

Abschlussbericht

YADOS - Gutachten Trinkwassererwärmervarianten Erwärmung aus Heizwasser



EA Systems Dresden
optimizing your energy applications

Studie zum Funktionsvergleich verschiedener Einbindungsvarianten der
Trinkwasser-Erwärmung mit unterschiedlichen Systemkonfigurationen der
(Fern)Wärmeübergabestation

Auftraggeber:	YADOS GmbH Yados-Straße 1 02977 Hoyerswerda	“Yados”
Kontakt:	Lutz Birnick	
Auftragnehmer:	EA Systems Dresden GmbH Würzburger Str. 14 01187 Dresden	“EASD”
Kontakt:	Dipl.-Ing. Torsten Schwan	
Project Code EASD:	EAS_20S05	
Version:	V4.0, 19. Dezember 2022	

Inhalt

1	Einleitung.....	4
2	Abkürzungen	5
3	Ziele und Aufgabenstellung.....	6
3.1	Datenaufbereitung und Datenaggregation	6
3.2	Modellierung / Simulation der Systemkonfigurationen.....	6
3.3	Auswertung und Dokumentation.....	7
4	Systembeschreibung	8
4.1	Kategorisierung des Trinkwasseranschlusses.....	8
4.2	TWE-Anschluss	8
4.3	TWE-Prinzip	9
4.4	TWE-Konstruktionsvarianten	10
4.5	Untersuchungsvarianten	10
5	Berechnungsgrundlagen.....	12
5.1	Randparameter	12
5.2	Wohnfläche	12
5.3	Literaturrecherche zu Trinkwarmwasserbedarf und Zapfprofile	12
5.4	Trinkwarmwasserbedarf	16
5.5	Zapfprofil	16
5.6	Charakteristischen Rohrlänge für die TWZ-Leitung	20
6	Steuer- und Regelungsalgorithmen.....	21
6.1	Basic Controller	21
6.2	Untersuchungsvariante IL-GA COMFORT	21
6.3	Untersuchungsvariante IL-VN VOR-NACHWÄRMER	23
6.4	Untersuchungsvariante IL-RA PREMIUM	24
6.5	Untersuchungsvarianten ID-GA COMFORT und ID-VN VOR-NACHWÄRMER	26
6.6	Untersuchungsvariante ID-RA PREMIUM.....	27
7	Modellierung	30
7.1	Umgesetzte Modellierungsgrundsätze	30
7.2	Beschreibung des Lastverhaltens.....	32
8	Auswertung	33
8.1	Beschreibung der Vergleichsszenarien.....	33
8.2	Detailbewertung des Systemverhaltens	34

8.3	Vergleichende Systembewertung	56
9	Fazit	59
10	Literaturverzeichnis.....	60
11	Anhang	61
11.1	Anlagenschemata	61
11.2	Stichpunktartige Zusammenfassung der Normen zu Zapfprofilen und Trinkwarmwasserbedarf	61
11.3	Regelungsschemata.....	63
11.4	Simulationsdaten.....	63

1 Einleitung

YADOS ist Hersteller von heizungstechnischen Komponenten in Wohn- und Nichtwohngebäuden. Als solcher bietet YADOS auch Technologiekomponenten zur Anbindung der Gebäude an Fernwärmenetze an. Je nach Wärmeverbrauchscharakteristik hat diese Anbindung einen großen Einfluss auf die resultierenden Rücklauftemperaturen im Fernwärmenetz, welche ihrerseits einen signifikanten Einfluss auf die Gesamtsystemeffizienz haben und daher seitens der Betreiber heutzutage streng limitiert werden.

Die EA Systems Dresden GmbH ist spezialisiert auf den Entwurf, die simulationsgestützte Bewertung und das Monitoring komplexer Energieversorgungssysteme. Dabei bringt die EASD im Rahmen der Vor- und Entwurfsplanung speziell ihr Know-How im Bereich Gebäudesimulation und der Simulation technischer Anlagensysteme ein. Basis der Systemsimulation sind die eigens entwickelten Green Building und Green City Simulationsbibliotheken auf Basis Modelica / SimulationX.

Als forschungsnaher Dienstleister ist die EASD seit Bestehen in vielen F&E- sowie Pilotvorhaben vertreten und arbeitet eng mit Universitäten und Fraunhofer-Instituten zusammen. Darüber hinaus verfügt die EASD über ein breites Partnernetzwerk aus TGA-Planern, Gebäudetechnikern sowie Raumluft- und Klimatisierungsexperten, die zur Führung gesetzlicher Nachweise im Nichtwohngebäudebereich berechtigt sind. Typische Kunden sind Stadtwerke, innovative Planungsbüros und Entwicklungsabteilungen von OEMs. Im Rahmen dieses Projekts wird die EASD durch das Ingenieurbüro Dr.-Ing. Christian Lerche unterstützt.

Die vorliegende Studie untersucht vergleichend die sechs Varianten der Firma YADOS zur Trinkwarmwassererwärmung im Speicherladeprinzip und im Durchflussprinzip für die Konstruktionsvarianten Gehäuse autark (GA), Vorwärmer/-Nachwärmer (VN) und Rahmen autark (RA).

Zu Beginn der Studie wird ein Überblick zum theoretischen Hintergrund der Trinkwarmwassererwärmung gegeben und anschließend näher auf Technik sowie Steuer- und Regelung der unterschiedlichen Untersuchungsvarianten eingegangen. Zum Schluss werden diese für ausgewählte Simulationszeiträume und Betrachtungsschwerpunkte ausgewertet und gegenübergestellt.

2 Abkürzungen

MFH	...	Mehrfamilienhaus
DDC	...	Direct-Digital-Control (spezieller Mikrorechner)
GA	...	Gehäuse autark
HW	...	Heizwasser
NL	...	Leistungskennzahl
PCM	...	Phase-Change-Material (deutsch: Phasenwechselmaterialien)
RA	...	Rahmen autark
TWE	...	Trinkwassererwärmung
TWW	...	Trinkwarmwasser
TWZ	...	Trinkwasserzirkulation
VN	...	Vorerwärmer / Nacherwärmer
WE	...	Wohneinheit

YADO|AQUA Basis-System [* Basis]

Trinkwassererwärmung im Speicher-, Speicherlade- oder Durchflussprinzip mit einfachen Wärmeübertragern 80->60/60<-10°C. Erfüllt die Anforderungen für den bestimmungsgemäßen Betrieb und erreicht kurzzeitig nach einer Trinkwarmwasserspitzenentnahme am Beginn der Ladung Temperaturen (50...55°C) für niedrigen Brennwert.

YADO|AQUA Comfort-System [* Comfort]

Trinkwassererwärmung im Speicher-, Speicherlade- oder Durchflussprinzip mit normalen Wärmeübertragern 70->30/60<-10°C. Erfüllt die Anforderungen für den bestimmungsgemäßen Betrieb und erreicht nach einer Trinkwarmwasserspitzenentnahme am Beginn der Ladung Temperaturen (30...55°C) für mittleren Brennwert.

YADO|AQUA Premium-System [* Premium]

Optimierte Trinkwassererwärmung im Speicherlade- oder Durchflussprinzip mit Spezialwärmeübertragern zur Vor- und Nacherwärmung 80->25/60<-10°C. Erfüllt die Anforderungen für den bestimmungsgemäßen Betrieb und erreicht während der Ladung immer Temperaturen (25...55°C) für höchsten Brennwert. Durch die optimierte Laderegelung werden auch im Trinkwarmwasserzirkulationsbetrieb teilweise Temperaturen (30...55°C) für mittleren Brennwert erreicht.

3 Ziele und Aufgabenstellung

Nach einem ersten Überblick zum technischen Hintergrund der Trinkwarmwassererwärmung besteht das Ziel der Studie in der Untersuchung des dynamischen Temperaturverlaufs mit Fokus auf der Heizrücklauftemperatur zur Darstellung der Vorteile des neuen YADOS-RA-Systems gegenüber vergleichbaren Lösungen von YADOS.

- Untersuchung des dynamischen Temperaturverhaltens (vor allem Heizungsrücklauf)
- Darstellung der Vorteile des YADOS-RA-Systems gegenüber Alternativlösungen
- Unabhängige Bewertung des Funktionsprinzips unterschiedlicher technischer Lösungen

Die Erarbeitung der Studie erfolgte in drei Arbeitsschritten, die nachfolgend noch einmal im Detail dargestellt sein.

3.1 Datenaufbereitung und Datenaggregation

Seitens YADOS wurde zu Beginn der Studie eine Liste von Systemkonfigurationen übermittelt, die mit Hilfe des EASD-eigenen Simulationssystems simulationsgestützt geprüft und bewertet werden sollen. Darüber hinaus wurde zur Wahrung der Vergleichbarkeit auch das für den Vergleich zu nutzende Vergleichsprofil (TWW-Entnahmeprofil EU Verordnung Nr. 814/2013 (ErP-Richtlinie) 4XL ≈ N-Zahl 15; passendes Referenzgebäude für Beheizung) vorgegeben.

Im Rahmen dieses Arbeitsschrittes wurden die im Rahmen der vorgegebenen Randbedingungen notwendigen Daten gesammelt und für die Verwendung in den Simulationsmodellen aufbereitet. Dies betraf im Einzelnen:

- Datenblätter für technische Systemkomponenten der einzelnen zu untersuchenden Varianten
- R&I-Schemata der zu untersuchenden Systemkonfigurationen
- Verbrauchsprofil für Warmwasser
- Daten und Parameter zur Beschreibung des thermischen Gebäudeverhaltens inkl. innerer Lasten (insbesondere Unterscheidung der Zapfleistungen für Wochentag vs. Wochenende)

Auf Basis der o.g. Daten wurden sowohl Eingangsdaten-Files für die Beschreibung der resultierenden Lasten als auch Parameter-Templates für die Betrachtung der Modelle spezifiziert.

3.2 Modellierung / Simulation der Systemkonfigurationen

Durch die Untersuchungen sollen laut YADOS insgesamt 6 Systemvarianten analysiert werden.

Bewertungsdimension	Systemvariante	Betriebsart
1-TWE-Prinzip	Trinkwassererwärmer im Durchflussprinzip (Frischwasserstation)	permanenter schwankender Heizwasservolumenstrom mit unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Leistungen, Volumenstromabhängige Gewichtung der Rücklaufemperaturen notwendig
1-TWE-Prinzip	Trinkwassererwärmer im Speicherladeprinzip	gelegentlicher fast konstanter Heizwasservolumenstrom mit unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Leistungen
2-TWE-Anschluss	Trinkwassererwärmer am Wärmenetz angeschlossen	Heizwasserrücklauftemperatur wird direkt in den Fernwärmenetzrücklauf übernommen
2-TWE-Anschluss	Trinkwassererwärmer an der Hausanlage angeschlossen	Heizwasserrücklauftemperatur wird indirekt in den Fernwärmenetzrücklauf übernommen, Temperaturerhöhung um 3 bis 5K

3-TWE-Konstruktion	1 stufige Erwärmung (ein Wärmeübertrager)	Mischung Kaltwasser und Trinkwarmwasserzirkulation vor dem Wärmeübertrager minimaler Heizwasserrücklauf bei 15°C Kaltwasser und 30°C Mischtemperatur = 35°C minimaler Heizwasserrücklauf bei 55°C Trinkwarmwasserzirkulation und keiner TWW-Entnahme = 57°C
3-TWE-Konstruktion	2 stufige Erwärmung (zwei Wärmeübertrager)	keine Mischung Kaltwasser mit Trinkwarmwasserzirkulation vor dem Wärmeübertrager Vorwärmer minimaler Heizwasserrücklauf bei 15°C Kaltwasser = 20°C minimaler Heizwasserrücklauf bei 55°C Trinkwarmwasserzirkulation und keiner TWW-Entnahme = 57°C
3-TWE-Konstruktion	2 stufige Erwärmung (zwei Wärmeübertrager) plus Heizwasserrücklauf durch den Vorwärmer	keine Mischung Kaltwasser mit Trinkwarmwasserzirkulation vor dem Wärmeübertrager Vorwärmer minimaler Heizwasserrücklauf bei 15°C Kaltwasser = 20°C minimaler Heizwasserrücklauf bei 55°C Trinkwarmwasserzirkulation und keiner TWW-Entnahme = 57°C minimaler Heizwasserrücklauf bei 55°C Trinkwarmwasserzirkulation, keiner TWW-Entnahme und Heizwasserrücklauf 50°C = 55°C
3-TWE-Konstruktion	2 stufige Erwärmung (zwei Wärmeübertrager) plus YADO AQUA PR = Heizwasserrücklaufauskühlung im TW-Zirkulationsbetrieb ohne Trinkwarmwasserentnahme	keine Mischung Kaltwasser mit Trinkwarmwasserzirkulation vor dem Wärmeübertrager Vorwärmer minimaler Heizwasserrücklauf bei 15°C Kaltwasser = 20°C minimaler Heizwasserrücklauf bei 55°C Trinkwarmwasserzirkulation und keiner TWW-Entnahme = 35°C

Diese Systemkonfigurationen wurden mit Hilfe der Systemmodelle der EASD-eigenen Green City Library als dynamisches Simulationsmodell umgesetzt. Diese beinhalten sowohl die zu bewertenden dynamischen, thermischen Lasten als auch die jeweils abzubildenden technischen Systemkomponenten, deren Verschaltung und Regelung.

Alle Konfigurationen wurden für ein Testreferenzjahr mit einer dynamischen Schrittweite kleiner 1 Minute simuliert. Die daraus resultierenden Verlaufskurven und kumulierten Energiemengen wurden für die Aufbereitung im Arbeitsschritt 3 exportiert.

3.3 Auswertung und Dokumentation

Die in Arbeitsschritt 2 erzeugten Simulationsergebnisse wurden im Rahmen dieses Arbeitsschritts ausgewertet und hinsichtlich der für YADOS relevanten Ergebnisse bewertet. Dies betrifft vor allem:

- Dynamisches Verhalten der Rücklauftemperaturen auf der Fernwärmeseite
- Resultierende Differenzen im Gesamtenergiebedarf / Einsparungspotentiale, etc.

Darüber hinaus wurden im Rahmen dieses APs ggf. Vorschläge für die Optimierung der für YADOS relevanten Systemkonfigurationen bzw. Regelungen, die sich ggf. aus den Simulationsergebnissen ergeben, angefertigt.

Alle Ergebnisse wurden abschließend in einer Abschlusspräsentation für YADOS zur weiteren Verwendung aufbereitet und in dem hier vorliegenden Bericht zusammengefasst.

4 Systembeschreibung

4.1 Kategorisierung des Trinkwasseranschlusses

Der Trinkwasseranschluss wird nach drei unterschiedlichen Kriterien eingeteilt: nach Art des Trinkwasseranschlusses, nach dem Prinzip der Trinkwarmwassererwärmung und der dazugehörigen Konstruktionsvariante. Das Trinkwarmwasser kann dabei über das Fernwärmenetz oder das Heizungsnetz erwärmt werden. Diese Erwärmung des Trinkwarmwasser kann durch die drei Varianten: Durchflussprinzip, Speicherprinzip oder Speicherladeprinzip erfolgen. Je nach Konstruktionsvariante erfolgt die Wärmeübertragung zwischen dem Trinkwarmwasserkreis und dem Versorgerkreis über ein oder zwei Wärmeübertrager und angepasster Regelung.

In der Abbildung 1 ist dies zusammenfassend dargestellt.

Anschluss TWE an	Prinzip der TWE	Konstruktionsvariante
<ul style="list-style-type: none"> • I... Heizungsanlage • D... Fernwärme 	<ul style="list-style-type: none"> • D... Durchflussprinzip • L... Speicherladeprinzip • S... Speicherprinzip 	<ul style="list-style-type: none"> • GA... Gehäuse autark (mit Regler) • VN... Vorwärmer / Nachwärmer • RA... Rahmen autark (mit Regler)

Abbildung 1: Kategorisierung von TWE-Anschlüssen

4.2 TWE-Anschluss

4.2.1 I - Heizungsanlage

Der Trinkwasserrücklauf kühlt den Heizwasserrücklauf des Heizungssystems ab. Bei einem bestehenden Anschluss an das Fernwärmenetz erfolgt die Abkühlung des Rücklaufs über den Heizwasserrücklauf. Die Temperatur im Fernwärmerücklauf ist dadurch nochmal 3 bis 5 Kelvin über dem Heizwasserrücklauf. Die Abkürzung I steht für indirekt.

4.2.2 D – Fernwärme

Die Erwärmung des Trinkwassers erfolgt direkt über den Fernwärmeanschluss. Die Rücklauf- und Vorlauftemperaturen der Fernwärme sind dadurch geringer realisierbar. D stellt die Abkürzung für direkt da.

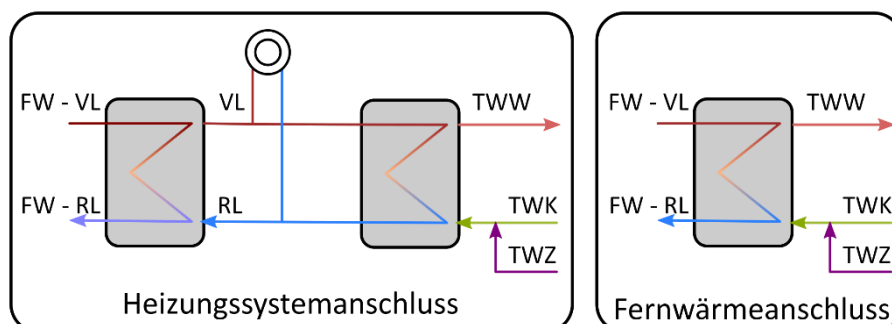


Abbildung 2: Vergleich der TWE-Anschlüsse

4.3 TWE-Prinzip

Die drei verschiedenen Prinzipien der TWE Durchflussprinzip, Speicherladeprinzip und Speicherprinzip sind in der Abbildung 3 gegenübergestellt. Die wichtigsten Merkmale sind in der Tabelle 1 zusammengetragen.

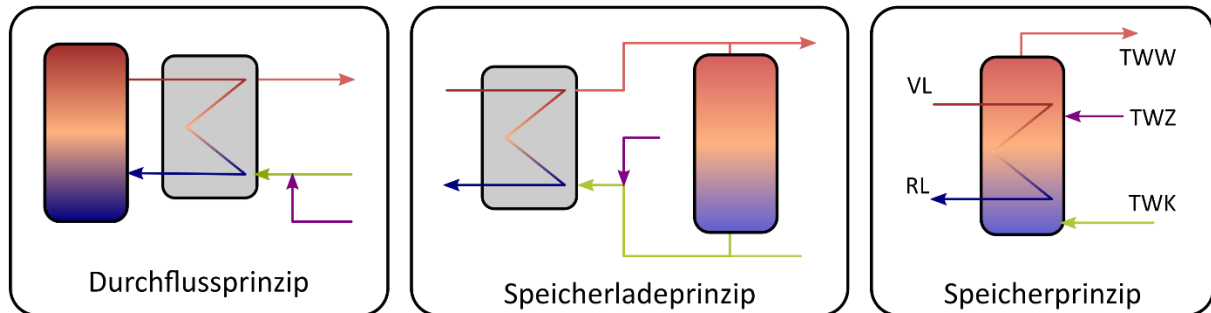


Abbildung 3: Gegenüberstellung der TWE-Ladeprinzipien

Tabelle 1: Vergleich der TWE-Prinzipien

	Durchflussprinzip	Speicherladeprinzip	Speicherprinzip
Anschlussleistung	hoch	gering	gering
Rücklauftemperaturen	mittel	mittel	gering
Platzbedarf	gering	hoch	hoch
Verkalkungsgefahr	hoch	hoch	gering
Hygiene	gut	mittel	mittel
Spitzenentnahme	mittel	hoch	hoch
Warmwassertemperatur	schwankend	konstant	konstant
Regelaufwand	hoch	mittel	gering
Wärmeverluste	gering	hoch	hoch
Investitionsaufwand	gering	hoch	hoch
Wartungsaufwand	gering	mittel	hoch

4.3.1 D - Durchflussprinzip

Die Erwärmung des Trinkwassers erfolgt mittels eines Wärmeübertragers durch das Heizwasser aus der Hausanlage oder dem Fernwärmeanschluss. Das Durchflusssystem wird auch als Frischwasserstation bezeichnet. Die maximale Zapfleistung ist durch die Wärmeübertragerleistung begrenzt. Das System zeichnet sich durch seine platzsparende Bauweise, geringen Investitionskosten, geringe Wärmeverluste sowie Wartungsaufwand und der einfachen Erfüllung von Hygienevorschriften aus.

4.3.2 L - Speicherladeprinzip

Das warme Wasser für die TWE wird einem beladenen Speicher entnommen. Dieser ist Trinkwasserseitig angebunden und wird kontinuierlich auf einem konstanten Temperaturniveau gehalten. Der

Trinkwasserkreis ist wiederum mittels Wärmeübertrager an den Heizkreis angebunden. Das Speicherladeprinzip liefert daher nahezu eine konstante Temperatur, ermöglicht eine hohe Spitzenentnahme bei geringerem Regelaufwand. Die Rücklauftemperaturen halten sich auf einem moderaten Niveau.

4.3.1 S - Speicherprinzip

Die TWE erfolgt mittels interner Wärmeübertragung in einem Registerspeicher. Der Regelaufwand und die Verkalkungsgefahr sind bei diesem Prinzip durch den Wegfall des externen Wärmeübertragers am geringsten.

4.4 TWE-Konstruktionsvarianten

4.4.1 GA - Gehäuse autark

Die Erwärmung des Trinkwassers auf den Trinkwarmwasser-Sollwert erfolgt bei der TWE-Konstruktionsvariante Gehäuse autark (GA) über einen einzigen Wärmeübertrager. Vorteil hierbei ist der geringere Regelaufwand und die geringeren Installationskosten. Die Rücklauftemperatur auf der Heizungs- oder Fernwärmeseite sind dafür höher.

4.4.2 VN - Vorwärmer / Nachwärmer

Die Variante Vorwärmer / Nachwärmer (VN) unterscheidet sich konstruktiv vom GA durch zwei statt einem Wärmeübertrager. Die Regelung der Varianten GA und VN hingegen sind weitestgehend gleich. Im Vorwärmer wird das Kaltwasser erwärmt. Zwischen den beiden Wärmeübertragern wird das erwärmte Wasser mit dem Zirkulationswasser zusammengeführt und schließlich im Nachwärmer auf den Warmwasser-Sollwert gebracht.

