigen sowohl der Überschuss-, als auch der Reststrombedarf im Verhältnis etwa gleich, wodurch sich die Überschussstromdeckung kaum verändert. Innerhalb einer Gebäudequalität ist der Einfluss der neun verschiedenen BTA-Varianten auf den Reststrombedarf vernachlässigbar.

Beim 1 ct/kWh-Bezugszyklus weisen alle untersuchten Varianten mit Ausnahme des 915 l-WWS einen geringen Reststrombedarf auf.

Der Reststrombedarf der einzelnen Varianten ist in Anhang A.3.1 zusammenfassend grafisch und als Tabellen dargestellt.

5.7 Bewertung des thermischen Raumkomforts

Zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit liegen nach jeder Simulation einer Variante die berechnete Raumluft- und Operativtemperatur in jedem Raum des Einfamilienhauses als Stundenmittelwert vor. Ziel ist die Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit aus diesen Einzeldaten für das gesamte Gebäude. Mit den simulierten Raumluft- und Operativtemperaturen sowie weiteren angenommenen, im nächsten Absatz dokumentierten Randbedingungen, kann das menschliche Wärmeempfinden für den Körper als Ganzes bewertet werden. Das vorausgesagte mittlere Votum (engl. *predicted mean vo-*

te) für die thermische Behaglichkeit, der PMV-Index nach DIN EN ISO 7730 [19], wird hierfür als Indikator stündlich berechnet und weiterführend ausgewertet, wie häufig dieser in entsprechenden (akzeptablen und nicht-akzeptablen) Kategorien in allen Zonen liegt. Die Gesamtbewertung der thermischen Bedingungen des Innenraumklimas erfolgt somit auf Basis der empfohlenen Bewertung nach DIN EN 15251, Kapitel 10.3 [20]. Der prozentuale Anteil der Zeit, in der der PMV-Index innerhalb Kategorien I, II oder III lag, wird berechnet und über alle bewerteten Räume zusammengefasst. Räume mit abweichendem gewünschtem Temperaturkorridor (Badezimmer und Schlafzimmer) werden in der Bewertung des thermischen Raumklimas nicht berücksichtigt.

Kategorie I beschreibt ein hohes Maß an Erwartungen, empfohlen für Räume, in denen sich sehr empfindliche und anfällige Personen mit besonderen Bedürfnissen aufhalten. Kategorie II gilt für Neubauten und ist somit der für diese Untersuchung gültige Mindeststandard. Beide Kategorien können für die betrachteten Gebäude somit als optimal angesehen werden. Kategorie III beschreibt ein annehmbares, moderates Maß an Erwartungen und ist grenzwertig zu betrachten, da sie nur für Bestandsgebäude zulässig ist. Werte außerhalb (Kategorie IV) sollten nur für einen begrenzten Teil des Jahres vorhanden sein und sind hier kritisch zu bewerten. Eine Kategorie gilt noch als erfüllt, wenn 95 % des Gebäudevolumens während 95 % der Nutzungszeit die geltenden Kriterien erfüllt.

Neben den durch die Simulation bestimmten Eingangsgrößen für den PMV-Index (Raumluft- und Strahlungstemperatur) werden als zusätzliche Randbedingungen für die Komfortbewertung die Raumluftheuchte auf 40 % (im Winter), die Luftgeschwindigkeit auf 0,1 m/s, der Aktivitätsgrad auf 1,2 met, die mechanisch verrichtete Arbeit auf 0 W sowie der Bekleidungsfaktor auf 0,95 clo festgelegt. Die Grenzen der Einteilung des PMV-Index sind nach dem Beispiel empfohlener Kategorien nach DIN EN 15251, Kapitel A.1 [20] für maschinell geheizte Gebäude bestimmt. Ein PMV zwischen - 0,2 und + 0,2 entspricht Kategorie I, zwischen - 0,5 und + 0,5 Kategorie II und zwischen - 0,7 und 0,7 Kategorie III. Basierend auf den festgelegten Randbedingungen lassen sich diese PMV-Grenzen in Temperaturgrenzen umrechnen (siehe Tabelle 9). Die erreichten Kategorien der einzelnen Varianten sind in Anhang A.3.2 zusammenfassend grafisch und als Tabellen dargestellt. Alle untersuchten Varianten liegen in Kategorie II und gelten als thermisch behaglich.

Tabelle 9:

Aus den festgelegten Randbedingungen resultierende Temperaturgrenzen für die PMV-Komfortkategorien nach DIN EN 15251, Kapitel A.1 [20]. (Annahme für diese Tabelle: Luft- und Operativtemperatur identisch).

Komfortkategorie	Gültiger Temperaturbereich [°C]
I	21,2 – 23,1
II	19,9 – 24,4
II	19,0 – 25,3

5.8 Bewertung der ökologischen Auswirkungen

Für die ökologische Bewertung werden folgende Bewertungsgrößen berücksichtigt:

- das Treibhauspotenzial (GWP), als Beitrag zur Klimaerwärmung (zunehmende Erwärmung der Troposphäre) durch anthropogene Treibhausgase,
- der nicht-erneuerbare Primärenergiebedarf, als Beitrag zur Nutzung fossiler, energetischer Ressourcen, der sowohl den Energiebedarf an den jeweiligen Energieträgern als auch die Energiemengen aus vorgelagerten Prozessketten, der Umwandlung und der Verteilung der Energieträger berücksichtigt.

Diese stellen international akzeptierte und diskutierte Größen dar (DIN EN 15978 [15]) und unterliegen wissenschaftlich anerkannten Wirkungsmodellen. Ein hoher Beitrag zur Klimaerwärmung (GWP) drückt sich häufig auch mit einem hohen Beitrag zur Nutzung nicht-erneuerbarer primärer energetischer Ressourcen aus. Dies ist insbesondere bei den hier vorliegenden Systemen bzw. Konzepten der Fall, deren Energiebedarfswertevorrangig durch fossile Energie gedeckt sind. Dies trifft dann zu, wenn es sich um einen aus fossilen Energieträgern erzeugten Reststrom handelt, mit dessen Produktion ein wesentlicher CO₂-Ausstoß verbunden ist.

Generell sind die negativen Umweltwirkungen aller in dieser Studie betrachteten Windheizung 2.0-Konzepte geringer als die der Referenz. Auf Grund der etwas höheren Reststrombedarfswerte sind die Umweltwirkungen bei den BTA-Systemen etwas höher als bei den WWS-Systemen.

Bei seltenem Überschussstrombezug (-1 ct/kWh) finden sich die höchsten Einsparungen bei den Umweltwirkungen bei hocheffizienten Gebäudequalitäten (Endenergiebedarf von ca. 4,2 kWh/(m²a), siehe Abschnitt 4.3) und Speichergrößen von mindestens 18 m³. Eine weitere Erhöhung der Gebäudequalität ist für die Umweltwirkungen des Windheizung 2.0-Konzepts kontraproduktiv, da der ökologische Mehraufwand für den höheren Dämmstandard die potentiellen Einsparungen im Betrieb übersteigt. Bei den BTA-Systemen werden die höchsten Reduktionen der Umweltwirkungen ebenfalls bei hocheffizienten Gebäudequalitäten (ca. 4,2 kWh/(m²a)) erreicht. Da bei den aufwendigeren BTA-Varianten (dickere Betondecken, bzw. dickere Betondecken plus aktivierte Badinnenwände) kaum Reduktionen beim Reststrombedarf entstehen, stellen sich hier bei allen drei Überschussstrombezugszyklen, die unmodifizierten BTA-Systeme (BTA1) am günstigsten dar. Bezüglich der drei unterschiedlichen gewählten Beladetemperaturen ist wie beim Reststrombedarf kein Unterschied zu erkennen, da die Beladung der BTAs durch die Begrenzung der Raumlufttemperatur limitiert wird.

Bei häufigeren Überschussstrombezugszyklen (0 und 1 ct/kWh) können bereits mit geringeren baulichen Aufwendungen niedrige Reststrombedarfswerte erreicht werden. In diesen Fällen sind moderate Gebäudequalitäten von ca. 10 bzw. 13 kWh/(m²a) Endenergiebedarf die Windheizung 2.0-Lösungen mit den

geringsten Umweltwirkungen. Die optimalen WWS-Größen variieren je nach Überschussstromzyklus zwischen 8 m^3 und 20 m^3 . Je häufiger der Überschussstrombezug möglich ist, desto kleiner fallen die optimalen Speichergrößen aus. Bei BTA-Systemen finden sich die geringsten Umweltwirkungen bei Gebäudequalitäten zwischen $7 - 10 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Die Umweltwirkungen der einzelnen Varianten sind in Anhang A.3.3 zusammenfassend grafisch und als Tabellen dargestellt. Die in den Grafiken farblich dargestellten Werte für das Treibhauspotential bzw. die spezifische nicht-erneuerbare Primärenergie zeigen jeweils die Einsparung im Vergleich zum Referenzfall.

5.9 Bewertung der ökonomischen Auswirkungen

In dieser Studie werden alle Investitions- und Betriebskosten über eine Laufzeit von 25 Jahren nach der Kapitalwertmethode bewertet. „Der Kapitalwert einer Investition ist die Summe der Barwerte aller durch diese Investition verursachten Zahlungen (Ein- und Auszahlungen). Die Summe der diskontierten Zahlungen entspricht somit dem Integral über den Zahlungsstrom, der mit einer fallenden Exponentialfunktion gemäß Kalkulationszinssatz bewertet wird. Zum besseren Verständnis der Rechenoperation kann der Kapitalwert auch als der errechnete Geldbetrag betrachtet werden, der eingesetzt werden müsste, um unter Berücksichtigung der Verzinsung und der Ein- und Auszahlungen am Ende der Betrachtung zu einem Saldo von 0 zu gelangen. Voraussetzung ist hierbei die Wiederanlageprämisse, d. h. die zwischenzeitliche Anlage der Überschüsse zum Kalkulationszinssatz“ [9].

Die Kostenannahmen, die dieser Analyse zu Grunde liegen, sind in Abschnitt 3.4 und Anhang A.2 dokumentiert. Die für die Gebäudeeffizienz zugrundeliegenden Kostenansätze sind Momentaufnahmen des Jahres 2016/17. Grundsätzlich sind hier durch Weiterentwicklung von Ausführungsdetails auch Kostensenkungen (bzw. unter Umständen auch Erhöhungen) für Effizienzmaßnahmen und damit Verschiebungen der Wirtschaftlichkeitsergebnisse möglich. Bezüglich der ökonomischen Bewertung zeigt sich, dass für beide Speichersysteme, WWS und BTA, Lösungen gefunden werden können, die sich bei Betrachtung einer 25-jährigen Laufzeit gleichwertig oder günstiger darstellen als ein Gebäude, das den Mindestanforderungen nach EnEV 2014 entspricht. Die wirtschaftlichsten Varianten finden sich vor allem bei Gebäuden mit moderaten Endenergiebedarfswerten für die Heizung ($\sim 13 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, siehe Abschnitt 4.3). Dies liegt daran, dass mit steigender Dämmungsdicke die Investitionskosten eher linear ansteigen, während sich die Erhöhung der resultierenden Energieeinsparungen in Form einer reziproken Funktion abflacht. Daraus folgt, dass für die höchsten in dieser Studie betrachteten Gebäudequalitäten sehr hohe Investitionskosten notwendig sind, die kaum durch Energie- bzw. Betriebskosteneinsparungen wieder ausgeglichen werden können.

Bei den WWS liegt das Optimum der Speichergröße je nach Bezugszyklus und Überschussstrompreisaufschlag im Bereich von 4 m^3 bis 10 m^3 . Im Hinblick auf

die Aspekte der Ökologie und der Netzdienlichkeit erscheint die Nutzung eines eher größeren Speichers innerhalb des wirtschaftlichen Bereichs ratsam.

Auf Grund der geringeren Investitionskosten ist die Wirtschaftlichkeit der BTA-Systeme geringfügig vorteilhafter als die WWS-Varianten. Innerhalb der BTAs ist die BTA1-Variante klar die günstigste, da bei den anderen Lösungen (dickeren Betondecken und aktivierte Badinnenwände) zusätzliche Aufwendungen entstehen, aber keine energetischen Einsparungen zu erkennen sind.

Die aktuellen Endkundenstrompreise bestehen nur zu einem geringen Teil aus den Börsenstrompreisen, ein Großteil setzt sich aus Steuern und Abgaben zusammen. Dieser Studie liegt die Annahme zu Grunde, dass ein Stromtarif für Windheizung 2.0-Gebäude bzw. für Überschussstrom geringere Zuschläge enthält als reguläre Stromtarife. Diese Annahme bezüglich der Strompreispolitik begründet sich in der netzdienlichen Betriebsweise von Windheizung 2.0-Gebäuden. Da kaum zu erwarten ist, dass sämtliche Steuern und Abgaben entfallen, werden zusätzlich zu den bereits diskutierten Variationen der Windheizung 2.0-Gebäude und der Überschussstrombezugszyklen, vier Zuschläge auf den Börsenstrompreis betrachtet (2,5; 5; 10 und 15 ct/kWh). Diese repräsentieren unterschiedlich hohe Entlastungen für den Überschussstrombezug eines Windheizung 2.0-Gebäudes verglichen mit konventionell erzeugtem Strom.

Die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Varianten ist in Abhängigkeit vom jeweiligen Überschussstrombezugszyklus und Überschussstrompreisaufschlag in Anhang A.3.4 zusammenfassend grafisch und als Tabellen dargestellt.

6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Im Rahmen der Windheizung 2.0 Studie der Projektphase 2015/16 wurden anlagentechnische Konzepte erarbeitet, die es erlauben, Gebäude nahezu ausschließlich mit Überschussstrom (z.B. aus Starkwindereignissen) zu beheizen. In Zeiten in denen kein Überschussstrom zur Verfügung steht, kann in Windheizung 2.0-Gebäuden der Heizungs- und Trinkwarmwasserbedarf mit einem nur geringen Reststrombezug überbrückt werden. Im Rahmen dieser Untersuchungen hat sich gezeigt, dass hierfür vor allem Einfamilienhäuser mit einem sehr hohen wärmetechnischen Standard geeignet sind. Als wirtschaftliche Speicherlösungen zeigen sich vor allem zwei Systeme: Zum einen die Nutzung von großen Warmwasserspeichern (WWS) in Kombination mit Niedertemperatur-Flächenheizsystemen wie Fußbodenheizungen und zum anderen die Nutzung von thermischen Bauteilaktivierungen (BTA) zur parallelen Wärmespeicherung und Raumtemperierung.

Im Rahmen der in diesem Bericht beschriebenen Folgestudie des Konzepts Windheizung 2.0 (Projektphase 2017) sollen die beiden identifizierten Anlagenkonzepte (WWS und BTA) für den Fall eines Einfamilienhaus Neubaus näher spezifiziert und optimiert werden. Die zu erarbeitenden Optimierungen betreffen den Abgleich zwischen der Leistungsfähigkeit der Wärmerückgewinnung der Lüftung, der energetischen Qualität der Gebäudehülle und der erforderlichen Speichergroße. Als Bewertungskriterien werden neben der Wirtschaftlichkeit auch energetische und ökologische Kriterien sowie die thermische Behaglichkeit betrachtet. Ergänzend zu den gebäudetechnischen Aspekten werden zusätzlich unterschiedliche Annahmen für Überschussstrompreise, deren Häufigkeit der Verfügbarkeit sowie verschiedene Überschussstrompreisaufschläge berücksichtigt.

In einem ersten Schritt wird zunächst untersucht, mit welcher Kombination aus Leistungsfähigkeit der Wärmerückgewinnung einer mechanischen Lüftungsanlage und energetischer Qualität der einzelnen Bauteile bestimmte energetische Gebäudequalitäten am wirtschaftlichsten erreicht werden können. Die Gebäudequalitäten sind hierbei durch den Endenergiebedarf für die Beheizung unter Verwendung dezentraler, direktelektrischer Systeme nach DIN V 18599 [3] definiert. Aus dieser Voruntersuchung werden fünf unterschiedliche Gebäudequalitäten ausgewählt und dynamisch mit der Software WUFI® Plus simuliert, um die instationären Interaktionen der Gebäude mit den unterschiedlichen Speichertypen, Speichergroßen und Überschussstrombezugszyklen zu erhalten. Die so ermittelten Bedarfswerte für die (strombasierte) Endenergie, den Überschuss- und den Reststrom werden zur weiteren Auswertung in einer Überschussstromdeckung, in resultierende Umweltwirkungen und in Wirtschaftlichkeitsszenarien weiter verrechnet.

Aus diesen Bewertungskriterien lassen sich die folgenden wesentlichen Aussagen zusammenfassen. Generell können sowohl mit WWS- als auch mit BTA-Systemen Gebäude nach dem Windheizung 2.0-Konzept realisiert werden, wobei die aufwendigeren BTA-Systeme mit zusätzlich 16 cm dickeren Betondecken kaum Vorteile bieten und aus diesem Grund nicht empfohlen werden

können.

Bezüglich des Reststrombedarfs stellen sich die höheren energetischen Gebäudequalitäten günstiger dar. Hierbei ist allerdings bei der ökologischen Bewertung zu erkennen, dass bei Gebäudequalitäten mit einem Endenergiebedarf von weniger als ca. 4 kWh/(m²a) die höheren Aufwendungen für die Erstellung über den Zeitraum der Betriebsphase nicht mehr kompensiert werden können. Insgesamt jedoch kann man bei der Bewertung der Umweltwirkungen feststellen, dass sämtliche untersuchten Windheizung 2.0-Varianten ökologisch günstiger sind als die Referenzausführung nach EnEV 2014.

Bei der ökonomischen Bewertung zeigt sich ebenfalls, dass ab einer gewissen Gebäudequalität die finanziellen Aufwendungen, die zum Erreichen dieser Qualität notwendig sind, über den Nutzungszeitraum nicht mehr wieder erwirtschaftet werden können. Die Wirtschaftlichkeit bei den moderaten Gebäudequalitäten mit Bedarfswerten von etwa 13 kWh/(m²a) stellt sich generell am besten dar. Während bei den BTA-Systemen immer die einfache BTA mit den normaldicken Betondecken für alle Überschussstrombezugszyklen und Überschussstrompreisaufschläge die wirtschaftlichste Lösung darstellt, variiert die wirtschaftlichste Speichergröße bei WWS-Systemen (für die moderate Gebäudequalität) im Bereich von 4 – 10 m³. Die BTA-Systeme stellen sich auf Grund der geringeren Investitionskosten insgesamt wirtschaftlicher dar als die WWS. Generell gilt, dass die Wirtschaftlichkeit zum einen umso deutlicher erreicht werden kann, desto häufiger Überschussstrom zur Verfügung steht und zum anderen je geringer der Überschussstrompreisaufschlag ist. Im konkreten Fall sind zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit die lokalen Baukosten zur berücksichtigen, die von den im Rahmen der Studie verwendeten mittleren Preisen abweichen können.

Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wird der Nutzungszeitraum zur Ermittlung des Kapitalwertes der einzelnen Varianten von 25 auf 40 Jahre erhöht. In diesem Fall können die Mehraufwendungen aller einzelnen Varianten durch die Einsparungen kompensiert werden. Die optimalen Speichergrößen verschieben sich hier auf Grund des längeren Amortisationszeitraums in den Bereich bis 20 m³. Die Charakteristiken bezüglich der BTA-Systeme und der energetischen Gebäudequalitäten bleiben von der Verlängerung der Nutzungszeiten unberührt, so dass weiterhin eine Gebäudequalität von 13 kWh/(m²a) mit einem kleinen BTA-System die wirtschaftlichste Lösung darstellt.

Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Sanierungsfälle ist dann gegeben, wenn die energetische Gebäudequalität mit vergleichbaren Mehrkosten wie im Neubaufall hergestellt werden kann.

7 Literaturverzeichnis

- [1] Graichen, Patrick; Kleiner, Mara Marthe; Podewils, Christoph; Agora Energiewende: Agora Energiewende - Die Energiewende im Stromsektor: Stand der Dinge 2016. 104/01-A-2017/DE
- [2] Sinnesbichler, Herbert; Kersken, Matthias; Pazold, Matthias; et al.; Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP: Windheizung 2.0 - Energiespeicherung und Stromnetzregelung mit hocheffizienten Gebäuden - Projektphase 2015/16. EER 019/2016/952
- [3] DIN V 18599:2011-02: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 1 bis Teil 10.
- [4] Heilmann Software: Heilmann Software - IBP. URL <https://ibp-18599.de/>. Stand 27.10.2017
- [5] Adam, Mario; Riegebauer, Philipp; Spiegel, Thomas; Zentrim für Innovative Energiesysteme - Hochschule Düsseldorf: Entwicklung von Steuerungssignalen zur systemdienlichen und ökologischen Stromabnahme
- [6] Christoffer, Jürgen; Deutschländer, Thomas; Webs, Monika: Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse TRY. Offenbach: Deutsche Wetterdienst (DWD, 2004).
- [7] EnEV - Energieeinsparverordnung - Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden - Stand der Zweiten Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 18. November 2013 (BGBl. I S. 3951).
- [8] Maas, Anton; Erhorn, Hans; IB Hauser: EnEV 2017 – Vorbereitende Untersuchungen. SWD – 10.08.17.7-14.08
- [9] Kapitalwert - Wikipedia. URL <https://de.wikipedia.org/wiki/Kapitalwert>. Stand 22.06.2016
- [10] Fensterhandel.de. URL www.Fensterhandel.de. Stand 06.07.2017
- [11] Maas, Anton; Erhorn, Hans; de Boer, Jan; et al.; IB Hauser: Untersuchung zur weiteren Verschärfung der energetischen Anforderungen an Gebäude mit der EnEV 2012 – Anforderungsmethodik, Regelwerk und Wirtschaftlichkeit. ISSN 1869-9324
- [12] WEKA MEDIA GmbH & Co. KG: sirAdos - Baudaten. URL <https://www.sirados.de/>. Stand 07.06.2017
- [13] VDI 2067 Blatt 1:2012-09: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnung.

- [14] EN ISO 14040:2009: Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen bzw. EN ISO 14044:2006: Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen.
- [15] DIN EN 15978:2012-10: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode; Deutsche Fassung EN 15978:2011.
- [16] Antretter, F., Pazold, M., Künzel, H. M. and Sedlbauer, K. P. (2015) Anwendung hygrothermischer Gebäudesimulation, in Bauphysik Kalender 2015 (ed N. A. Fouad), Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany. doi: 10.1002/9783433605158.ch5.
- [17] Künzel, H. M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation. Stuttgart 20.07.1994..
- [18] Pazold, M. and Antretter, F. (2013), Hygrothermische Gebäudesimulation mit Multizonen-Gebäudedurchströmungsmodell. Bauphysik, 35: 86–92. doi: 10.1002/bapi.201310051.
- [19] DIN EN ISO 7730:2006-05: Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (ISO 7730:2005).
- [20] DIN EN 15251:2012-12: Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik; Deutsche Fassung EN 15251:2007.