4.4.3 RA - Rahmen autark

Die Konstruktionsvariante der Rahmen autark ist eine regeltechnische und konstruktive Optimierung der VN-Variante mit ebenfalls zwei Wärmeübertragern. Fokus wird auf die Einhaltung einer geringen Rücklauftemperatur im Heizungs- oder Fernwärmekreis gelegt. Der Aufwand für die Steuer- und Regelung sowie der Installation ist hierfür am größten.

4.5 Untersuchungsvarianten

Betrachtet man die möglichen Varianten an TWE Prinzipien, Konstruktionen und Anschlüssen ergeben sich ein Vielzahl an TWE-Möglichkeiten. In der nachfolgenden Untersuchung soll der Fokus auf die Varianten TWE-Anschluss des Heizwassers an die Heizungsanlage gelegt werden. Unterschiede zum Fernwärmenetz ergeben sich nur durch abweichende Heizwasservorlauftemperaturen, der konstruktive Aufbau zwischen den beiden TWE-Anschlüssen ist ähnlich. Für das Speicherlade- und Durchflusssystem werden jeweils die TWE-Konstruktionsvarianten GA, VN und RA untersucht. Folglich ergeben sich sechs Untersuchungsvarianten: IL-GA COMFORT, IL-VN VOR-NACHWÄRMER, IL-RA PREMIUM, ID-GA COMFORT, ID-VN VOR-NACHWÄRMER und ID-RA PREMIUM.

Tabelle 2 TWE-Prinzipien und Konstruktionsvarianten

TWE Prinzip	TWE Konstruktion	TWE-Anschluss Heizwasser		
		Stufen	an die Hausanlage Heizung I*	an das (Fern)Wärmenetz D*
Speicherlade-Prinzip *L-	GA	1	IL-GA COMFORT	DL-GA COMFORT
	VN	2	IL-VN VOR-NACHWÄRMER	DL-VN VOR-NACHWÄRMER
	RA	2	IL-RA PREMIUM	DL-RA PREMIUM
Durchfluss-Prinzip *D-	GA	1	ID-GA COMFORT	DD-GA COMFORT
	VN	2	ID-VN VOR-NACHWÄRMER	DD-VN VOR-NACHWÄRMER
	RA	2	ID-RA PREMIUM	DD-RA PREMIUM

5 Berechnungsgrundlagen

5.1 Randparameter

Für die nachfolgende Untersuchung werden für den Trinkwasserkreis folgende Randbedingungen gestellt:

- Zirkulation: 55 °C
- Kaltwasser: 10 °C
- Trinkwasser: 60 °C
- Verluste - Zirkulation: 4 kW

Als Trinkwasserverbraucher, oder auch Abnehmer genannt, wird eine Mehrfamilienhaus mit 30 Einheitswohnungen betrachtet. Eine solche Wohneinheit (WE) besteht aus 3,5 Personen.

- Anzahl: 30 WE (Mittel aus Durchschnittlich 40 WE im Osten und 20 WE im Westen)
- Art: Einheitswohnung mit 3,5 Personen
- Belegungszahl: 3,5
- Raumzahl: 4
- Ausstattung:
 - 1 Brausekabine mit Mischbatterie und Luxusbrause
 - 1 Badewanne 160 l
 - 1 Waschtisch im Bad
 - 1 Spüle in der Küche

5.2 Wohnfläche

Wichtig für die nachfolgende Untersuchung ist neben der Personenanzahl je Wohneinheit auch die Wohnfläche je Wohneinheit. Die durchschnittliche Wohnfläche wird auf Basis des Statistischen Bundesamtes bestimmt [1]. Für ein Wohngebäude mit 3 und mehr Wohnungen wird dies für ein 3-Personenhaushalt mit 85,7 m² und für ein 4-Personenhaushalt mit 95,3 m² beziffert. Der Mittelwert von einem 3,5-Personen-Haushalt wird mit 90,5 m² angenommen.

5.3 Literaturrecherche zu Trinkwarmwasserbedarf und Zapfprofile

Für die Simulation ist die Kenntnis des Trinkwarmwasserbedarfs und des Zapfprofils notwendig. Der Trinkwarmwasserbedarf beschreibt die jährlich oder tägliche Warmwassermenge die je nach Wohnfläche oder Personenanzahl benötigt wird. Das Zapfprofil oder Lastprofil des TWW kennzeichnet den minütige oder stündlichen Tageslastgang des Warmwasserbedarfs. Trinkwarmwasserbedarf und das Zapfprofil unterscheiden sich je nach Wochentag / Wochenende, Jahreszeit, Art des Hauses und Anzahl der Wohneinheiten voneinander.

Zur Ermittlung der Daten kann auf unterschiedliche Quellen zurückgegriffen werden. Im Wesentlichsten sind diese:

- Normen / Regelwerke
- Studien
- Computer- Software / Excel-Tools

5.3.1 Normen / Regelwerke

Es gibt eine Vielzahl an Normen und Regelwerken, die sich mit dem Trinkwarmwasserbedarf und Lastprofilen von Ein- und Mehrfamilienhäusern beschäftigen. Die Tabelle 3 gibt ein Überblick zu den wichtigsten Normen und Regelwerken.

Tabelle 3: Zusammenfassung Normen für Trinkwarmwasserbedarf und Zapfprofilen

Norm	Beschreibung	Stichpunkte
DIN 4701-10	Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen - Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung	Trinkwarmwasserwärmebedarf
DIN 4708-2	Zentrale Wassererwärmungsanlagen; Regeln zur Ermittlung des Wärmebedarfs zur Erwärmung von Trinkwasser in Wohngebäuden	Trinkwarmwasserbedarf
DIN EN 12831 – 3	Energetische Bewertung von Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast – Teil 3: Trinkwassererwärmungsanlagen, Heizlast und Bedarfsbestimmung	Trinkwarmwasserbedarf, Zapfprofil
DIN EN 15316-3-1	Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Energieanforderungen und Nutzungsgrade der Anlagen – Teil 3-1: Trinkwassererwärmung, Charakterisierung des Bedarfs (Zapfprogramm)	Zapfprofil
DIN V 18599-10	Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten	Trinkwarmwasserbedarf
VDI 2067-12	Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen Nutzenergiebedarf für die Trinkwassererwärmung	Trinkwarmwasserbedarf
VDI 4655	Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen	Trinkwarmwasserbedarf, Zapfprofil
VDI 6002-1	Solare Trinkwassererwärmung; Allgemeine Grundlagen, Systemtechnik und Anwendung im Wohnungsbau	Trinkwarmwasserbedarf
EU Verordnung Nr. 814/2013	Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Warmwasserbereitern und Warmwasserspeichern	Trinkwarmwasserbedarf, Zapfprofil

5.3.2 Computer-Software / Excel-Tools

Die nachfolgende Tabelle 4 gibt ein Überblick über mögliche Programme zur Erzeugung von Zapfprofilen oder Software mit hinterlegten Zapfprofilen aus Normen oder Messungen. Im Rahmen der Studie wird näher auf das Computerprogramm DHWcalc der Uni Kassel und TSol von Valentin Software eingegangen.

Tabelle 4: Zusammenfassung unterschiedlichster Software mit Zapfprofilen

DHWcalc der Uni Kassel	<ul style="list-style-type: none"> ○ Computerprogramm zur Generierung von Trinkwasser-Zapfprofilen auf statistischer Basis ○ kostenlos
FALTINtool von Fa. VARMECO	<ul style="list-style-type: none"> ○ Berechnungstool zur grafischen Auslegung von varmecco-Frischwassersystemen mittels Wärmeschaubild ○ synthetischer Zapfprofil ○ Selbstkonfiguration für größere WE notwendig ○ Testversion 1 Jahr
ThermaSim von h4plan GmbH	<ul style="list-style-type: none"> ○ zur Planung von zentralen Trinkwassererwärmern und Warmwasserbereitern auf Basis von Messungen des Warmwasserverbrauchs realer Gebäude mit synthetischen und gemessenen Zapfprofilen ○ keine Testversion verfügbar
TSol von Valentin Software	<ul style="list-style-type: none"> ○ zur Simulation thermischer Solaranlagen ○ Zapfprofil mit Anlehnung an VDI 6002 ○ Testversion 30 Tage

5.3.3 Studien

Es lässt sich eine Vielzahl an Studien und Untersuchungen zum Thema Trinkwarmwasserbedarf und Zapfprofilen finden, die sich mit den bereits in den Abschnitten 5.3.1 und 5.3.2 erwähnten Normen oder Software auseinandersetzen oder statistische Erhebung zum Wohnungsmarkt durchführen. Eine kurze Zusammenfassung zu den wichtigsten Erkenntnissen der Studien lässt sich der Tabelle 5 entnehmen.

Tabelle 5: Zusammenfassung zu unterschiedlichen Studien zum Trinkwarmwasserbedarf und Zapfprofilen

Titel	Kurzbeschreibung
Techno-ökonomischer Vergleich von Solarthermieanlagen mit Photovoltaik-Wärmepumpen-Systemen mittels dynamischer Simulation [2]	<ul style="list-style-type: none"> ○ MFH: Trinkwasserbedarf 23,3 kWh/m² a höher als beim EFH wegen Zirkulationsverluste ○ Nach VDI 4655 ○ Testreferenzjahr – wegen Zusammenhang von Strom, Heizung und TWW von Außentemperatur ○ Stellt DHWCalc und VDI 4655 gegenüber
Systemanalyse zur solaren Energieversorgung [3]	<ul style="list-style-type: none"> ○ Vergleich unterschiedliche Normen zur Bedarfsermittlung für Trinkwassererwärmung ○ DIN 4708 Überschätzung ○ Mittelwert des Bedarfs 500 kWh/Person/a
Beitrag zur energieeffizienten Trinkwassererwärmung [4]	<ul style="list-style-type: none"> ○ Anteil des Trinkwarmwassers beträgt 20 % bis 40 % des Trinkwassertagesbedarfs ○ Abhängig von Alter, Geschlecht, Schichtzugehörigkeit, Berufstätigkeit, sanitärer Ausstattung und Komfortansprüchen ab und kann daher stark variieren. ○ Spitzenentnahme 30 – 40 l/min für 30 WE

- Geordnete Warmwasserentnahme in Abhängigkeit von der täglichen Entnahmedauer
- Tägliche Entnahmedauer in Abhängigkeit von der Anzahl der Wohneinheiten f.30 WE = 10h/d
- 33 Liter Warmwasser pro Person und Tag mit einer Nutztemperatur von 60 °C
- Gleichzeitigkeitsfaktoren in Abhängigkeit der Wohneinheit: f. 30 WE: 0.1 bis 0.35
- Angaben zu personenspezifischen und flächenspezifischen Trinkwarmwasser- und Energiebedarf:

Tab. 3.2: Flächenspezifischer Nutzenergiebedarf zur Trinkwassererwärmung

	Spez. Nutzenergiebedarf
	q_{TW} [kWh/(m ² a)]
EnEV 2016 (DIN V 4701 Teil 10) ¹⁾ [2]	12,5
DIN V 18599 Teil 10 [11]	15,0
VDI 6002 Blatt 1 ²⁾ [12]	19,8
VDI 2067 Blatt 12 ³⁾ [13]	ca. 15,3
Optimus-Studie (Mittelwert) [14]	ca. 19,0
Passivhaus-Studien [15, 16]	15 - 27
Eigene Messungen	14 - 26
Mittelwert aus [14, 15, 16] und eigenen Messungen	ca. 21

¹⁾ Bezugsfläche: $A_{NWE,m} = 0,32 \text{ m}^3 \cdot V_v$
(mit V_v als beheiztes Gebäudevolumen in m³)
²⁾ mit 30 m² Wohnfläche je Person

Tab. 3.1: Personenspezifische Warmwasser- und Energiebedarfskennwerte [8]

	Spez. Warmwasserbedarf		Spez. Energiebedarf
	$T_{TW,APC}$ [l/(Pers*d)]	$T_{TW,BPC}$ [l/(Pers*d)]	$q_{TW,Pers,APC}$ [Wh/(Pers*d)]
Niedriger Bedarf	15 - 30	10 - 20	600 - 1200
Mittlerer Bedarf	30 - 60	20 - 40	1200 - 2400
Sehr hoher Bedarf	60 - 120	40 - 80	2400 - 4800

- Spezifische Zirkulationsverluste:

Tab. 3.4: Spezifische Zirkulationsverluste in Abhängigkeit des Rohrleitungsämmstandards

Rohrleitungsämmstandard	Passivhaus	Neubau (sanierter Altbau)	Altbau
Spez. Zirkulationsverluste	q_{TZ}		
Einheit	[kWh/(m ² a)]		
Passivhaus-Studien ¹⁾ [15, 16]	5,9 - 7,4	9,8	-
Optimus-Studie [14]	-	12,0 - 19,0	19,0 - 43,0
Eigene Messungen	-	9,8 - 18,0	29,8
Mittelwerte	6,6	13,1	26,3

¹⁾ stundenweise Zirkulationsabschaltung

Nutzenergiebedarf für Warmwasser [5]

- Daten zu Mehrfamilienhäusern in Form von über 2 Mio. abrechnungsrelevanten Messwerten der Firma ista
- Daten zu Ein- und Zweifamilienhäusern aus Programmen der Firma co2online
- Ergebnis: nutzflächenbezogene Trinkwarmwasserwärmebedarf für Mehrfamilienhäuser im Bereich zwischen 9 und 13 kWh/(m²a), Mittelwert: 11,1 kWh/(m²a) (ista)
- Mittelwert: 10 kWh/(m²a) (co2online)
- Berechnungsformel:

$$q_{TW} = \left\{ 15 - (A_{NWE,m} \cdot 0,04 \frac{1}{m^2}) \right\} \frac{kWh}{m^2 \cdot a}$$

Mit

q_{TW} : nutzflächenbezogener Trinkwarmwasserwärmebedarf, kWh/(m²a)

$A_{NWE,m}$: mittlere Nutzfläche der Wohneinheiten des Gebäudes (= A_N / n_{WE} mit n_{WE} : Anzahl der Wohneinheiten des Gebäudes), m²

Nebenbedingung: $q_{TW} \geq 7 \frac{kWh}{m^2 \cdot a}$

5.4 Trinkwarmwasserbedarf

Die Tabelle 6 stellt den Trinkwarmwasserbedarf unterschiedlichster Normen und Regelwerke für definierten Randparameter gegenüber. Die rotmarkierten Werte entsprechen denen aus der Norm gefundenen Angaben. Es wird ersichtlich, dass die DIN 4708 zu einer Überschätzung des täglichen Trinkwarmwasserbedarfs im Vergleich zu den anderen Normen führt. Vergleicht man die Werte aus der Tabelle mit den im Abschnitt 5.3.3 durchgeführten Studien lassen sich gut Übereinstimmungen finden. Er ist jedoch auch ersichtlich, dass Werte über 15 kWh/(m²a) denen der üblichen Praxis übersteigen. Im Rahmen der Untersuchung wird dennoch auf die Angaben aus der DIN 4708 zurückgegriffen und ein täglicher Bedarf von 2993 l für das gesamte Wohngebäude angenommen. Es wäre sinnvoll in einem weiteren Schritt zu untersuchen wie sich ein sehr geringerer Bedarf auf die Systemdynamik auswirkt. Tabelle 6: Gegenüberstellung des Trinkwarmwasserbedarfs unterschiedlichster Normen und Regelwerke

Tabelle 6: Gegenüberstellung des Trinkwarmwasserbedarfs unterschiedlichster Normen und Regelwerke

	DIN 4708	DIN EN 12831-3	DIN V 18559-10	VDI 2067-12	DIN V 4701-10, EnEV	VDI 4655	VDI 6002
Personenanzahl Pro WE [P/WE]	3.5						
Wohnfläche pro Haushalt [m ² /WE]	90.5						
Anzahl der Wohnungen, gesamt [-]	30						
spezifischer Warmwasserbedarf [l/(Pd)]	28.5	30.00	19.1	21.7	19.1	13.4	22.0
spezif. Bedarfswert Trinkwassererwärmung [kWh/(m ² a)]	22.36	15.06	15	16.95	12.5	10.53	17.26
personenbezogener Bedarf [kWh/(PaWE)]	607	409	407	460	407	286	468
täglicher Bedarf Pro WE [kWh/(dWE)]	5.82	3.92	3.90	4.41	3.90	2.74	4.49
täglicher Bedarf [kWh/d]	174.60	117.60	117.12	132.33	117.12	82.19	134.75
täglicher Warmwasserbedarf [m ³ /d]	2.993	2.016	2.008	2.281	2.008	1.409	2.310
Anmerkung	bezogen auf Einheitswohnung mit 5820 Wh/d	bezogen auf Temperaturspreizung 32K	bezogen auf Netto-Grundfläche (NGF)	personenbezogener Mittelwert mit normalen Verbrauch S.10	bezogen Gebäudenutzfläche = Wohnfläche x 1.2	1000 kWh/WE im Mehrfamilienhaus	je Vollbelegungsperson Pro Tag

5.5 Zapfprofil

Für die Zapfprofile wird auf die VDI 6002, VDI 4655, DIN 12831-3 und das Programm DHWCalc der Uni Kassel untersucht. Die Werte für die VDI 6002 und DIN 12831-3 liegen im ein-Stunden-Intervall vor. In der Abbildung 4 sind die beiden Zapfprofile für einen Wochentag dargestellt.

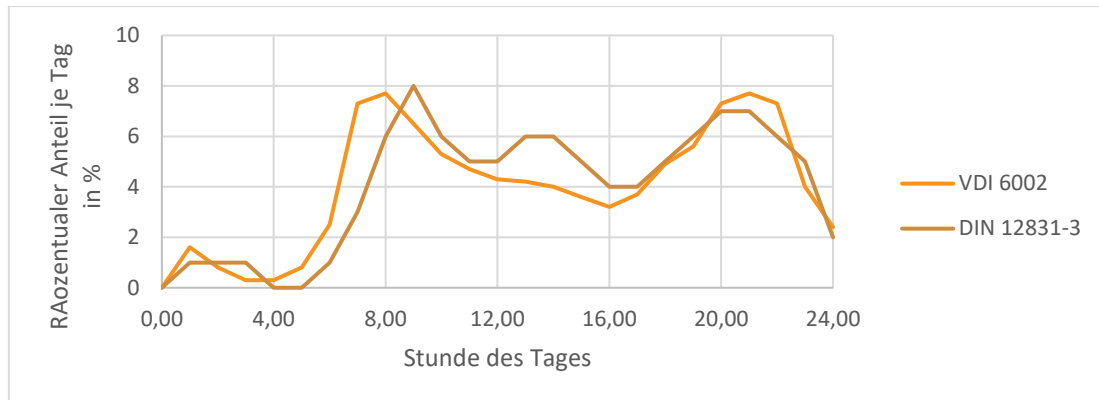


Abbildung 4: Stündlich aufgelöste Daten eines Standardzapfprofils aus VDI 6002 und DIN 12831-3 für Mehrfamilienhäuser an einem Wochentag

Die Peaks für beide Normen sind in den Morgen- und Abendstunden zu beobachten. Während die VDI 6002 von ganztägigen Entnahme ausgeht, ist in der Nachtstunde der DIN 12831-3 dies nicht zu sehen.

Die VDI 4655 hingegen stellt Daten im 15-Takt zur Verfügung. Es wird dabei unterschieden zwischen Wochentag oder Sonntag, Heiter oder Bewölkt sowie Übergangs-, Sommer- oder Wintertag. Für letzteres erfolgt die Abgrenzung in Abhängigkeit der mittleren Tagesaußentemperatur. Ob es sich um einen heiteren oder bewölkten Tag handelt, ist abhängig von Bewölkungsgrad des Himmels. In der Abbildung 5 sind die sechs normierten Zapfprofile für einen Wochentag und in der Abbildung 6 für einen Sonntag für Mehrfamilienhäuser bis zu 40 WE dargestellt. Es wird deutlich, dass im Vergleich zu den Stundenwerten die 15-minütigen Werte höhere Peaks und mehr Leerzeiten aufweisen.

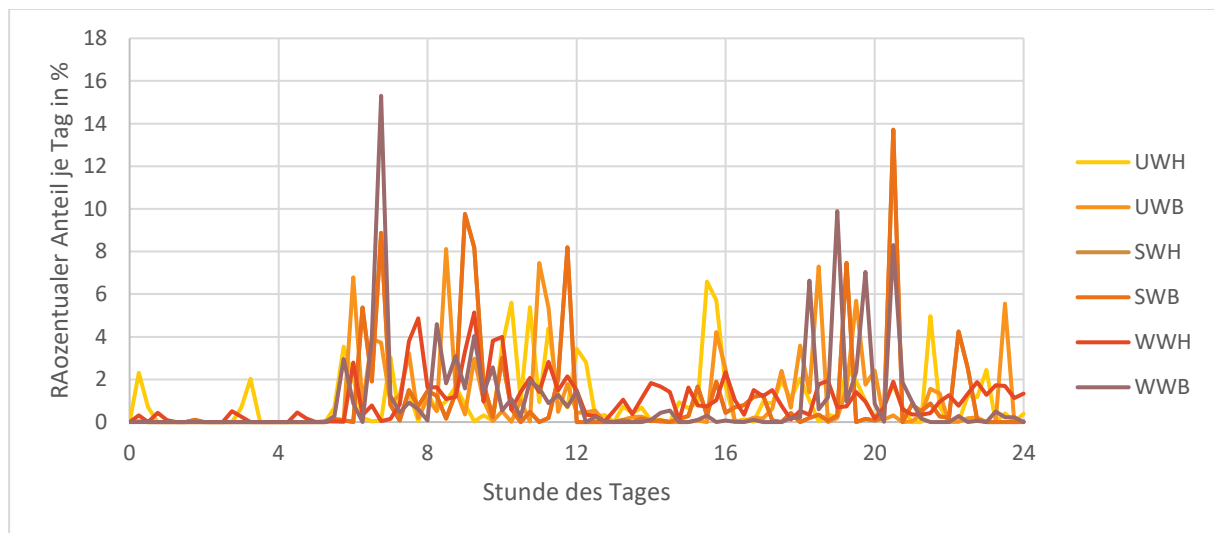


Abbildung 5: Gegenüberstellung der Zapfprofile der VDI 4655 nach Übergang (U), Sommer (S) und Winter (W) sowie Heiter (H) und Wolkig (W) für einen Wochentag für Mehrfamilienhäuser

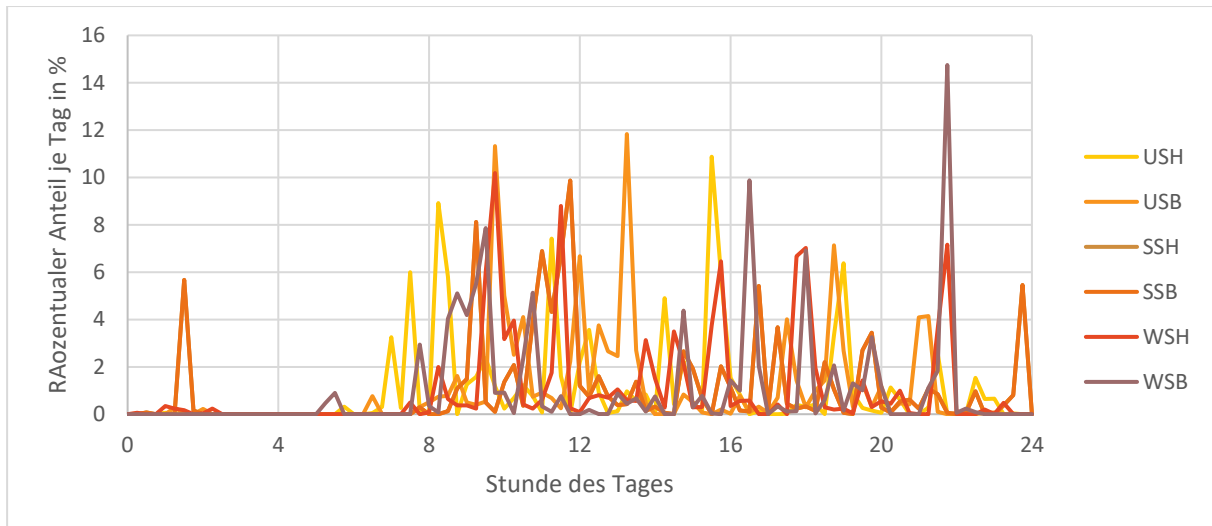


Abbildung 6: Gegenüberstellung der Zapfprofile der VDI 4655 nach Übergang (U), Sommer (S) und Winter (W) sowie Heiter (H) und Wolkig (W) für einen Sonntag für Mehrfamilienhäuser

Im nächsten Schritt wurden die normierten Zapfprofile der VDI 4655 in Abhängigkeit von Wochentag und Sonntag überlagert. Übergang, Sommer, Winter sowie heiter und bewölkt werden zusammengefasst. Die jeweilige Anzahl Pro Jahr wurde nicht berücksichtigt und gewichtet mit aufgenommen. Zudem wurde mit dem DHWCalc Programm der Uni Kassel ein Zapfprofil generiert und dies mit den modifizierten Daten der VDI 6002 gegenübergestellt. Das Ergebnis ist in der Abbildung 7 dargestellt. Die Daten der VDI wurden linear interpoliert und 10-Minutenwerte erzeugt. Auf diese Daten wurde ein Rauschen aufgelegt. Vergleicht man die drei Kurven miteinander wird deutlich, dass die DHWCalc-Kurve stärkere Fluktuationen und größere Leerzeiten aufweist. Die größten Peaks treten in den Morgen- und Abendstunden auf. Dies ist bei allen dreien analog. Die VDI 6002 – Noisy Kurve weist über den Tag hinweg eine homogenere Abnahme auf. Der maximale Prozentuale Anteil liegt mit 2,5 % weit unten den Werten der VDI 4655 mit knapp 4,5 % und der DHWCalc mit 6 %.

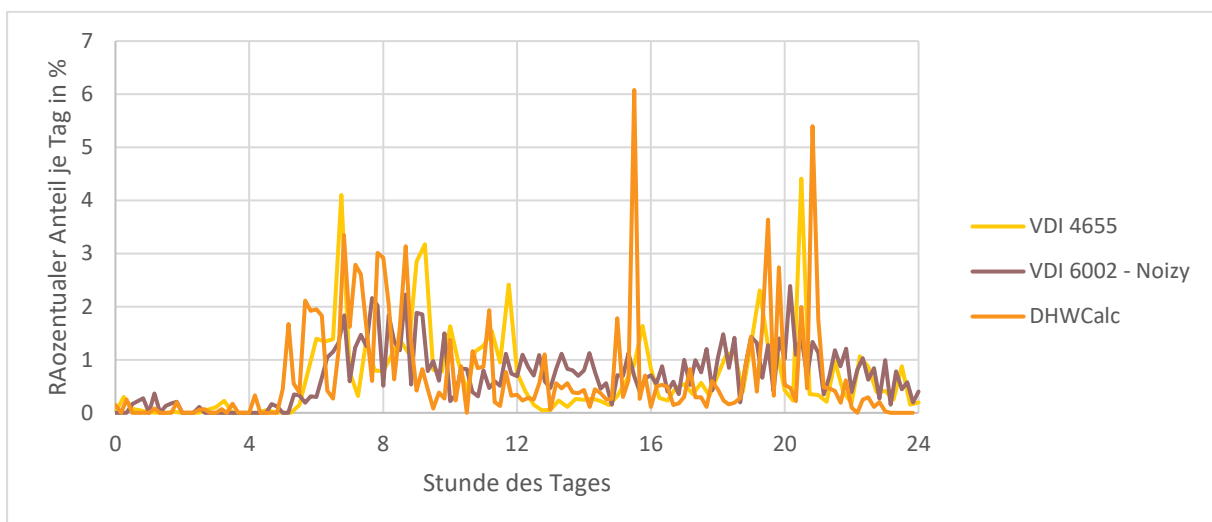


Abbildung 7: 10-minütig aufgelöste Daten eines Standardzapfprofils von gemittelten VDI 4655-Werten, gerauschten VDI 6002-Werten und mittels des DHWCalc-Excel-Tools generierten Werten für einen Wochentag für Mehrfamilienhäuser

Abschließend wird soll noch ein Vergleich zwischen der gemittelten VDI 4655 und der VDI 6002 mit Rauschen durchgeführt. Dies ist in der Abbildung 8 dargestellt.

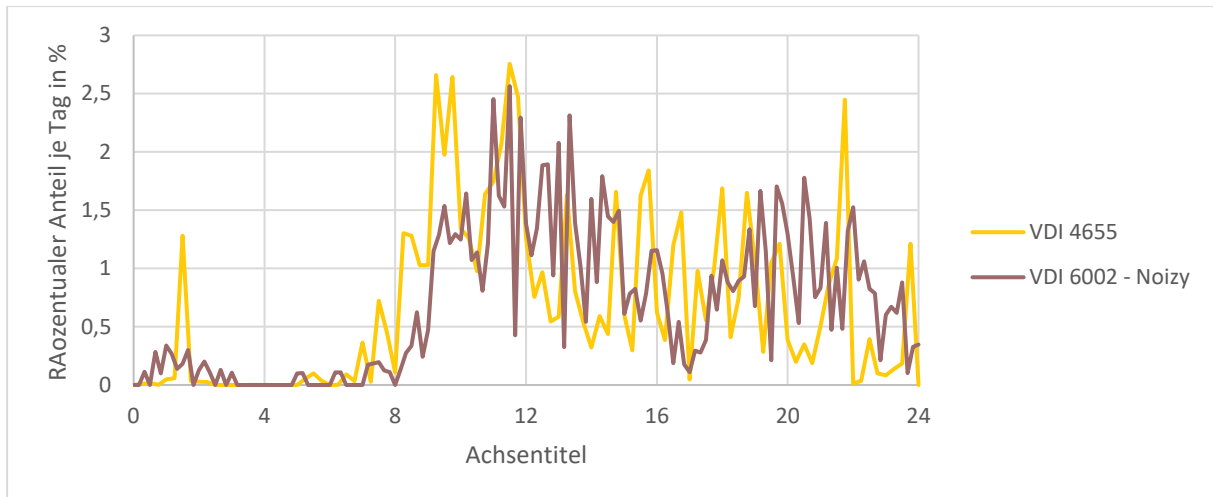


Abbildung 8: 10-minütig aufgelöste Daten eines Standardzapfprofils von gemittelten VDI 4655-Werten und gerauschten VDI 6002-Werten für einen Sonntag für Mehrfamilienhäuser

Während die VDI 6002 nachts von mehreren kleineren Zapfungen ausgeht geht die VDI 4655 von einer einmaligen starken Zapfung aus. Die Entnahme in den VDI 4655 tritt in den Morgenstunden früher auf als in der VDI 6002. Bei beiden steigt der Prozentuale Tagesanteil bei einer 10-müntigen Zapfung nicht über 2,5 %.

In der folgenden Studie soll die mit einem Rauschen beaufschlagten Daten der VDI 6002 als Grundlage für das Zapfprofil dienen. Die Abhängigkeit des Trinkwarmwasserbedarfs vom Wochentag und des jeweiligen Monats wird durch Korrekturfaktoren vorgenommen. Die entsprechenden Werte können ebenfalls der Norm entnommen werden. In der Abbildung 9 ist der Auszug der Werte aus der Software TSol für die VDI 6002 am Beispiel eines Mehrfamilienhauses zu entnehmen.

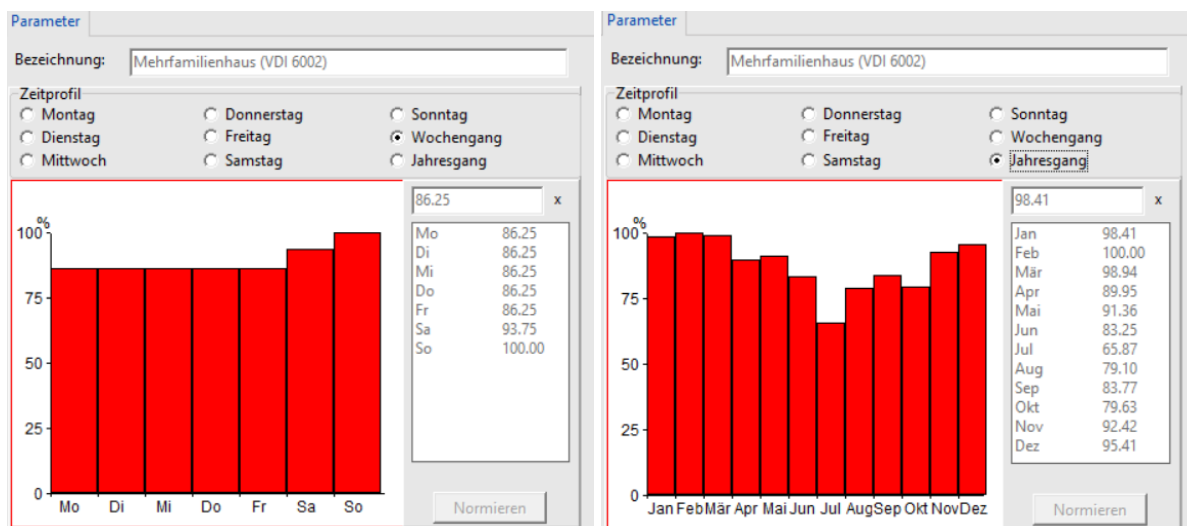


Abbildung 9: Abhängigkeit des Tagesprofils von dem Wochentag und der Jahreszeiten nach VDI 6002 aus TSol von ValentinSoftware GmbH

5.6 Charakteristischen Rohrlänge für die TWZ-Leitung

Aufgabe ist es die charakteristische Rohrlänge zu bestimmen, sodass im Auslegungsfall der Wärmeverlust bei 4 kW liegt. Die Temperaturdifferenz zwischen dem Vorlauf von 60 °C und den Rücklauf 55 °C beträgt 5 K.

Um den Rohrdurchmesser und damit auf den entsprechenden Wärmedurchgangskoeffizient Rückschluss zu nehmen, ist es notwendig den Rohrdurchmesser mit der Gleichung (1) zu bestimmen. Für die Strömungsgeschwindigkeit wird gemäß der DIN 1988-300 der Wert $u = 0,3$ m/s gewählt. Der Idealbereich wird mit 0,2 bis und 0,5 m/s vorgegeben.

$$\dot{Q}_{Loss,TWZ} = \rho \cdot \pi/4 \cdot d^2 \cdot u \cdot c_p \cdot (\vartheta_{VL} - \vartheta_{RL}) \quad (1)$$

Für den Durchmesser D ergibt sich dementsprechend ein Wert von 28.51 mm. Für die Zirkulationsleitung wird daher das DN 32 Rohr verwendet mit einem Innendurchmesser von 32 mm. Für den Volumenstrom ergibt sich ein Durchfluss von 11,49 l/min. Für die Gleichung (2) ergibt sich mit einem U-Wert von 0,21 W/mK schließlich eine charakteristische Rohrleitungslänge von etwa 500 m. Der U-Wert lässt sich der Tabelle 7 für 150 % EnEV entnehmen. Die logarithmische Temperaturdifferenz zwischen Rohr und Umgebung wird mit 37.44 K beziffert.

$$\dot{Q}_{Loss,TWZ} = U \cdot L_{char} \cdot \Delta\vartheta_{m,log} \quad (2)$$

Tabelle 7: U-Werte für die unterschiedliche Rohrdurchmesser und Rohrdämmstandards

Rohr DN	U-Werte in [W/(m·K)]			
	ungedämmt	50% EnEV	100% EnEV	150% EnEV
10	0,54	0,33	0,25	0,21
15	0,67	0,31	0,22	0,18
20	0,85	0,31	0,22	0,18
25	1,06	0,38	0,26	0,22
32	1,33	0,42	0,27	0,21
40	1,52	0,45	0,29	0,23
50	1,89	0,42	0,27	0,21
65	2,39	0,47	0,30	0,24
80	2,79	0,49	0,31	0,24
100	3,59	0,52	0,32	0,24

6 Steuer- und Regelungsalgorithmen

Die im Folgenden dargestellten Benennungen beziehen sich auf die, im Schemenhandbuch verwendeten, Nomenklatur. Bei allen beschriebenen Regler handelt es sich um PI-Regler deren Werte teilweise dem Schemenhandbuch entnommen, adaptiert oder bei fehlende Informationen angenommen wurden.

6.1 Basic Controller

Der Basic Controller ist das Grundelement auf denen die eigentlichen Regler für die unterschiedlichen Untersuchungsvarianten aufbauen. Er beinhaltet die wesentlichen Ein- und Ausgänge der Steuer- und Regelungsparameter sowie Parameter zu den Referenztemperaturen, PI-Reglern und Volumenströmen. Gleichzeitig bietet der Basic Controller die Grundlage zur Steuer- und Regelung für die Trinkwasserzirkulation und definiert den Betriebszustand TWWUse. StopCirculation und TWZControl können über Eingabefenster der Regler definiert werden. Ist StopCirculation aktiv, findet eine zeitgesteuerte Abschaltung der Zirkulation statt. Mittels TWZControl kann entschieden werden, ob der Zirkulationskreis einen definierten Volumenstrom hat oder mittels PI-Regelung auf eine bestimmte Rücklauftemperatur ausregelt werden soll.

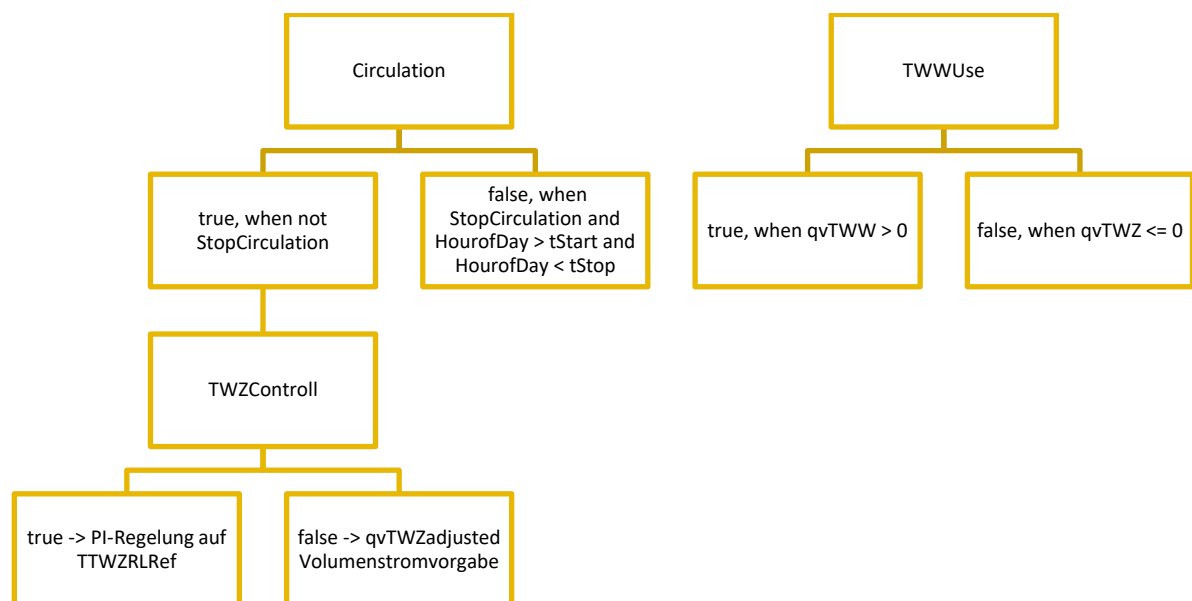


Abbildung 10: Steueralgorithmus Basic Controller

6.2 Untersuchungsvariante IL-GA COMFORT

Die Untersuchungsvariante IL-GA COMFORT basiert auf dem Speicherladeprinzip mit einem Wärmeübertrager. Das Anlagenschema ist der Abbildung 11 zu entnehmen.

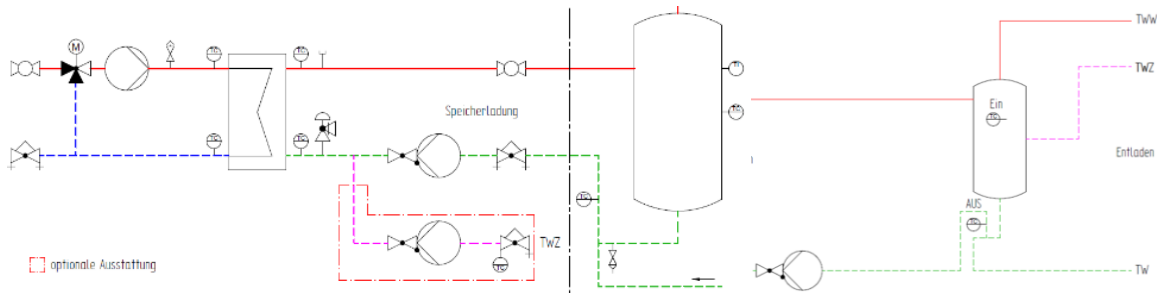


Abbildung 11: Anlagenschema Untersuchungsvariante IL-GA COMFORT (links) mit angepasster Zirkulationseinspeisung (rechts)

Der Heizkreis wird konstant mit 70 °C warmen Wasser beliefert und besteht aus einem geregelten 3-Wege-Mischventil (YFW) und einer An/Aus-Taktenden Ladepumpe (SLP1). Der Trinkwarmwasserkreis besteht aus einer Speicherladeseite mit geregelter Speicherladepumpe (SLP2) und einer Abnehmerseite mit TWW-Abnehmer und Zirkulationsleitung. Getrennt werden diese hydraulisch durch einen Trinkwarmwasserspeicher. Dieser ist mit zwei Temperatursensoren bestückt, welche sich auf der Höhe von etwa 50 % (TStorageEIN) und 0 % (TStorageAUS) der Speicherladung befinden. Der Zirkulationskreis ist direkt in den Speicher eingebunden und befindet sich auf etwa 70% des Speichervolumens. Heizungs- und Trinkwasserkreis sind über einen Wärmeübertrager thermisch miteinander gekoppelt.

Die Legionellschaltung „HeatingLegionella“ tritt einmal am Tag in Kraft, meist dann wenn die Zeit mit der geringsten Entnahme erwartet wird. In der Studie wird wie im Schemenhandbuch der Startzeitpunkt auf 3 Uhr gesetzt. Die Speicherladepumpe trinkwarmwasserseitig (SLP2) wird ebenso wie Ladepumpe heizungsseitig (SLP1) auf Vollast hochgefahren, die Zirkulationspumpe (ZKP) hingegen herunter. Das 3-Wege-Mischventil auf der Heizungsseite (YFW) regelt auf die Speicherladetemperatur von 65 °C auf der Trinkwasserseite. Wenn der untere Speicherfühler TStorageAUS die Soll-Temperatur von 60°C erreicht hat, gilt der Betriebszustand „HeatingLegionella“ als beendet. Die Pumpen werden mit Verzögerung heruntergefahren.

Wird am Speicherfühler TStorageEIN, der sich in der Mitte des Speichers befindet, die Temperatur von 55 °C unterschritten, wird der Betriebszustand „LoadStorage“ eingeleitet. Die Speicherladepumpe auf der Trinkwarmwasserseite (SLP2) wird binnen 90 Sekunden auf Vollast hochgefahren und regelt dann ebenso wie das 3-Wege-Mischventil auf der Heizungsseite (YFW) auf die Speicherladevorlauftemperatur von 60 °C. Die Ladepumpe auf der Heizungsseite (SLP1) wird ebenfalls auf Vollast hochgefahren und mit festgestellten konstanten Volumenstrom betrieben.

Steigt am mittleren Speicherfühler TStorageEIN die Temperatur über 57 °C, geht die Speicherladepumpe auf der Trinkwasserseite (SLP2) in eine reduzierte Speicherladung „LoadStorageReduction“ über. Im Schemenhandbuch werden zwei unterschiedliche Methoden aufgeführt. Während der Modus 0 den Volumenstrom in Abhängigkeit vom unteren Speicherfühler und des Wärmeübertrager-Austrittstemperatur heizungsseitig regelt, erfolgt dies im Modus 1 in Abhängigkeit der Temperatur von den beiden Speicherfühlern. Beide Varianten sind im Regler implementiert. Als Standard ist der Modus 1 eingestellt.

Sobald die Speichertemperatur am unteren Speicherfühler über 57 °C steigt, werden die Speicherladung und die reduzierte Speicherladung beendet. Die Ladepumpe auf der Heizseite (SLP1) wird heruntergefahren. Die Speicherladepumpe auf der Trinkwasserseite (SLP2) folgt mit einer Verzögerung

von 60 Sekunden. Der Betriebszustand „Circulation“ wird aktiv, die Zirkulationspumpe (ZKP) geht wieder in Betrieb und führt zum erneuten Entladen des Speichers.