Anhang

A.1	Dokumentation der Bauteilaufbauten	45
A.2	Details der Kostenermittlung	50
A.3	Ergebnisse der Auswertung	52
A.3.1	Darstellung der Überschussstromdeckung und des energetischen Verhaltens	55
A.3.2	Darstellung des thermischen Raumkomforts	62
A.3.3	Darstellung der Umweltwirkungen	68
A.3.4	Darstellung der ökonomischen Bewertung	71
A.3.5	Darstellung der ökonomischen Bewertung (40 Jahre)	78
A.3.6	Überschussstrompreiszyklen	79

Anhang A.1 - Bauteile

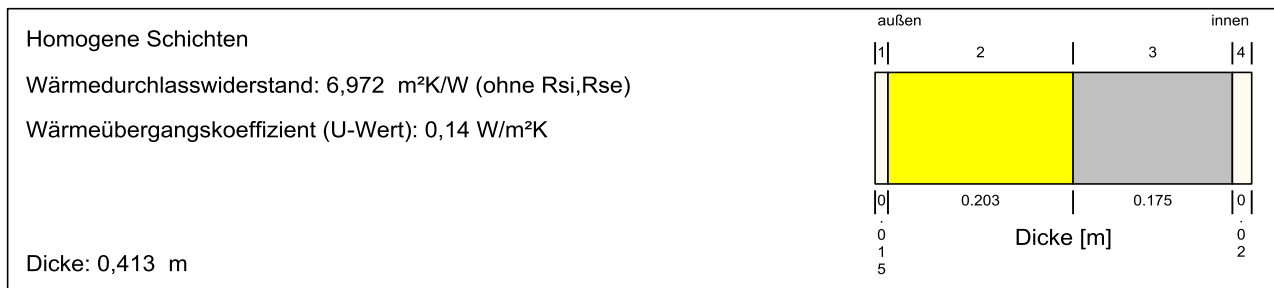
■ Fenster

U_w – Wert * [W/m ² K]	0,9 0,85 0,8 0,7 0,7
Rahmenreduktionsfaktor [-]	0,7
g-Wert [-]	0,5
Verschattungsgrad Sonnenschutzvorrichtung (Aktiviert bei >24°C)	0,3

*: U_w -Wert nach Qualität der Gebäudehülle (EnEV60 | EnEV50 | EnEV40 | EnEV30 | EnEV20)

Anhang A.1 - Bauteile

Außenwand



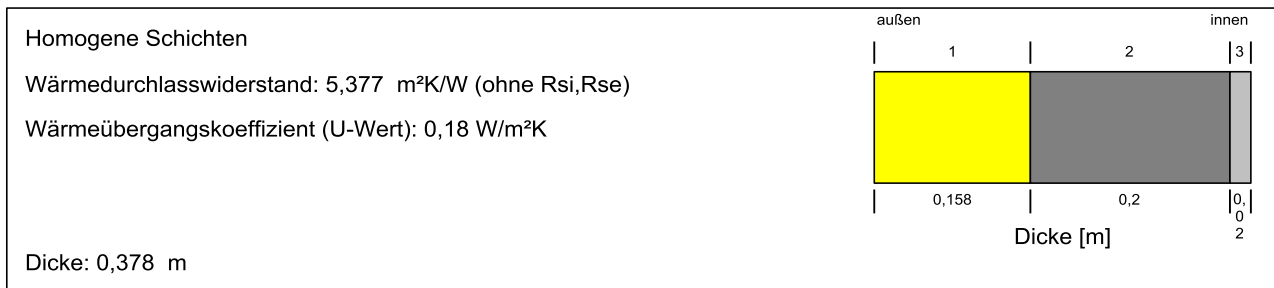
Darstellung gilt für EnEV50

Nr.	Material/Schicht (außen --> innen)	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	Dicke [m]	Farbe
1	wh2017 - Zementputz	1800	850	0,87	0,015	
2	wh2017 – Dämmung*	40	1500	0,03	0,167 0,203 0,256 0,342 0,522	
3	wh2017 - Mauerwerk KS	2000	850	1,1	0,175	
4	wh2017 - Gipsputz	1400	850	0,7	0,020	

*: Schichtdicke angepasst nach der Qualität der Gebäudehülle (EnEV60 | EnEV50 | EnEV40 | EnEV30 | EnEV20)

Anhang A.1 - Bauteile

■ Bodenplatte



Darstellung gilt für EnEV50

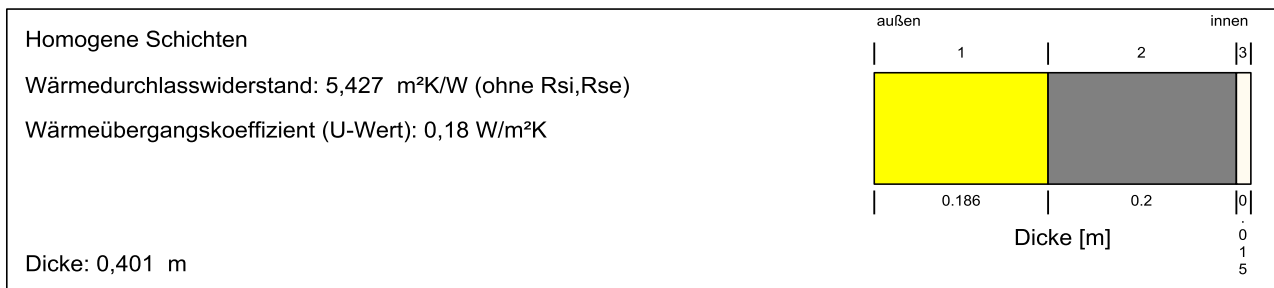
Nr.	Material/Schicht (außen --> innen)	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	Dicke [m]	Farbe
1	wh2017 – DämmungPerimeter*	40	1500	0,035	0,131 0,158 0,213 0,297 0,461	gelb
2	wh2017 – Beton ²	2400	850	2,1	0,200 0,350 ²	grau
5	wh20 - Estrich	2100	850	1,3	0,020	hellgrau

*: Schichtdicke angepasst nach der Qualität der Gebäudehülle (EnEV60 | EnEV50 | EnEV40 | EnEV30 | EnEV20)

²: Ggf. Anpassung der Schichtdicke für die BTA-Systeme 2 & 3

Anhang A.1 - Bauteile

■ Kellerwand



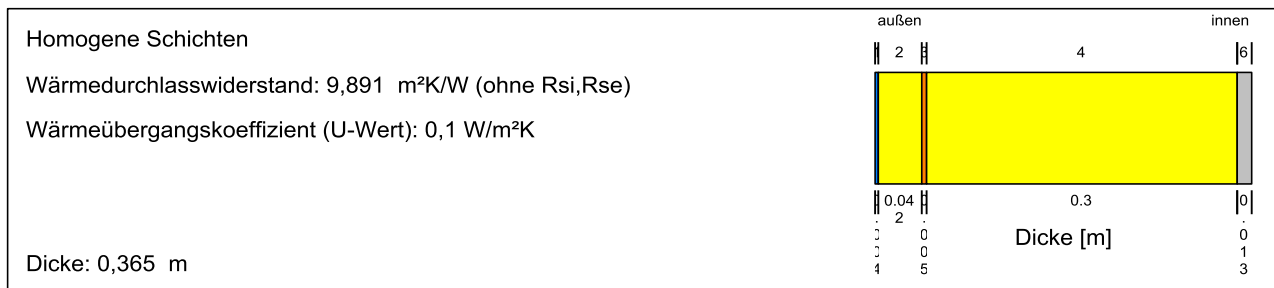
Darstellung gilt für EnEV50

Nr.	Material/Schicht (außen --> innen)	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	Dicke [m]	Farbe
1	wh2017 – DämmungPerimeter*	40	1500	0,035	0,158 0,186 0,243 0,322 0,489	
2	wh2017 - Beton	2400	850	2,1	0,200	
3	wh20 - Zementputz	1800	850	0,87	0,015	

*: Schichtdicke angepasst nach der Qualität der Gebäudehülle (EnEV60 | EnEV50 | EnEV40 | EnEV30 | EnEV20)

Anhang A.1 - Bauteile

■ Dach

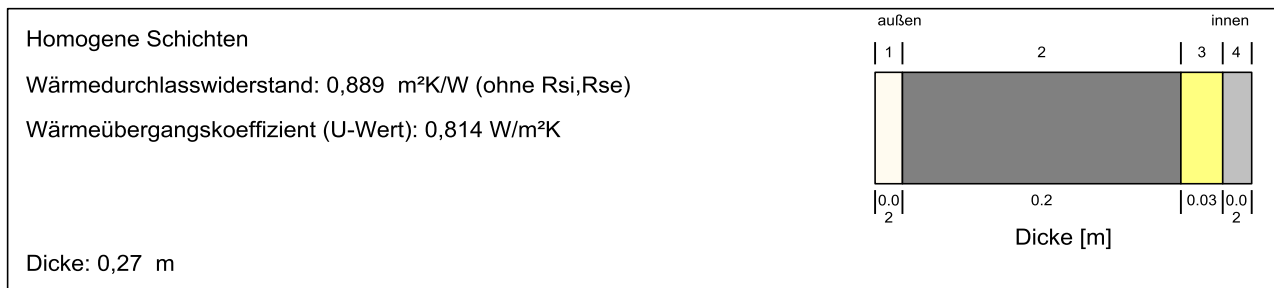


Darstellung gilt für EnEV50

Nr.	Material/Schicht (außen --> innen)	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	Dicke [m]	Farbe
1	wh2017 - Unterspannbahn	2400	1000	0,17	0,004	Blau
2	wh2017 - Aufsparrendämmung	40	1500	0,035	0,000 0,420 0,130 0,271 0,564	Gelb
3	wh2017 - Verschalung	400	1500	0,13	0,005	Orange
4	wh2017 - SparrenDämmung	40	1500	0,035	0,28 0,300 0,300 0,300 0,300	Gelb
5	wh2017 - Dampfsperre	2400	1000	0,35	0,001	Blau
6	wh2017 - GKP	900	850	0,25	0,013	Grü

Anhang A.1 - Bauteile

Zwischendecke



Nr.	Material/Schicht (außen --> innen)	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	Dicke [m]	Farbe
1	wh2017 - Gipsputz	1400	850	0,7	0,020	
2	wh2017 – Beton ²	2400	850	2,1	0,200 0,350 ²	
3a ³	wh2017 - DämmungTrittschall	30	840	0,04	0,030	
3b ³	wh2017 - Trittschallschutz	50	840	0,09	0,006	
4	wh2017 - Estrich	2100	850	1,3	0,020	

Anhang A.1 - Bauteile

■ Innenwand

Homogene Schichten

Wärmedurchlasswiderstand: 0,216 m²K/W (ohne R_{si},R_{se})

Wärmeübergangskoeffizient (U-Wert): 2,1 W/m²K

Dicke: 0,215 m

Nr.	Material/Schicht (außen --> innen)	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	Dicke [m]	Farbe
1	wh2017 - Gipsputz	1400	850	0,7	0,020	gelb
2	wh2017 - Mauerwerk KS	2000	850	1,1	0,175	grau
3	wh2017 - Gipsputz	1400	850	0,7	0,020	gelb

		EnEV60	EnEV50	EnEV40	EnEV30	EnEV20
Mehrkosten (Invest) zur Referenz-Ausstattung	[T€]	38,6	46,1	56,3	69,0	83,6
Mehrkosten Gebäudehülle	[T€]	22,0	29,5	39,8	52,5	67,1
Mehrkosten Lüftungsanlage	[T€]	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6

		EnEV60	EnEV50	EnEV40	EnEV30	EnEV20
Mehrkosten Gebäudehülle (Invest) Gesamt	[T€]	22,0	29,5	39,8	52,5	67,1
Außenwand						
Mehrkosten (Invest) Windheizung 2.0	[T€]	6,2	9,3	13,4	18,7	25,2
Fläche Außenwand	[m ²]	285,0	285,0	285,0	285,0	285,0
Kosten Windheizung 2.0	[€/m ²]	183,6	194,7	209,1	227,4	250,4
Kosten Referenz	[€/m ²]	161,9	161,9	161,9	161,9	161,9
Fenster						
Mehrkosten (Invest) Windheizung 2.0	[T€]	3,5	4,0	4,4	5,3	5,3
Fläche Fenster	[m ²]	64,0	64,0	64,0	64,0	64,0
Kosten Windheizung 2.0	[€/m ²]	292,7	299,6	306,5	320,4	320,4
Kosten Referenz	[€/m ²]	237,3	237,3	237,3	237,3	237,3
Dach						
Mehrkosten (Invest) Windheizung 2.0	[T€]	5,5	7,6	9,9	12,6	15,7
Fläche Dach	[m ²]	144,0	144,0	144,0	144,0	144,0
Kosten Windheizung 2.0	[€/m ²]	190,4	204,6	220,9	239,7	261,3
Kosten Referenz	[€/m ²]	152,0	152,0	152,0	152,0	152,0
Erdberührende Bauteile						
Mehrkosten (Invest) Windheizung 2.0	[T€]	4,4	6,3	9,6	13,5	18,4
Fläche erdberührende Bauteile	[m ²]	234,0	234,0	234,0	234,0	234,0
Kosten Windheizung 2.0	[€/m ²]	139,3	147,3	161,6	178,2	199,4
Kosten Referenz	[€/m ²]	120,6	120,6	120,6	120,6	120,6
Wärmebrücken						
Mehrkosten (Invest) Wärmebrückenberechnung	[T€]	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4

		EnEV60	EnEV50	EnEV40	EnEV30	EnEV20
Mehrkosten (Invest) Lüftungsanlage	[T€]	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6

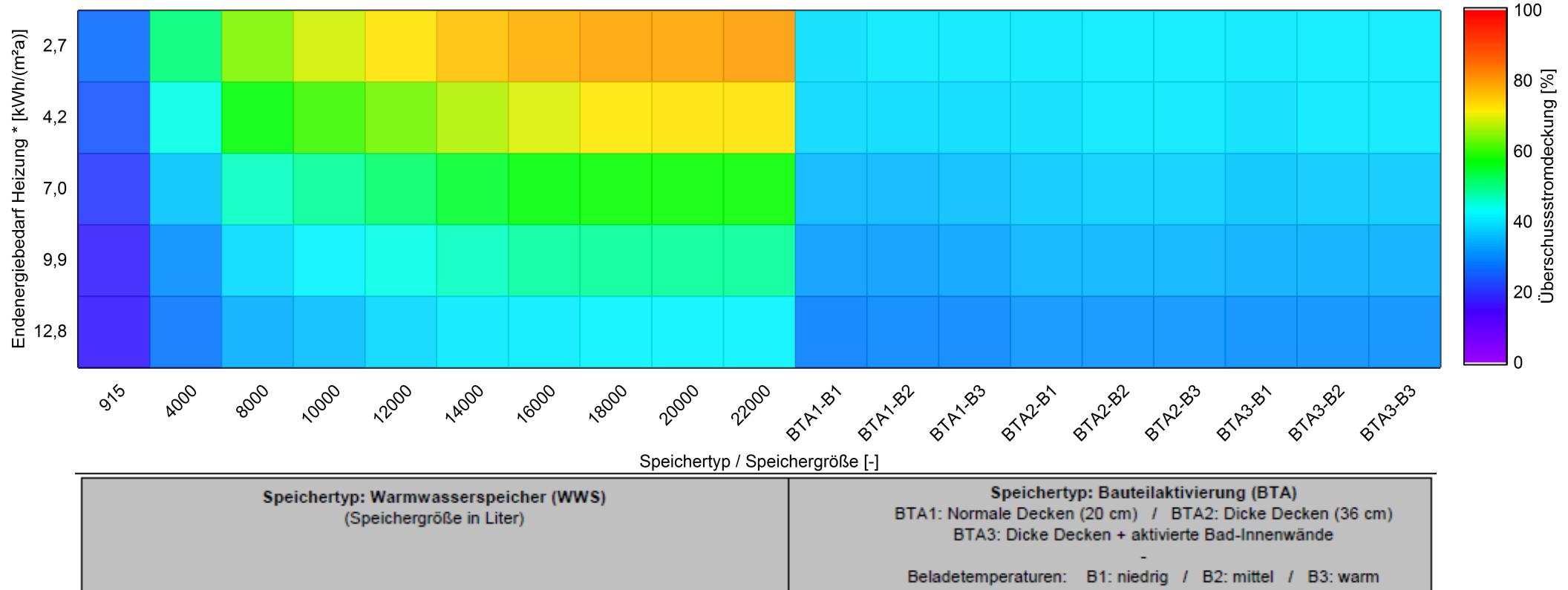
Mehrkosten (Invest) Warmwasserspeicher		Speicher-Mehrkosten (Invest)					Investkosten Speicher-Behälter			
							Mehrkosten	Kosten	Kosten	Einbaukosten
Speichergröße [l]		EnEV60	EnEV50	EnEV40	EnEV30	EnEV20	[T€]	[T€]	[€/l]	[T€]
915	[T€]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	2,5	2,17	0,5
4.000	[T€]	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,2	4,6	0,84	1,2
8.000	[T€]	6,0	6,0	6,0	6,0	6,4	5,9	8,4	0,74	2,5
10.000	[T€]	7,8	7,8	7,8	8,0	8,4	7,7	10,2	0,71	3,1
12.000	[T€]	9,4	9,4	9,4	9,8	10,4	9,4	11,8	0,67	3,7
14.000	[T€]	11,0	11,0	11,0	11,5	12,1	10,9	13,4	0,65	4,4
16.000	[T€]	12,5	12,5	12,5	13,2	13,8	12,4	14,9	0,62	5,0
18.000	[T€]	13,9	13,9	13,9	14,8	15,3	13,8	16,2	0,59	5,6
20.000	[T€]	15,2	15,2	15,3	16,3	16,8	15,1	17,5	0,57	6,2
22.000	[T€]	16,4	16,4	16,6	17,8	18,2	16,3	18,7	0,54	6,8
Speichergröße [l]		Dämmungs-Mehrkosten (Invest) [T€]								
915	[T€]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
4000	[T€]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1				
8000	[T€]	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5				
10000	[T€]	0,0	0,0	0,0	0,3	0,7				
12000	[T€]	0,1	0,1	0,1	0,4	1,0				
14000	[T€]	0,1	0,1	0,1	0,6	1,2				
16000	[T€]	0,1	0,1	0,1	0,8	1,4				
18000	[T€]	0,1	0,1	0,1	1,0	1,5				
20000	[T€]	0,1	0,1	0,2	1,2	1,7				
22000	[T€]	0,1	0,1	0,3	1,5	1,9				
Speichergröße [l]		Dämmstärken [m]								
915	[T€]	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15				
4000	[T€]	0,15	0,15	0,15	0,15	0,23				
8000	[T€]	0,15	0,15	0,15	0,21	0,38				
10000	[T€]	0,15	0,15	0,15	0,25	0,45				
12000	[T€]	0,15	0,15	0,15	0,28	0,50				
14000	[T€]	0,15	0,15	0,15	0,31	0,50				
16000	[T€]	0,15	0,15	0,15	0,34	0,50				
18000	[T€]	0,15	0,15	0,16	0,37	0,50				
20000	[T€]	0,15	0,15	0,18	0,40	0,50				
22000	[T€]	0,15	0,15	0,20	0,43	0,50				

		WWS	BTA1	BTA2	BTA3
Mehrkosten (Invest) Übergabesystem Gesamt	[T€]	-8,6	-13,4	-4,8	-2,3
Mehrkosten (Invest) Durchlaufherhitzer	[T€]	0,8	0,8	0,8	0,8
Mehrkosten (Invest) FBH & BTA	[T€]	33,6	28,8	37,4	39,9
Einsparung (Invest) Ölkessel & Peripherie	[T€]	-9,4	-9,4	-9,4	-9,4
Einsparung (Invest) Radiatoren & Verrohrung	[T€]	-33,6	-33,6	-33,6	-33,6
Ölkessel und Priperie					
		WWS	BTA1	BTA2	BTA3
Einsparung (Invest) Ölkessel & Peripherie	[T€]	-9,4	-9,4	-9,4	-9,4
Investitionskosten Ölkessel	[T€]	3,7	3,7	3,7	3,7
Auslegungsgrundlage Kesselleistung (Referenz)	[kW]	7,1	7,1	7,1	7,1
Investitionskosten Kamin	[T€]	3,7	3,7	3,7	3,7
Investitionskosten Öl-Tankanlage	[T€]	2,0	2,0	2,0	2,0
Wartungskosten Ölkessel	[€/a]	254	254	254	254
Kosten Kaminkehrer	[€/a]	101,6	101,6	101,6	101,6
Wirkungsgrad Ölkessel	[-]	1,06			
Radiatoren und Verrohrungen					
		WWS	BTA1	BTA2	BTA3
Einsparung (Invest) Radiatoren & Verrohrung	[T€]	-33,6	-33,6	-33,6	-33,6
Wartungskosten Heizkörper & Verrohrung	[€/a]	127,0	127,0	127,0	127,0
Übergabesysteme					
		WWS	BTA1	BTA2	BTA3
Investitionskosten FBH / BTA	[T€]	33,6	28,8	37,4	39,9
Leitungssystem					
Kosten Aktivierungssystem	[T€]	33,6	28,8	28,8	31,3
Aktivierte Bauteilfläche (horizontal)	[m ²]	480,0	480,0	480,0	480,0
Aktivierte Bauteilfläche (Innenwände)	[m ²]				41,5
Spezifische Systemkosten	[€/m ²]	70,0	60,0	60,0	60,0
Dickere horiz. Betonbauteile					
Zusatzbeton: Kosten	[T€]			8,6	8,6
Zusatzbeton: Spezifische Kosten	[€/m ³]			120	120
Zusatzbeton: Volumen	[m ³]			72	72

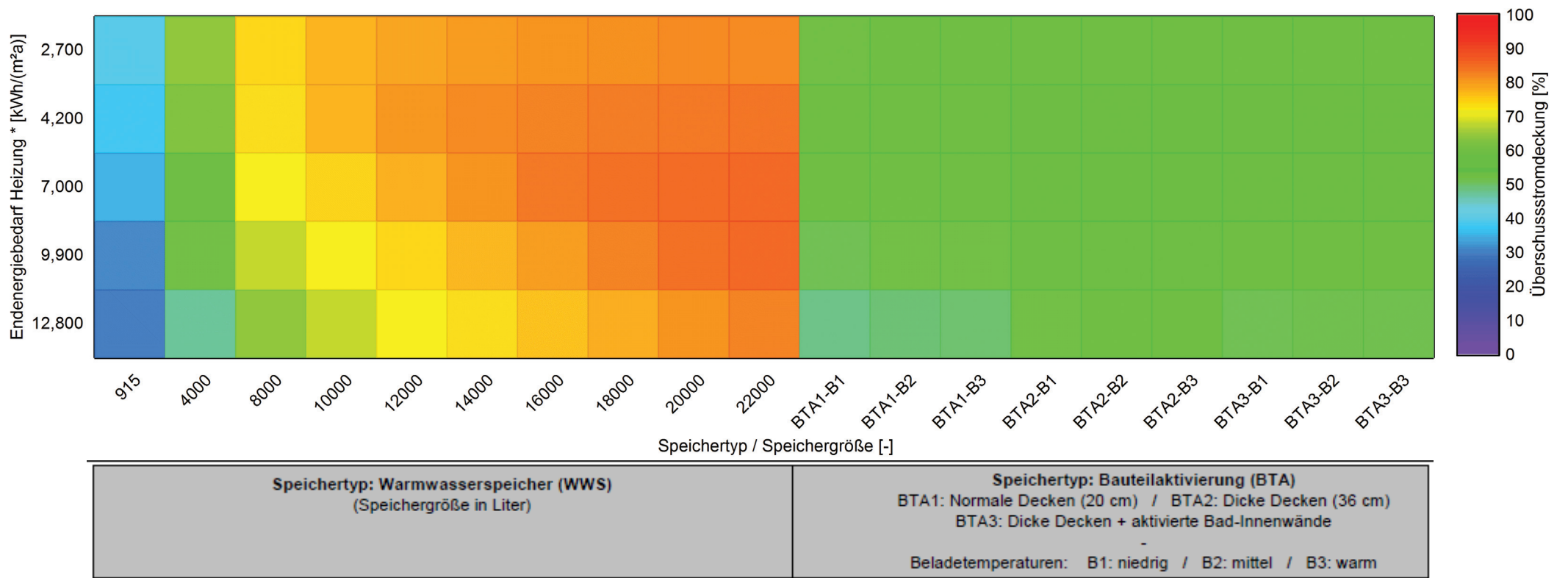
Überschussstromdeckung für Heizung und Trinkwarmwasser:

Die Überschussstromdeckung beschreibt den Anteil des Gesamt-Strombedarfs eines Windheizung 2.0-Gebäudes (Heizung, Trinkwarmwasser und Verluste), der durch Überschussstrom gedeckt wird. Je höher die Überschussstromdeckung ist, desto mehr kostengünstiger Überschussstrom kann in netzdienlicher Weise verwendet werden.

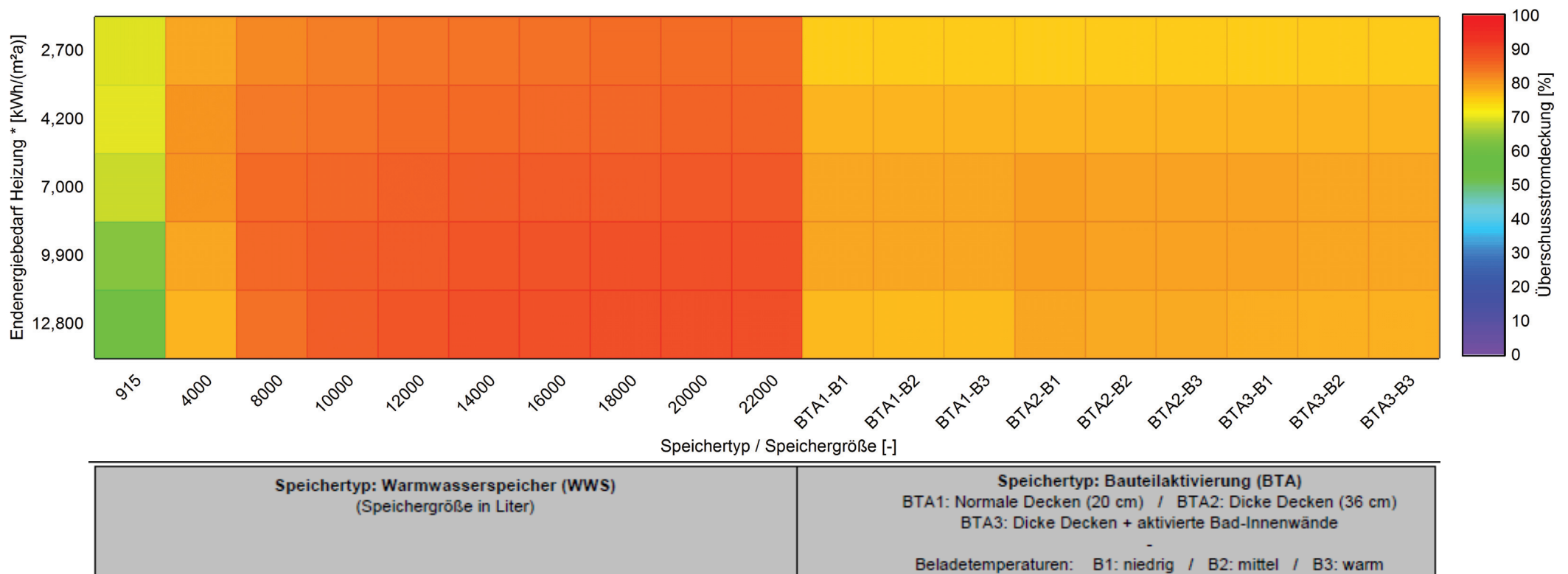
Überschussstromdeckung - Strombezugszyklus -1 ct/kWh



Überschussstromdeckung - Strombezugszyklus 0 ct/kWh



Überschussstromdeckung - Strombezugszyklus 1 ct/kWh

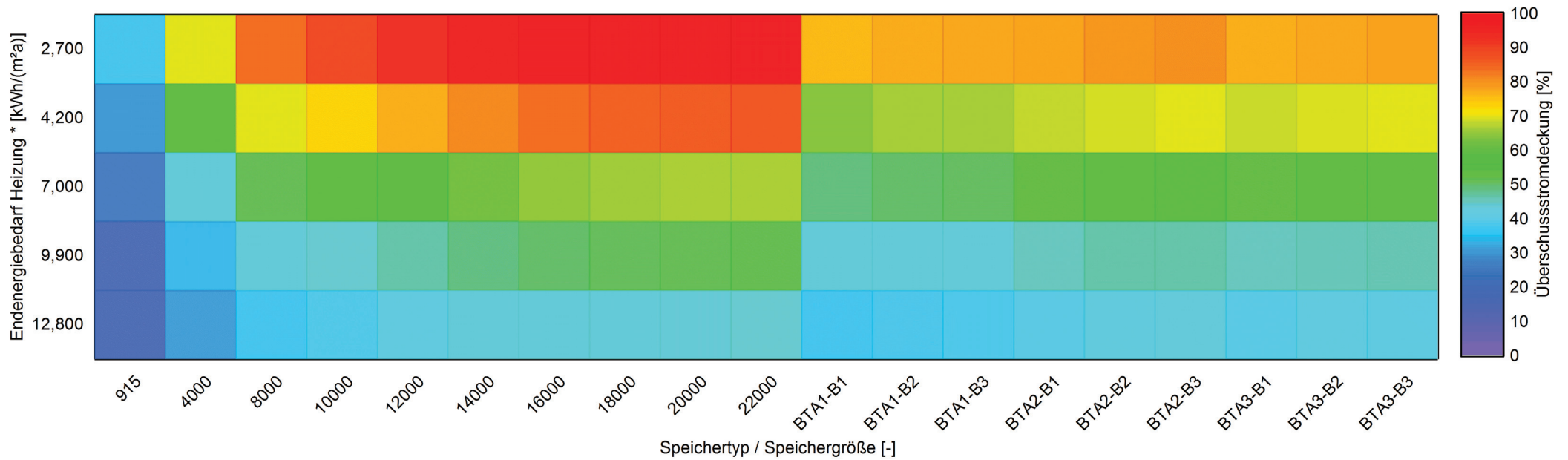


*: Endenergie-Bedarf für die Heizung nach DIN V 18599 für eine ideale Elektroheizung; resultierend aus der Gebäudequalität.