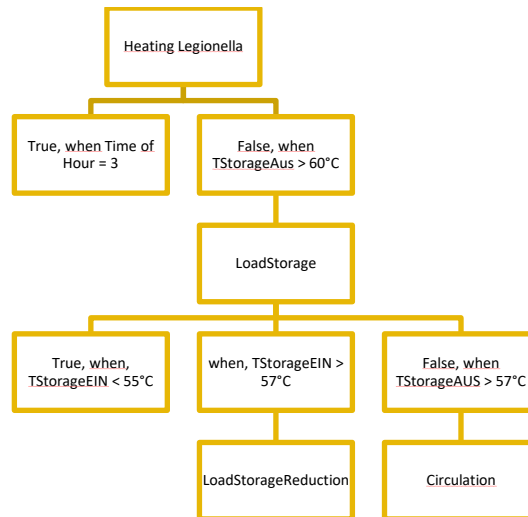


Abbildung 12: Steueralgorithmus Untersuchungsvariante IL-GA COMFORT

Komponentenverhalten:

- 3-Wege-Mischventil Heizkreis (YFW):
 - PI-Regelung auf Speicherladevorlauftemperatur Trinkwasserkreis (VFW) (Standard: 60 °C, HeatingLegionella: 65°C), wenn Speicherladepumpe Trinkwarmwasser aktiv
- Speicherladepumpe Trinkwasserkreis (SLP2):
 - PI-Regelung auf Speicherladevorlauftemperatur (Standard: 60°C), wenn LoadStorage
 - Regelung aus Schemenhandbuch, wenn LoadStorageReduction
 - Berücksichtigung von Ab- und Abfahrzeiten
 - Maximaler Volumenstrom bei der Speicherdurchladung, wenn HeatingLegionella
- Ladepumpe Heizkreis (SLP) :
 - Konstanter Volumenstrom, wenn Speicherladepumpe Trinkwasserseitig aktiv ist
- Zirkulationspumpe (ZKP):
 - Regelung gemäß Abschnitt 6.1, wenn LoadStorageReduction nicht aktiv ist

Betriebszustände:

- HeatingLegionella:
 - Die Legionellenschutzschaltung tritt einmal täglich in Kraft (Standardwert: 3 Uhr) und ist beendet wenn der untere Speicherfühler 60°C erreicht hat.

6.3 Untersuchungsvariante IL-VN VOR-NACHWÄRMER

Das Steuer- und Regelung der Untersuchungsvariante IL-VN VOR-NACHWÄRMER ist analog zu der der Untersuchungsvariante IL-GA COMFORT (siehe Abschnitt 6.2) mit dem Unterschied, dass die Zirkulation nicht direkt an den Speicher angebunden ist, sondern konstruktiv zwischen Vor- und Nachwärmer

angebracht ist wie in der Abbildung 13 zu sehen ist. Die Zirkulation wird während der Speicherbeladung oder reduzierten Speicherladung nicht ausgesetzt, sondern ist dauerhaft in Betrieb.

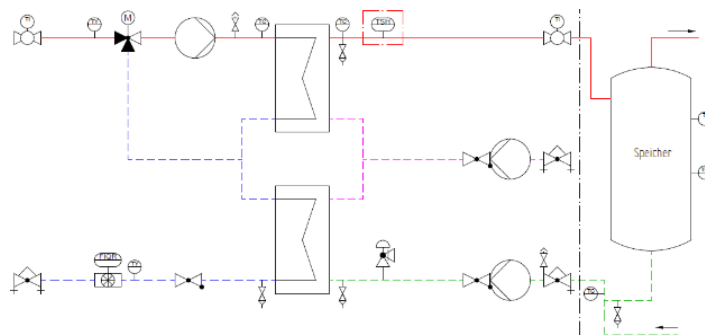


Abbildung 13: Anlagenschemata Untersuchungsvariante IL-VN VOR-NACHWÄRMER

6.4 Untersuchungsvariante IL-RA PREMIUM

Die Untersuchungsvariante IL-RA PREMIUM ist eine steuer- und regelungstechnische Erweiterung zur Untersuchungsvariante IL-VN VOR-NACHWÄRMER. Der Heizwasserkreis wird statt 70 °C mit 80 °C Wasser versorgt. Der Trinkwarmwasserspeicher wird indirekt angebunden und nicht wie in der Variante IL-VN VOR-NACHWÄRMER direkt durchströmt. Dies ist in der Abbildung 14 zu sehen.

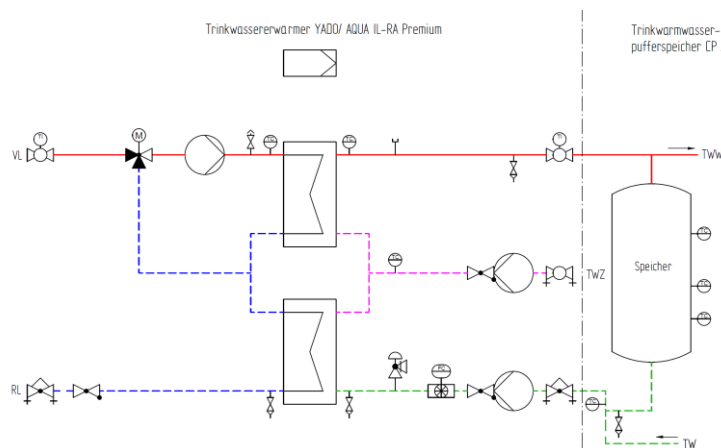


Abbildung 14 Anlagenschemata Untersuchungsvariante IL-RA PREMIUM

Die modifizierte Regelung führt zu einer Minderung der Speicherdurchströmung. Zusätzlich ist ein weiterer Speicherfühler TStorageRA (SF2) angebracht, der sich bei 20% der Speicherladung befindet.

Die Legionellenschaltung „HeatingLegionella“ trifft in Kraft, wenn die Temperatur von 60 °C am unteren Speicherfühler TStorageAUS (SF3) binnen von 23,5 Stunden nicht erreicht wird. Die Speicherladung wird dann beendet, wenn die Temperatur am Speicherfühler TStorageAUS die 60 °C überschreitet.

Wird die Temperatur am Speicherfühler TStorageEIN (SF1) von 58 °C unterschritten oder sinkt der Speicherladezustand auf unter 75 %, beginnt die Speicherladung „LoadStorage“. Die Speicherladepumpe wird hierbei über eine Kurve in Abhängigkeit des Speicherladezustandes angesteuert. Die Tauscherladepumpe besitzt zwei unabhängige Regelkreise auf die Vorlauftemperaturen vor und nach den Wärmeübertrager. Deren Signale werden jeweils überlagert und das maximale Stellsignal an die Pumpe übergeben. Die Zirkulationspumpe regelt auf eine Temperaturdifferenz von 5 Kelvin zwischen Vorlauf und Zirkulationsrücklauf.

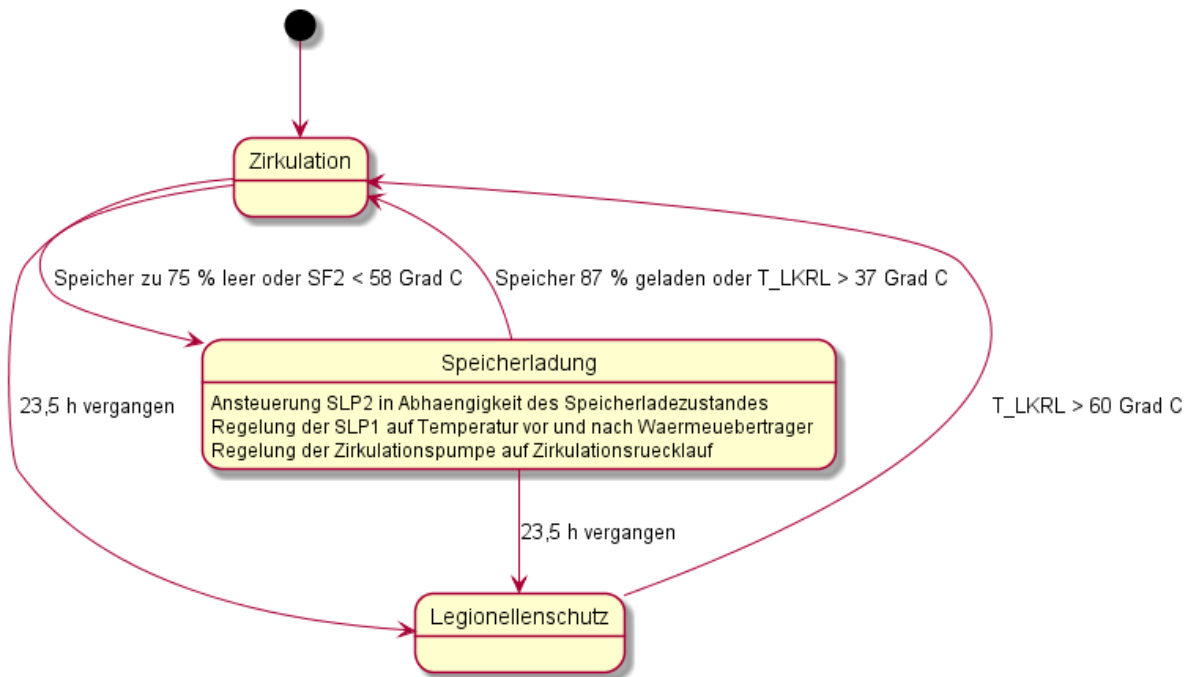


Abbildung 15: Steueralgorithmus Untersuchungsvariante IL-RA PREMIUM

Komponentenverhalten:

- 3-Wege-Mischventil (YFW) und Zirkulationspumpe (ZKP):
 - Analog Varianten: IL-VN VOR-NACHWÄRMER
- Ladepumpe Heizkreis (SLP):
 - In Abhängigkeit der Vorlauftemperatur vor und nach dem Wärmeübertrager
- Speicherladepumpe Trinkwasserkreis (SLP2):
 - In Abhängigkeit des Speicherladezustandes
 - Bei Legionellschaltung auf minimal 35 % Ansteuerung begrenzt

Betriebszustände:

- HeatingLegionella:
 - Die Legionellenschutzschaltung tritt in Kraft, wenn am unteren Speicherfühler (SF3) die Temperatur von 60°C in binnen eines bestimmten Zeitintervalls (Standard: 23.5 h) nicht erreicht wird. Zur Aktivierung dieser Option muss der LegionellaTimer ausgeschaltet werden.

6.5 Untersuchungsvarianten ID-GA COMFORT und ID-VN VOR-NACHWÄRMER

Die Untersuchungsvarianten bauen auf dem Durchflussprinzip auf. Während die Variante Gehäuse Autark (GA) nur einen Wärmeübertrager besitzt, sind bei der Variante Vorwärmer/Nachwärmer (VN) zwei Wärmeübertrager vorgesehen, dem Vor- und Nachwärmer. Dies ist in der Abbildung 16 dargestellt.

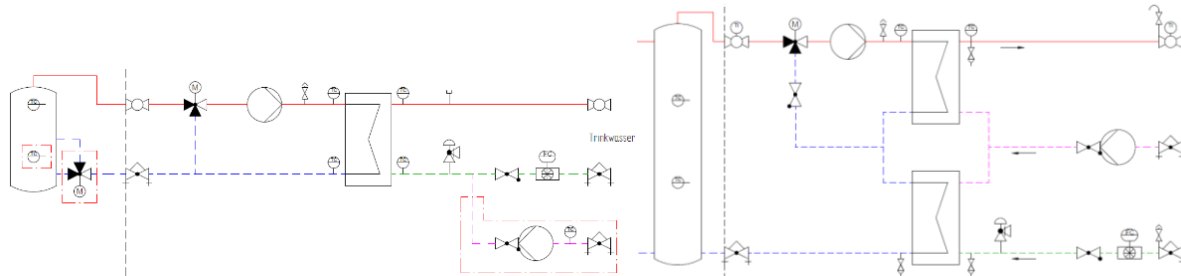


Abbildung 16: Anlagenschema Untersuchungsvarianten ID-GA COMFORT und ID-VN VOR-NACHWÄRMER

Der Zirkulationsrücklauf wird bei der Variante ID-GA COMFORT vor dem Wärmeübertrager dem Kaltwasseranschluss beigefügt. Bei der Variante ID-VN VOR-NACHWÄRMER erfolgt die Einspeisung des Zirkulationswassers zwischen dem Vor- und Nachwärmer. Der Warmwasserspeicher hat ein Volumen von etwa 500 l und wird auf der mit 70 °C beliefert.

Der Wärmespeicher ist nicht wie beim Speicherladeprinzip auf der Trinkwasserseite, sondern auf der Heizungsseite angebracht. Zudem besitzt der Heizungskreis über ein 3-Wege-Mischventil (YFW) und eine Speicherladepumpe (SLP). Das 3-Wege-Mischventil (YFW) regelt auf die Nachwärmer-Eintrittstemperatur Heizkreisseitig (VFP) in abhängig der Trinkwarmwasserentnahme d.h. bei minimaler Trinkwarmwasserzapfung liegt die Referenztemperatur bei 62 °C und bei maximaler Zapfung bei 69°C. Dazwischen wird Sollwert linear interpoliert. Die maximale Entnahmemenge wird mit 41,66 l/min beziffert. Die Speicherladepumpe (SLP) regelt auf die Trinkwarmwasservorlauftemperatur (VWF) nach dem Nachwärmer auf 60 °C. Sie wird heruntergefahren, wenn weder ein Trinkwarmwasserentnahme vorhanden noch die Trinkwasserzirkulation aktiv ist.

Ist die Speichertemperatur am Temperaturfühler TStorageSF2 (SF2) kleiner als die Rücklauftemperatur (RLF) wird das Wasser in der Mitte des Speicher bei 40 % Ladezustand eingeschichtet, ansonsten gelangt dies in die untere Speicherschicht bei 0 % Ladezustand.

Der Warmwasserspeicher wird mit 70 °C beladen, wenn die Temperatur am Speicherfühler TStorageEIN (SF), der sich bei 50% Speicherladung befindet, die 65 °C unterschreitet. Steigt die Temperatur am unteren Speicherfühler TStorageAUS bei 10 % Speicherladung über 67 °C an, wird die Speicherladung „LoadStorage“ beendet. Die Beladung des Speichers erfolgt mit dem maximalen Volumenstrom der Pumpe, der während der Untersuchung mit 8 m³/h angesetzt ist.

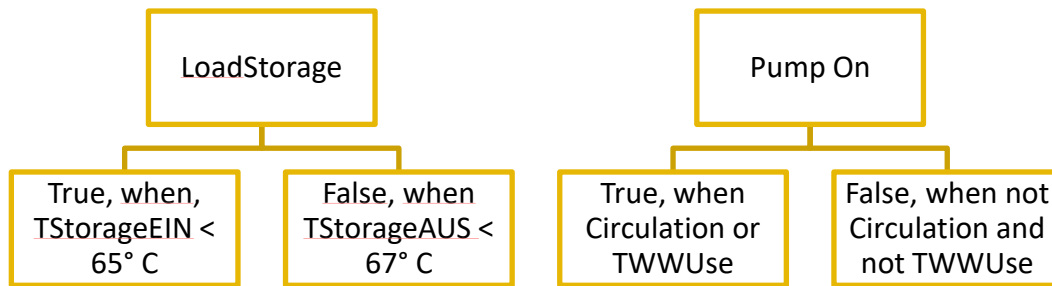


Abbildung 17: Steueralgorithmus Untersuchungsvariante ID-GA COMFORT

Komponentenverhalten:

- 3-Wege-Mischventil Heizkreis (YFW):
 - PI-Regelung auf Heizkreisvorlauftemperatur in den Nachwärmer in Abhängigkeit der Trinkwarmwasserentnahmemenge: $62^{\circ}\text{C} + q_{\text{TWW}} / q_{\text{TWWmax}} * 7\text{K}$
- Speicherladepumpe Heizkreis (SLP):
 - PI-Regelung auf Trinkwarmwasservorlauftemperatur (Standard: 60°C)
- Pumpe Speicherladung:
 - Maximaler Volumenstrom bei der Speicherdurchladung, wenn LoadStorage

Betriebszustände:

- PumpOn:
 - Die Ladepumpe im Heizkreis wird aktiv, wenn eine Trinkwasserentnahme vorhanden oder die Trinkwasserzirkulation aktiv ist.

6.6 Untersuchungsvariante ID-RA PREMIUM

Die Untersuchungsvariante ID-RA PREMIUM ist eine Optimierung zur Untersuchungsvariante ID-VN VOR-NACHWÄRMER. Sie verfügt ebenso über einen Vorwärmer und Nachwärmer, ist darüberhinaus jedoch mit einem 3-Wege-Verteilventil (YK1) auf der Heizungsseite zwischen den beiden Wärmeübertragern ausgestattet. Der Speicher ist in zwei Speicher aufgeteilt, die zusammen wie in der Untersuchungsvariante IL-RA PREMIUM größer dimensioniert sind. Die Warmwasservorlauftemperatur in den Speicher wird mit 80°C als konstant angenommen. Neben der Entnahmestelle am oberen Ende des Speichers verfügt die Untersuchungsvariante über eine weitere Entnahmestelle am unteren Ende des oberen Speichers. Die Einspeisestellen befinden sich im unteren Speicher jeweils am oberen und unteren Ende. Hydraulisch sind die zwei Speicher über eine extra Leitung miteinander gekoppelt. Die Abbildung 18 zeigt das Anlagenschema der Untersuchungsvariante ID-RA PREMIUM.

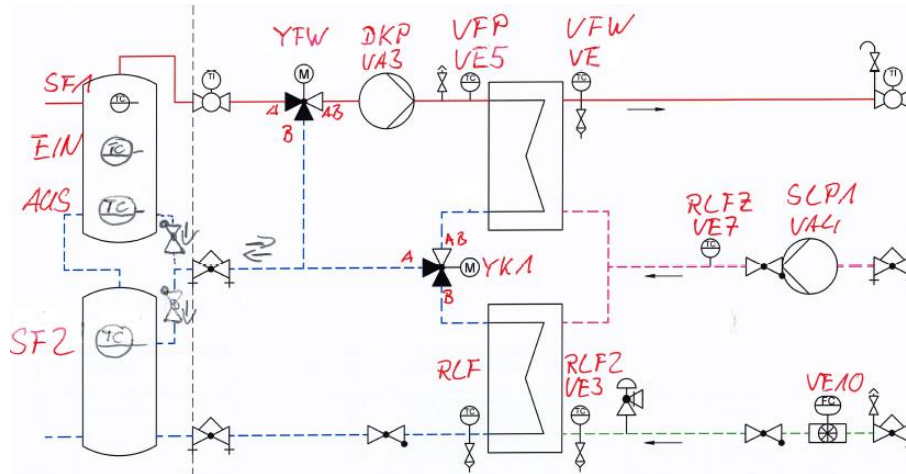


Abbildung 18: Anlagenschema zur Untersuchungsvariante ID-RA PREMIUM

Die Regelung der Anlage erfolgt in Abhängigkeit der Trinkwarmwasserentnahmemenge. Der maximale Referenzwert $q_{vTWWR_{ref}}$ ist auf 20 l/min festgelegt, kann aber angepasst werden. Die Werte der Entnahme werden mit dem Huba Controll Volumenstromsensoren gemessen, welche auf den Vortex-Prinzip beruhen.

Ist keine Trinkwarmwasserentnahme vorhanden, sondern nur ein reiner Zirkulationsbetrieb regelt die Speicherladepumpe auf der Heizungsseite auf die Vorlauftemperatur auf der Trinkwarmwasserseite (VFW) auf 60 °C, während das 3-Wege-Mischventil (YFW) analog der anderen ID-Varianten auf die Vorlauftemperatur Heizungsseitig in den Nachwärmer (VFP) in Abhängigkeit der Trinkwasserentnahme regelt. Dieser maximale Werte der Trinkwasserentnahme $q_{vTWW_{max}}$ ist nicht analog zum Referenzwert $q_{vTWWR_{ref}}$. Dies wird mit State 1 gekennzeichnet. Der Ausgang „B“ des 3-Wege-Verteilventils (YK1) ist geschlossen. Die Wärme wird dann in den oberen Teil des unteren Speichers zugeführt. Steigt die Trinkwarmwasserentnahme an, bleibt aber unterhalb der 1 l/min wird analog dem State 0 verfahren.

Erst beim Überschreiten der 1 l/min Schwelle öffnet sich das Ventil (YK1). Für die ersten 20 Sekunden wird der Ausgang „B“ auf 20 % gehalten. Danach regelt das Ventil (YK1) die Öffnung von „A“ und „B“ auf die Primärücklauftemperatur (RLF) von 35 °C.

Steigt die Trinkwarmwasserentnahme weiter an und überschreitet den Grenzwert von $0,5 \cdot q_{vTWWR_{ref}}$ öffnet sich das Ventil (YK1) zum Ausgang „B“ auf 100%. Zusätzlich zur Entnahme aus dem oberen Speicher wird ein Teil aus dem unterem Speicher mit Hilfe des 3-Wege-Mischventils zugemischt. Durch ein Ventil wird die Einspeisung in den oberen Teil des unteren Speichers verhindert.

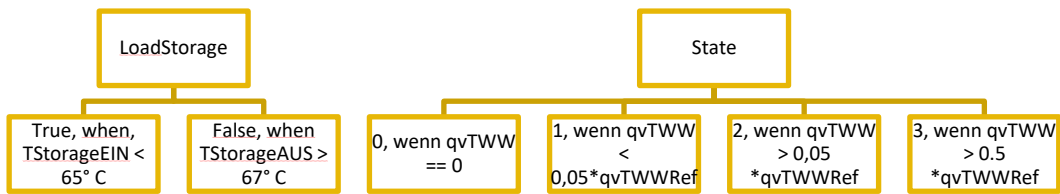


Abbildung 19: Steueralgorithmus Untersuchungsvariante ID-RA PREMIUM

Komponentenverhalten:

- 3-Wege-Mischventil, Ladepumpe und Speicherladepumpe Heizkreis:
 - Analog
- Verteilventil Heizkreis:
 - Ausgang A offen, B zu, wenn $State == 0$
 - Öffnen Ventil B auf 20% für 20 Sekunden, wenn $State == 2$
 - PI-Regelung auf Primärrücklauftemperatur (Standard $35^{\circ}C$), wenn $State == 2$
 - Öffnen Ventil B auf 100%, wenn $State == 3$

7 Modellierung

Die Anlagenmodelle werden in der kommerziellen Software SimulationX 4.1 erstellt. Das Programm dient zur Simulation energietechnischer Systeme und Anlagen und basiert auf der objektorientierten Modellierungssprache Modelica. SimulationX arbeitet unter Microsoft Windows. Dynamische und hochkomplexe Probleme lassen sich ebenso damit lösen, wie die Schnittstellenkopplung zu anderen externen Programmen. Im Rahmen der Untersuchung wird auf die „Green City“-Bibliothek von SimulationX zurückgegriffen, die zusätzlichen mit eigenen Modellen im Rahmen des Projekts ergänzt wird. Die Berechnung erfolgt anhand von Energie- und Massenbilanzen. Da die Hydraulik bei der Bilanzierung nicht berücksichtigt wird, müssen strömungstechnische Zwangsbedingungen mittels gezielte Steuerungseingriffe definiert werden. Jedoch führt diese Modellreduktion zu einer deutlich höheren Simulationsperformance und ist daher wichtig um die Simulation langer Betrachtungsperioden realisieren zu können.

7.1 Umgesetzte Modellierungsgrundsätze

Beispielhaft ist in der Abbildung 20 das Simulationsmodell in SimulationX für die Untersuchungsvariante ID-GA COMFORT dargestellt. Farbige werden die einzelnen Komponenten hervorgehoben.

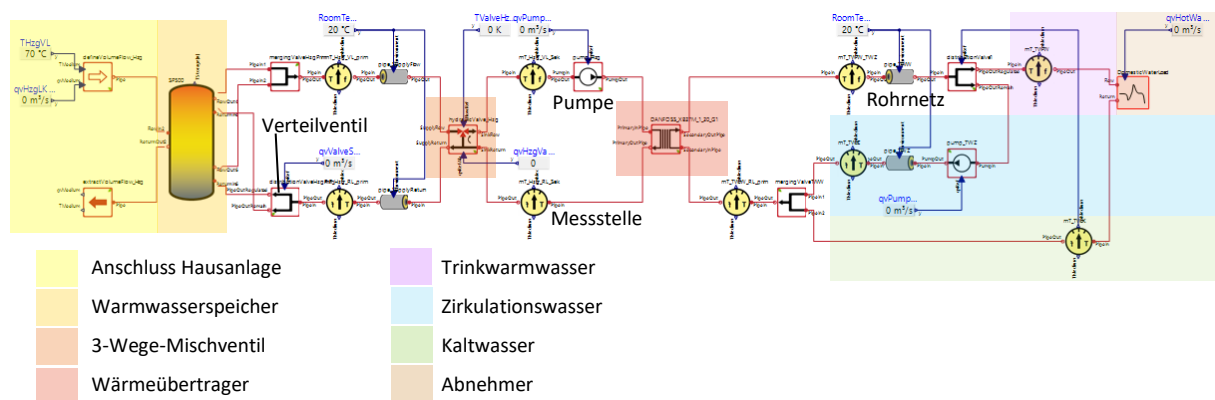


Abbildung 20: Beispielhafte Darstellung des Simulationsmodells in SimulationX für die Untersuchungsvariante ID-GA COMFORT

Abbildung 21 zeigt dem gegenüber den Modellaufbau des vergleichbaren IL-GA COMFORT-Systems, welches ein Speicherladesystem abbildet. Die Struktur der Modelle entspricht sehr genau dem Aufbau und den Komponenten der jeweiligen R&I-Schemata der einzelnen Systemvarianten.

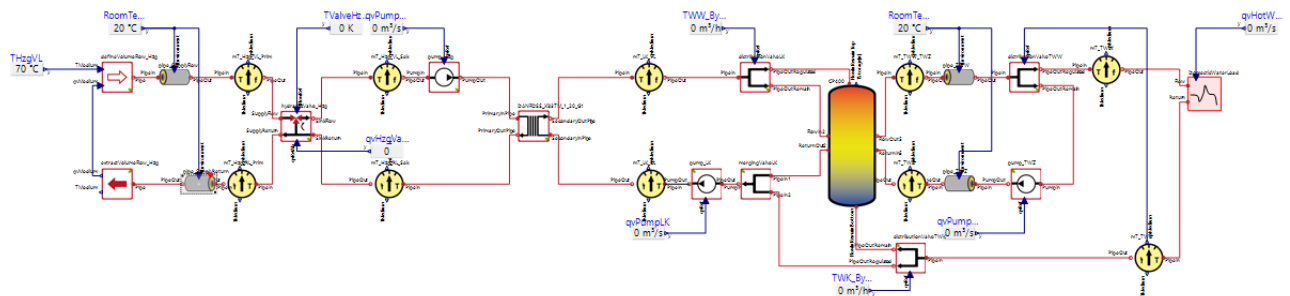


Abbildung 21: Beispielhafte Darstellung des Simulationsmodells in SimulationX für die Untersuchungsvariante IL-GA COMFORT

Die jeweils den Modellen hinterlegten Regelungssysteme sind als zusätzliche Simulationsmodellkomponenten den Modellen beigelegt, werden aber in den Darstellungen in Abbildung 20 und Abbildung 21 nicht separat gezeigt.

Die jeweilige Regelung der untersuchten System ist darin jeweils abgeleitet von einer Basisregelung, die standardmäßige Komponenten wie die Regelung der Trinkwasserzirkulation (z.B. konstant oder PI-Regler auf Zirkulationssolltemperatur) sowie alle notwendigen Ein- und Ausgangssignale enthält. Die Umsetzung der Regelungslogik erfolgte in Form von textuell beschriebenen Algorithmen ebenfalls in der Modellierungssprache Modelica. Die Umsetzung der Regler erfolgte dabei auf Basis der in Abschnitt 6 gezeigten Grundsätze.

Für die realitätsnahe Simulation eines realen Systemverhaltens sind neben der thermischen Trägheit (passiv) des jeweiligen Systems (z.B. Speicher, Zirkulationsleitungen) auch das Anfahr- und Verzögerungsverhalten einzelner integrierter, aktiver Systemkomponenten (z.B. Pumpen, Ventile) relevant. Dafür wurden für die jeweilige Komponente entsprechende Verzögerungs- und Anfahrzeiten in der umgesetzten Anlagenregelung als Übertragungsfunktionen integriert.

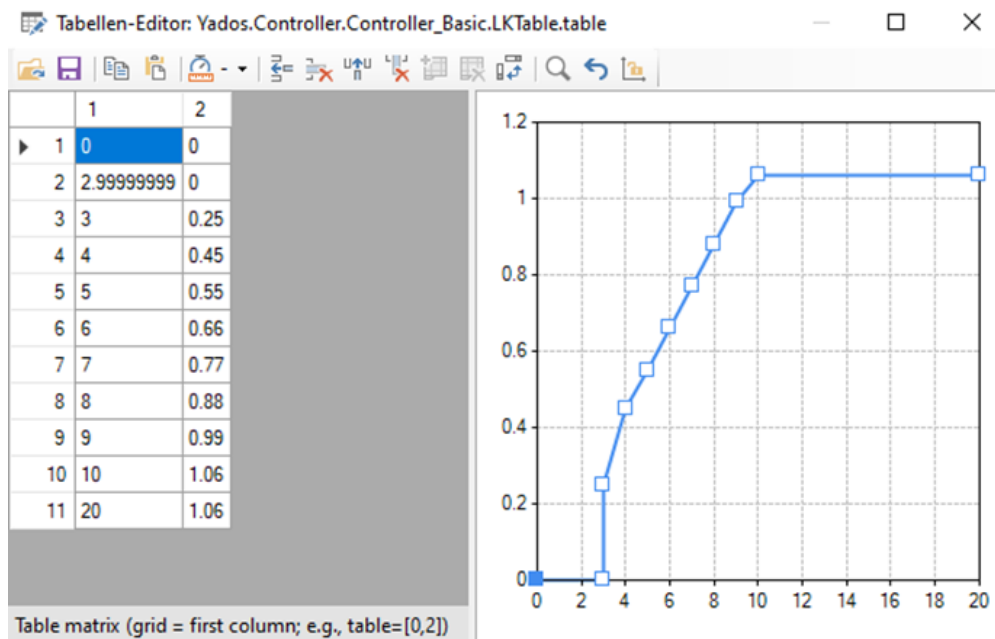


Abbildung 22: Darstellung der Anfahrkurve der Speicherladepumpe

Für die im System integrierten Pumpen wurde darüber hinaus auch das detaillierte elektrische Ansteuerungsverhalten implementiert. Die erfolgte, wie in Abbildung 22 gezeigt, mittels festparametrierter Anfahrkurven im Regler sowie einer detaillierten Abbildung der Spannungsregelung zwischen 3 V und 10 V, was einem Volumenstrom zwischen 25% und 100% des maximalen Volumenstromes entspricht.

Die Wärmebereitstellung für die jeweiligen Systeme wurde anhand der Vorgaben aus Abschnitt 6 als „unendliche“ Wärmequelle mit konstanter Versorgungstemperatur (d.h. 70 °C bzw. 80°C in den RA-Varianten) umgesetzt.

7.2 Beschreibung des Lastverhaltens

Im Gegensatz zur Modellierung des Anlagen- und Versorgungssystemverhaltens sowie der Anlagenregelung unterliegt die Abbildung des Lastverhaltens, also der Warmwasserabnahme (d.h. Zapfmenge) keinem physikalischen oder deterministisch-heuristischem Systemverhalten. Diese wird ausschließlich durch das menschliche Verhalten beeinflusst und kann daher entweder durch wahrscheinlichkeitstheoretische Ansätze (z.B. Multi-Agenten-Simulation) oder Messdaten beschrieben werden.

Um eine realistische Abbildung des Lastverhaltens mit vergleichbar wenig Aufwand realisieren zu können, wurde in Abschnitt 5.3 eine umfangreiche Recherche nach Quellen und Studien zum Warmwasserverbrauch in Wohngebäuden (d.h. MFH) durchgeführt. Für den mittleren Tagesbedarf an Warmwasser wurde dabei auf Messwerte aus Hoyerswerda sowie Vorgaben der DIN 4708 zurückgegriffen.

Jedoch bedürfen die dynamischen Modelle der Anlagentechnik einer weitaus höheren zeitlichen Auflösung der zu simulierenden Lastprofile. Daher wurden die Tagesverbrauchsdaten mit standardmäßigen Zapfprofilen der VDI 6002 überlagert. Diese Norm, die der Dimensionierung der solaren Trinkwassererwärmung dient, beschreibt Zapfprofile für unterschiedliche Nutzungszeiten (z.B. Wochenende, Werktag, Jahresverlauf) in stündlicher Auflösung. Da jedoch für die Dimensionierung des Spitzenlastbedarfs der Trinkwassererwärmung auf eine zeitliche Auflösung von 10min zurückgegriffen werden muss, wurde darüber hinaus ein Generator genutzt, der diesen Lastprofilen ein hochfrequentes Rauschen überlagert.

Ein resultierendes beispielhaftes Zapfprofil, welches als simulationszeitabhängige Lastkurve in die Modelle integriert wurde, zeigt Abbildung 27.

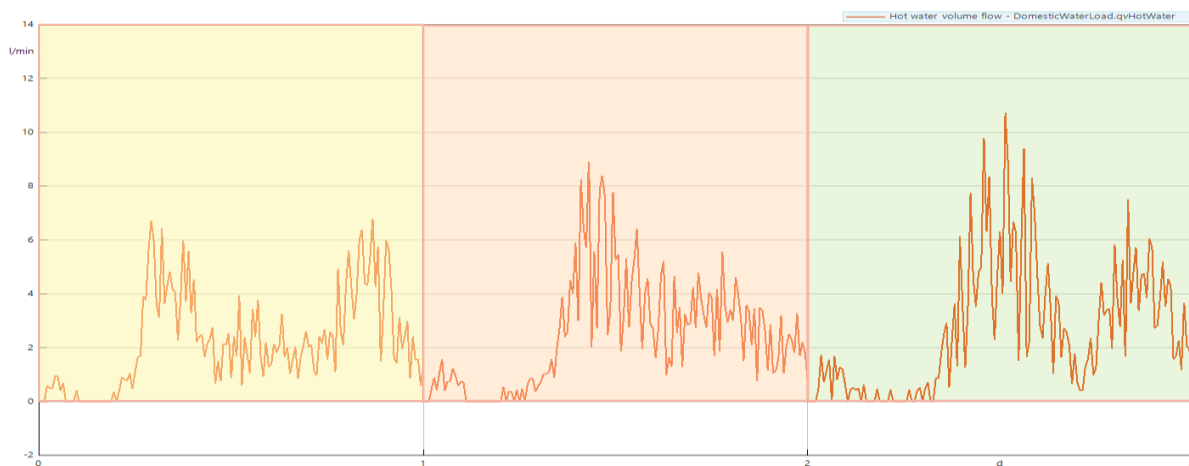


Abbildung 23: Zapfprofil für Wochentag, Samstag und Sonntag

8 Auswertung

Nach der allgemeinen Beschreibung der verwendeten Modellierungsgrundsätze und der Beschreibung des Nutzungsverhaltens in Abschnitt 7 sollen im Rahmen dieses Kapitels abschließend die entwickelten Modelle anhand verschiedener Testszenarien zur Bewertung des jeweiligen Systemverhaltens und eines Systemvergleichs genutzt werden.

8.1 Beschreibung der Vergleichsszenarien

Ziel der hier durchgeführten Studie soll eine Bewertung der verschiedenen Yados-Systemvarianten untereinander und auch im Vergleich zu vergleichbaren Lösungen der Mitbewerber unter realistischen Randbedingungen sein. Dazu ist in der Branche bereits hinlänglich bekannt, dass die für die Auslegung der Trinkwarmwasseranlagen verwendeten normgemäßen Zapfprofile, mittleren täglichen Warmwasserbedarfe und vor allem Spitzenlastzapfungen (d.h. 10 min Spitze) deutlich überdimensioniert sind.

Um dieser Erkenntnis Rechnung tragen zu können, wurden gemeinsam mit Yados Bewertungsszenarien definiert, die abweichend von üblichen Auslegungskriterien auf lokalen Messdaten der Wohnungswirtschaft basieren. Im Fokus der Betrachtungen ist dabei immer ein Mehrfamilienhaus mit 30 Wohneinheiten. Es wird grundsätzlich von einer durchmischten Bewohnerstruktur ausgegangen (d.h. Werk tätige, Ruheständler, Arbeitssuchende, Familien, Alleinstehende, etc.).

- Wohnungen belegt mit jeweils 1,8 Personen im Mittelwert
- Wohnungen belegt mit jeweils 3,5 Personen im Mittelwert

Grundsätzlich bestand die erste Intention der Szenariendefinition in der Nutzung eines standardmäßigen Trinkwasserentnahmeprofils nach EU-Verordnung Nr. 814/2013 (ErP-Richtlinie) 4XL mit der NL-Zahl 15.

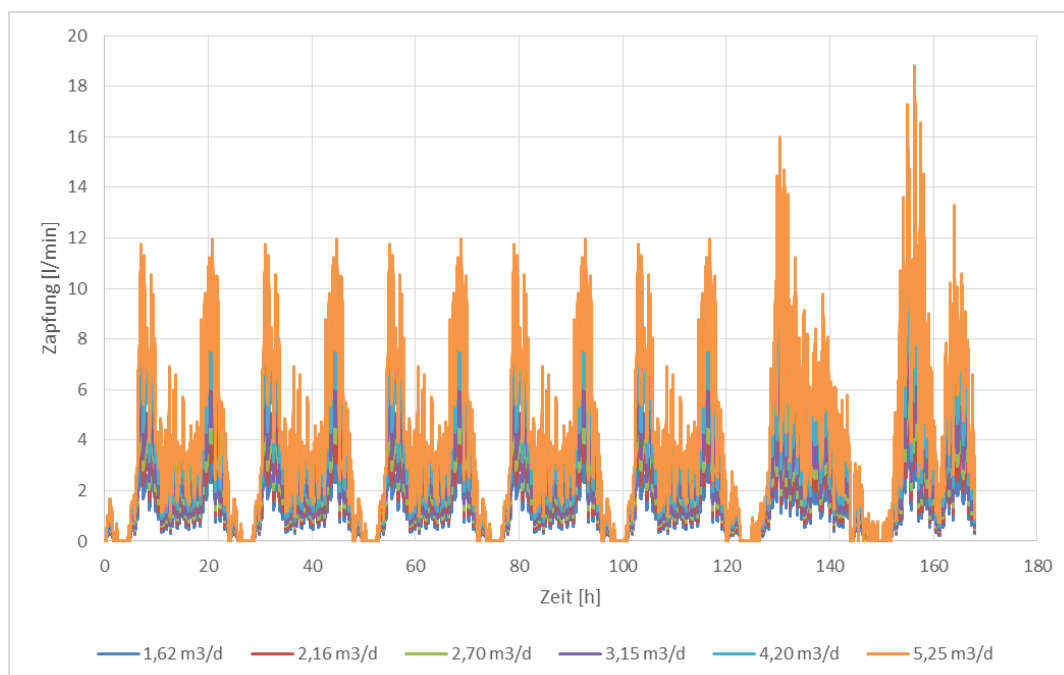


Abbildung 24: Resultierende Zapfprofile für die Szenarienbetrachtung

Dieses nutzt zwar eine mittlere Bewohnerzahl von 3,5 pro Wohneinheit, weißt jedoch eine vergleichbar hohe mittlere Trinkwarmwasserentnahme pro Person aus, die nicht durch die verfügbaren Messdaten bestätigt werden kann. Die 3,5 Bewohner je Wohneinheit wurden daher als ein oberes Limit für die Szenarien übernommen. Dem gegenüber wird jedoch im Rahmen der Auswertungen noch ein Szenario mit 1,8 Personen je Wohneinheit gestellt.

Des Weiteren wurde im Konsens mit Yados festgelegt, dass im Gegensatz zum o.g. Zapfprofil ein Trinkwarmwasserbedarf von 30 l/d pro Person angesetzt werden soll. Aufgrund der lastabhängigen Regelung in den RA-Varianten wird dieser dann noch einmal mit 40 l/d und 50 l/d pro Person variiert. Daraus ergeben sich für die unterschiedlichen Varianten und 30 Wohneinheiten des betrachteten Mehrfamilienhauses folgende mittlere tägliche Abnahmemengen:

- 1,62 m³/d
- 2,16 m³/d (nur RA-Varianten)
- 2,70 m³/d (nur RA-Varianten)
- 3,15 m³/d
- 4,20 m³/d (nur RA-Varianten)
- 5,25 m³/d (nur RA-Varianten)

Die sich daraus ergebenden Zapfprofile für eine Kalenderwoche sind in Abbildung 24 gezeigt. Die resultierende Spitzenlast von ca. 19 l/min ist dabei, wie zu erwarten deutlich geringer als der Auslegungswert der Anlage von ca. 41 l/min, entspricht aber eher dem realistischen Systemeinsatz.

Weiterhin soll im Rahmen der Analysen der Einfluss der Zirkulation mit verschiedenen energetischen Zuständen betrachtet werden. Dabei wird der Wärmeverlust über die Zirkulation jeweils in drei Stufen betrachtet:

- 2 kW Wärmeverlust (moderne Zirkulationsleitungen)
- 4 kW Wärmeverlust (Mittelwert)
- 6 kW Wärmeverlust (schlecht gedämmte Zirkulationsleitungen)

Abschließend werden die Untersuchungsszenarien aufgrund Ihrer Häufigkeit noch einmal geteilt in Wochentag (d.h. Mittwoch) und Kalenderwoche (d.h. 7 Tage inkl. 5 Werktagen, Samstag, Sonntag). Insgesamt ergeben sich aus dieser Szenarienverteilung bis 144 Untersuchungsvarianten, die nachfolgend mit mehr oder weniger Detailgrad betrachtet werden.

8.2 Detailbewertung des Systemverhaltens

Im Rahmen dieses Abschnitts werden nun die einzelnen Systemvarianten der Warmwasserbereitung für eines der in Abschnitt 8.1 genannten Szenarien (d.h. 30 l/d Person, 3,5 Bewohner / WE, 4 kW Zirkulationswärmeverlust) untersucht und hierfür relevante Simulationsergebnisse dargestellt.

8.2.1 Systemvariante IL-GA COMFORT

Die einfachste Systemvariante nach dem Speicherladeprinzip stellt das System Yados IL-GA COMFORT dar. Dies besitzt einen Trinkwasserspeicher mit einem einstufigen vorgelagerten Wärmeübertrager.

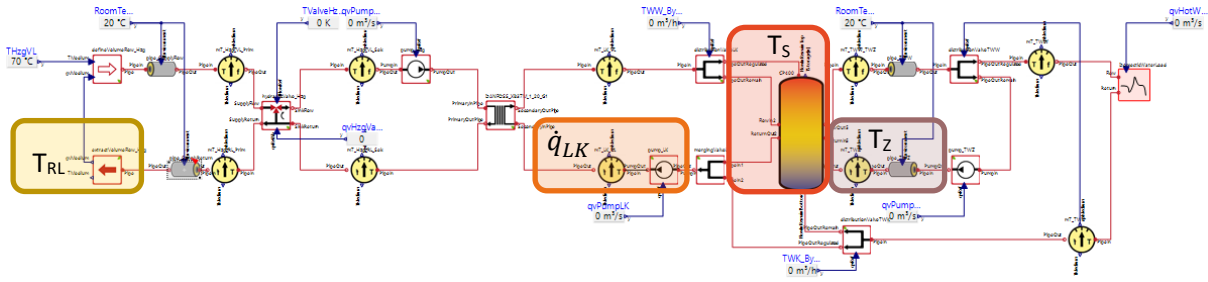


Abbildung 25: Systemvariante IL-GA COMFORT mit relevanten Kenngrößen (T_{RL} – Rücklauftemperatur, \dot{q}_{LK} – Pumpenvolumenstrom Ladekreis, T_S – Speichertemperatur, T_Z – Zirkulationstemperatur)

Abbildung 25 zeigt erneut das R&I-Schema der Systemvariante IL-GA COMFORT mit den eingezeichneten relevanten Untersuchungskenngrößen. Diese werden in den nachfolgenden Abbildungen hinsichtlich der beiden Untersuchungszeiträume dargestellt und bewertet.