Überschussstromdeckung Heizung:

Die Überschussstromdeckung Heizung beschreibt den Anteil des Strombedarfs eines Windheizung 2.0-Gebäudes für die Raumbeheizung (ohne Trinkwarmwasser und Verluste), der durch Überschussstrom gedeckt wird. Je höher die Überschussstromdeckung ist, desto mehr kostengünstiger Überschussstrom kann in netzdienlicher Weise verwendet werden.

Überschussstromdeckung Heizwärmebedarf - Strombezugszyklus -1 ct/kWh



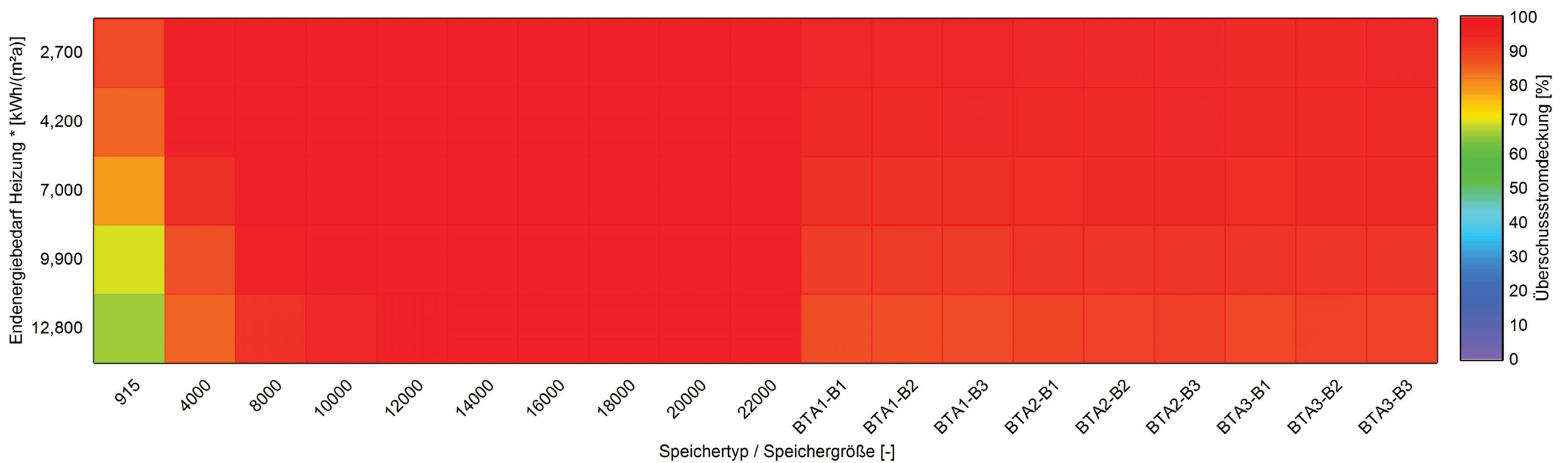
Speichertyp: Warmwasserspeicher (WWS) (Speichergröße in Liter)	Speichertyp: Bauteilaktivierung (BTA) BTA1: Normale Decken (20 cm) / BTA2: Dicke Decken (36 cm) BTA3: Dicke Decken + aktivierte Bad-Innenwände - Beladetemperaturen: B1: niedrig / B2: mittel / B3: warm
--	---

Überschussstromdeckung Heizwärmebedarf - Strombezugszyklus 0 ct/kWh



Speichertyp: Warmwasserspeicher (WWS) (Speichergröße in Liter)	Speichertyp: Bauteilaktivierung (BTA) BTA1: Normale Decken (20 cm) / BTA2: Dicke Decken (36 cm) BTA3: Dicke Decken + aktivierte Bad-Innenwände - Beladetemperaturen: B1: niedrig / B2: mittel / B3: warm
--	---

Überschussstromdeckung Heizwärmebedarf - Strombezugszyklus 1 ct/kWh



Speichertyp: Warmwasserspeicher (WWS) (Speichergröße in Liter)	Speichertyp: Bauteilaktivierung (BTA) BTA1: Normale Decken (20 cm) / BTA2: Dicke Decken (36 cm) BTA3: Dicke Decken + aktivierte Bad-Innenwände - Beladetemperaturen: B1: niedrig / B2: mittel / B3: warm
--	---

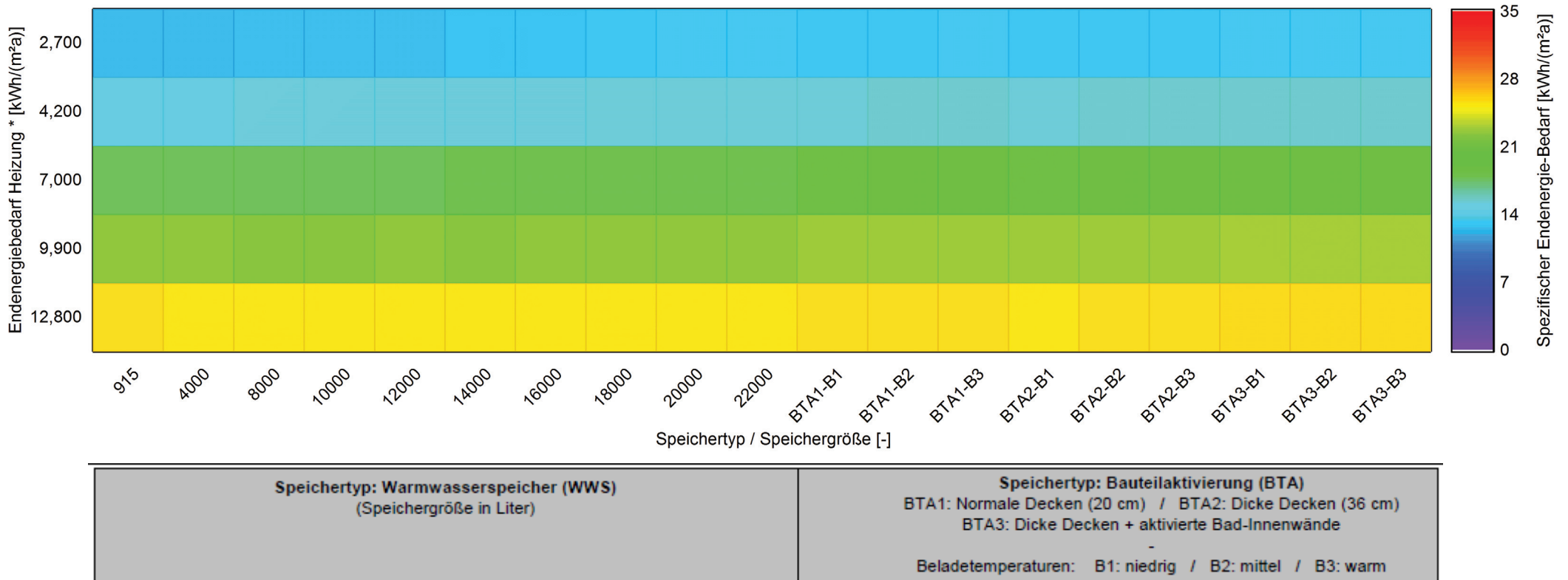
*: Endenergie-Bedarf für die Heizung nach DIN V 18599 für eine ideale Elektroheizung; resultierend aus der Gebäudequalität.

Spezifischer Endenergie-Bedarf:

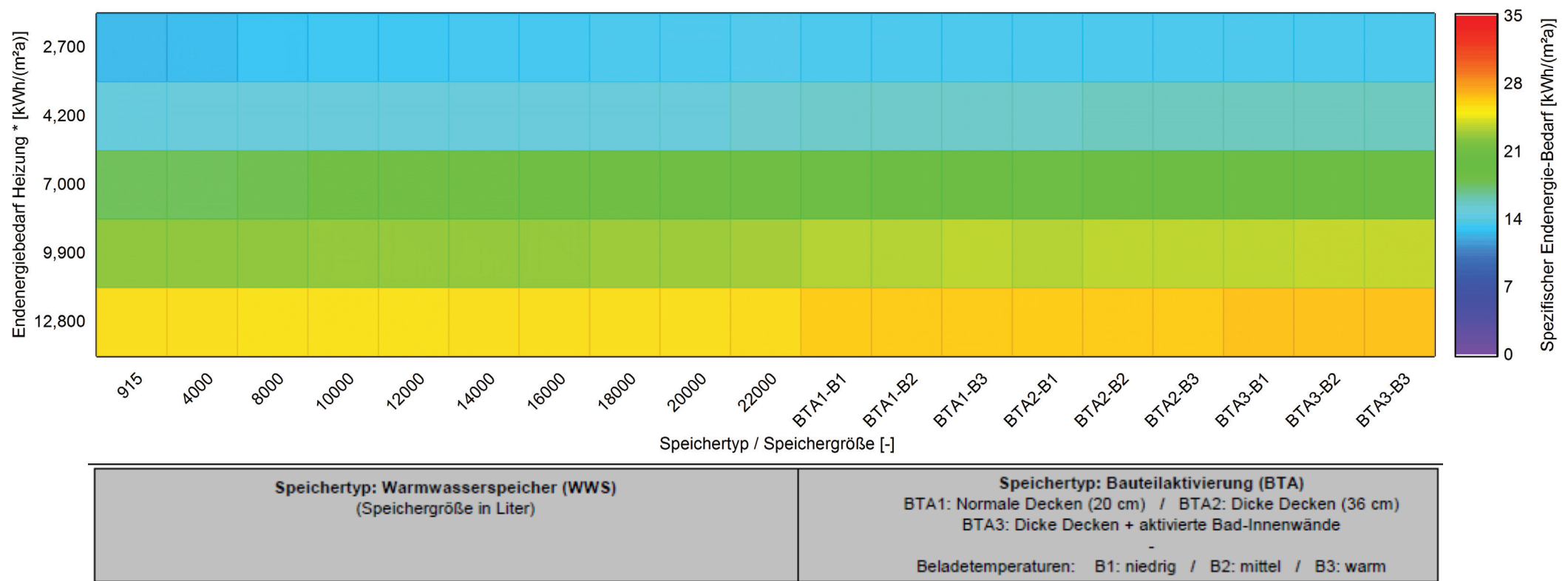
Die Endenergie enthält die Energiemengen, die zum Betrieb des Gebäudes beschafft werden müssen, also bei dem elektrisch beheizten Windheizung 2.0-Gebäude die Strommengen. Sie enthält also nicht die Erträge der Solarthermie sondern wird um diese reduziert.

(Der Heizwärmebedarf enthält im Unterschied zum Endenergie-Bedarf weder die Verluste von Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Übergabe noch den Energieanteil der TWW-Bereitung.)

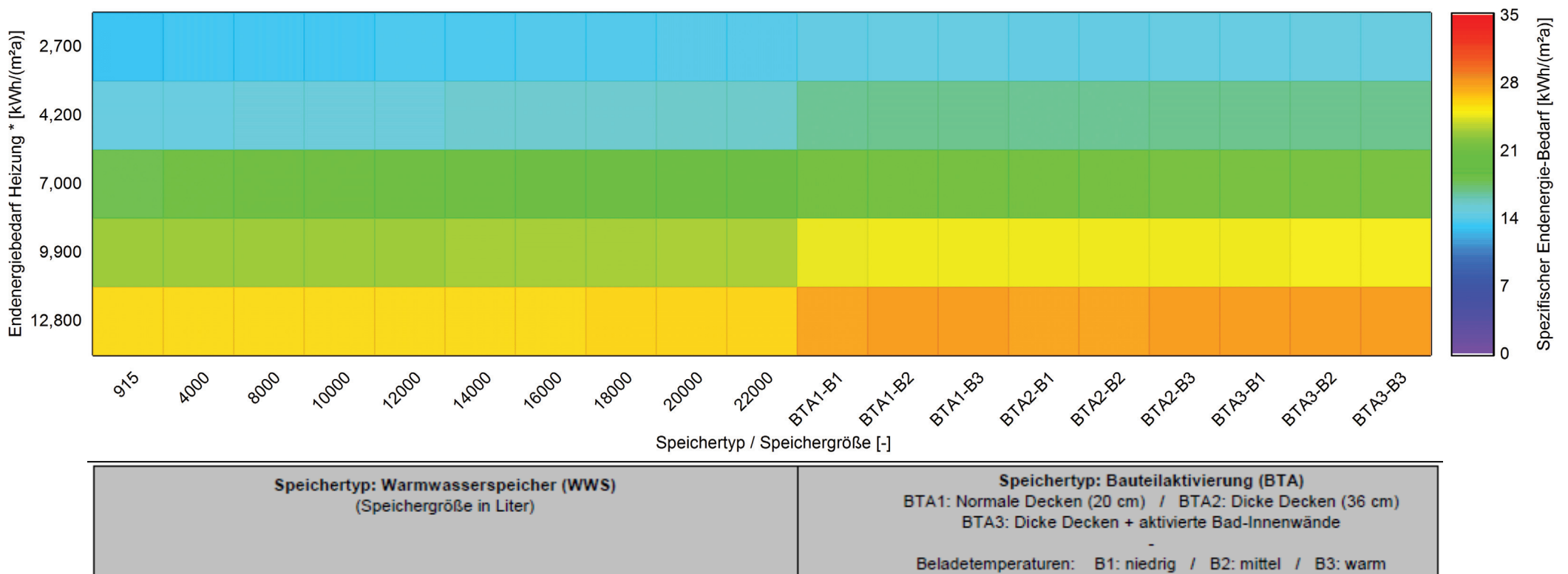
Spezifischer Endenergie-Bedarf (Heizung + TWW) - Strombezugszyklus -1 ct/kWh



Spezifischer Endenergie-Bedarf (Heizung + TWW) - Strombezugszyklus 0 ct/kWh



Spezifischer Endenergie-Bedarf (Heizung + TWW) - Strombezugszyklus 1 ct/kWh

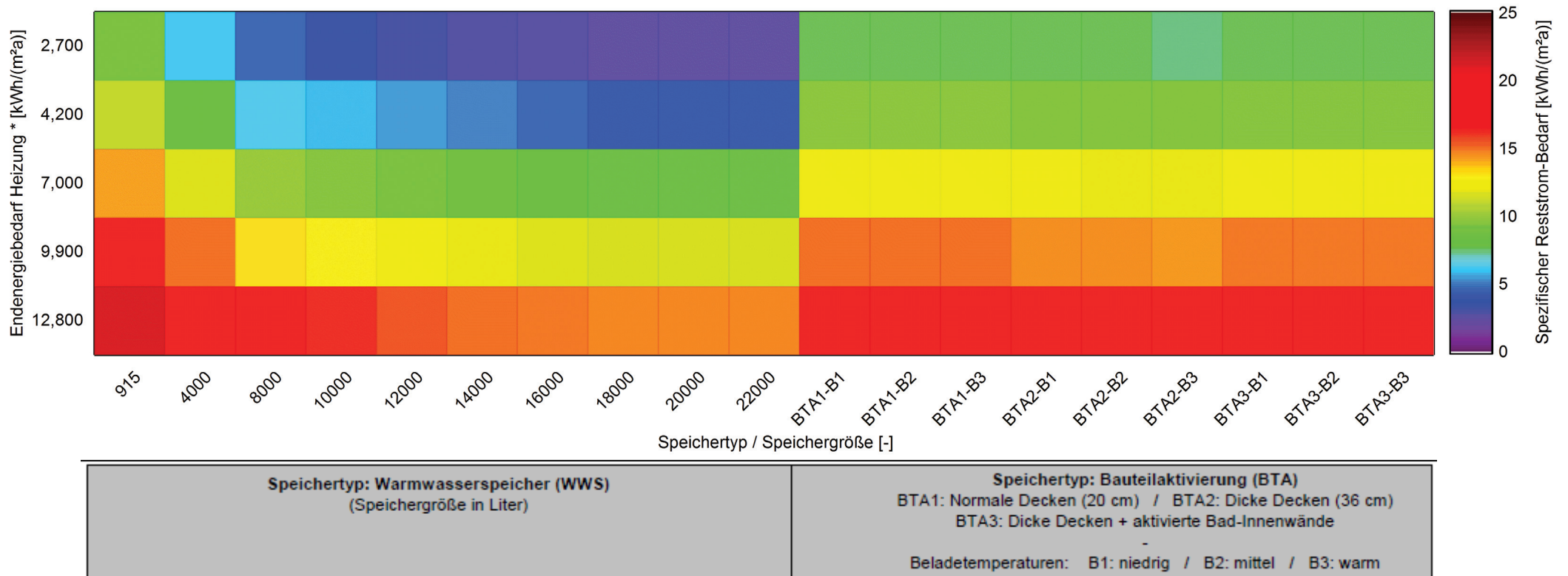


*: Endenergie-Bedarf für die Heizung nach DIN V 18599 für eine ideale Elektroheizung; resultierend aus der Gebäudequalität.

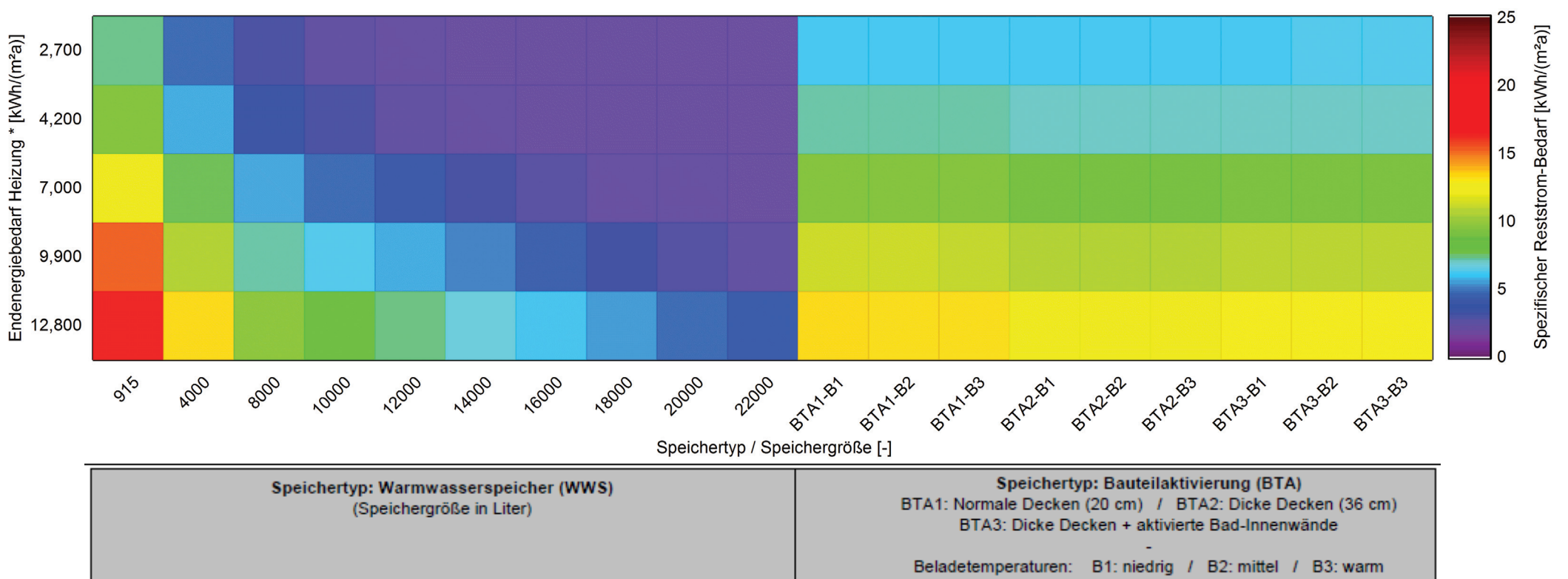
Spezifischer Reststrom-Bedarf:

Da ein hoher Reststrom-Bedarf sowohl die ökonomischen als auch die ökologischen Auswirkungen eines Windheizung 2.0-Gebäudes negativ beeinflusst, sollte dieser möglichst gering sein.

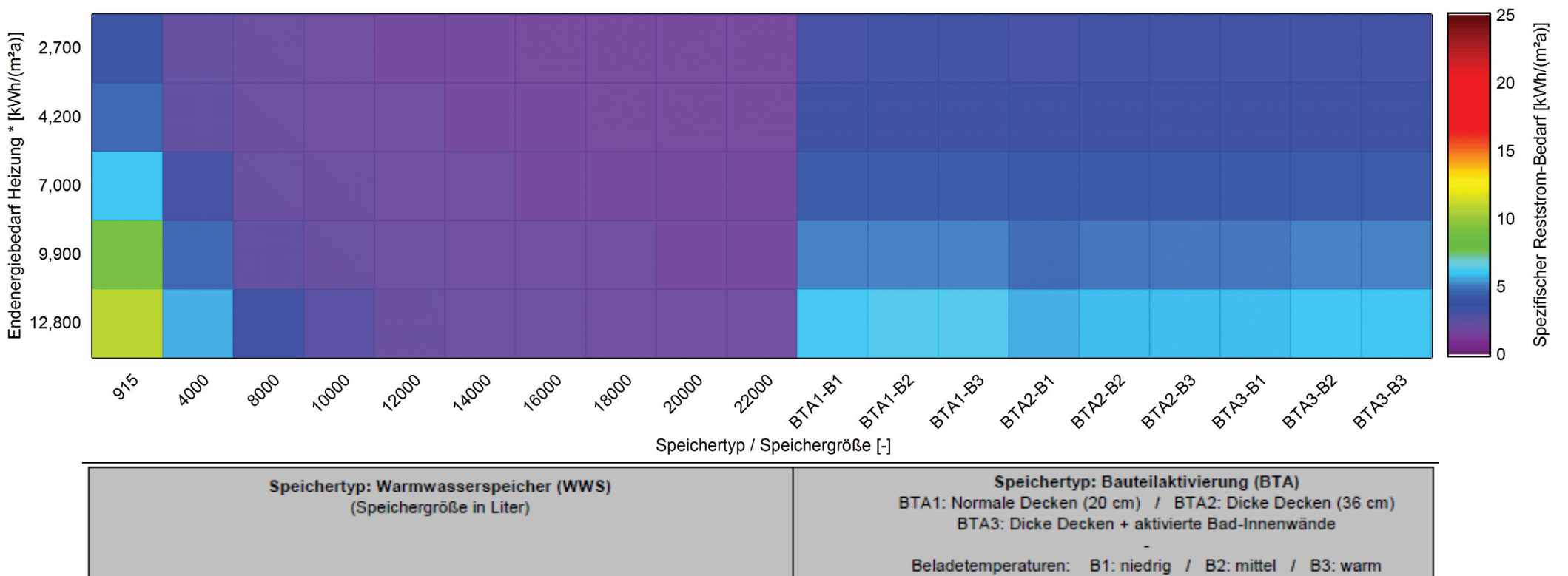
Spezifischer Reststrom-Bedarf (Heizung + TWW) - Strombezugszyklus -1 ct/kWh



Spezifischer Reststrom-Bedarf (Heizung + TWW) - Strombezugszyklus 0 ct/kWh



Spezifischer Reststrom-Bedarf (Heizung + TWW) - Strombezugszyklus 1 ct/kWh

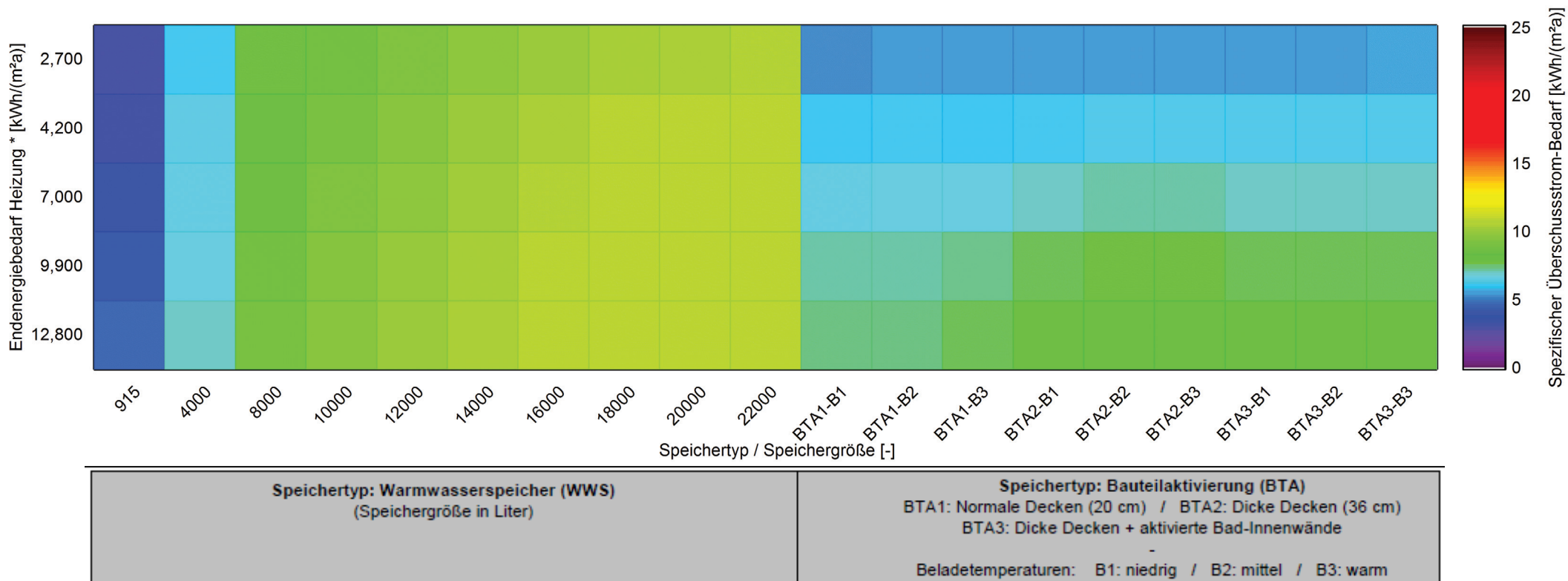


*: Endenergie-Bedarf für die Heizung nach DIN V 18599 für eine ideale Elektroheizung; resultierend aus der Gebäudequalität.