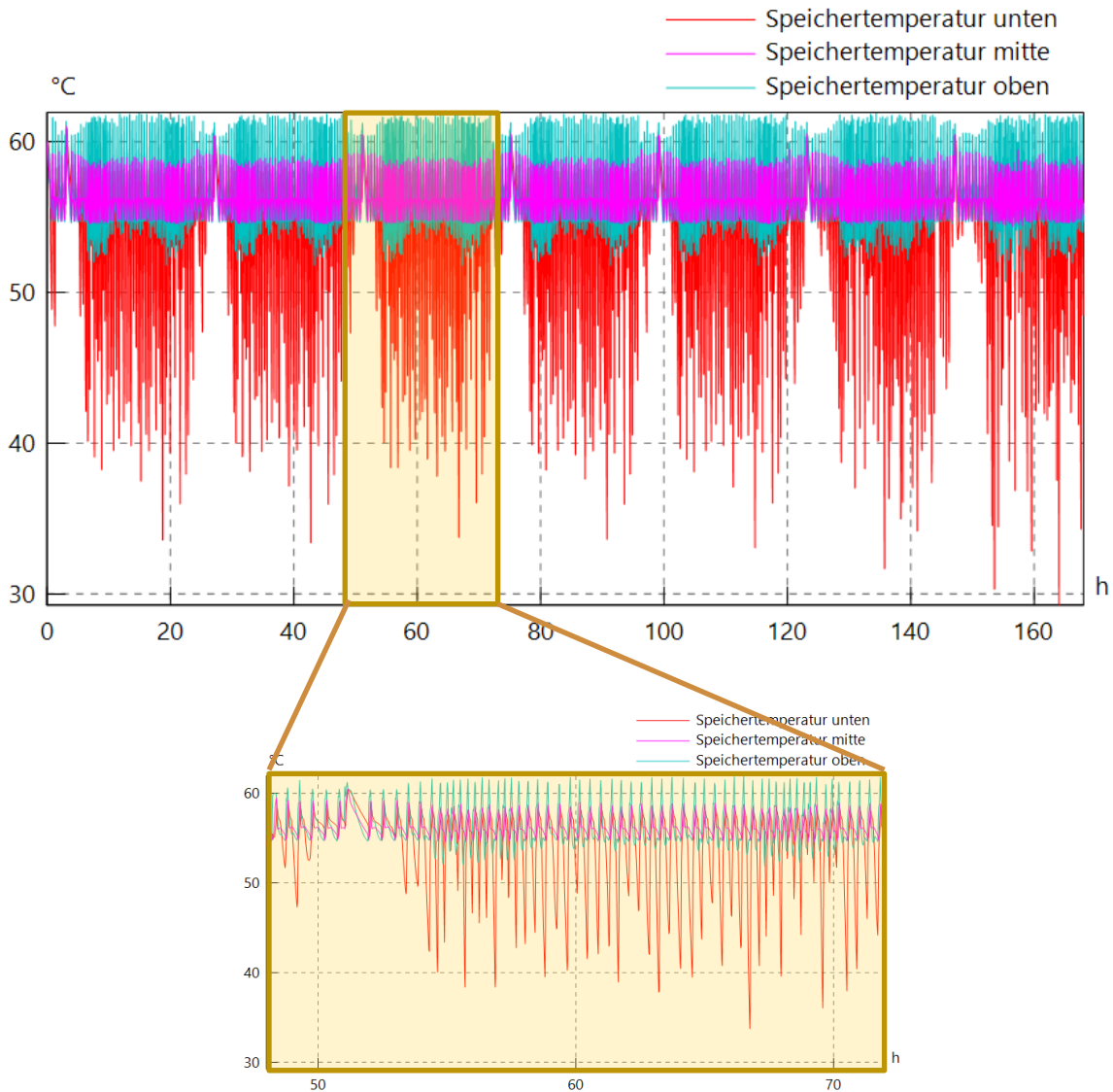


Abbildung 26: Speichertemperaturen im Verlauf der Kalenderwoche (oben) und eines Werktages (unten)

Der Pufferspeicher wird vorrangig als hydraulische Weiche zur Entkopplung von Ladekreis und Trinkwasserentnahme bzw. Zirkulation genutzt. Einerseits zeigt sich die hohe Lastabhängigkeit des Systems als auch der Nachteil der Einbindung der Zirkulation in den mittleren Speicherbereich. Anhand Abbildung 26 zeigt sich, dass aus diesem Grund lediglich die untere Hälfte des Speichers zur Auskühlung genutzt werden kann, wodurch entsprechend hohe Rücklauftemperaturen im Ladekreis hervorgerufen werden.

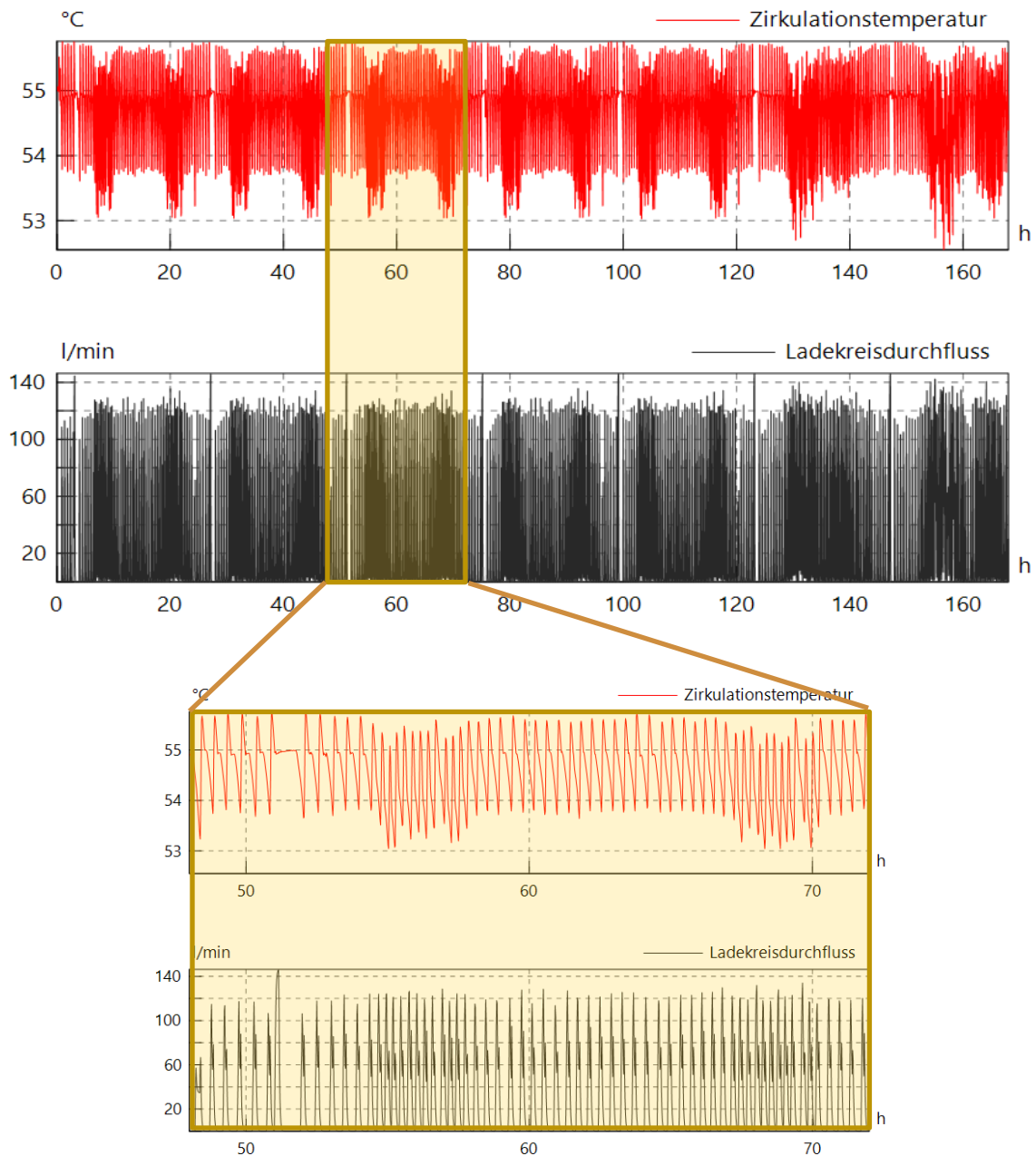


Abbildung 27: Zirkulationstemperatur und Ladekreisdurchfluss im Verlauf der Kalenderwoche (oben) und eines Werktags (unten)

Abbildung 27 zeigt darüber hinaus, dass die implementierte Regelung mit Hilfe eines PI-Reglers auf den Referenzwert von 55 °C dauerhaft regelt und somit die Systemanforderungen erfüllt sind.

Der Ladekreis wird in Abhängigkeit der definierten Speichertemperaturbereiche und Referenzwerte getaktet betrieben. Für die Regelung der Pumpe wird je nach Betriebsmodus ebenfalls eine PI-Regelung eingesetzt. Aufgrund der vergleichbar geringen mittleren Lasten erfolgt die Beladung jedoch stark getaktet.

In beiden Abbildungen sind die unterschiedlichen Nutzungszeiträume und Abnahmemengen über den Tag und die Kalenderwoche hinweg zu erkennen. Auch wird der Legionellenbetrieb zu Beginn jedes Tages sichtbar, bei dem der Trinkwasserspeicher einmal vollständig auf über 60 °C durchgeladen wird.

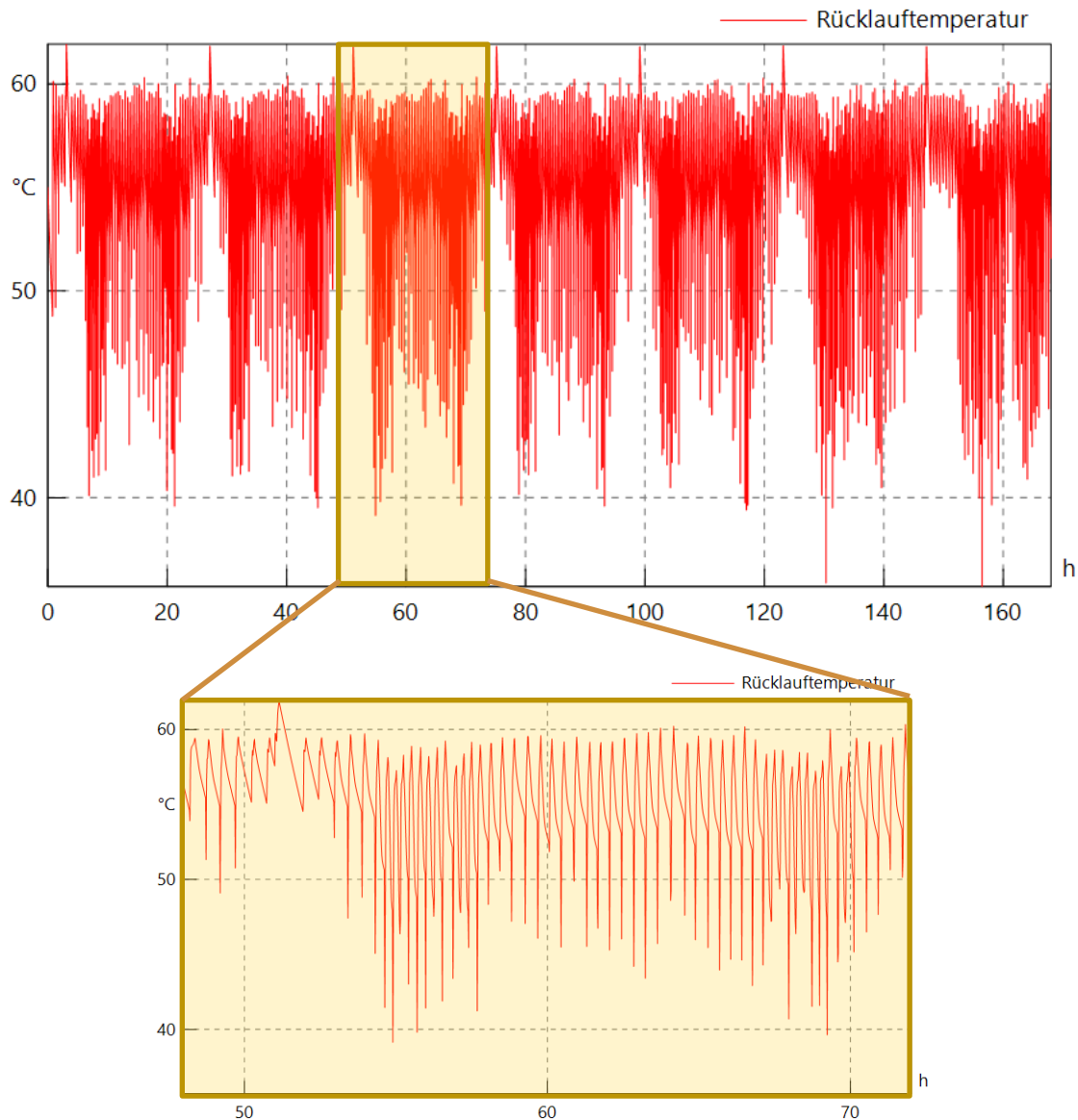


Abbildung 28: Rücklauftemperaturen im Verlauf der Kalenderwoche (oben) und eines Werktages (unten)

Die wichtigste Vergleichsgröße für die verschiedenen System- und Untersuchungsvarianten stellt die Rücklauftemperatur zu Heizungssystem dar. Mit dem hier untersuchten IL-GA COMFORT-System wird in der simulierten Kalenderwoche eine mittlere Rücklauftemperatur von 55,16 °C erreicht. Diese wird

aufgrund der vergleichbar geringen Wärmeabnahme vorrangig durch den Zirkulationsbetrieb bestimmt.

Abbildung 28 zeigt zwar, dass bei höheren Zapfmengen die Rücklauftemperatur zeitweise auch auf bis zu 40 °C sinkt. Aufgrund der geringen Ausnutzung des Trinkwasserspeichers für die Rücklaufauskühlung, bleibt die Rücklauftemperatur jedoch größtenteils immer über 50 °C. Im Legionellenbetrieb, einmal pro Tag, steigt sie sogar auf über 60°C an.

Darüber hinaus führen die veränderten Zapfprofile am Wochenende zu einer zeitweisen höheren Abnahme von Warmwasser, wodurch durch die Kaltwasserzufuhr ins System auch die Rücklauftemperatur kurzzeitig unter 40 °C abgesenkt werden kann.

8.2.2 Systemvariante ID-GA COMFORT

Die zweite Systemvariante mit einstufigen Wärmeübertrager stellt das Yados-System ID-GA COMFORT dar. Dieses arbeitet im Gegensatz zum System IL-GA COMFORT nach dem Durchflussprinzip und besitzt daher keinen Trinkwasserspeicher.

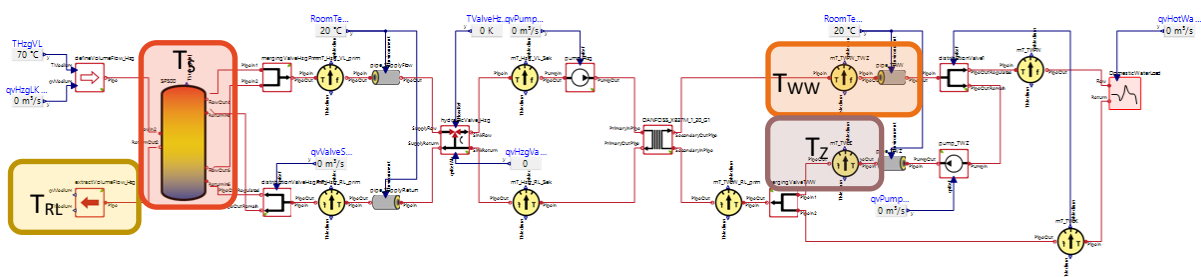


Abbildung 29: Systemvariante ID-GA COMFORT mit relevanten Kenngrößen (T_{RL} – Rücklauftemperatur, T_{WW} – Warmwassertemperatur Ladekreis, T_S – Speichertemperatur, T_Z – Zirkulationstemperatur)

Abbildung 29 zeigt analog zu Abschnitt 8.2.1 das im Modell umgesetzte R&I-Schema der Systemvariante ID-GA COMFORT mit den hierfür relevanten Untersuchungskenngrößen. Diese werden wiederum in den nachfolgenden Abbildungen hinsichtlich der beiden Untersuchungszeiträume dargestellt und bewertet.

Da diese Variante keinen zusätzlichen Speichertank für das Trinkwarmwasser und keinen Speicherladekreis besitzt, werden im Gegensatz zur IL-GA COMFORT-Variante andere, zur Darstellung des Systemverhaltens relevante Größen analysiert. Zum einen integriert das System zur hydraulischen Entkopplung der Warmwasserbeheizung und der Wärmeversorgungssysteme ein Speichertank heizungsseitig integriert, der für die resultierende Rücklauftemperatur des Systems relevant ist. Daher wird dieser nachfolgend mit seiner Speichertemperatur separat betrachtet.

Weiterhin stellt die aufgrund der Vernachlässigung des Trinkwarmwasserspeichers verringerten Systemträgheit im Trinkwasserbereich eine besondere Herausforderung an die Anlagenregelung hinsichtlich der Einhaltung der notwendigen Trinkwarmwassertemperatur und der Zirkulationstemperatur dar.

Daher wird im Vergleich der IL-GA COMFORT-Variante noch einmal separat die Trinkwarmwassertemperatur analysiert, die hier, anders als beim Speicherladesystem, sich nicht aus den Temperaturen der obersten Speicherschichten ergibt.

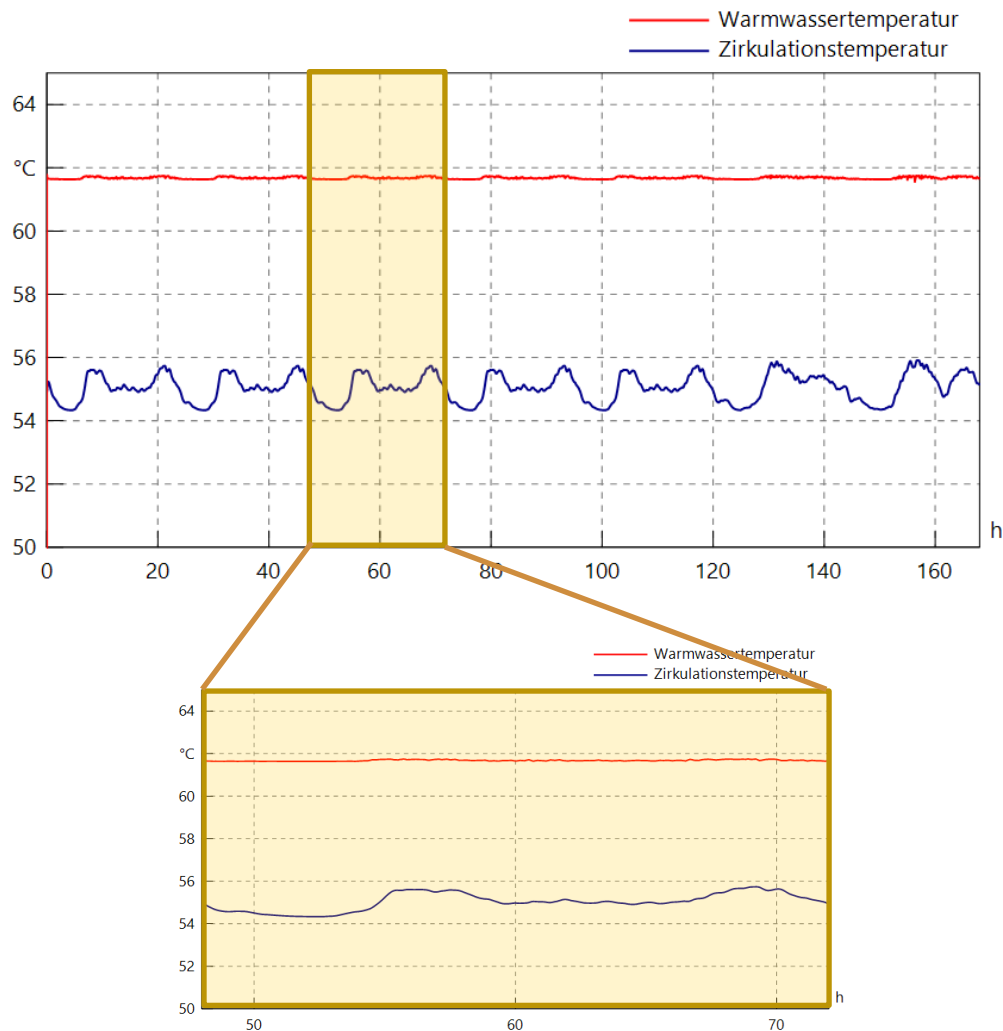


Abbildung 30: Zirkulations- und Warmwassertemperatur im Verlauf der Kalenderwoche (oben) und eines Werktags (unten) Im Gegensatz zu den IL-Varianten wurde bei den ID-Varianten die Zirkulationspumpe bei den durchgeführten Systemsimulationen konstant angesteuert. Dabei wurde das übliche Inbetriebnahmevergehen des Systems anhand des Simulationssystems nachvollzogen (d.h. zunächst Ermittlung des mittleren Zirkulationsvolumenstroms mit Hilfe des PI-Reglers und nachfolgende feste Einstellung des resultierenden Sollvolumenstromes).

Aufgrund des konstanten Zirkulationsvolumenstromes sowie dessen, dass es aufgrund des fehlenden Trinkwarmwasserspeichers nicht notwendig ist, einmal Pro Tag in den Legionellenbetrieb umzuschalten, ist der Temperaturverhalten auf der Trinkwasserseite lastunabhängig sehr konstant. Auch werden zu jederzeit alle Randbedingungen des Trinkwassersystems eingehalten.

Abbildung 31 zeigt für das hier analysierte ID-GA COMFORT-System die resultierenden Speichertemperaturen im hier heizungsseitig eingebundenen Pufferspeicher. Diese werden einerseits

maßgeblich durch die Heizungsvorlauftemperatur (70 °C) und die hinterlegte Laderegulung als auch die resultierenden Rücklauftemperaturen zum Speicher hin bestimmt.