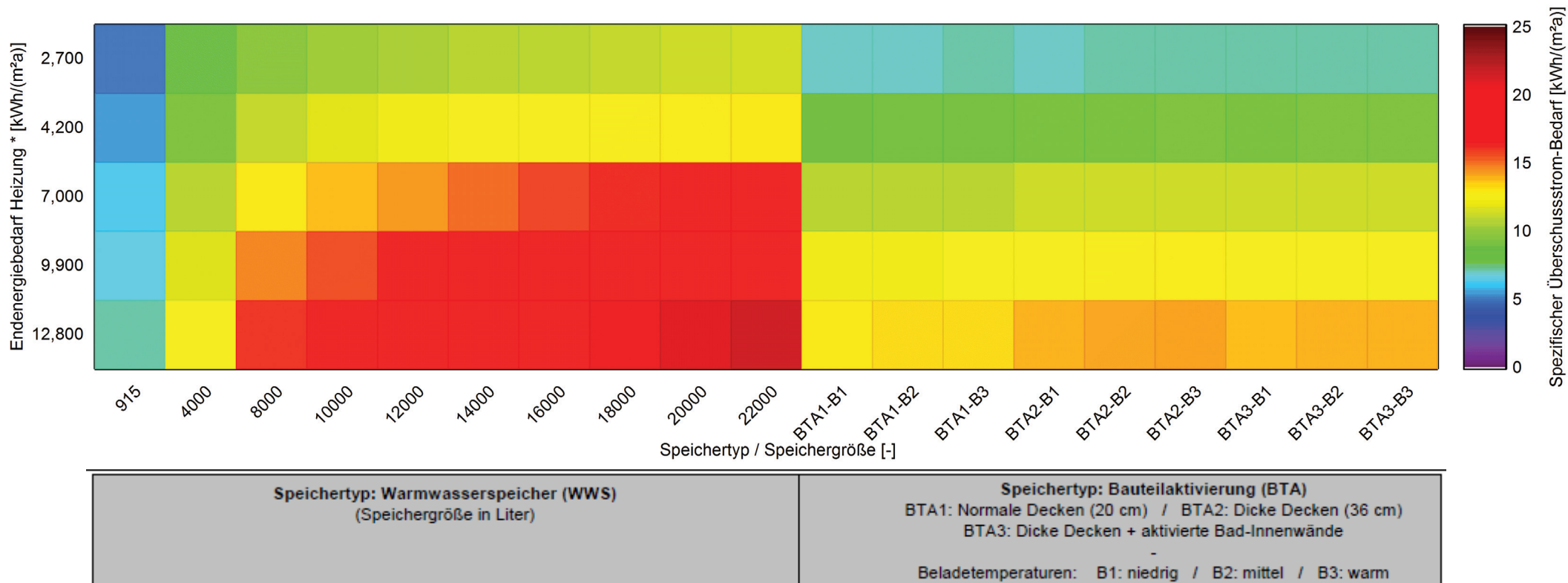
Spezifischer Überschussstrom-Bedarf:

Der Überschussstrom-Bedarf ist der Teil des Endenergie-Bedarfs, der z.B. aus Starkwindereignissen zur Verfügung steht und nicht über Reststrom (Bezug des konventionellen Strom-Mixes) gedeckt werden muss. Da sowohl die ökologischen als auch die ökonomischen Auswirkungen des Überschussstroms gering sind, ist eine möglichst vollständige Deckung des Energiebedarfs eines Windheizung 2.0-Gebäudes mit Überschussstrom anzustreben.

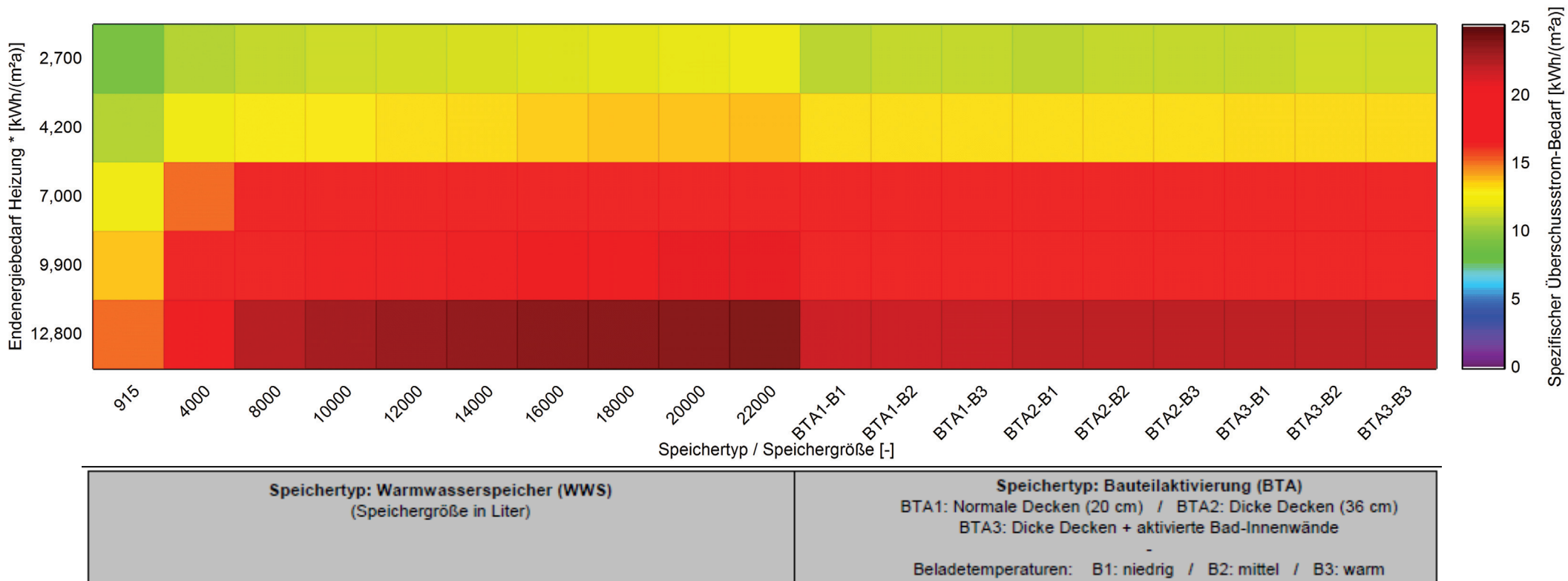
Spezifischer Überschussstrom-Bedarf (Heizung + TWW) - Strombezugszyklus -1 ct/kWh



Spezifischer Überschussstrom-Bedarf (Heizung + TWW) - Strombezugszyklus 0 ct/kWh



Spezifischer Überschussstrom-Bedarf (Heizung + TWW) - Strombezugszyklus 1 ct/kWh



*: Endenergie-Bedarf für die Heizung nach DIN V 18599 für eine ideale Elektroheizung; resultierend aus der Gebäudequalität.

Anhang A3.1 - Überschussstromdeckung und energetisches Verhalten**Überschussstromdeckung für Heizung und Trinkwarmwasser [%] - Überschussstrombezugszyklus -1 ct/kWh**

Gebäudequalität [kWh/(m²a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	27	50	64	69	73	76	78	79	79	80	40	40	41	41	41	41	41	41	41
4,2	24	44	57	60	64	67	70	72	72	72	38	39	39	40	40	41	40	40	40
7,0	21	36	46	49	52	54	57	58	58	58	35	35	36	37	38	38	37	37	37
9,9	18	31	39	41	44	46	48	48	48	48	32	32	32	34	35	35	34	34	34
12,8	17	27	34	36	38	40	41	42	42	42	29	29	29	31	31	31	31	31	31

Überschussstromdeckung für Heizung und Trinkwarmwasser [%] - Überschussstrombezugszyklus 0 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m²a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	40	63	75	79	80	81	82	83	83	84	53	54	54	54	54	54	54	54	54
4,2	37	62	74	78	82	83	84	85	85	85	54	54	55	56	56	56	56	56	56
7,0	34	58	71	75	79	82	85	87	87	87	54	54	54	56	56	56	56	56	56
9,9	29	53	67	72	75	78	81	84	86	88	52	53	53	55	55	55	54	54	54
12,8	28	48	63	68	71	74	77	80	82	84	49	50	50	53	54	54	52	52	53

Überschussstromdeckung für Heizung und Trinkwarmwasser [%] - Überschussstrombezugszyklus 1 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m²a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	70	80	84	85	86	86	87	87	87	87	76	76	76	76	76	76	76	76	76
4,2	70	82	85	86	87	88	88	89	89	89	79	78	79	79	79	79	79	78	78
7,0	68	82	88	88	89	90	90	90	90	91	81	80	80	81	81	81	81	81	80
9,9	62	80	88	90	90	91	91	91	92	92	80	80	80	81	81	81	81	80	80
12,8	59	79	87	89	91	92	92	92	92	92	78	78	78	80	80	80	80	79	79

Überschussstromdeckung für die Heizung (ohne Trinkwarmwasser und Verluste) [%] - Überschussstrombezugszyklus -1 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m²a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	37	69	85	92	96	98	99	99	99	99	77	78	79	79	81	81	78	79	80
4,2	29	55	69	74	78	82	86	88	88	89	63	65	65	67	69	69	68	69	69
7,0	24	42	52	55	58	61	64	65	66	66	50	51	51	54	55	56	53	54	55
9,9	20	33	42	44	47	50	51	52	52	52	42	43	43	46	47	47	45	46	46
12,8	19	29	36	38	40	43	43	44	44	44	36	37	38	39	41	41	39	40	40

Überschussstromdeckung für die Heizung (ohne Trinkwarmwasser und Verluste) [%] - Überschussstrombezugszyklus 0 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m²a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	53	84	97	100	100	100	100	100	100	100	87	88	88	89	90	90	88	89	89
4,2	45	78	93	97	100	100	100	100	100	100	79	80	80	82	83	84	82	83	83
7,0	39	68	83	88	93	96	99	100	100	100	70	71	72	75	75	76	75	75	75
9,9	32	59	76	81	84	88	92	95	97	99	66	67	67	70	70	71	68	69	69
12,8	30	53	70	75	79	82	86	88	91	94	60	61	62	65	66	67	64	65	65

Überschussstromdeckung für die Heizung (ohne Trinkwarmwasser und Verluste) [%] - Überschussstrombezugszyklus 1 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m²a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	91	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	98	98	98	98	98	97	98	98
4,2	87	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	98	98	98	98	98	97	98	98
7,0	80	96	100	100	100	100	100	100	100	100	96	96	96	97	97	97	97	97	97
9,9	69	91	99	100	100	100	100	100	100	100	94	94	94	95	95	95	95	95	95
12,8	65	87	96	98	99	100	100	100	100	100	91	91	91	93	93	94	92	93	93

Endenergie-Bedarf [kWh/(m²a)] - Überschussstrombezugszyklus -1 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m²a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	12	12	12	12	12	12	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
4,2	14	14	14	14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	16
7,0	18	18	18	18	18	18	18	19	18	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19
9,9	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23
12,8	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26

Endenergie-Bedarf [kWh/(m²a)] - Überschussstrombezugszyklus 0 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m²a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	12	12	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
4,2	14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	16	16	16	16	16	16
7,0	18	18	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	20	20	20	20	20	20	20
9,9	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	23	23	23	23	23	23	24
12,8	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	27	27	27	27	27	27	27

Endenergie-Bedarf [kWh/(m²a)] - Überschussstrombezugszyklus 1 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m²a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	13	13	13	13	13	13	13	13	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
4,2	15	15	15	15	15	15	15	15	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17
7,0	18	19	19	19	19	19	19	19	19	20	20	21	21	21	21	21	21	21	21
9,9	22	22	22	23	23	23	23	23	23	23	23	25	25	25	25	25	25	25	25
12,8	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	28	28	28	28	28	28	28	28

Reststrom-Bedarf [kWh/(m²a)] - Überschussstrombezugszyklus -1 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m²a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	9	6	4	4	3	3	3	3	3	3	3	7	7	7	7	7	7	7	7
4,2	11	8	6	6	5	5	4	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8	8	8
7,0	14	12	10	9	9	8	8	8	8	8	8	11	11	11	11	10	10	11	11
9,9	18	15	13	13	12	12	11	11	11	11	11	14	14	14	13	13	13	13	13
12,8	21	19	17	16	16	15	15	15	15	15	15	16	16	16	15	15	16	16	16

Reststrom-Bedarf [kWh/(m²a)] - Überschussstrombezugszyklus 0 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m²a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	7	5	3	3	3	2	2	2	2	2	2	6	6	6	6	6	6	6	6
4,2	9	6	4	3	3	3	2	2	2	2	2	6	6	6	6	6	6	6	6
7,0	12	8	5	5	4	3	3	3	2	2	2	8	7	7	7	7	7	7	7
9,9	16	10	7	6	6	5	4	4	3	3	3	9	9	9	8	8	8	9	9
12,8	19	13	10	8	7	7	6	5	5	4	4	11	11	11	10	10	9	10	10

Reststrom-Bedarf [kWh/(m²a)] - Überschussstrombezugszyklus 1 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m²a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4
4,2	5	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4
7,0	6	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4
9,9	9	5	3	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4
12,8	11	6	4	3	3	2	2	2	2	2	2	5	5	5	4	4	4	5	5

Überschussstrom-Bedarf [kWh/(m²a)] - Überschussstrombezugszyklus -1 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m²a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	3	6	8	9	9	9	10	10	10	10	10	6	6	6	6	6	6	6	6
4,2	3	6	8	9	9	10	10	11	11	11	11	7	7	7	7	7	7	7	7
7,0	4	7	8	9	9	10	10	11	11	11	11	7	8	8	8	8	8	8	8
9,9	4	7	9	9	10	10	11	11	11	11	11	8	8	8	9	9	9	9	9
12,8	4	7	9	9	10	10	11	11	11	11	11	8	9	9	9	9	9	9	9

Überschussstrom-Bedarf [kWh/(m²a)] - Überschussstrombezugszyklus 0 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m²a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	5	8	9	10	10	10	11	11	11	11	11	8	8	8	8	8	8	8	8
4,2	5	9	11	12	12	12	13	13	13	13	13	10	10	10	10	10	10	10	10
7,0	6	11	13	14	15	15	16	16	17	17	17	12	12	13	13	13	13	13	13
9,9	6	12	15	16	17	17	18	19	19	20	20	14	14	14	15	15	15	15	15
12,8	7	12	16	17	18	19	20	21	21	22	22	15	16	16	17	17	17	17	17

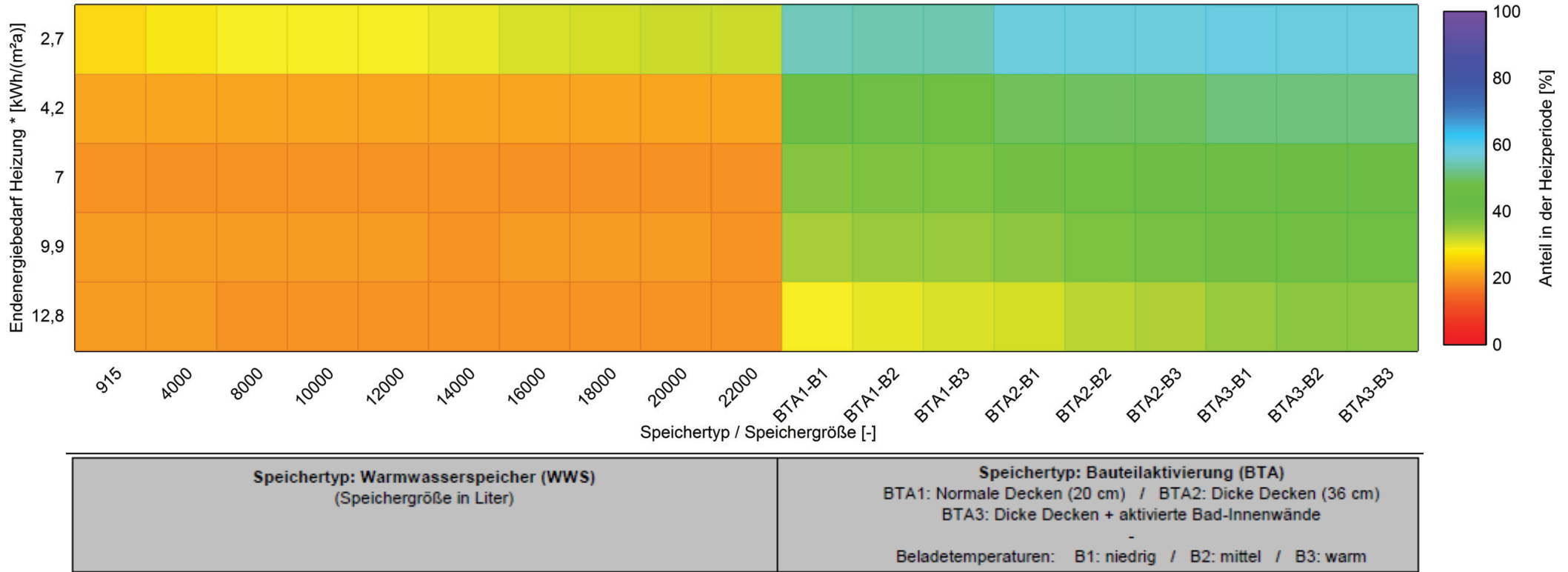
Überschussstrom-Bedarf [kWh/(m²a)] - Überschussstrombezugszyklus 1 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m²a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	9	10	11	11	11	11	11	12	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11
4,2	10	12	13	13	13	13	13	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
7,0	12	15	16	17	17	17	17	17	17	18	18	17	18	18	18	18	18	18	17
9,9	14	18	20	20	20	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
12,8	15	21	22	23	24	24	24	24	24	24	24	23	24	24	24	24	24	24	24

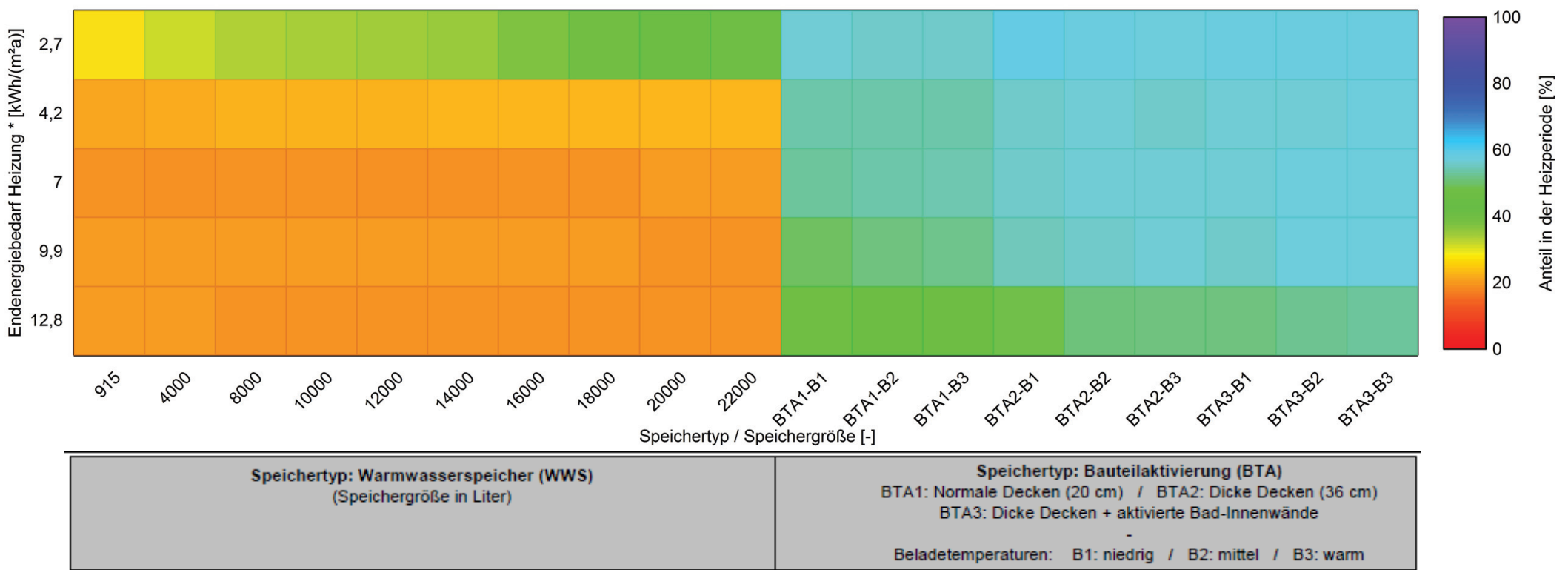
Komfortbewertung nach DIN EN 15251: Kategorie I:

Zur Bewertung des Komforts werden die Kategorien nach DIN EN 15251 herangezogen. Unter den vorliegenden Randbedingungen deckt die Kategorie I, die für ein besonders hohes Maß an Erwartungen steht (Kleinkinder, Kranke, ...), einen Temperaturbereich von 21,2 – 23,1 °C ab.

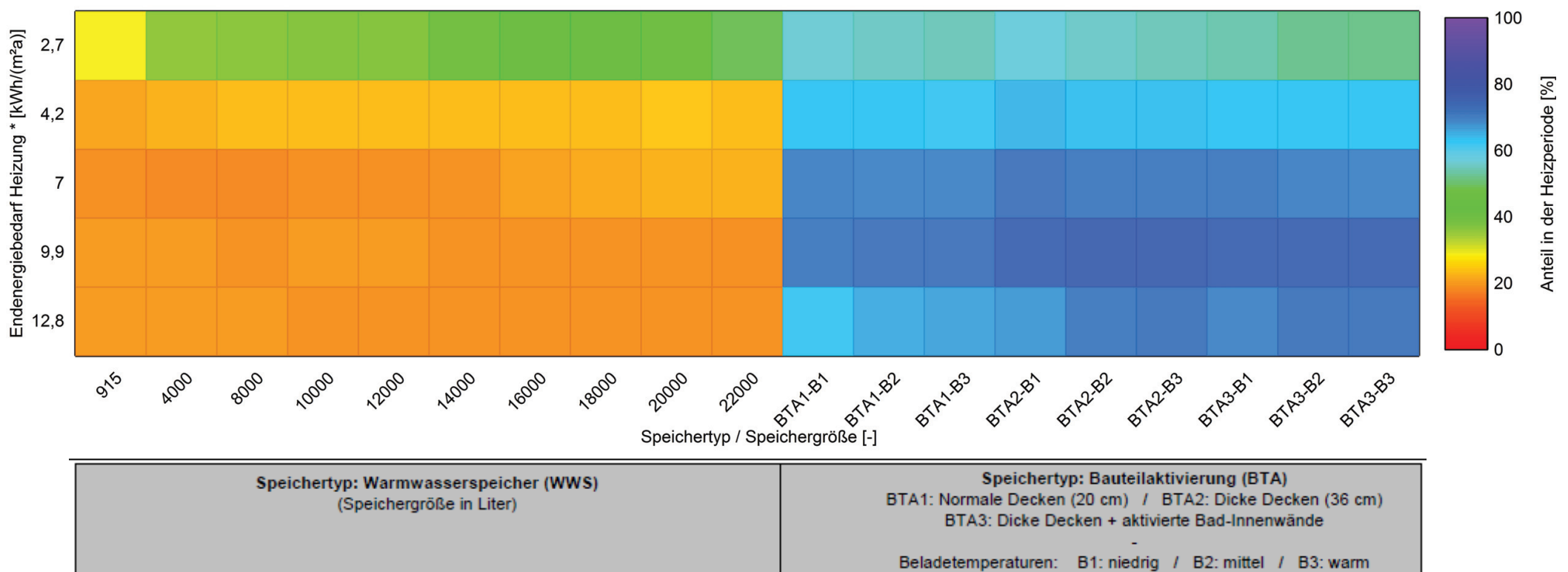
Kategorie I - Strombezugszyklus -1 ct/kWh



Kategorie I - Strombezugszyklus 0 ct/kWh



Kategorie I - Strombezugszyklus 1 ct/kWh

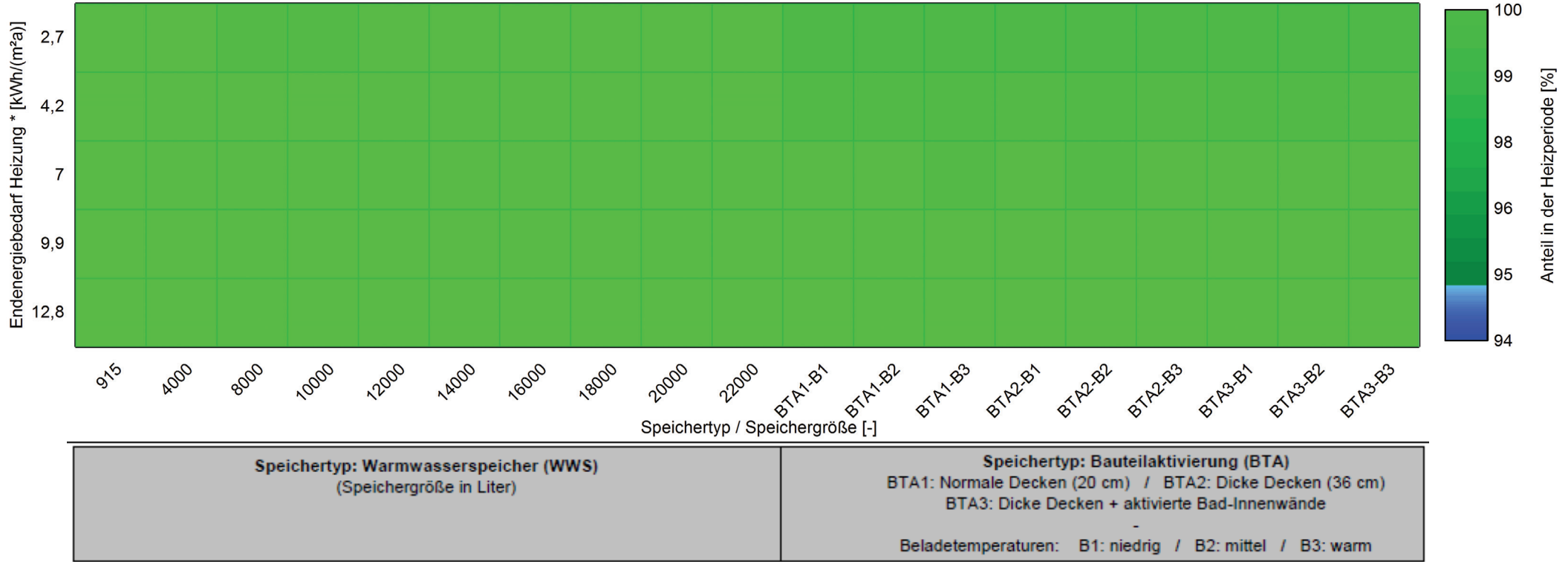


*: Endenergie-Bedarf für die Heizung nach DIN V 18599 für eine ideale Elektroheizung; resultierend aus der Gebäudequalität.

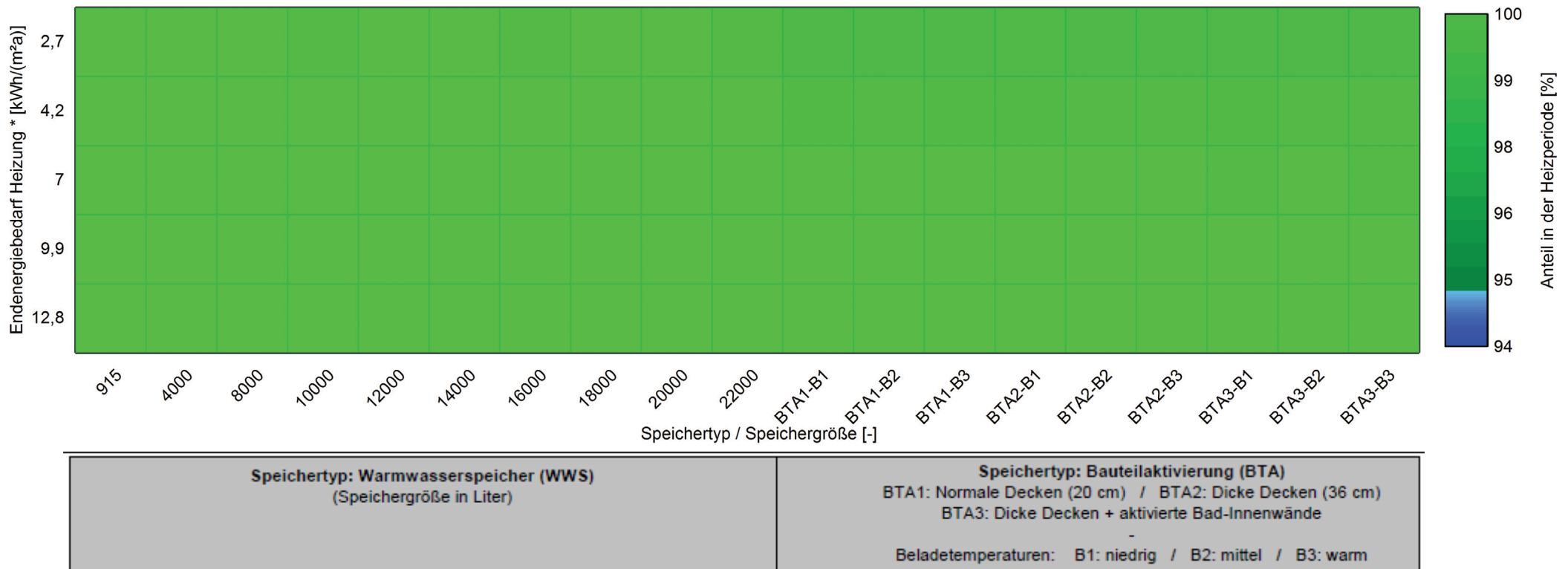
Komfortbewertung nach DIN EN 15251: Kategorie II:

Zur Bewertung des Komforts werden die Kategorien nach DIN EN 15251 herangezogen. Unter den vorliegenden Randbedingungen deckt die Kategorie II, die für ein normales Maß an Erwartungen steht (empfohlen für Neubau), die Teile des Temperaturbereichs zwischen 19,9 und 24,4 °C ab, die außerhalb der Kategorie I liegen.

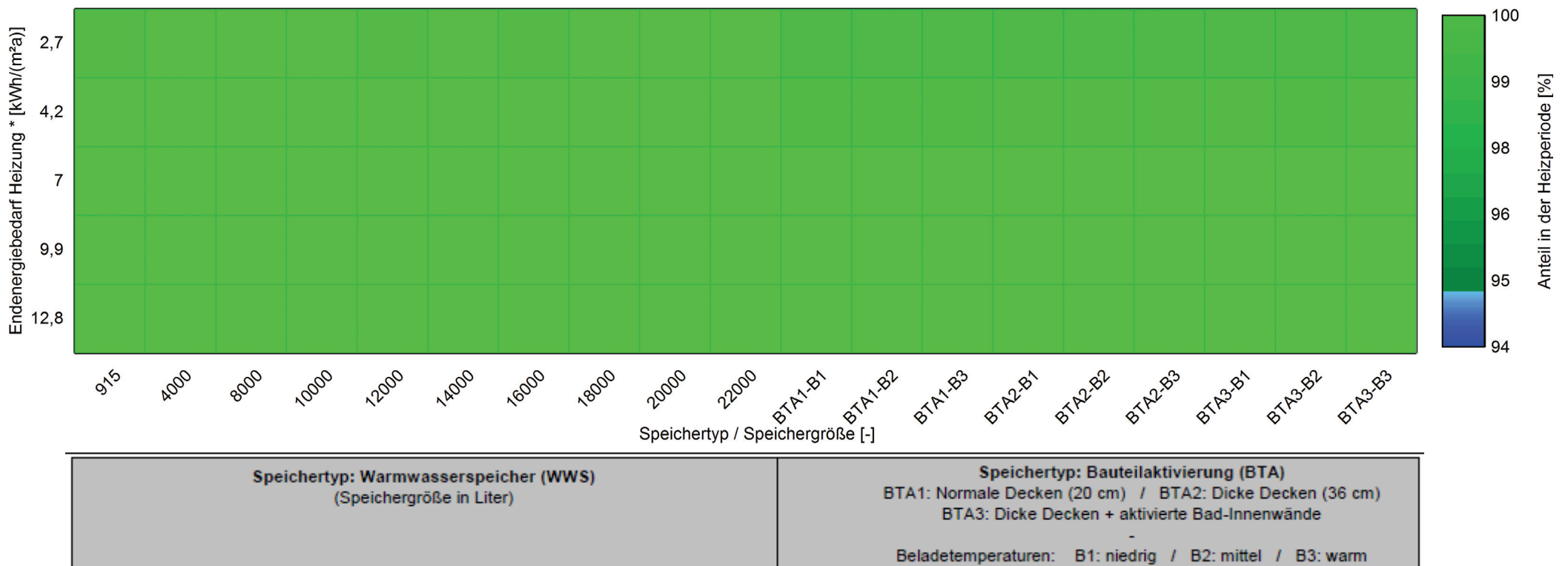
Kategorie II - Strombezugszyklus -1 ct/kWh



Kategorie II - Strombezugszyklus 0 ct/kWh



Kategorie II - Strombezugszyklus 1 ct/kWh



*: Endenergie-Bedarf für die Heizung nach DIN V 18599 für eine ideale Elektroheizung; resultierend aus der Gebäudequalität.

Anhang A3.2 - Thermischer Komfort

Gebäudequalität	Endenergiebedarf	Speichergröße	Bezugszyklus	Systemtyp	(- kalt) [% der Nutzungszeit in Kategorie] (+ warm)						
					Kat -IV	Kat -III	Kat -II	Kat I	Kat II	Kat III	Kat IV
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA1-B1	0,0	0,0	57,7	29,0	13,3	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA1-B1	0,0	0,0	44,8	41,3	13,9	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA1-B1	0,0	0,0	21,9	62,5	15,5	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA2-B1	0,0	0,0	57,8	31,2	11,0	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA2-B1	0,0	0,0	41,3	47,1	11,5	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA2-B1	0,0	0,0	18,7	67,9	13,4	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA3-B1	0,0	0,0	52,4	35,7	11,8	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA3-B1	0,0	0,0	36,6	50,7	12,7	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA3-B1	0,0	0,0	15,0	69,9	15,1	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA1-B1	0,0	0,0	49,5	34,3	16,2	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA1-B1	0,0	0,0	34,2	49,0	16,8	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA1-B1	0,0	0,0	10,3	71,5	18,3	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA2-B1	0,0	0,0	48,6	37,4	14,0	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA2-B1	0,0	0,0	30,5	54,6	14,9	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA2-B1	0,0	0,0	8,0	75,1	16,8	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA3-B1	0,0	0,0	44,8	40,2	15,0	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA3-B1	0,0	0,0	27,9	56,0	16,1	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA3-B1	0,0	0,0	6,6	75,0	18,4	0,0	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA1-B1	0,0	0,0	39,7	37,5	22,7	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA1-B1	0,0	0,0	23,8	52,7	23,4	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA1-B1	0,0	0,0	4,3	70,6	25,0	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA2-B1	0,0	0,0	38,8	40,6	20,5	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA2-B1	0,0	0,0	22,5	55,7	21,7	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA2-B1	0,0	0,0	3,8	72,3	23,9	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA3-B1	0,0	0,0	36,1	42,4	21,4	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA3-B1	0,0	0,0	20,6	56,4	22,8	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA3-B1	0,0	0,0	3,4	71,1	25,4	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA1-B1	0,0	0,0	25,1	44,2	30,3	0,4	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA1-B1	0,0	0,0	14,9	53,2	31,5	0,4	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA1-B1	0,0	0,0	2,5	63,4	33,7	0,4	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA2-B1	0,0	0,0	22,7	47,9	29,1	0,3	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA2-B1	0,0	0,0	13,2	56,1	30,3	0,3	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA2-B1	0,0	0,0	2,2	64,8	32,7	0,3	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA3-B1	0,0	0,0	20,1	49,7	29,8	0,3	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA3-B1	0,0	0,0	11,7	56,5	31,4	0,3	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA3-B1	0,0	0,0	1,4	63,7	34,6	0,3	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA1-B1	0,0	0,0	9,3	54,3	35,7	0,7	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA1-B1	0,0	0,0	5,0	56,3	38,0	0,7	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA1-B1	0,0	0,0	0,6	56,6	42,1	0,7	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA2-B1	0,0	0,0	7,4	57,1	34,8	0,7	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA2-B1	0,0	0,0	3,4	58,8	37,2	0,7	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA2-B1	0,0	0,0	0,7	57,1	41,5	0,7	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA3-B1	0,0	0,0	5,0	58,1	36,2	0,7	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA3-B1	0,0	0,0	2,7	57,9	38,7	0,7	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA3-B1	0,0	0,0	0,7	53,8	44,8	0,7	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA1-B2	0,0	0,0	56,4	30,1	13,4	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA1-B2	0,0	0,0	42,2	43,5	14,2	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA1-B2	0,0	0,0	17,8	66,2	16,0	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA2-B2	0,0	0,0	55,6	33,3	11,1	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA2-B2	0,0	0,0	38,2	50,0	11,8	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA2-B2	0,0	0,0	14,6	71,2	14,2	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA3-B2	0,0	0,0	51,2	36,8	12,0	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA3-B2	0,0	0,0	34,9	52,1	12,9	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA3-B2	0,0	0,0	12,5	71,8	15,6	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA1-B2	0,0	0,0	48,0	35,6	16,3	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA1-B2	0,0	0,0	32,3	50,6	17,1	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA1-B2	0,0	0,0	8,6	72,4	18,9	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA2-B2	0,0	0,0	46,5	39,3	14,2	0,0	0,0

EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA2-B2	0,0	0,0	28,9	55,9	15,2	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA2-B2	0,0	0,0	6,3	76,1	17,6	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA3-B2	0,0	0,0	43,7	41,1	15,2	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA3-B2	0,0	0,0	26,8	56,9	16,3	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA3-B2	0,0	0,0	5,7	75,3	18,9	0,0	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA1-B2	0,0	0,0	38,4	38,7	22,8	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA1-B2	0,0	0,0	22,7	53,5	23,7	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA1-B2	0,0	0,0	3,8	70,3	25,8	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA2-B2	0,0	0,0	37,2	41,9	20,7	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA2-B2	0,0	0,0	21,6	56,2	22,1	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA2-B2	0,0	0,0	3,5	71,6	24,8	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA3-B2	0,0	0,0	35,2	43,1	21,6	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA3-B2	0,0	0,0	20,1	56,8	23,0	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA3-B2	0,0	0,0	3,3	70,4	26,2	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA1-B2	0,0	0,0	23,9	45,0	30,7	0,4	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA1-B2	0,0	0,0	14,5	53,1	32,1	0,4	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA1-B2	0,0	0,0	2,3	62,7	34,6	0,4	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA2-B2	0,0	0,0	21,5	48,5	29,6	0,3	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA2-B2	0,0	0,0	12,1	56,5	31,1	0,3	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA2-B2	0,0	0,0	1,7	64,5	33,5	0,3	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA3-B2	0,0	0,0	19,3	50,1	30,2	0,3	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA3-B2	0,0	0,0	11,2	56,7	31,8	0,3	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA3-B2	0,0	0,0	1,2	62,9	35,5	0,3	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA1-B2	0,0	0,0	8,7	54,0	36,5	0,7	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA1-B2	0,0	0,0	4,9	55,5	38,9	0,7	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA1-B2	0,0	0,0	0,6	55,2	43,4	0,7	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA2-B2	0,0	0,0	6,6	57,0	35,7	0,7	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA2-B2	0,0	0,0	3,4	57,6	38,3	0,7	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA2-B2	0,0	0,0	0,7	55,5	43,0	0,7	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA3-B2	0,0	0,0	4,8	57,9	36,5	0,7	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA3-B2	0,0	0,0	2,5	57,6	39,2	0,7	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA3-B2	0,0	0,0	0,7	52,2	46,4	0,7	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA1-B3	0,0	0,0	56,0	30,5	13,5	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA1-B3	0,0	0,0	41,4	44,2	14,3	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA1-B3	0,0	0,0	16,9	66,8	16,3	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA2-B3	0,0	0,0	54,9	33,9	11,2	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA2-B3	0,0	0,0	37,4	50,7	11,9	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA2-B3	0,0	0,0	13,5	71,9	14,6	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA3-B3	0,0	0,0	51,0	36,9	12,1	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA3-B3	0,0	0,0	34,5	52,5	13,0	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA3-B3	0,0	0,0	12,1	72,0	15,9	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA1-B3	0,0	0,0	47,7	36,0	16,3	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA1-B3	0,0	0,0	31,5	51,2	17,2	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA1-B3	0,0	0,0	8,1	72,6	19,3	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA2-B3	0,0	0,0	46,0	39,7	14,3	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA2-B3	0,0	0,0	28,3	56,3	15,4	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA2-B3	0,0	0,0	6,0	76,1	17,9	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA3-B3	0,0	0,0	43,4	41,3	15,2	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA3-B3	0,0	0,0	26,5	57,1	16,3	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA3-B3	0,0	0,0	5,4	75,4	19,2	0,0	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA1-B3	0,0	0,0	38,1	38,9	22,8	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA1-B3	0,0	0,0	22,2	53,9	23,8	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA1-B3	0,0	0,0	3,6	70,2	26,1	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA2-B3	0,0	0,0	36,8	42,2	20,9	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA2-B3	0,0	0,0	21,1	56,5	22,3	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA2-B3	0,0	0,0	3,5	71,3	25,1	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA3-B3	0,0	0,0	34,8	43,4	21,7	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA3-B3	0,0	0,0	19,9	56,9	23,0	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA3-B3	0,0	0,0	3,2	70,2	26,5	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA1-B3	0,0	0,0	23,4	45,2	31,0	0,4	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA1-B3	0,0	0,0	14,1	53,2	32,3	0,4	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA1-B3	0,0	0,0	2,1	62,5	35,0	0,4	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA2-B3	0,0	0,0	21,2	48,6	29,9	0,3	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA2-B3	0,0	0,0	11,8	56,1	31,8	0,3	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA2-B3	0,0	0,0	1,5	64,3	33,9	0,3	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA3-B3	0,0	0,0	19,2	50,1	30,4	0,3	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA3-B3	0,0	0,0	11,0	56,8	31,9	0,3	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA3-B3	0,0	0,0	1,1	62,7	35,9	0,3	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA1-B3	0,0	0,0	8,6	53,9	36,8	0,7	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA1-B3	0,0	0,0	4,6	55,5	39,2	0,7	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA1-B3	0,0	0,0	0,6	54,3	44,4	0,7	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA2-B3	0,0	0,0	6,4	56,9	36,0	0,7	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA2-B3	0,0	0,0	3,2	57,4	38,7	0,7	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA2-B3	0,0	0,0	0,7	54,6	43,9	0,7	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	BTA3-B3	0,0	0,0	4,7	57,8	36,8	0,7	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	BTA3-B3	0,0	0,0	2,4	57,5	39,4	0,7	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	BTA3-B3	0,0	0,0	0,7	51,4	47,2	0,7	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	915	0,0	0,0	67,3	19,3	13,4	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	915	0,0	0,0	67,3	19,3	13,4	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	915	0,0	0,0	67,3	19,2	13,5	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	915	0,0	0,0	64,7	19,1	16,2	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	915	0,0	0,0	64,7	19,1	16,2	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	915	0,0	0,0	64,6	19,1	16,2	0,0	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	915	0,0	0,0	60,3	18,7	20,9	0,0	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	915	0,0	0,0	60,3	18,7	20,9	0,0	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	915	0,0	0,0	61,4	17,8	20,7	0,0	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	915	0,0	0,0	51,6	20,6	27,8	0,1	0,0

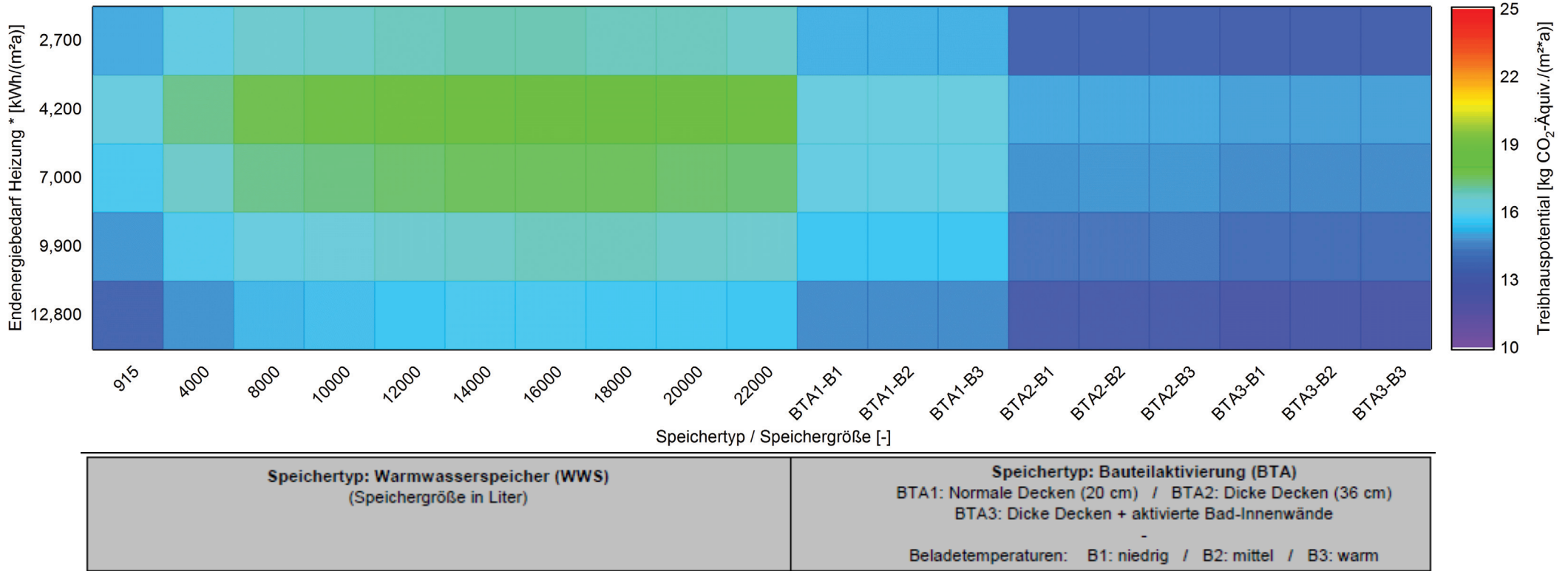
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	915	0,0	0,0	51,8	20,3	27,9	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	915	0,0	0,0	51,4	20,6	27,9	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	-1 ct/kWh	915	0,0	0,0	40,5	25,9	33,5	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	0 ct/kWh	915	0,0	0,0	39,9	26,5	33,5	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	915	1 ct/kWh	915	0,0	0,0	37,4	28,7	33,7	0,1	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	4000	-1 ct/kWh	4000	0,0	0,0	67,4	19,1	13,5	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	4000	0 ct/kWh	4000	0,0	0,0	67,4	19,1	13,5	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	4000	1 ct/kWh	4000	0,0	0,0	67,2	18,9	13,9	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	4000	-1 ct/kWh	4000	0,0	0,0	64,6	19,1	16,3	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	4000	0 ct/kWh	4000	0,0	0,0	65,1	18,8	16,1	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	4000	1 ct/kWh	4000	0,0	0,0	64,5	18,9	16,5	0,0	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	4000	-1 ct/kWh	4000	0,0	0,0	61,2	17,5	21,2	0,0	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	4000	0 ct/kWh	4000	0,0	0,0	61,1	17,5	21,3	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	4000	1 ct/kWh	4000	0,0	0,0	60,9	17,4	21,6	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	4000	-1 ct/kWh	4000	0,0	0,0	51,5	20,4	28,0	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	4000	0 ct/kWh	4000	0,0	0,0	50,7	21,1	28,2	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	4000	1 ct/kWh	4000	0,0	0,0	49,6	21,7	28,6	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	4000	-1 ct/kWh	4000	0,0	0,0	38,6	27,6	33,8	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	4000	0 ct/kWh	4000	0,0	0,0	33,9	32,1	33,9	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	4000	1 ct/kWh	4000	0,0	0,0	28,8	36,6	34,5	0,1	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	8000	-1 ct/kWh	8000	0,0	0,0	67,8	18,4	13,7	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	8000	0 ct/kWh	8000	0,0	0,0	67,9	18,7	13,4	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	8000	1 ct/kWh	8000	0,0	0,0	66,9	19,0	14,1	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	8000	-1 ct/kWh	8000	0,0	0,0	64,7	19,0	16,2	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	8000	0 ct/kWh	8000	0,0	0,0	64,7	18,9	16,3	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	8000	1 ct/kWh	8000	0,0	0,0	64,8	18,6	16,6	0,0	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	8000	-1 ct/kWh	8000	0,0	0,0	60,0	18,1	21,8	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	8000	0 ct/kWh	8000	0,0	0,0	59,6	18,5	21,9	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	8000	1 ct/kWh	8000	0,0	0,0	60,1	17,4	22,5	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	8000	-1 ct/kWh	8000	0,0	0,0	51,1	20,4	28,4	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	8000	0 ct/kWh	8000	0,0	0,0	49,6	21,7	28,6	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	8000	1 ct/kWh	8000	0,0	0,0	48,1	22,7	29,2	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	8000	-1 ct/kWh	8000	0,0	0,0	37,4	28,5	33,9	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	8000	0 ct/kWh	8000	0,0	0,0	32,1	33,7	34,1	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	8000	1 ct/kWh	8000	0,0	0,0	28,4	37,0	34,6	0,1	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	10000	-1 ct/kWh	10000	0,0	0,0	67,8	18,7	13,5	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	10000	0 ct/kWh	10000	0,0	0,0	67,8	18,6	13,5	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	10000	1 ct/kWh	10000	0,0	0,0	67,5	18,5	14,0	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	10000	-1 ct/kWh	10000	0,0	0,0	64,6	19,0	16,4	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	10000	0 ct/kWh	10000	0,0	0,0	64,5	19,1	16,4	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	10000	1 ct/kWh	10000	0,0	0,0	64,1	18,9	17,0	0,0	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	10000	-1 ct/kWh	10000	0,0	0,0	59,8	18,1	22,0	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	10000	0 ct/kWh	10000	0,0	0,0	59,2	18,5	22,2	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	10000	1 ct/kWh	10000	0,0	0,0	59,6	17,5	22,9	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	10000	-1 ct/kWh	10000	0,0	0,0	51,1	20,3	28,6	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	10000	0 ct/kWh	10000	0,0	0,0	49,3	21,9	28,7	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	10000	1 ct/kWh	10000	0,0	0,0	47,8	22,8	29,3	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	10000	-1 ct/kWh	10000	0,0	0,0	37,1	28,7	34,0	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	10000	0 ct/kWh	10000	0,0	0,0	31,0	34,6	34,2	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	10000	1 ct/kWh	10000	0,0	0,0	27,7	37,5	34,7	0,1	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	12000	-1 ct/kWh	12000	0,0	0,0	67,7	18,7	13,6	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	12000	0 ct/kWh	12000	0,0	0,0	67,7	18,6	13,6	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	12000	1 ct/kWh	12000	0,0	0,0	67,4	18,5	14,1	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	12000	-1 ct/kWh	12000	0,0	0,0	64,4	19,1	16,5	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	12000	0 ct/kWh	12000	0,0	0,0	64,5	18,9	16,5	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	12000	1 ct/kWh	12000	0,0	0,0	63,9	18,8	17,3	0,0	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	12000	-1 ct/kWh	12000	0,0	0,0	59,5	18,2	22,2	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	12000	0 ct/kWh	12000	0,0	0,0	59,8	17,9	22,2	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	12000	1 ct/kWh	12000	0,0	0,0	58,8	17,9	23,3	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	12000	-1 ct/kWh	12000	0,0	0,0	51,1	20,2	28,6	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	12000	0 ct/kWh	12000	0,0	0,0	49,3	21,8	28,9	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	12000	1 ct/kWh	12000	0,0	0,0	47,8	22,6	29,5	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	12000	-1 ct/kWh	12000	0,0	0,0	37,2	28,6	34,1	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	12000	0 ct/kWh	12000	0,0	0,0	30,7	34,9	34,4	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	12000	1 ct/kWh	12000	0,0	0,0	27,6	37,5	34,7	0,1	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	14000	-1 ct/kWh	14000	0,0	0,0	67,6	18,7	13,7	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	14000	0 ct/kWh	14000	0,0	0,0	67,6	18,6	13,7	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	14000	1 ct/kWh	14000	0,0	0,0	67,2	18,5	14,2	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	14000	-1 ct/kWh	14000	0,0	0,0	64,9	18,5	16,6	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	14000	0 ct/kWh	14000	0,0	0,0	64,2	19,0	16,7	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	14000	1 ct/kWh	14000	0,0	0,0	63,7	18,7	17,5	0,0	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	14000	-1 ct/kWh	14000	0,0	0,0	59,3	18,1	22,5	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	14000	0 ct/kWh	14000	0,0	0,0	59,6	17,9	22,4	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	14000	1 ct/kWh	14000	0,0	0,0	57,9	18,4	23,6	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	14000	-1 ct/kWh	14000	0,0	0,0	51,0	20,2	28,7	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	14000	0 ct/kWh	14000	0,0	0,0	48,9	22,1	28,9	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m²a)	14000	1 ct/kWh	14000	0,0	0,0	47,4	23,0	29,6	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	14000	-1 ct/kWh	14000	0,0	0,0	36,3	29,4	34,2	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	14000	0 ct/kWh	14000	0,0	0,0	29,3	36,1	34,5	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m²a)	14000	1 ct/kWh	14000	0,0	0,0	24,7	40,2	35,0	0,1	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	16000	-1 ct/kWh	16000	0,0	0,0	67,6	18,6	13,8	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	16000	0 ct/kWh	16000	0,0	0,0	67,6	18,5	13,8	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m²a)	16000	1 ct/kWh	16000	0,0	0,0	67,1	18,6	14,4	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	16000	-1 ct/kWh	16000	0,0	0,0	64,2	18,8	16,9	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	16000	0 ct/kWh	16000	0,0	0,0	64,0	19,0	17,0	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m²a)	16000	1 ct/kWh	16000	0,0	0,0	63,4	18,7	17,9	0,0	0,0
EnEV40	7 kWh/(m²a)	16000	-1 ct/kWh	16000	0,0	0,0	59,2	18,0	22,7	0,1	0,0