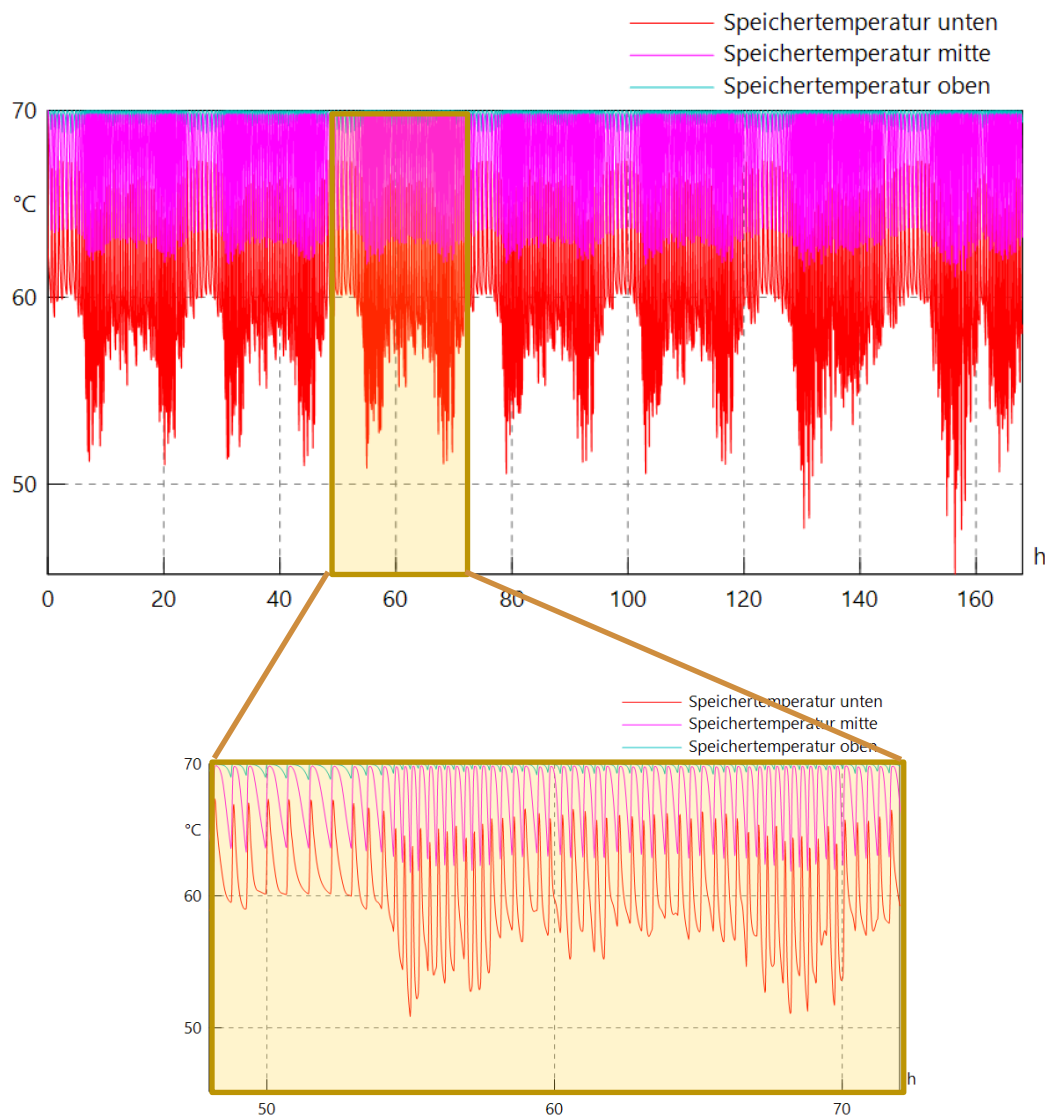


Abbildung 31: Speichertemperaturen im Verlauf der Kalenderwoche (oben) und eines Werktages (unten)

Wie zu erwarten, unterschreiten die Speichertemperaturen auch im unteren Bereich des Speichers nur bei Warmwasserentnahme den 60 °C-Bereich. Aufgrund des Einflusses der Zirkulationstemperatur sinkt die untere Speicherbereichstemperatur, welche maßgeblich für die resultierende Rücklauftemperatur ist, auch nur bei höheren Zapfleistungen unter die 55 °C bzw. 50 °C Marke.

Aufgrund der heizungsseitigen Einbindung des Speichers und damit dem direkten Einfluss der Heizungsvorlauftemperatur auf die resultierenden Speichertemperaturen und damit auch auf die Systemrücklauftemperatur, ist diese gegenüber der vergleichbaren einstufigen Varianten eines Speicherladesystems (IL-GA COMFORT) mit ca. 59,68 °C noch einmal deutlich höher.

Abbildung 32 zeigt hierzu noch einmal das simulierte Verhalten der Heizungsrücklauftemperatur, welches sich direkt aus dem heizungsseitigen Speicherverhalten ergibt. Es wird deutlich, dass nur bei höheren Zapfleistungen vorübergehend die Rücklauftemperatur die 50 °C Marke unterschreiten kann.

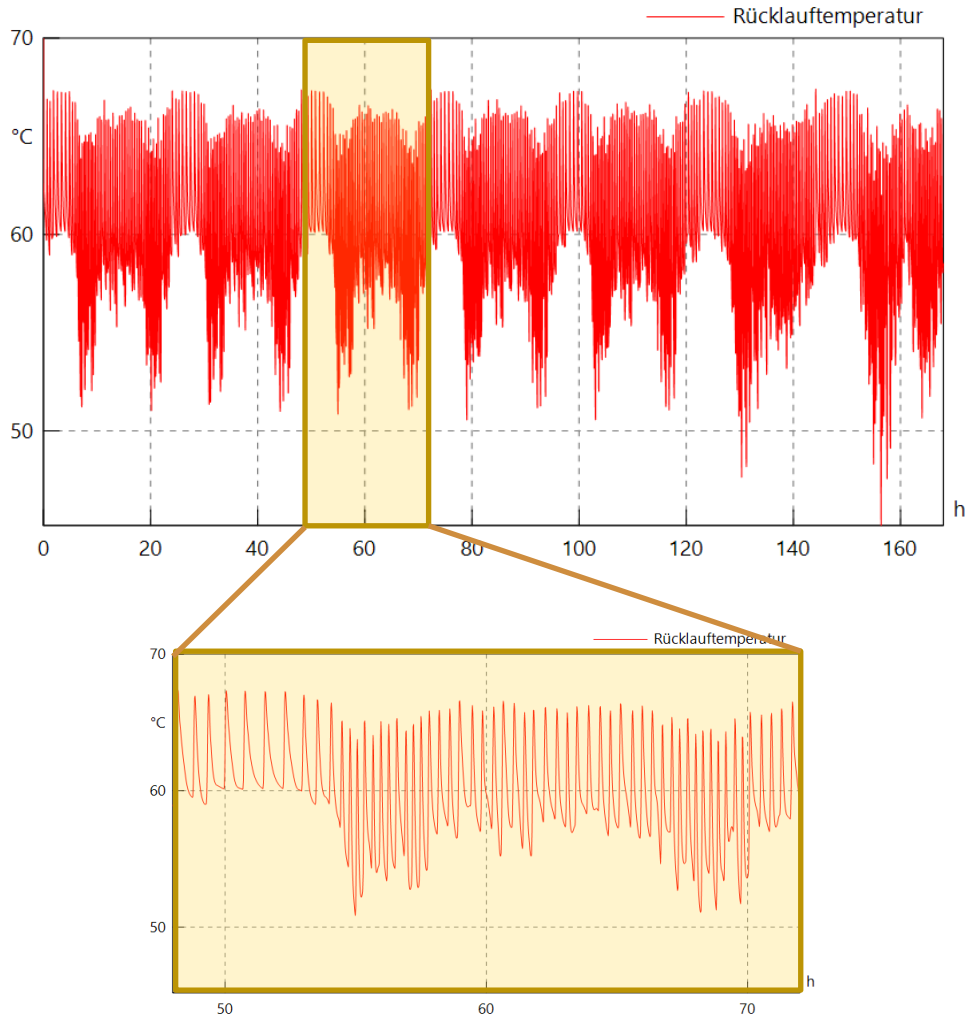


Abbildung 32: Rücklauftemperaturen im Verlauf der Kalenderwoche (oben) und eines Werktages (unten)

8.2.3 Systemvariante IL-VN VOR-NACHWÄRMER

Die Systemvariante IL-VN VOR-NACHWÄRMER stellt eine Weiterentwicklung des einstufigen Speicherladesystems IL-GA COMFORT mit einem zweistufigen Wärmeübertrager Prinzip dar.

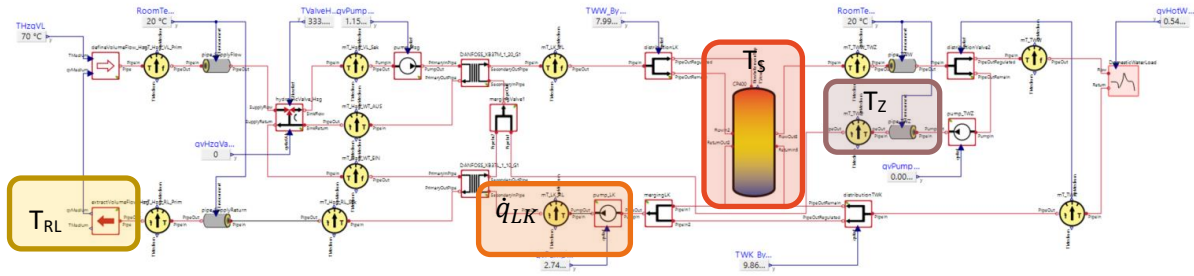


Abbildung 33: Systemvariante IL-VN VOR-NACHWÄRMER mit relevanten Kenngrößen (T_{RL} – Rücklauftemperatur, \dot{q}_{LK} – Pumpenvolumenstrom Ladekreis, T_S – Speichertemperatur, T_Z – Zirkulationstemperatur)

Das Hauptziel dieser Weiterentwicklung ist die Absenkung der Heizungsrücklauftemperatur durch Einschichtung des Zirkulationsvolumenstroms in den Trinkwarmwasserspeicher nach Aufheizung im oberen Speicherbereich. Des Weiteren wird durch die zweistufige Erwärmung des Ladekreises sichergestellt, dass möglichst niedrige Temperaturen zur Auskühlung des Heizungsrücklaufs genutzt werden.

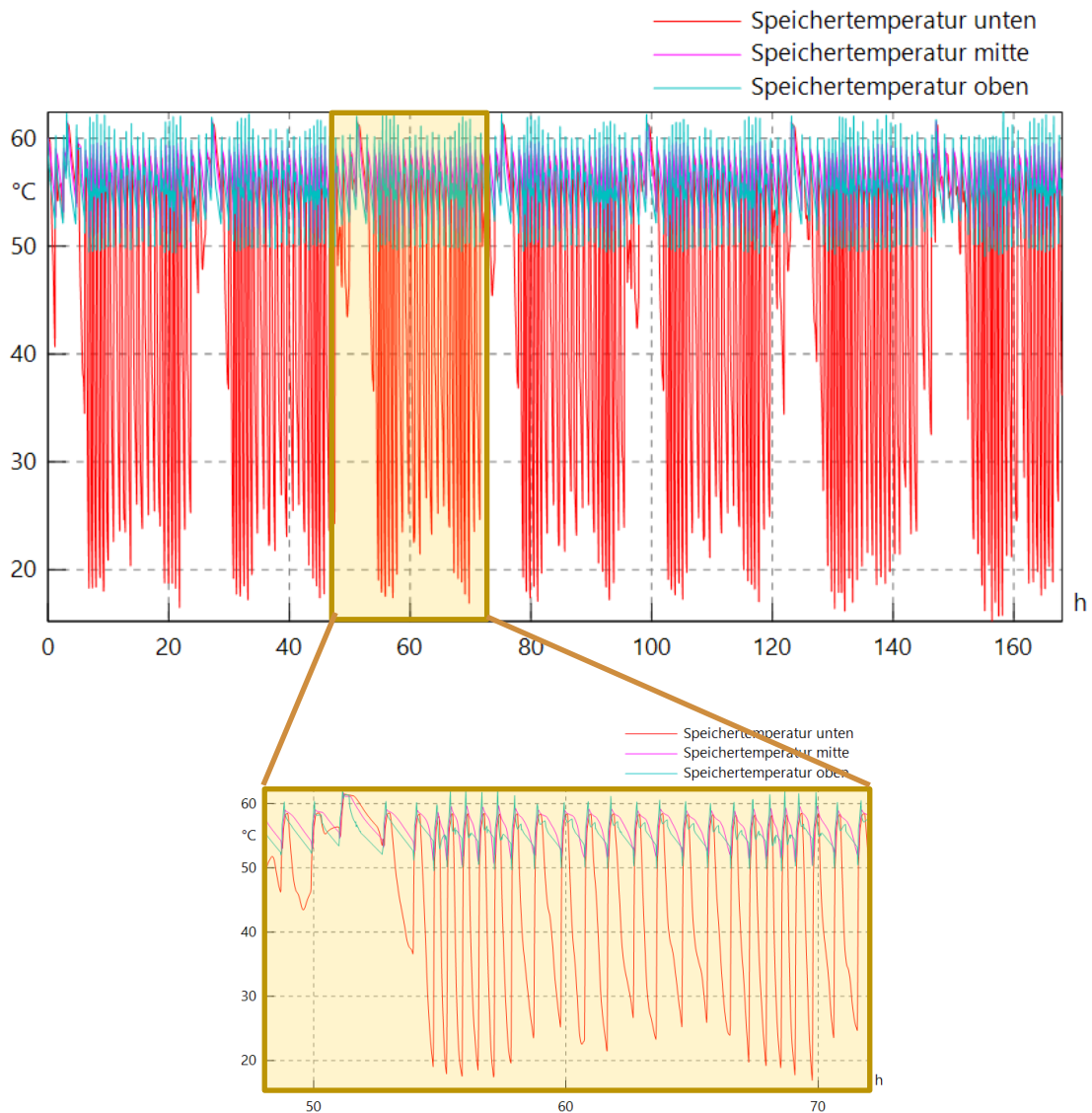


Abbildung 34: Speichertemperaturen im Verlauf der Kalenderwoche (oben) und eines Werktages (unten)

Abbildung 34 zeigt im Vergleich zum IL-GA COMFORT-Variante die deutlich weiter gespreizten Temperaturen im Trinkwarmwasserspeicher. Da die unten Speichertemperaturen vor allem in Schwachlastzeiten einen großen Einfluss auf die Systemrücklauftemperaturen haben, ist deren deutliche Absenkung gegenüber dem einstufigen System ein deutliches Optimierungsergebnis.

Dieses wird vor allem dadurch hervorgerufen, dass der Zirkulationsvolumenstrom nicht mehr direkt in der Speichermitte sondern nacherhitzt im oberen Speicherbereich eingelagert wird. Jedoch wird auf bei dieser Variante deutlich, dass der Speicher nahezu bei jedem Ladevorgang fast vollständig (d.h. 57 °C) durchgeladen wird, wodurch eine stabile Temperatschichtung verhindert wird.

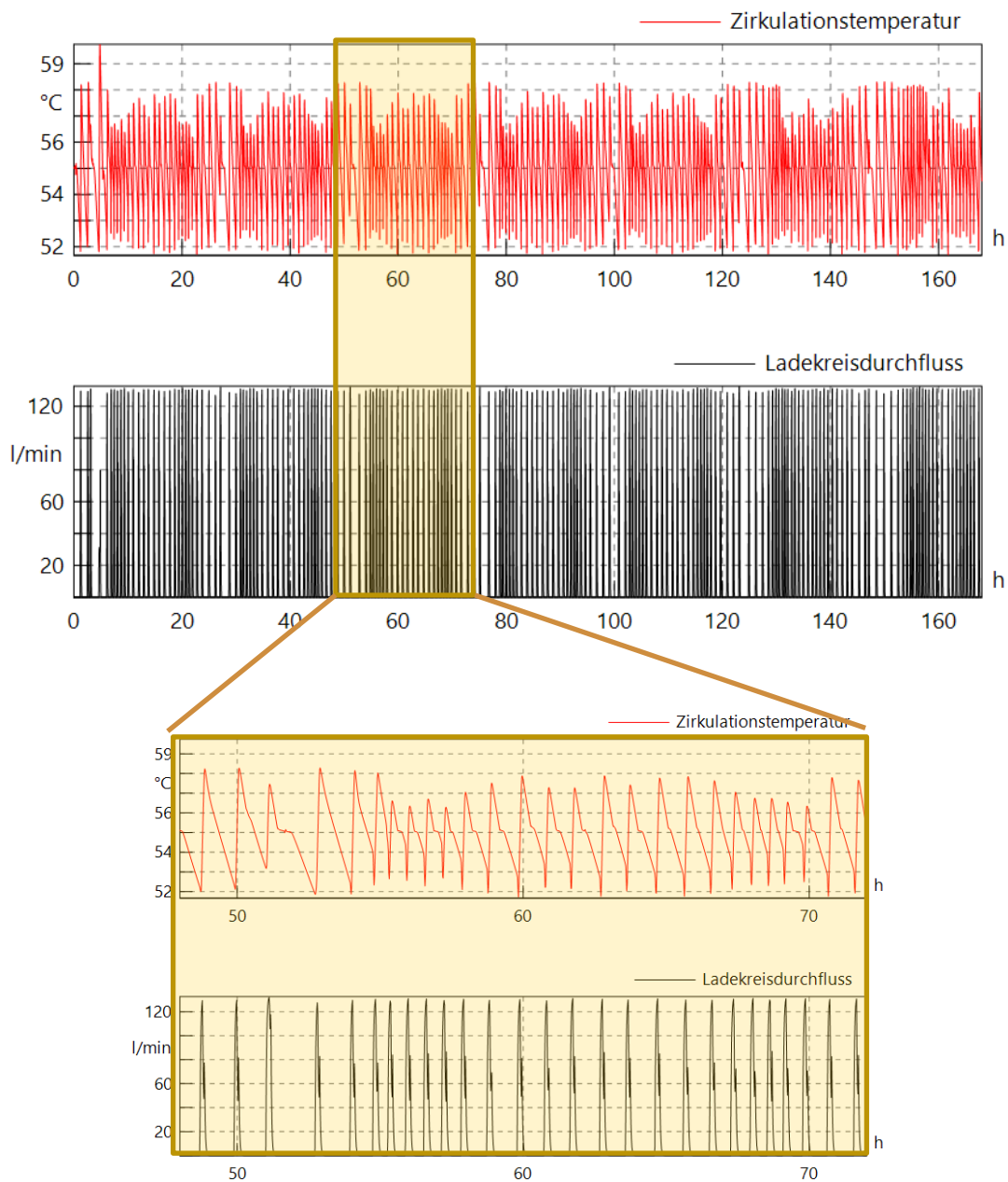


Abbildung 35: Zirkulationstemperatur und Ladekreisdurchfluss im Verlauf der Kalenderwoche (oben) und eines Werktags (unten)

Auch hier regelt der verwendete PI-Regler die Zirkulationstemperatur immer um den Referenzwert von 55 °C (vgl. Abbildung 35), jedoch ist die Regelgüte der eingestellten Regelparameter etwas schlechter als beim IL-GA COMFORT-System. Jedoch lag die Abstimmung der Regelgüte nicht im Fokus dieser Studie und ist einfach durch Anpassung der Reglerverstärkung und Nachstellzeit anpassbar.

Die Einschichtung von erwärmten Trinkwasser erfolgt über zwei separate Kreise, den Ladekreis inkl. Pumpe und den Zirkulationskreislauf. Der Ladekreis ist im Vergleich zur einstufigen Variante seltener aber dafür zeitlich länger in Betrieb, da die Temperaturspreizung aufgrund der Einschichtung im oberen Bereich und separaten Nacherhitzung des Zirkulationsvolumenstroms deutlich höher ist.

Dieser veränderte Betrieb der geregelten Ladekreispumpe mit geringerer Taktung beeinflusst auch direkt die zuvor festgestellte Regelgüte der Zirkulationspumpe. Die veränderten Betriebsbedingungen führen auch zu der Notwendigkeit die Reglerparameter des PI-Reglers der Zirkulationspumpe anzupassen.

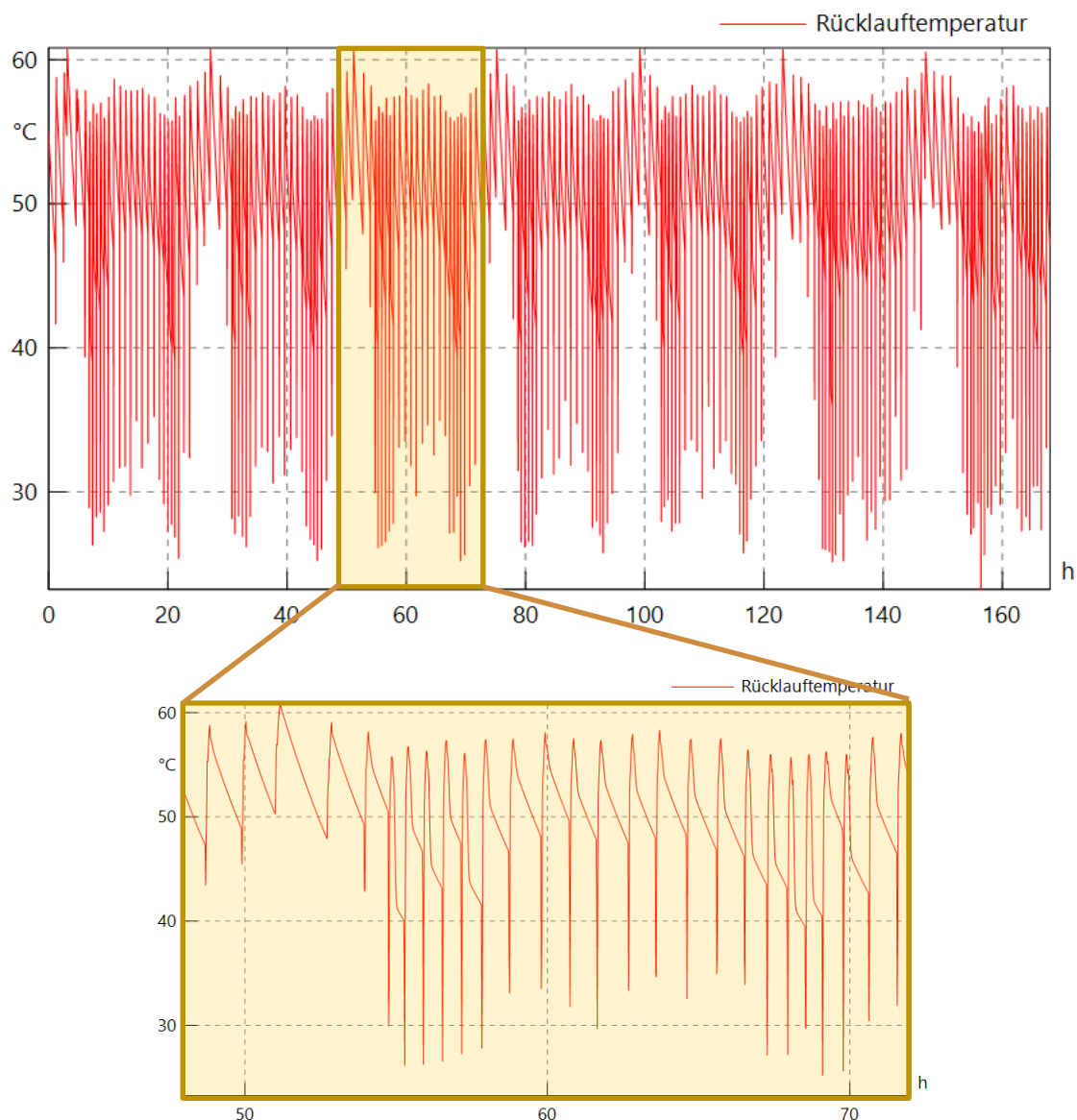


Abbildung 36: Rücklauftemperaturen im Verlauf der Kalenderwoche (oben) und eines Werktages (unten)

Auch für die Bewertung des zweistufigen Speicher-Ladesystems (IL-VN VOR-NACHWÄRMER) ist die resultierende heizungsseitige Rücklauftemperatur der entscheidende Bewertungsfaktor. Dabei ist die festgestellte Spreizung der Rücklauftemperaturen deutlich höher als bei der IL-GA COMFORT-Systemvariante, was aufgrund der separaten Erwärmung des Zirkulationsvolumenstromes und eine deutlich größere Speichertemperaturspreizung hervorgerufen wird.