EnEV40	7 kWh/(m ² a)	16000	0 ct/kWh	16000	0,0	0,0	58,4	18,6	22,9	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m ² a)	16000	1 ct/kWh	16000	0,0	0,0	56,3	19,6	24,0	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m ² a)	16000	-1 ct/kWh	16000	0,0	0,0	50,9	20,2	28,8	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m ² a)	16000	0 ct/kWh	16000	0,0	0,0	48,8	22,1	29,0	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m ² a)	16000	1 ct/kWh	16000	0,0	0,0	47,3	23,0	29,6	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m ² a)	16000	-1 ct/kWh	16000	0,0	0,0	35,1	30,5	34,3	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m ² a)	16000	0 ct/kWh	16000	0,0	0,0	26,8	38,4	34,6	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m ² a)	16000	1 ct/kWh	16000	0,0	0,0	22,1	42,4	35,3	0,1	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m ² a)	18000	-1 ct/kWh	18000	0,0	0,0	67,5	18,6	13,9	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m ² a)	18000	0 ct/kWh	18000	0,0	0,0	67,4	18,6	14,0	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m ² a)	18000	1 ct/kWh	18000	0,0	0,0	66,7	18,6	14,7	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m ² a)	18000	-1 ct/kWh	18000	0,0	0,0	64,1	18,8	17,1	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m ² a)	18000	0 ct/kWh	18000	0,0	0,0	63,9	18,9	17,2	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m ² a)	18000	1 ct/kWh	18000	0,0	0,0	63,9	18,1	18,0	0,0	0,0
EnEV40	7 kWh/(m ² a)	18000	-1 ct/kWh	18000	0,0	0,0	58,9	18,0	23,0	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m ² a)	18000	0 ct/kWh	18000	0,0	0,0	58,3	18,7	22,9	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m ² a)	18000	1 ct/kWh	18000	0,0	0,0	54,8	20,9	24,3	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m ² a)	18000	-1 ct/kWh	18000	0,0	0,0	50,9	20,1	28,9	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m ² a)	18000	0 ct/kWh	18000	0,0	0,0	48,8	22,0	29,1	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m ² a)	18000	1 ct/kWh	18000	0,0	0,0	47,4	22,9	29,7	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m ² a)	18000	-1 ct/kWh	18000	0,0	0,0	34,1	31,4	34,4	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m ² a)	18000	0 ct/kWh	18000	0,0	0,0	24,1	41,0	34,9	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m ² a)	18000	1 ct/kWh	18000	0,0	0,0	20,0	44,4	35,6	0,1	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m ² a)	20000	-1 ct/kWh	20000	0,0	0,0	67,4	18,6	14,0	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m ² a)	20000	0 ct/kWh	20000	0,0	0,0	67,4	18,5	14,1	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m ² a)	20000	1 ct/kWh	20000	0,0	0,0	66,6	18,6	14,7	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m ² a)	20000	-1 ct/kWh	20000	0,0	0,0	64,0	18,8	17,1	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m ² a)	20000	0 ct/kWh	20000	0,0	0,0	64,0	18,6	17,4	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m ² a)	20000	1 ct/kWh	20000	0,0	0,0	63,0	18,4	18,5	0,0	0,0
EnEV40	7 kWh/(m ² a)	20000	-1 ct/kWh	20000	0,0	0,0	58,9	17,9	23,1	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m ² a)	20000	0 ct/kWh	20000	0,0	0,0	58,0	18,9	23,0	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m ² a)	20000	1 ct/kWh	20000	0,0	0,0	54,2	21,3	24,4	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m ² a)	20000	-1 ct/kWh	20000	0,0	0,0	50,8	20,1	29,0	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m ² a)	20000	0 ct/kWh	20000	0,0	0,0	48,1	22,5	29,3	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m ² a)	20000	1 ct/kWh	20000	0,0	0,0	46,7	23,5	29,7	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m ² a)	20000	-1 ct/kWh	20000	0,0	0,0	33,6	31,8	34,5	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m ² a)	20000	0 ct/kWh	20000	0,0	0,0	21,5	43,3	35,1	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m ² a)	20000	1 ct/kWh	20000	0,0	0,0	18,4	45,9	35,7	0,1	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m ² a)	22000	-1 ct/kWh	22000	0,0	0,0	67,4	18,6	14,0	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m ² a)	22000	0 ct/kWh	22000	0,0	0,0	67,2	18,4	14,3	0,0	0,0
EnEV60	12,8 kWh/(m ² a)	22000	1 ct/kWh	22000	0,0	0,0	66,9	18,3	14,8	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m ² a)	22000	-1 ct/kWh	22000	0,0	0,0	64,1	18,7	17,2	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m ² a)	22000	0 ct/kWh	22000	0,0	0,0	63,8	18,6	17,6	0,0	0,0
EnEV50	9,9 kWh/(m ² a)	22000	1 ct/kWh	22000	0,0	0,0	63,5	18,0	18,5	0,0	0,0
EnEV40	7 kWh/(m ² a)	22000	-1 ct/kWh	22000	0,0	0,0	58,9	18,0	23,0	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m ² a)	22000	0 ct/kWh	22000	0,0	0,0	57,7	19,1	23,1	0,1	0,0
EnEV40	7 kWh/(m ² a)	22000	1 ct/kWh	22000	0,0	0,0	53,8	21,7	24,4	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m ² a)	22000	-1 ct/kWh	22000	0,0	0,0	50,9	20,1	29,0	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m ² a)	22000	0 ct/kWh	22000	0,0	0,0	48,3	22,3	29,3	0,1	0,0
EnEV30	4,2 kWh/(m ² a)	22000	1 ct/kWh	22000	0,0	0,0	47,0	23,2	29,7	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m ² a)	22000	-1 ct/kWh	22000	0,0	0,0	33,6	31,7	34,6	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m ² a)	22000	0 ct/kWh	22000	0,0	0,0	20,1	44,6	35,1	0,1	0,0
EnEV20	2,7 kWh/(m ² a)	22000	1 ct/kWh	22000	0,0	0,0	16,1	47,9	35,9	0,1	0,0

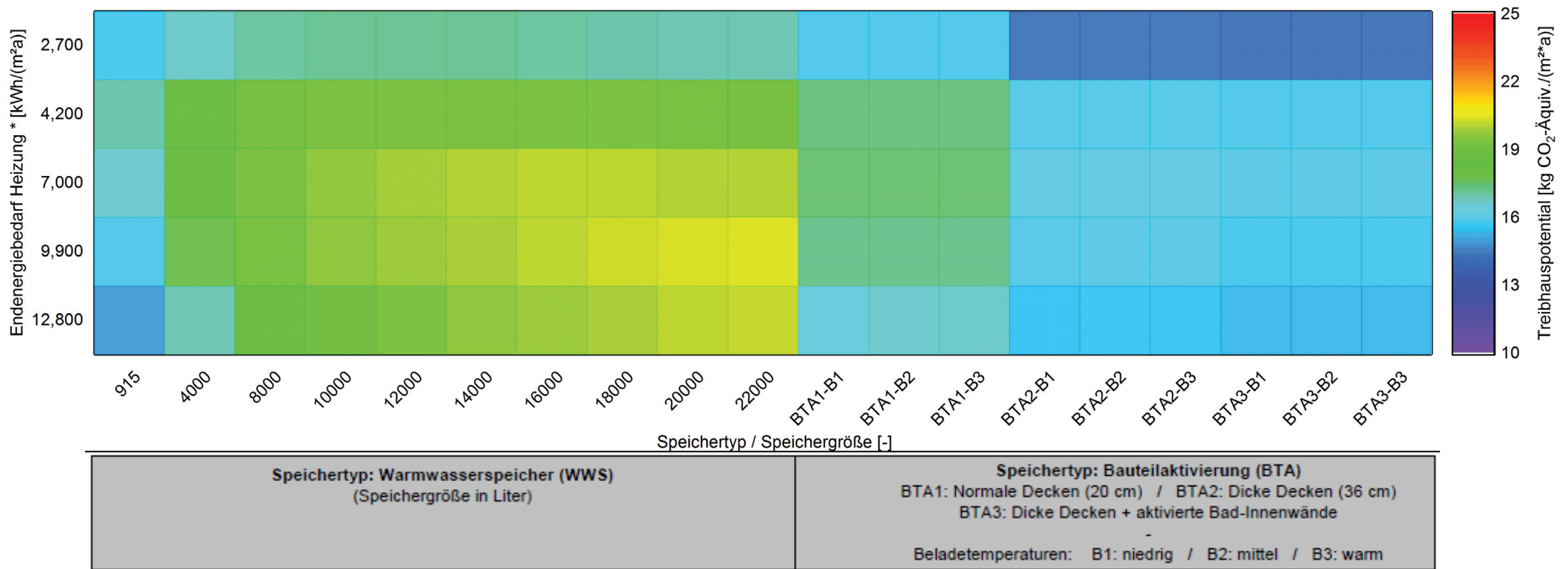
Umweltwirkung: Treibhauspotential:

Zur Bewertung der Umweltwirkungen (Erstellung, Betrieb und Rückbau) eines Windheizung 2.0 wird das Treibhauspotential, als Beitrag zur Klimaerwärmung (zunehmende Erwärmung der Troposphäre) durch anthropogene Treibhausgase mit dem eines Referenzgebäudes nach EnEV 2014-Mindeststandard verglichen. Es sind die Einsparungen des Windheizung 2.0-Gebäudes gegenüber dem Referenzgebäude dargestellt. Je höher diese Einsparung ist, desto ökologisch günstiger ist die Windheizung 2.0-Variante.

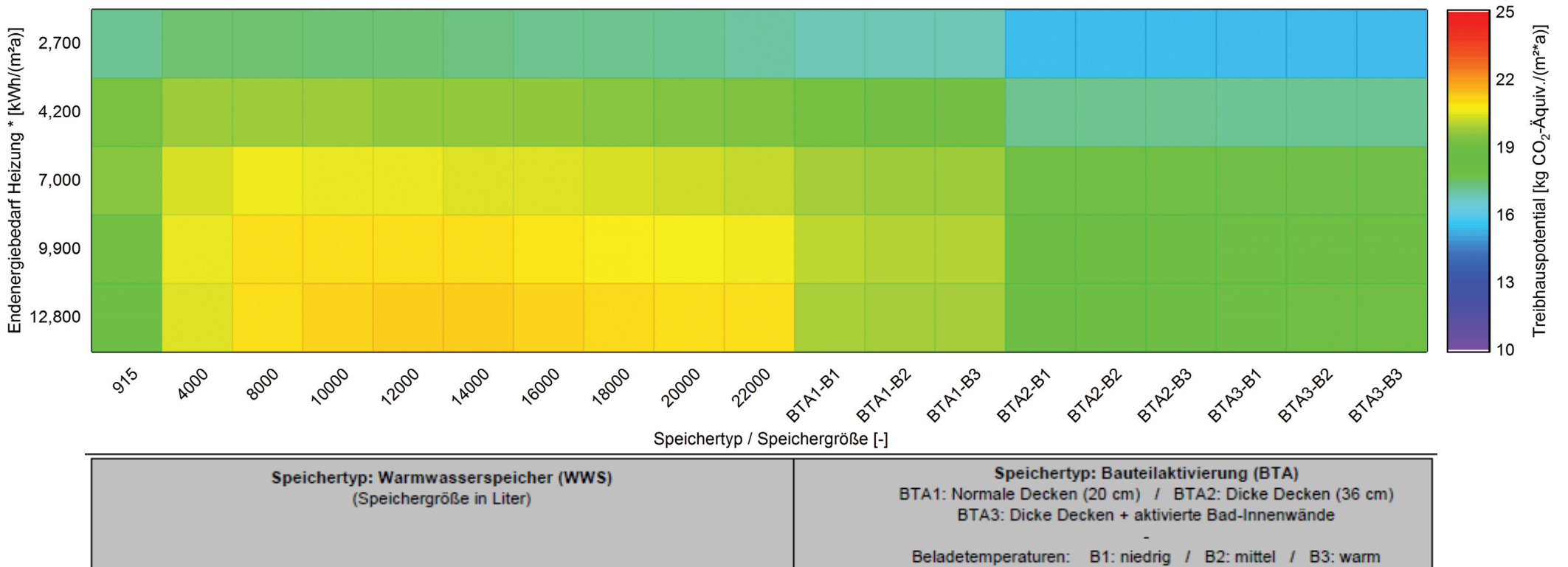
Einsparung im Treibhauspotential [kgCO₂-Äquiv./(m²a)] - Strombezugszyklus -1 ct/kWh



Einsparung im Treibhauspotential [kgCO₂-Äquiv./(m²a)] - Strombezugszyklus 0 ct/kWh



Einsparung im Treibhauspotential [kgCO₂-Äquiv./(m²a)] - Strombezugszyklus 1 ct/kWh

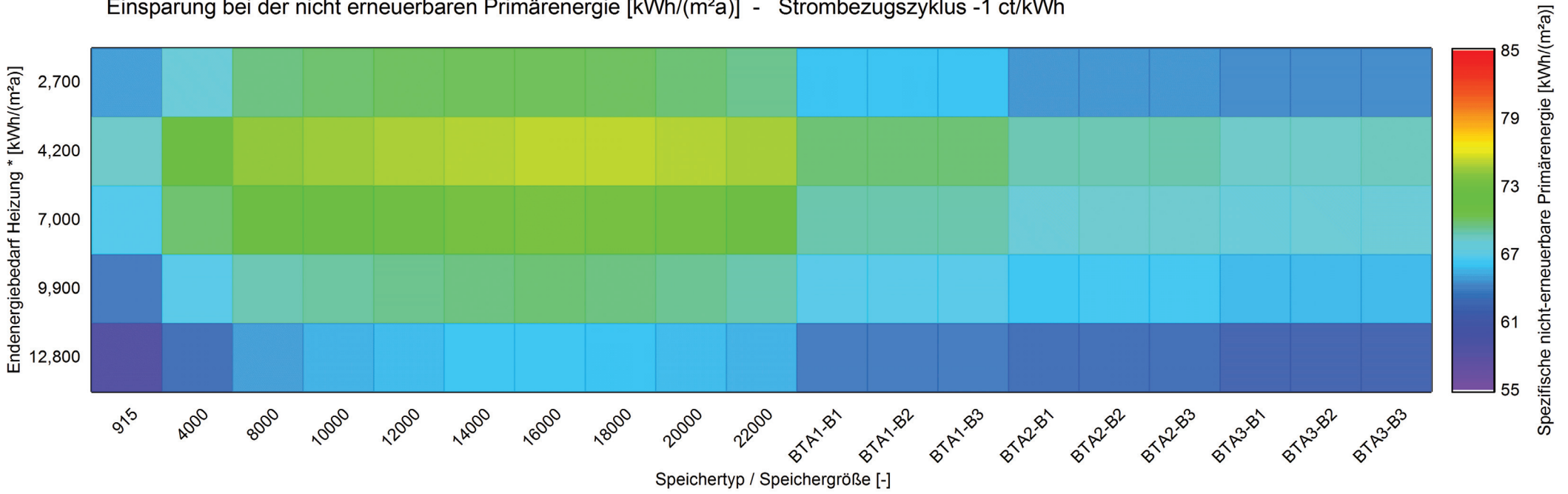


*: Endenergie-Bedarf für die Heizung nach DIN V 18599 für eine ideale Elektroheizung; resultierend aus der Gebäudequalität.

Umweltwirkung: Nicht-erneuerbare Primärenergie:

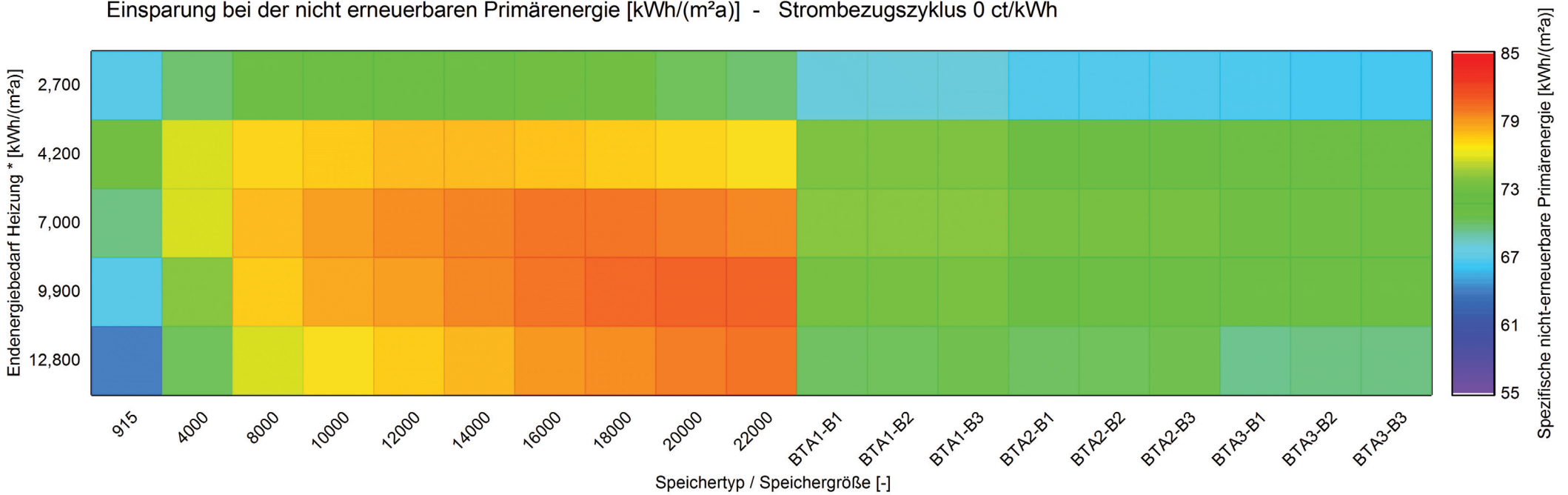
Zur Bewertung der Umweltwirkungen (Erstellung, Betrieb und Rückbau) eines Windheizung 2.0 wird der Verbrauch an nicht-erneuerbarer Primärenergie mit dem eines Referenzgebäudes nach EnEV 2014-Mindeststandard verglichen. Es sind die Einsparungen des Windheizung 2.0-Gebäudes gegenüber dem Referenzgebäude dargestellt. Je höher diese Einsparung ist, desto ökologisch günstiger ist die Windheizung 2.0-Variante.

Einsparung bei der nicht erneuerbaren Primärenergie [kWh/(m²a)] - Strombezugszyklus -1 ct/kWh



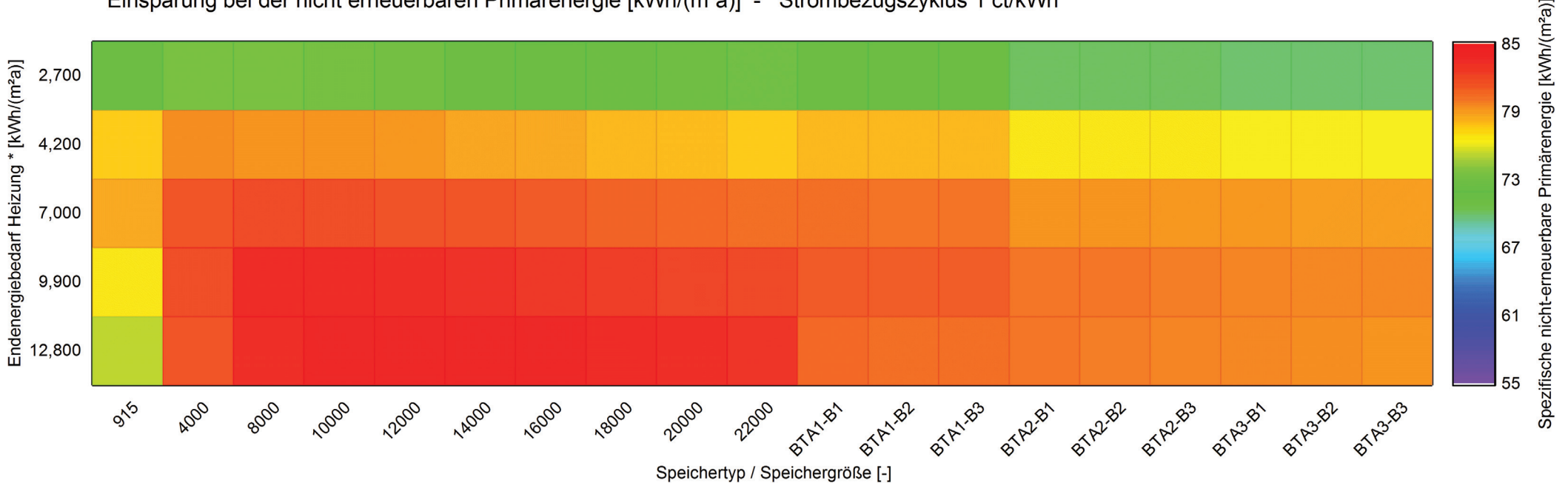
Speichertyp: Warmwasserspeicher (WWS) (Speichergöße in Liter)	Speichertyp: Bauteilaktivierung (BTA) BTA1: Normale Decken (20 cm) / BTA2: Dicke Decken (36 cm) BTA3: Dicke Decken + aktivierte Bad-Innenwände Beladetemperaturen: B1: niedrig / B2: mittel / B3: warm
---	--

Einsparung bei der nicht erneuerbaren Primärenergie [kWh/(m²a)] - Strombezugszyklus 0 ct/kWh



Speichertyp: Warmwasserspeicher (WWS) (Speichergöße in Liter)	Speichertyp: Bauteilaktivierung (BTA) BTA1: Normale Decken (20 cm) / BTA2: Dicke Decken (36 cm) BTA3: Dicke Decken + aktivierte Bad-Innenwände Beladetemperaturen: B1: niedrig / B2: mittel / B3: warm
---	--

Einsparung bei der nicht erneuerbaren Primärenergie [kWh/(m²a)] - Strombezugszyklus 1 ct/kWh



Speichertyp: Warmwasserspeicher (WWS) (Speichergöße in Liter)	Speichertyp: Bauteilaktivierung (BTA) BTA1: Normale Decken (20 cm) / BTA2: Dicke Decken (36 cm) BTA3: Dicke Decken + aktivierte Bad-Innenwände Beladetemperaturen: B1: niedrig / B2: mittel / B3: warm
---	--

*: Endenergie-Bedarf für die Heizung nach DIN V 18599 für eine ideale Elektroheizung; resultierend aus der Gebäudequalität.

Anhang A3.3 - Analyse Umweltwirkungen

Reduktion Treibhauspotential gegenüber der Referenz [kgCO₂Aquiv/(m²a)] - Überschussstrombezugszyklus -1 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m ² a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	15	16	17	17	17	17	17	17	17	17	15	15	15	13	13	13	13	13	13
4,2	16	17	18	18	18	18	18	18	18	18	16	16	16	15	15	15	15	15	15
7,0	16	17	17	17	18	18	18	18	18	18	16	16	16	15	15	15	14	15	15
9,9	15	16	16	17	17	17	17	17	17	17	15	15	15	14	14	14	14	14	14
12,8	14	15	15	15	15	16	16	16	16	15	14	14	14	13	13	13	13	13	13

Reduktion Treibhauspotential gegenüber der Referenz [kgCO₂Aquiv/(m²a)] - Überschussstrombezugszyklus 0 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m ² a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	16	16	16	14	14	14	14	14	14
4,2	17	18	19	19	19	19	19	19	19	19	17	17	17	16	16	16	16	16	16
7,0	17	18	19	20	20	20	20	20	20	20	18	18	18	16	16	16	16	16	16
9,9	16	18	19	19	20	20	20	20	20	20	17	17	17	16	16	16	16	16	16
12,8	15	17	18	19	19	19	20	20	20	20	17	17	17	15	15	15	15	15	15

Reduktion Treibhauspotential gegenüber der Referenz [kgCO₂Aquiv/(m²a)] - Überschussstrombezugszyklus 1 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m ² a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	17	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	15	15	15	15	15	15
4,2	19	20	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19	19	17	17	17	17	17	17
7,0	19	20	21	21	21	20	20	20	20	20	20	20	20	18	18	18	18	18	18
9,9	19	20	21	21	21	21	21	21	21	21	20	20	20	18	18	18	18	18	18
12,8	18	20	21	21	21	21	21	21	21	21	20	20	20	18	18	18	18	18	18

Bedarfs-Reduktion an nicht-erneuerbarer Primärenergie verglichen mit der Referenz [kWh/(m²a)] - Überschussstrombezugszyklus -1 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m ² a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	65	68	70	70	70	71	71	70	70	70	66	66	66	64	64	64	64	64	64
4,2	68	72	74	74	75	75	75	75	75	75	70	70	70	69	69	69	69	69	69
7,0	66	70	72	72	73	73	73	73	73	72	69	69	69	68	68	68	68	68	68
9,9	63	67	69	69	70	70	70	70	69	69	67	67	67	66	66	66	65	65	65
12,8	59	63	65	65	66	66	66	66	65	65	63	63	63	63	63	63	62	62	62

Bedarfs-Reduktion an nicht-erneuerbarer Primärenergie verglichen mit der Referenz [kWh/(m²a)] - Überschussstrombezugszyklus 0 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m ² a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	67	70	72	72	72	72	71	71	71	70	68	68	68	67	67	67	66	66	66
4,2	71	76	77	78	78	78	78	78	77	77	73	73	73	72	72	72	72	72	72
7,0	70	76	78	79	80	80	81	81	80	80	74	74	74	73	73	73	73	72	72
9,9	67	74	78	79	79	80	81	81	82	82	73	73	73	72	72	72	72	72	72
12,8	63	70	76	77	78	79	79	80	80	81	70	71	71	70	71	71	70	70	70

Bedarfs-Reduktion an nicht-erneuerbarer Primärenergie verglichen mit der Referenz [kWh/(m²a)] - Überschussstrombezugszyklus 1 ct/kWh

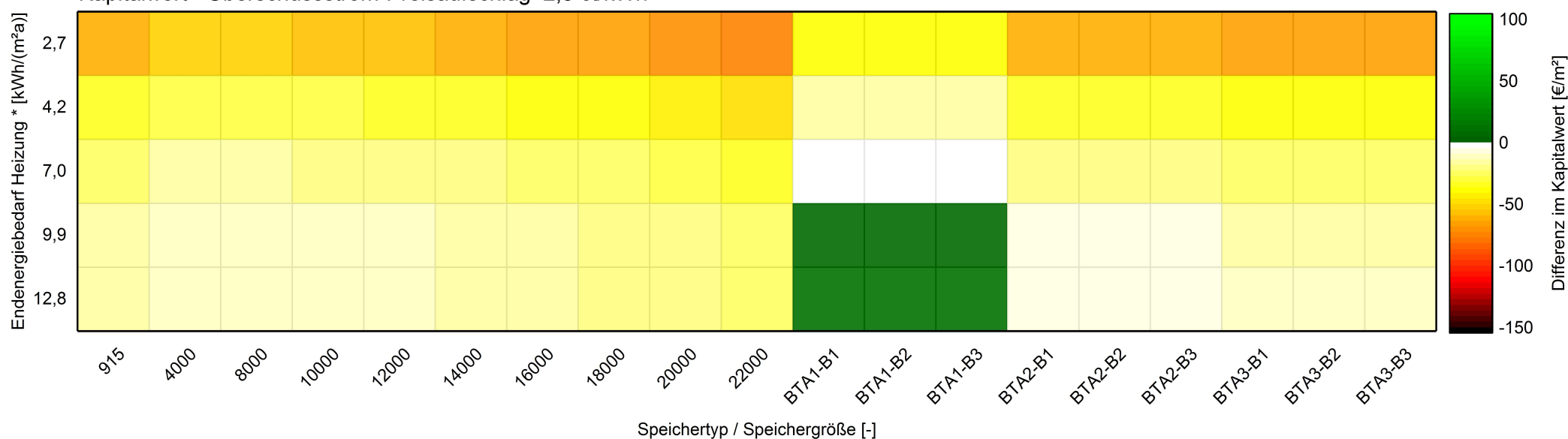
Gebäudequalität [kWh/(m ² a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	72	73	73	73	73	72	72	72	71	71	72	72	72	70	70	70	70	70	70
4,2	78	80	80	80	79	79	79	79	78	78	78	78	78	77	77	77	77	77	77
7,0	79	82	83	83	82	82	82	82	81	81	81	81	81	80	80	80	79	79	79
9,9	77	83	84	85	84	84	84	84	83	83	82	82	82	81	81	80	80	80	80
12,8	75	82	84	85	85	85	85	85	84	84	81	81	81	81	80	80	80	80	80

Ökonomischer Bewertung:

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit eines Windheizung 2.0-Gebäudes wird der 25-jährige Kapitalwert mit dem eines Gebäudes nach EnEV 2014-Mindeststandard verglichen. Eine positive Kapitalwert-Differenz bedeutet, dass die jeweilige Windheizungs-Variante nach Ablauf des Bewertungszeitraums günstiger ist als die EnEV-Referenz.

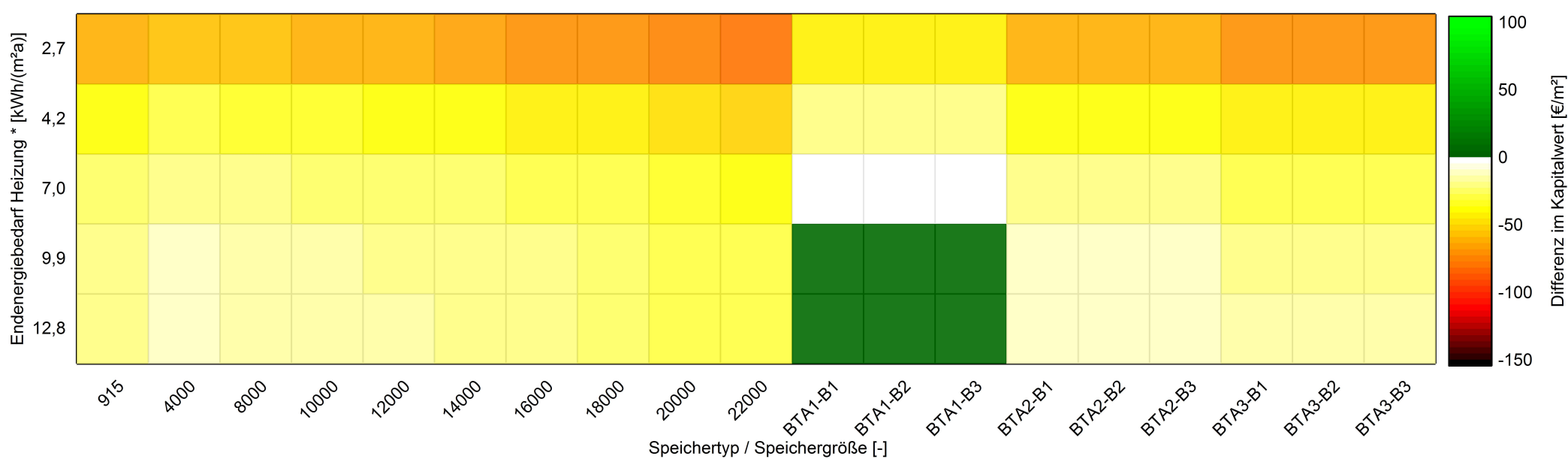
Überschussstrombezugszyklus: -1 ct/kWh

Kapitalwert - Überschussstrom-Preisauflschlag 2,5 ct/kWh



Speichertyp: Warmwasserspeicher (WWS) (SpeichergroÙe in Liter)	Speichertyp: Bauteilaktivierung (BTA) BTA1: Normale Decken (20 cm) / BTA2: Dicke Decken (36 cm) BTA3: Dicke Decken + aktivierte Bad-Innenwände - Beladetemperaturen: B1: niedrig / B2: mittel / B3: warm
--	---

Kapitalwert - Überschussstrom-Preisauflschlag 5 ct/kWh



Speichertyp: Warmwasserspeicher (WWS) (SpeichergroÙe in Liter)	Speichertyp: Bauteilaktivierung (BTA) BTA1: Normale Decken (20 cm) / BTA2: Dicke Decken (36 cm) BTA3: Dicke Decken + aktivierte Bad-Innenwände - Beladetemperaturen: B1: niedrig / B2: mittel / B3: warm
--	---

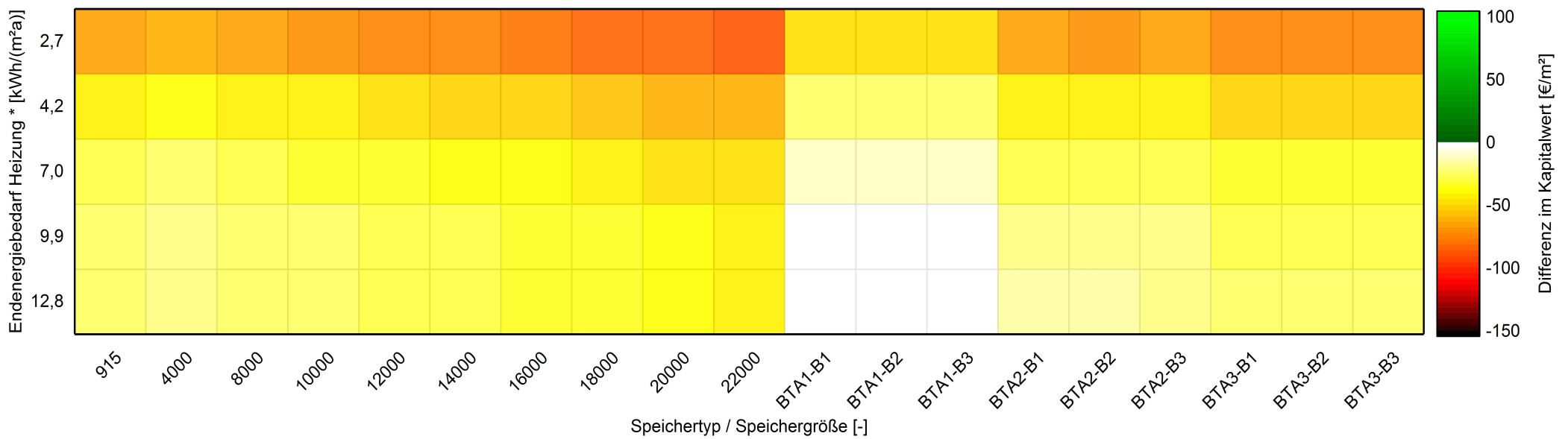
*: Endenergie-Bedarf für die Heizung nach DIN V 18599 für eine ideale Elektroheizung; resultierend aus der Gebäudequalität.

Ökonomischer Bewertung:

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit eines Windheizung 2.0-Gebäudes wird der 25-jährige Kapitalwert mit dem eines Gebäudes nach EnEV 2014-Mindeststandard verglichen. Eine positive Kapitalwert-Differenz bedeutet, dass die jeweilige Windheizungs-Variante nach Ablauf des Bewertungszeitraums günstiger ist als die EnEV-Referenz.

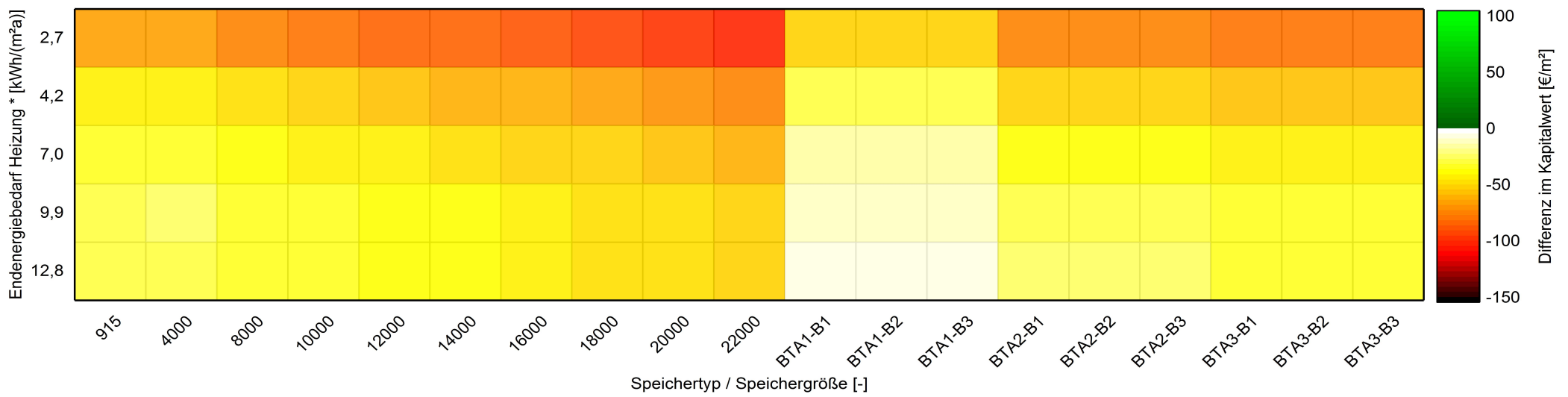
Überschussstrombezugszyklus: -1 ct/kWh

Kapitalwert - Überschussstrom-Preiszuschlag 10 ct/kWh



Speichertyp: Warmwasserspeicher (WWS) (Speichergroße in Liter)	Speichertyp: Bauteilaktivierung (BTA) BTA1: Normale Decken (20 cm) / BTA2: Dicke Decken (36 cm) BTA3: Dicke Decken + aktivierte Bad-Innenwände Beladetemperaturen: B1: niedrig / B2: mittel / B3: warm
--	--

Kapitalwert - Überschussstrom-Preiszuschlag 15 ct/kWh



Speichertyp: Warmwasserspeicher (WWS) (Speichergroße in Liter)	Speichertyp: Bauteilaktivierung (BTA) BTA1: Normale Decken (20 cm) / BTA2: Dicke Decken (36 cm) BTA3: Dicke Decken + aktivierte Bad-Innenwände Beladetemperaturen: B1: niedrig / B2: mittel / B3: warm
--	--

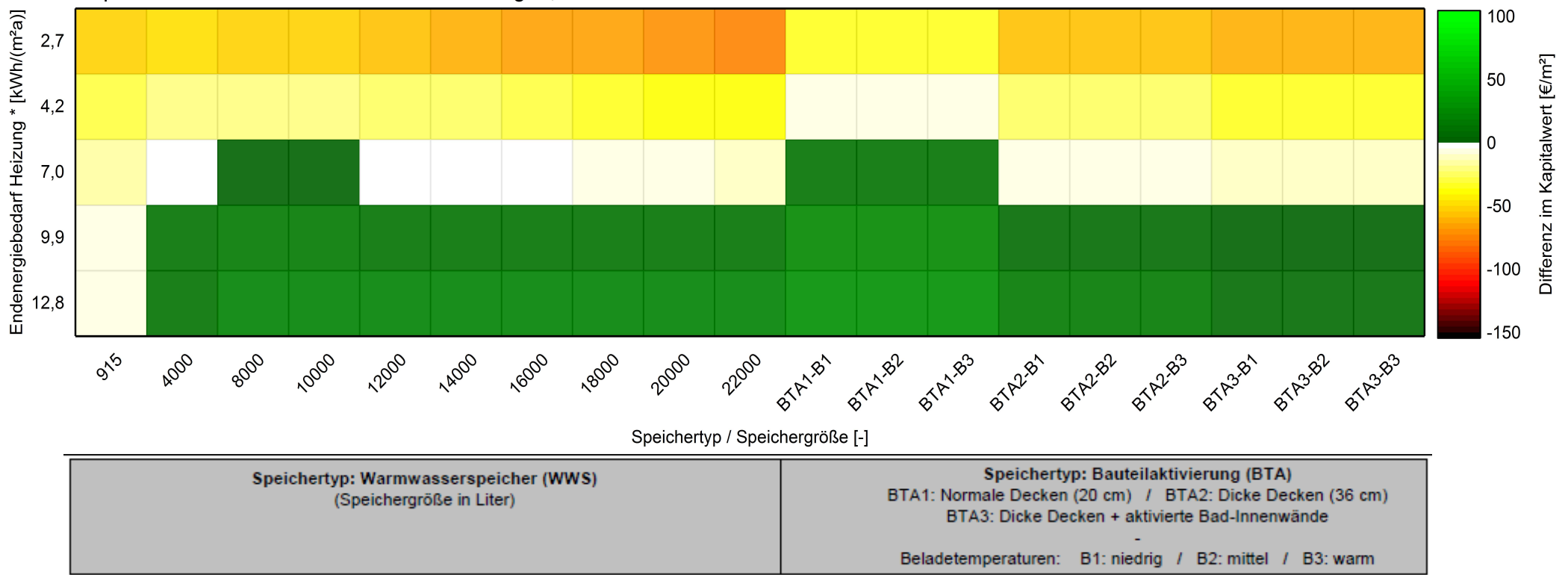
*: Endenergie-Bedarf für die Heizung nach DIN V 18599 für eine ideale Elektroheizung; resultierend aus der Gebäudequalität.

Ökonomischer Bewertung:

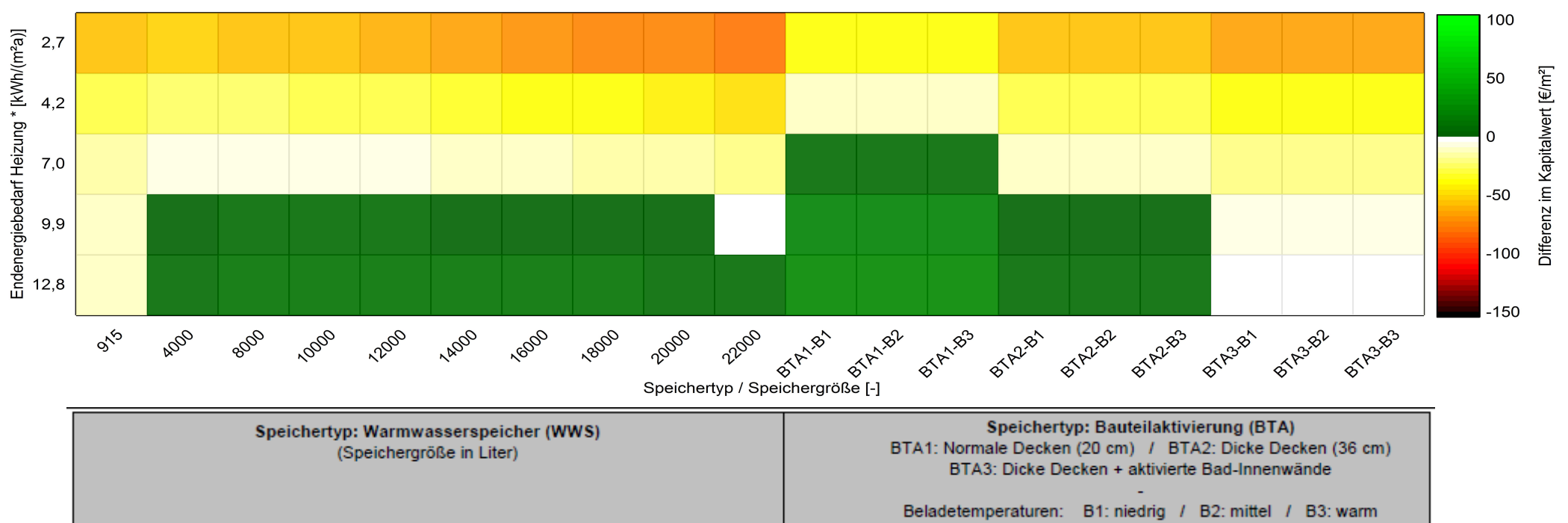
Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit eines Windheizung 2.0-Gebäudes wird der 25-jährige Kapitalwert mit dem eines Gebäudes nach EnEV 2014-Mindeststandard verglichen. Eine positive Kapitalwert-Differenz bedeutet, dass die jeweilige Windheizungs-Variante nach Ablauf des Bewertungszeitraums günstiger ist als die EnEV-Referenz.

Überschussstrombezugszyklus: 0 ct/kWh

Kapitalwert - Überschussstrom-Preisauflschlag 2,5 ct/kWh



Kapitalwert - Überschussstrom-Preisauflschlag 5 ct/kWh



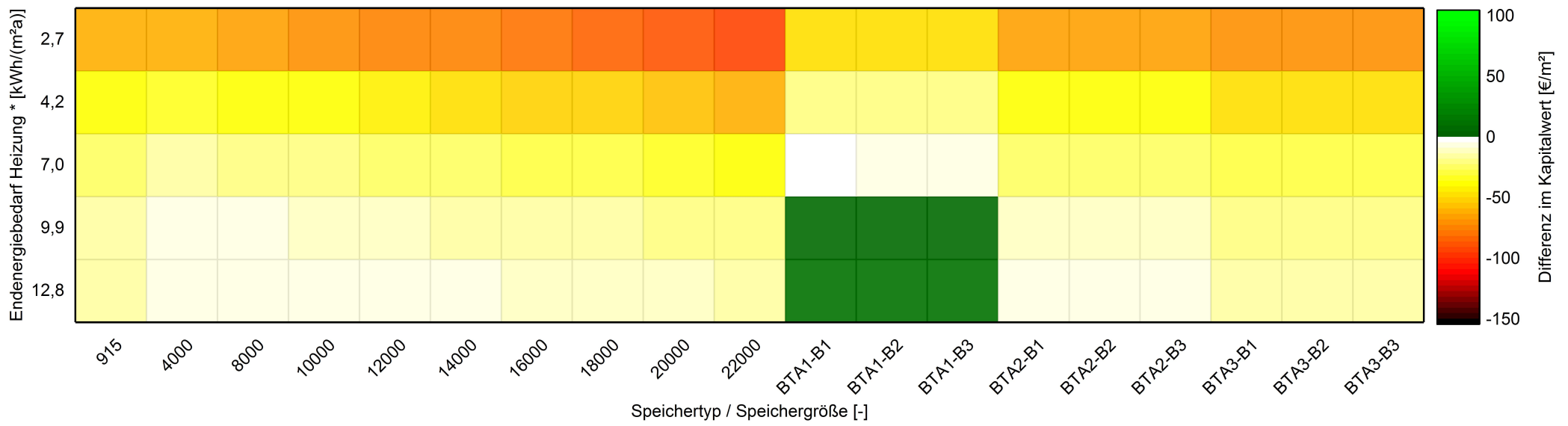
*: Endenergie-Bedarf für die Heizung nach DIN V 18599 für eine ideale Elektroheizung; resultierend aus der Gebäudequalität.

Ökonomischer Bewertung:

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit eines Windheizung 2.0-Gebäudes wird der 25-jährige Kapitalwert mit dem eines Gebäudes nach EnEV 2014-Mindeststandard verglichen. Eine positive Kapitalwert-Differenz bedeutet, dass die jeweilige Windheizungs-Variante nach Ablauf des Bewertungszeitraums günstiger ist als die EnEV-Referenz.

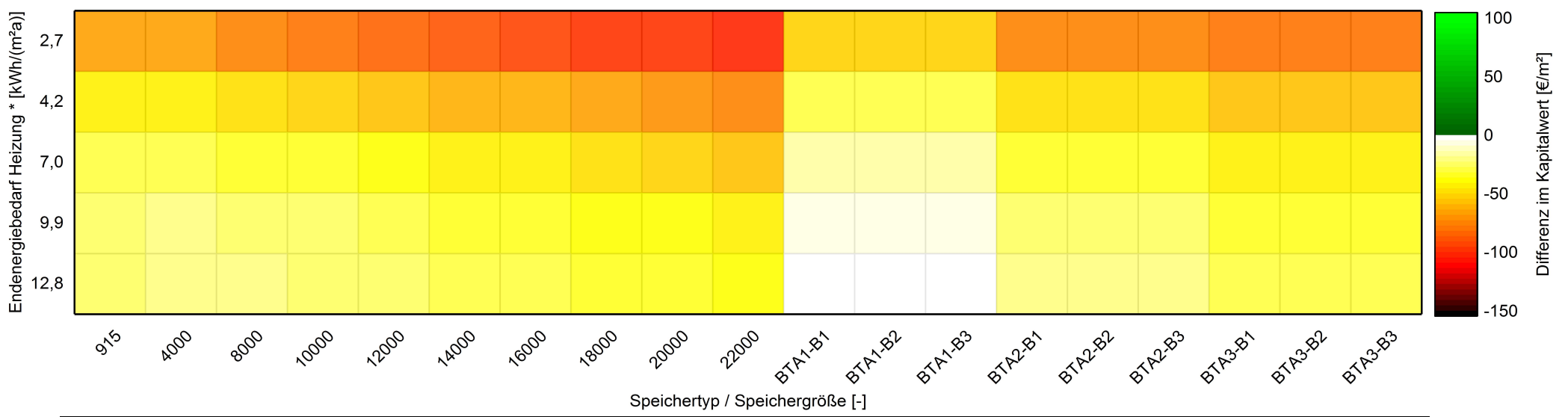
Überschussstrombezugszyklus: 0 ct/kWh

Kapitalwert - Überschussstrom-Preisauflschlag 10 ct/kWh



Speichertyp: Warmwasserspeicher (WWS) (Speichergröße in Liter)	Speichertyp: Bauteilaktivierung (BTA) BTA1: Normale Decken (20 cm) / BTA2: Dicke Decken (36 cm) BTA3: Dicke Decken + aktivierte Bad-Innenwände Beladetemperaturen: B1: niedrig / B2: mittel / B3: warm
--	--

Kapitalwert - Überschussstrom-Preisauflschlag 15 ct/kWh



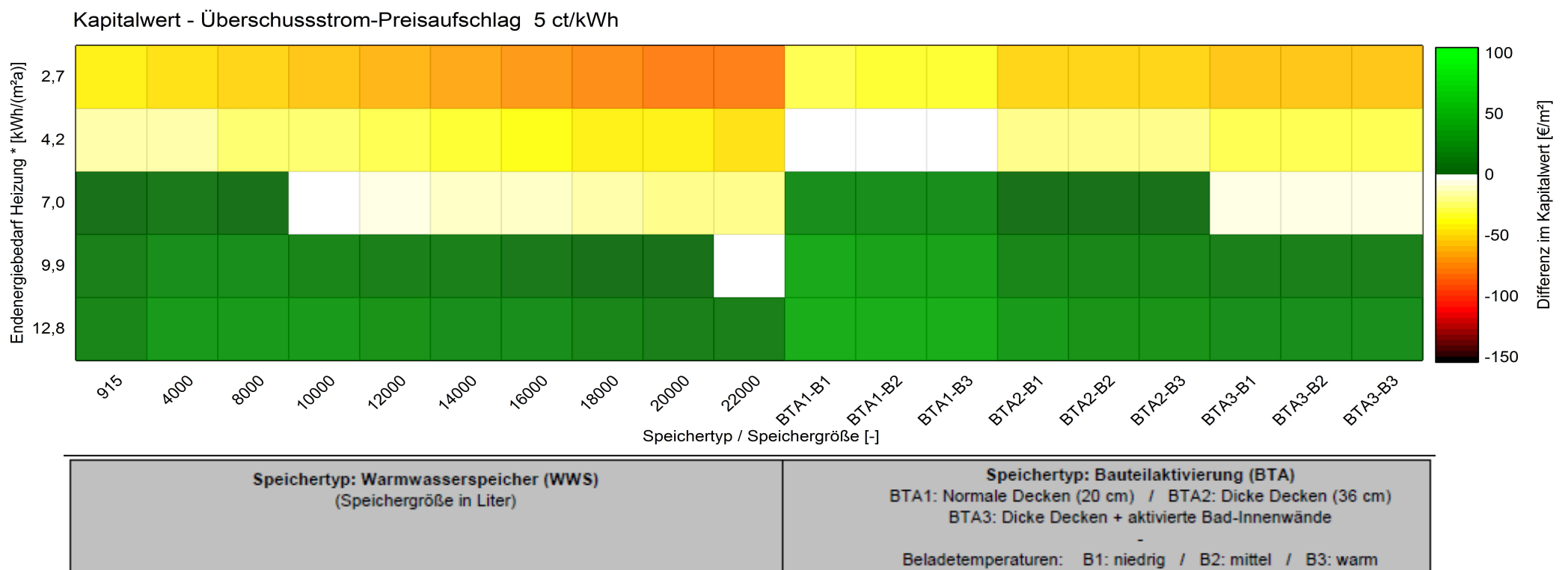
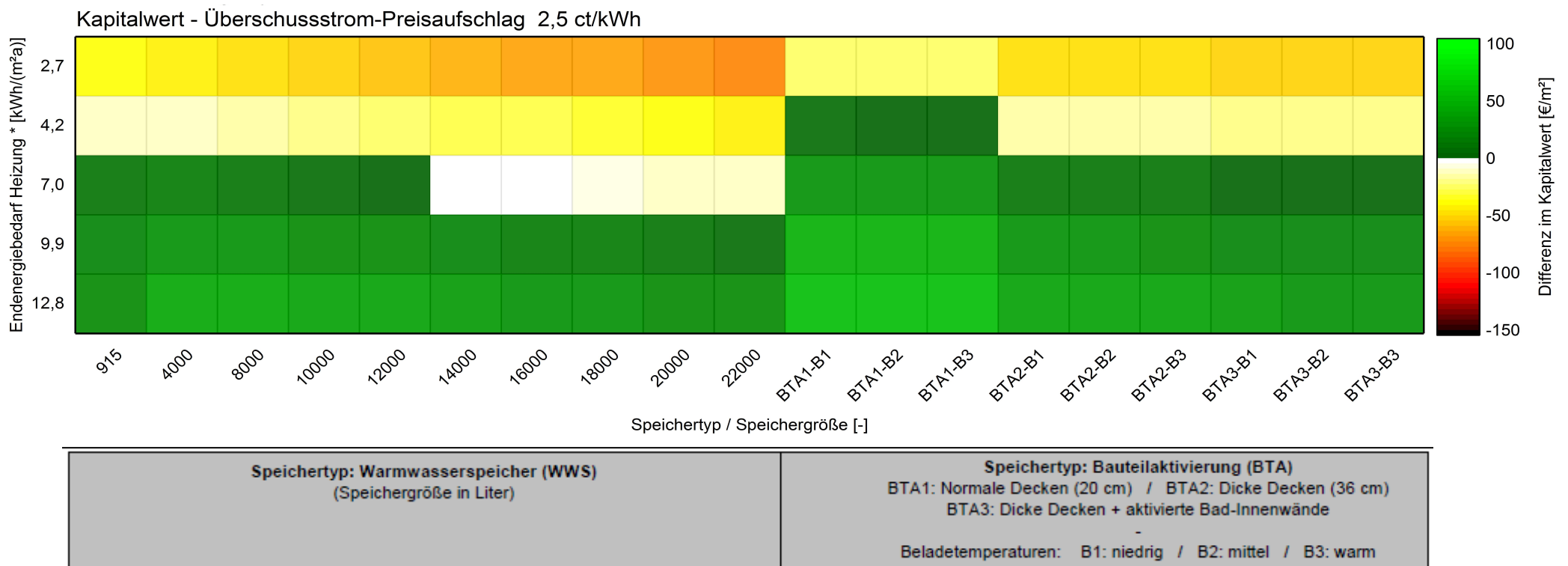
Speichertyp: Warmwasserspeicher (WWS) (Speichergröße in Liter)	Speichertyp: Bauteilaktivierung (BTA) BTA1: Normale Decken (20 cm) / BTA2: Dicke Decken (36 cm) BTA3: Dicke Decken + aktivierte Bad-Innenwände Beladetemperaturen: B1: niedrig / B2: mittel / B3: warm
--	--

*: Endenergie-Bedarf für die Heizung nach DIN V 18599 für eine ideale Elektroheizung; resultierend aus der Gebäudequalität.

Ökonomischer Bewertung:

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit eines Windheizung 2.0-Gebäudes wird der 25-jährige Kapitalwert mit dem eines Gebäudes nach EnEV 2014-Mindeststandard verglichen. Eine positive Kapitalwert-Differenz bedeutet, dass die jeweilige Windheizungs-Variante nach Ablauf des Bewertungszeitraums günstiger ist als die EnEV-Referenz.

Überschussstrombezugszyklus: 1 ct/kWh



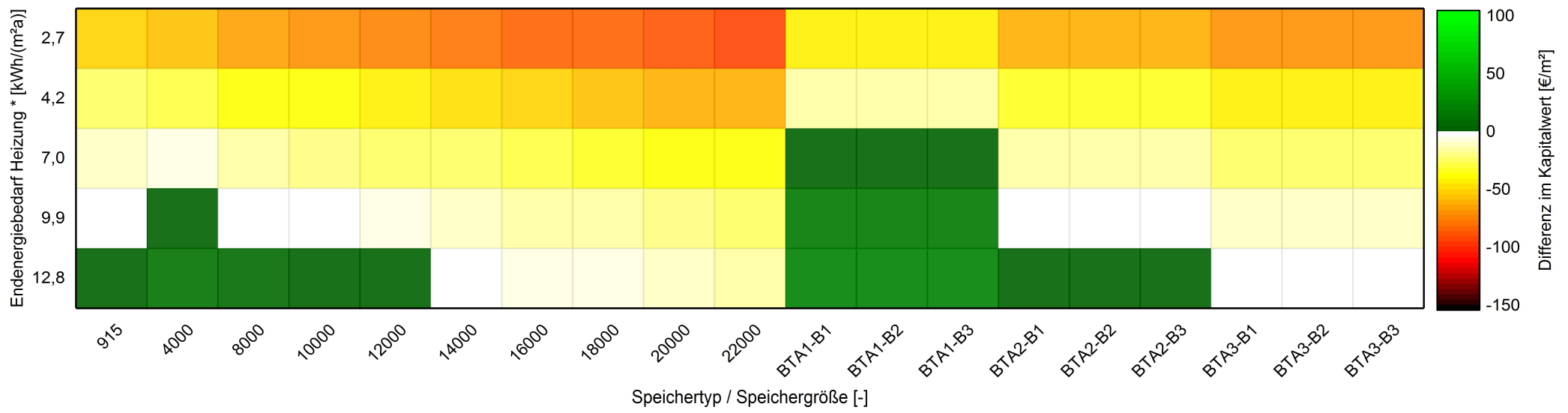
*: Endenergie-Bedarf für die Heizung nach DIN V 18599 für eine ideale Elektroheizung; resultierend aus der Gebäudequalität.

Ökonomischer Bewertung:

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit eines Windheizung 2.0-Gebäudes wird der 25-jährige Kapitalwert mit dem eines Gebäudes nach EnEV 2014-Mindeststandard verglichen. Eine positive Kapitalwert-Differenz bedeutet, dass die jeweilige Windheizungs-Variante nach Ablauf des Bewertungszeitraums günstiger ist als die EnEV-Referenz.

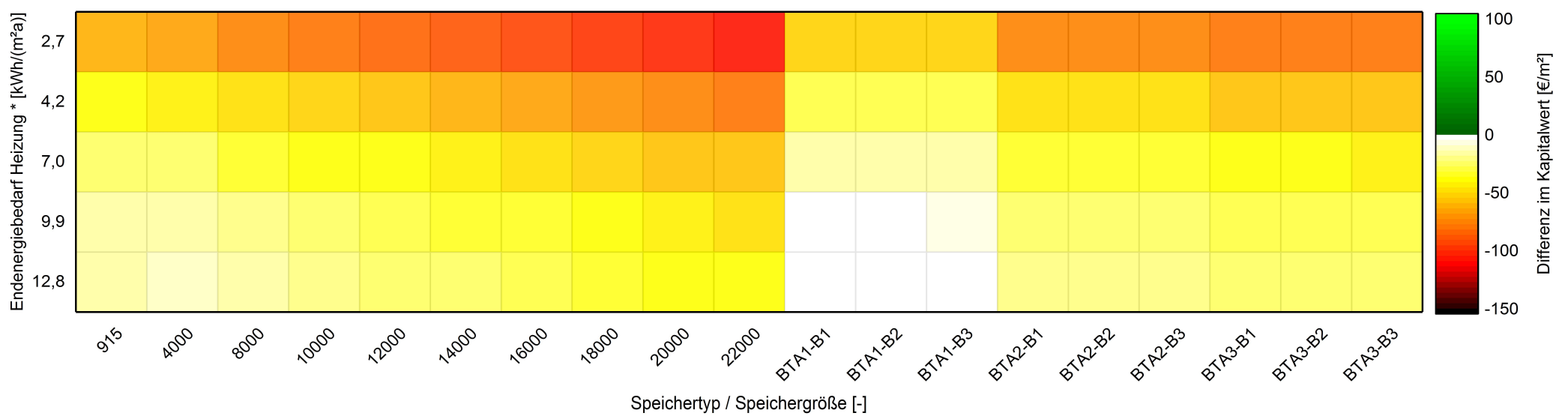
Überschussstrombezugszyklus: 1 ct/kWh

Kapitalwert - Überschussstrom-Preiszuschlag 10 ct/kWh



Speichertyp: Warmwasserspeicher (WWS) (Speichergröße in Liter)	Speichertyp: Bauteilaktivierung (BTA) BTA1: Normale Decken (20 cm) / BTA2: Dicke Decken (36 cm) BTA3: Dicke Decken + aktivierte Bad-Innenwände - Beladetemperaturen: B1: niedrig / B2: mittel / B3: warm
--	---

Kapitalwert - Überschussstrom-Preiszuschlag 15 ct/kWh



Speichertyp: Warmwasserspeicher (WWS) (Speichergröße in Liter)	Speichertyp: Bauteilaktivierung (BTA) BTA1: Normale Decken (20 cm) / BTA2: Dicke Decken (36 cm) BTA3: Dicke Decken + aktivierte Bad-Innenwände - Beladetemperaturen: B1: niedrig / B2: mittel / B3: warm
--	---

*: Endenergie-Bedarf für die Heizung nach DIN V 18599 für eine ideale Elektroheizung; resultierend aus der Gebäudequalität.

Anhang A3.4 - Wirtschaftlichkeitsanalyse (Laufzeit 25 Jahre)

Differenz im Kapitalwert [€/m²] - Überschussstrom-Preisaufschlag 2,5 ct/kWh - Überschussstrombezugszyklus -1 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m ² a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	-59	-52	-54	-56	-59	-61	-64	-67	-71	-74	-41	-41	-41	-60	-60	-60	-66	-66	-66
4,2	-36	-28	-29	-31	-33	-35	-37	-39	-43	-46	-16	-16	-15	-34	-34	-34	-41	-41	-41
7,0	-23	-15	-17	-18	-20	-22	-23	-26	-29	-32	0	0	0	-19	-18	-18	-25	-25	-25
9,9	-17	-10	-10	-12	-13	-15	-17	-19	-22	-25	9	9	9	-9	-9	-8	-16	-16	-16
12,8	-16	-9	-10	-11	-13	-14	-16	-19	-22	-25	11	11	11	-6	-6	-6	-13	-13	-14

Differenz im Kapitalwert [€/m²] - Überschussstrom-Preisaufschlag 5 ct/kWh - Überschussstrombezugszyklus -1 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m ² a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	-61	-55	-58	-61	-63	-66	-69	-72	-76	-79	-43	-43	-43	-63	-63	-63	-69	-69	-69
4,2	-37	-31	-33	-36	-38	-40	-42	-45	-48	-52	-19	-19	-19	-38	-38	-37	-44	-44	-44
7,0	-25	-19	-21	-23	-25	-27	-29	-32	-35	-37	-4	-4	-4	-22	-22	-22	-29	-29	-29
9,9	-19	-13	-14	-16	-18	-20	-22	-25	-28	-30	5	5	5	-13	-13	-12	-20	-20	-20
12,8	-19	-13	-15	-16	-18	-19	-22	-25	-27	-30	7	7	7	-10	-10	-10	-17	-17	-18

Gebäudequalität [kWh/(m ² a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	-64	-61	-66	-70	-73	-76	-79	-83	-86	-90	-48	-49	-49	-68	-68	-68	-74	-74	-74
4,2	-41	-38	-42	-45	-47	-50	-53	-56	-59	-63	-25	-25	-25	-44	-44	-44	-50	-50	-50
7,0	-29	-26	-30	-32	-35	-37	-40	-43	-46	-48	-11	-11	-11	-29	-29	-29	-36	-36	-36
9,9	-23	-20	-23	-26	-28	-30	-33	-36	-39	-41	-2	-2	-2	-20	-21	-21	-28	-28	-28
12,8	-23	-20	-24	-26	-28	-30	-33	-36	-38	-41	-1	0	0	-18	-18	-18	-26	-26	-26

Differenz im Kapitalwert [€/m²] - Überschussstrom-Preisaufschlag 15 ct/kWh - Überschussstrombezugszyklus -1 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m ² a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	-67	-68	-74	-78	-82	-86	-89	-93	-97	-100	-54	-54	-54	-73	-74	-74	-80	-80	-80
4,2	-44	-44	-50	-53	-57	-60	-63	-67	-70	-74	-31	-31	-31	-50	-50	-50	-57	-57	-57
7,0	-33	-32	-38	-41	-44	-47	-50	-54	-56	-59	-17	-18	-18	-37	-37	-37	-43	-43	-43
9,9	-27	-27	-32	-35	-38	-41	-44	-47	-50	-52	-10	-10	-10	-28	-28	-29	-35	-36	-36
12,8	-28	-27	-33	-35	-38	-41	-44	-47	-49	-52	-8	-8	-8	-26	-26	-27	-34	-34	-34

Differenz im Kapitalwert [€/m²] - Überschussstrom-Preisaufschlag 2,5 ct/kWh - Überschussstrombezugszyklus 0 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m ² a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	-54	-47	-51	-53	-57	-61	-64	-68	-71	-74	-35	-35	-35	-55	-55	-55	-61	-61	-61
4,2	-29	-19	-20	-22	-24	-27	-31	-34	-37	-41	-7	-8	-7	-26	-26	-26	-32	-33	-33
7,0	-14	-1	1	0	-1	-2	-3	-6	-9	-11	12	12	12	-6	-6	-6	-12	-13	-13
9,9	-8	9	15	15	14	13	12	12	11	10	25	25	25	8	8	8	0	0	0
12,8	-6	12	20	21	21	21	21	20	20	19	30	31	31	15	15	15	7	7	7

Differenz im Kapitalwert [€/m²] - Überschussstrom-Preisaufschlag 5 ct/kWh - Überschussstrombezugszyklus 0 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m ² a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	-56	-51	-55	-59	-62	-66	-70	-73	-77	-80	-39	-39	-39	-58	-58	-58	-65	-65	-65
4,2	-31	-23	-26	-28	-30	-34	-37	-41	-44	-48	-12	-12	-12	-31	-31	-31	-37	-37	-37
7,0	-17	-6	-6	-7	-8	-10	-12	-14	-17	-20	6	6	6	-12	-12	-12	-18	-18	-18
9,9	-11	3	7	6	5	4	3	2	1	-1	19	19	19	1	1	1	-6	-6	-6
12,8	-9	5	12	12	12	11	10	9	9	8	23	24	24	7	8	8	0	0	0

Differenz im Kapitalwert [€/m²] - Überschussstrom-Preisaufschlag 10 ct/kWh - Überschussstrombezugszyklus 0 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m ² a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	-61	-59	-65	-69	-73	-77	-81	-85	-88	-92	-46	-46	-46	-66	-66	-66	-72	-72	-72
4,2	-37	-33	-37	-40	-43	-46	-50	-54	-58	-61	-21	-21	-21	-40	-40	-40	-46	-46	-46
7,0	-24	-17	-19	-22	-24	-26	-28	-31	-34	-37	-5	-5	-5	-23	-23	-23	-30	-30	-30
9,9	-18	-9	-8	-10	-12	-14	-16	-17	-19	-21	6	6	6	-12	-12	-12	-19	-19	-19
12,8	-17	-7	-5	-6	-7	-9	-10	-12	-13	-15	10	10	10	-7	-7	-7	-15	-15	-15

Differenz im Kapitalwert [€/m²] - Überschussstrom-Preisaufschlag 15 ct/kWh - Überschussstrombezugszyklus 0 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m ² a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	-66	-67	-75	-79	-84	-88	-92	-96	-100	-103	-53	-53	-53	-73	-73	-73	-79	-79	-79
4,2	-42	-42	-48	-52	-55	-59	-63	-67	-71	-75	-29	-30	-30	-49	-49	-49	-55	-55	-56
7,0	-30	-28	-33	-36	-39	-42	-45	-48	-51	-55	-15	-16	-16	-34	-35	-35	-41	-41	-41
9,9	-24	-21	-24	-26	-29	-32	-34	-37	-39	-42	-6	-6	-6	-25	-26	-26	-32	-32	-32
12,8	-24	-20	-22	-24	-26	-29	-31	-33	-35	-37	-4	-4	-4	-22	-22	-22	-29	-29	-29

Differenz im Kapitalwert [€/m²] - Überschussstrom-Preisaufschlag 2,5 ct/kWh - Überschussstrombezugszyklus 1 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m ² a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	-41	-41	-49	-53	-57	-61	-64	-68	-71	-75	-26	-26	-26	-46	-46	-46	-52	-52	-52
4,2	-11	-9	-16	-20	-24	-27	-31	-35	-38	-42	5	4	4	-15	-15	-15	-21	-21	-22
7,0	9	15	10	7	3	0	-4	-7	-10	-13	29	29	29	10	9	9	4	3	3
9,9	19	31	30	27	24	21	17	14	11	8	47	47	46	28	27	27	21	21	21
12,8	25	42	41	40	38	35	32	29	26	23	56	56	56	39	38	38	32	31	31

Differenz im Kapitalwert [€/m²] - Überschussstrom-Preisaufschlag 5 ct/kWh - Überschussstrombezugszyklus 1 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m ² a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	-45	-46	-54	-59	-63	-67	-70	-74	-78	-81	-32	-32	-32	-52	-52	-52	-58	-58	-58
4,2	-16	-16	-23	-27	-31	-34	-38	-42	-45	-49	-2	-2	-2	-22	-22	-22	-28	-28	-28
7,0	3	7	2	-2	-6	-9	-12	-16	-19	-22	20	20	20	1	1	1	-5	-6	-6
9,9	12	22	20	17	13	10	7	4	0	-2	37	36	36	17	17	17	11	10	10
12,8	17	31	29	28	25	22	19	16	13	10	45	45	44	27	27	27	20	20	20

Differenz im Kapitalwert [€/m²] - Überschussstrom-Preisaufschlag 10 ct/kWh - Überschussstrombezugszyklus 1 ct/kWh

Gebäudequalität [kWh/(m ² a)]	Speichergröße (WWS)										BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur								
	915	4000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	BTA1-B1	BTA1-B2	BTA1-B3	BTA2-B1	BTA2-B2	BTA2-B3	BTA3-B1	BTA3-B2	BTA3-B3
2,7	-54	-57	-66	-70	-74	-78	-82	-86	-90	-93	-43	-43	-43	-63	-63	-63	-69	-69	-69
4,2	-27	-28	-36	-41	-44	-48	-52	-56	-60	-63	-16	-16	-16	-36	-36	-36	-42	-42	-42
7,0	-10	-9	-15	-19	-23	-27	-30	-34	-37	-40	3	3	3	-17	-17	-17	-23	-23	-23
9,9	-2	3	-1	-4	-8	-11	-15	-18	-21	-24	16	16	16	-3	-4	-4	-10	-10	-10
12,8	1	9	6	4	1	-2	-6	-9	-12	-15	22	2							

Anhang A3.1 - Wirtschaftlichkeitsanalyse (Laufzeit 40 Jahre)

Differenz im Kapitalwert [€/m²] - Überschussstrom-Preisauflschlag 2,5 ct/kWh - Überschussstrombezugszyklus -1 ct/kWh

Table with 20 columns: Speichergröße (WWS) (915, 4000, 8000, 10000, 12000, 14000, 16000, 18000, 20000, 22000) and BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur (BTA1-B1 to BTA3-B3). Rows include EnEV60, EnEV50, EnEV40, EnEV30, and EnEV20.

Differenz im Kapitalwert [€/m²] - Überschussstrom-Preisauflschlag 5 ct/kWh - Überschussstrombezugszyklus -1 ct/kWh

Table with 20 columns: Speichergröße (WWS) (915, 4000, 8000, 10000, 12000, 14000, 16000, 18000, 20000, 22000) and BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur (BTA1-B1 to BTA3-B3). Rows include EnEV60, EnEV50, EnEV40, EnEV30, and EnEV20.

Differenz im Kapitalwert [€/m²] - Überschussstrom-Preisauflschlag 10 ct/kWh - Überschussstrombezugszyklus -1 ct/kWh

Table with 20 columns: Speichergröße (WWS) (915, 4000, 8000, 10000, 12000, 14000, 16000, 18000, 20000, 22000) and BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur (BTA1-B1 to BTA3-B3). Rows include EnEV60, EnEV50, EnEV40, EnEV30, and EnEV20.

Differenz im Kapitalwert [€/m²] - Überschussstrom-Preisauflschlag 15 ct/kWh - Überschussstrombezugszyklus -1 ct/kWh

Table with 20 columns: Speichergröße (WWS) (915, 4000, 8000, 10000, 12000, 14000, 16000, 18000, 20000, 22000) and BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur (BTA1-B1 to BTA3-B3). Rows include EnEV60, EnEV50, EnEV40, EnEV30, and EnEV20.

Differenz im Kapitalwert [€/m²] - Überschussstrom-Preisauflschlag 2,5 ct/kWh - Überschussstrombezugszyklus 0 ct/kWh

Table with 20 columns: Speichergröße (WWS) (0, 4000, 8000, 10000, 12000, 14000, 16000, 18000, 20000, 22000) and BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur (BTA1-B1 to BTA3-B3). Rows include EnEV60, EnEV50, EnEV40, EnEV30, and EnEV20.

Differenz im Kapitalwert [€/m²] - Überschussstrom-Preisauflschlag 5 ct/kWh - Überschussstrombezugszyklus 0 ct/kWh

Table with 20 columns: Speichergröße (WWS) (915, 4000, 8000, 10000, 12000, 14000, 16000, 18000, 20000, 22000) and BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur (BTA1-B1 to BTA3-B3). Rows include EnEV60, EnEV50, EnEV40, EnEV30, and EnEV20.

Differenz im Kapitalwert [€/m²] - Überschussstrom-Preisauflschlag 10 ct/kWh - Überschussstrombezugszyklus 0 ct/kWh

Table with 20 columns: Speichergröße (WWS) (915, 4000, 8000, 10000, 12000, 14000, 16000, 18000, 20000, 22000) and BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur (BTA1-B1 to BTA3-B3). Rows include EnEV60, EnEV50, EnEV40, EnEV30, and EnEV20.

Differenz im Kapitalwert [€/m²] - Überschussstrom-Preisauflschlag 15 ct/kWh - Überschussstrombezugszyklus 0 ct/kWh

Table with 20 columns: Speichergröße (WWS) (915, 4000, 8000, 10000, 12000, 14000, 16000, 18000, 20000, 22000) and BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur (BTA1-B1 to BTA3-B3). Rows include EnEV60, EnEV50, EnEV40, EnEV30, and EnEV20.

Differenz im Kapitalwert [€/m²] - Überschussstrom-Preisauflschlag 2,5 ct/kWh - Überschussstrombezugszyklus 1 ct/kWh

Table with 20 columns: Speichergröße (WWS) (0, 4000, 8000, 10000, 12000, 14000, 16000, 18000, 20000, 22000) and BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur (BTA1-B1 to BTA3-B3). Rows include EnEV60, EnEV50, EnEV40, EnEV30, and EnEV20.

Differenz im Kapitalwert [€/m²] - Überschussstrom-Preisauflschlag 5 ct/kWh - Überschussstrombezugszyklus 1 ct/kWh

Table with 20 columns: Speichergröße (WWS) (915, 4000, 8000, 10000, 12000, 14000, 16000, 18000, 20000, 22000) and BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur (BTA1-B1 to BTA3-B3). Rows include EnEV60, EnEV50, EnEV40, EnEV30, and EnEV20.

Differenz im Kapitalwert [€/m²] - Überschussstrom-Preisauflschlag 10 ct/kWh - Überschussstrombezugszyklus 1 ct/kWh

Table with 20 columns: Speichergröße (WWS) (915, 4000, 8000, 10000, 12000, 14000, 16000, 18000, 20000, 22000) and BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur (BTA1-B1 to BTA3-B3). Rows include EnEV60, EnEV50, EnEV40, EnEV30, and EnEV20.

Differenz im Kapitalwert [€/m²] - Überschussstrom-Preisauflschlag 15 ct/kWh - Überschussstrombezugszyklus 1 ct/kWh

Table with 20 columns: Speichergröße (WWS) (915, 4000, 8000, 10000, 12000, 14000, 16000, 18000, 20000, 22000) and BTA-Typ / Niveau der Beladetemperatur (BTA1-B1 to BTA3-B3). Rows include EnEV60, EnEV50, EnEV40, EnEV30, and EnEV20.

A.3.6 Überschussstrom-Preiszyklen

Basierend auf 60- und 15 Minuten Börsenstrompreisen des Intraday-Handels aus dem Jahr 2015/16.