Mit dem hier untersuchten IL-VN VOR-NACHWÄRMER-System wird in der simulierten Kalenderwoche eine mittlere Rücklauftemperatur von 50,31 °C erreicht, was ca. 5 K unter dem Niveau der IL-GA COMFORT-Variante liegt. Auch bei diesem System ist die einmalige Durchladung des Trinkwasserspeichers zur Legionellenbekämpfung einmal pro Tag zu sehen. Dabei steigt in der Nichtnutzungszeit des Systems in der Nacht die Rücklauftemperatur auch auf über 60 °C an. Aufgrund der abgesenkten Speichertemperaturen kann die Rücklauftemperatur im normalen Betrieb bei mittlerer Zapfleistung auf bis zu 40 °C

abgesenkt werden. In Spitzenlastzeit erfolgt sogar eine kurzzeitige Absenkung bis zu oder sogar unter 30 °C.

8.2.4 Systemvariante ID-VN VOR-NACHWÄRMER

Analog zum System IL-VN VOR-NACHWÄRMER stellt die Systemvariante ID-VN VOR-NACHWÄRMER eine Weiterentwicklung des einstufigen Durchflussprinzips ID-GA COMFORT mit dem zweistufigen Wärmeübertrager Prinzip dar.

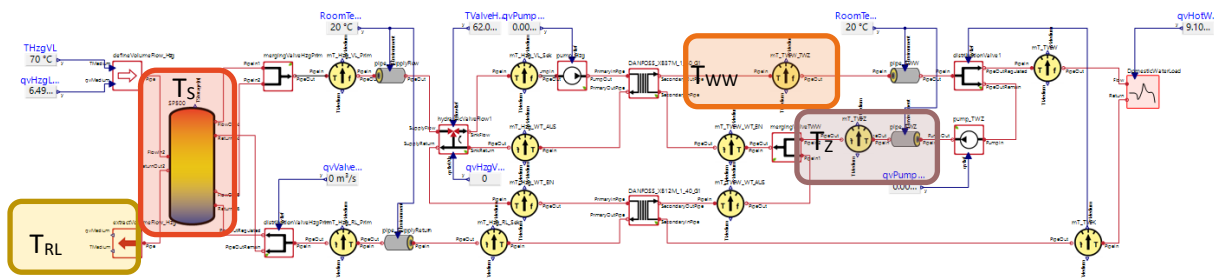


Abbildung 37: Systemvariante ID-VN VOR-NACHWÄRMER mit relevanten Kenngrößen (T_{RL} – Rücklauftemperatur, T_{WW} – Warmwassertemperatur Ladekreis, T_S – Speichertemperatur, T_Z – Zirkulationstemperatur)

Wie beim einstufigen Durchflussprinzip ID-GA COMFORT (vgl. Abschnitt 8.2.2) müssen auch bei der zweistufigen Systemvariante ID-GA COMFORT andere Kenngrößen bewertet werden, als beim gleichwertigen Speicherladeprinzip. Auch hier werden, wie in Abbildung 37 ersichtlich, alternativ die resultierende Trinkwarmwassertemperatur und die heizungsseitige Speichertemperatur zusätzlich zur Zirkulations- und heizungsseitigen Rücklauftemperatur betrachtet.

Auch beim zweistufigen Durchflussprinzip wurde der Zirkulationspumpenvolumenstrom manuell mit Hilfe der implementierten PI-Regelung eingestellt. Aufgrund des konstanten Betriebes des Systems, d.h. z.B. keinerlei Umschaltung in den Legionellenbetrieb, ist ein solcher Konstantbetrieb auch mit einer hinreichenden Regelgüte (vgl. Abbildung 38) möglich. Dies stellt dabei einen deutlichen Unterschied zu den vergleichbaren Speicherladeprinzipien, die aufgrund der unterschiedlichen Zirkulationsanforderungen bei Betriebsmoduswechsel oder gar zweitweiser Abschaltung eine variable Regelung benötigen.

Die stärkere Lastabhängigkeit des zweistufigen Systems zeigt sich auch in der resultierenden geregelten Trinkwarmwassertemperatur (vgl. Abbildung 38). Im Gegensatz zum einstufigen System ID-GA COMFORT ist dabei ein hochfrequentes Schwingen zu sehen. Jedoch regelt auch hier der umgesetzte Regler die Warmwassertemperatur im Bereich von 62 °C aus.

Diese liegt damit im selben Bereich, wie bei der ID-GA COMFORT-Systemvariante, wodurch eine optimale Vergleichbarkeit gegeben ist. Auch bei der resultierenden Zirkulationstemperatur ist einerseits eine erwartbare Lastabhängigkeit zu erkennen. Jedoch verbleibt die Temperatur ebenfalls im gesamten Betrachtungszeitraum im selben Bereich, wie beim einstufigen ID-GA COMFORT-System.

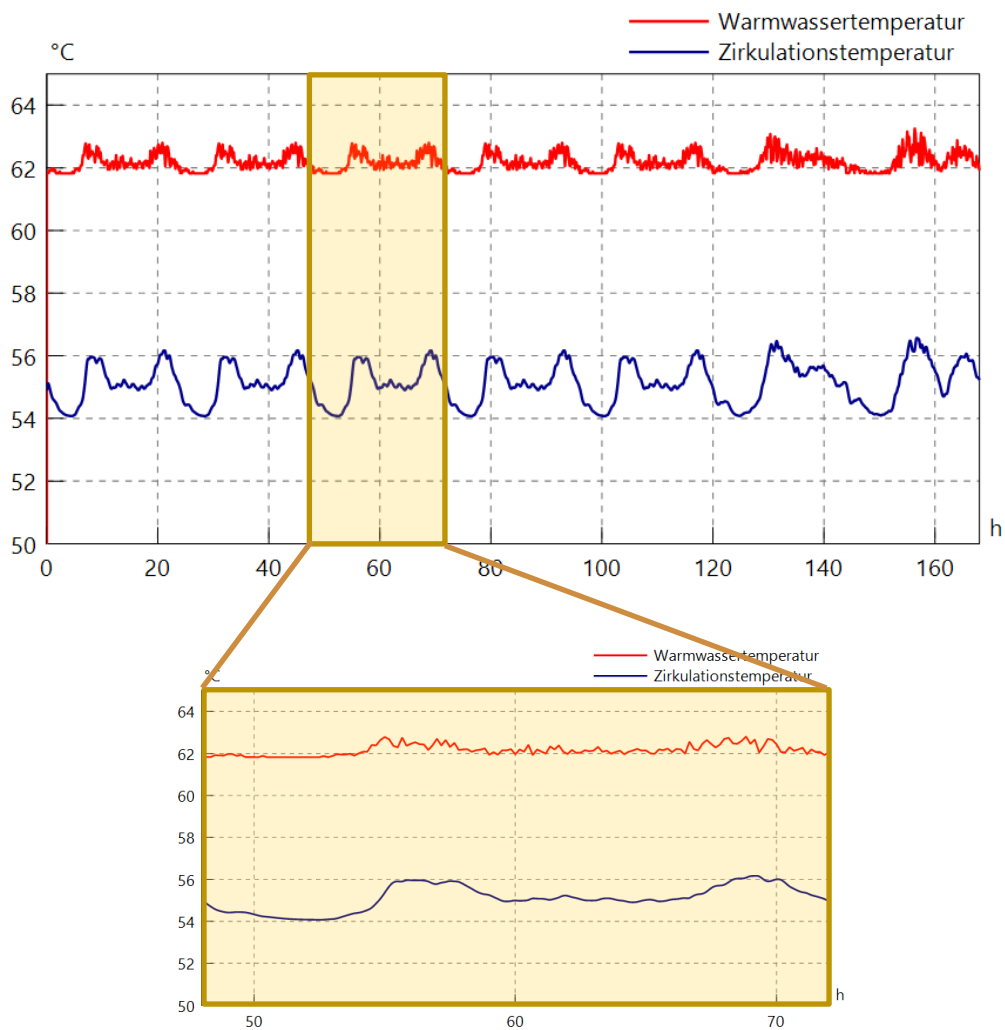


Abbildung 38: Zirkulations- und Warmwassertemperatur im Verlauf der Kalenderwoche (oben) und eines Werktags (unten)
 Für die resultierenden heizungsseitigen Rücklauftemperaturen des Systems ist wiederum vor allem die (untere) Speichertemperatur im heizungsseitigen Pufferspeicher relevant. Diese ist mit der sich aus der Regelung ergebenden Schichtung in Abbildung 39 dargestellt.

Dabei ermöglicht das zweistufige Systemprinzip mit Vorerwärmer und Nacherwärmer eine deutlich höhere Temperaturspreizung im Speicher im Vergleich zur einstufigen ID-GA COMFORT-Variante. Der obere bis mittlere Speicherbereich verbleibt zwar größtenteils aufgrund der eingestellten Regelparameter und der für die Regelung genutzten Temperaturmessstellen oberhalb von 60 °C. Jedoch werden die unteren Speicherbereiche im Vergleich zum ID-GA COMFORT-System deutlich stärker ausgekühlt.

Bereits bei geringen Zapfleistungen gelingt damit eine Auskühlung der unteren Speichertemperatur bis zu oder sogar knapp unter 50 °C, was beim einstufigen System nur unter hoher Last möglich ist. Zeitweise ermöglicht das System sogar eine Abkühlung des unteren Speicherbereiches auf bis zu oder sogar unter 30 °C. Bei mittleren Zapfleistungen in diesem realistischen Einsatzszenario werden Temperaturen von ca. 40 bis 45 °C erreicht.

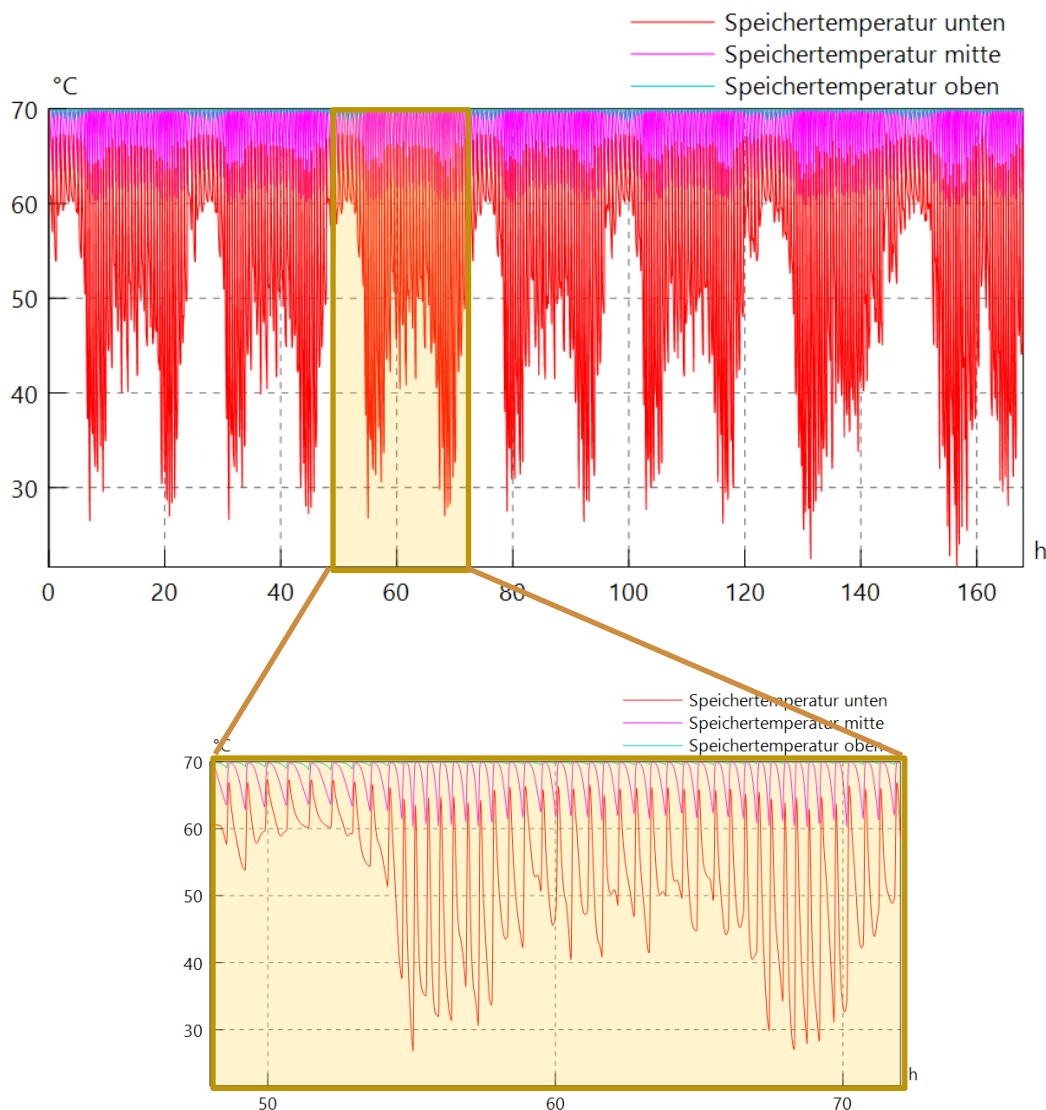


Abbildung 39: Speichertemperaturen im Verlauf der Kalenderwoche (oben) und eines Werktages (unten)

Auch beim ID-VN VOR-NACHWÄRMER-System liegt der Haupteinflussfaktor auf die heizungsseitige Systemrücklauftemperatur im untern Speicherbereich. Durch die Nutzung des zweistufigen Systems kann die mittlere Rücklauftemperatur im Betrachtungszeitraum auf ca. 52,20 °C abgesenkt werden. Dies entspricht einer Verringerung der Rücklauftemperaturen gegenüber dem vergleichbaren einstufigen ID-GA COMFORT-System um ca. 7,5 K.

Analog zu den unteren Speichertemperaturen wird bereits bei geringen Zapfleistungen eine Rücklauftemperatur von um die 50 °C erreicht. Bei höheren Nutzungsgraden erfolgt sogar eine Absenkung auf bis zu 40 °C und zweitweise bei höheren Lasten auch bis zu 30 °C.

Daher kann bereits für die einfache zweistufige Systemvariante ein deutliches Optimierungspotential für den Einsatz in Heizsystemen mit deutlichem Einfluss der Rücklauftemperatur (z.B. Fernwärme, Gasbrennwertsysteme, etc.) auf die Systemeffizienz konstatiert werden.

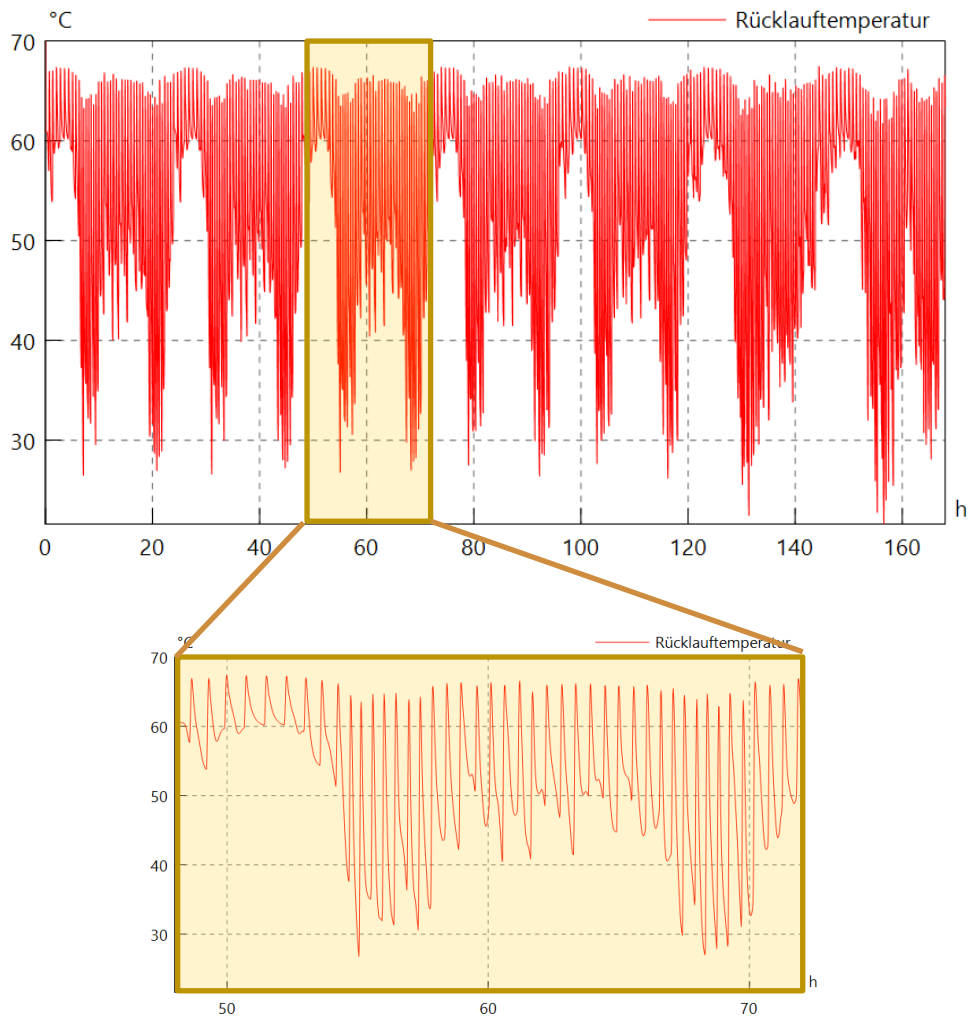


Abbildung 40: Rücklauftemperaturen im Verlauf der Kalenderwoche (oben) und eines Werktages (unten)

8.2.5 Systemvariante IL-RA PREMIUM

Die Systemvariante IL-RA PREMIUM stellt eine Weiterentwicklung des zweistufigen Speicherladesystems IL-VN VOR-NACHWÄRMER mit einem zusätzlichen Regelungselement im Speicherladekreis dar.

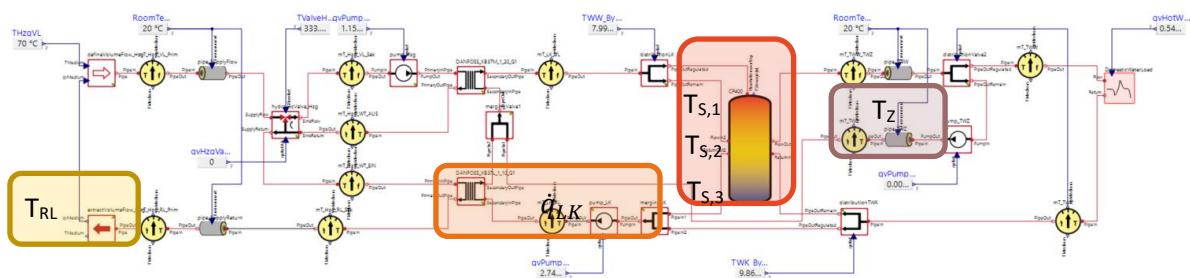


Abbildung 41: Systemvariante IL-RA PREMIUM mit relevanten Kenngrößen (T_{RL} – Rücklauftemperatur, \dot{q}_{LK} – Pumpenvolumenstrom Ladekreis, T_S – Speichertemperatur, T_Z – Zirkulationstemperatur)

Bei der Analyse der nahezu baugleichen Systemvariante IL-VN VOR-NACHWÄRMER wurde festgestellt, dass zwar die resultierenden heizungsseitigen Rücklauftemperaturen aufgrund des zweistufigen Systemprinzips deutlich gegenüber der einstufigen Systemvariante IL-GA COMFORT verringert werden konnten. Jedoch zeigte die Analyse des Trinkwasserspeichertemperaturverhaltens, dass es trotz allem beim jedem Ladevorgang zu einer deutlichen Durchladung des Speichers kommt, was die resultierenden Rücklauftemperaturen immer noch negativ beeinflusst. Da jedoch die hohen Speichertemperaturen an die 60 °C nur im oberen Bereich benötigt werden, ist das Ziel dieser Weiterentwicklung, durch eine Regelungsanpassung der Speicher- sowie Tauscherladepumpe im unteren Speicherbereich eine möglichst konstantere Schichtung mit niedrigeren unteren Speichtemperaturen zu erreichen.

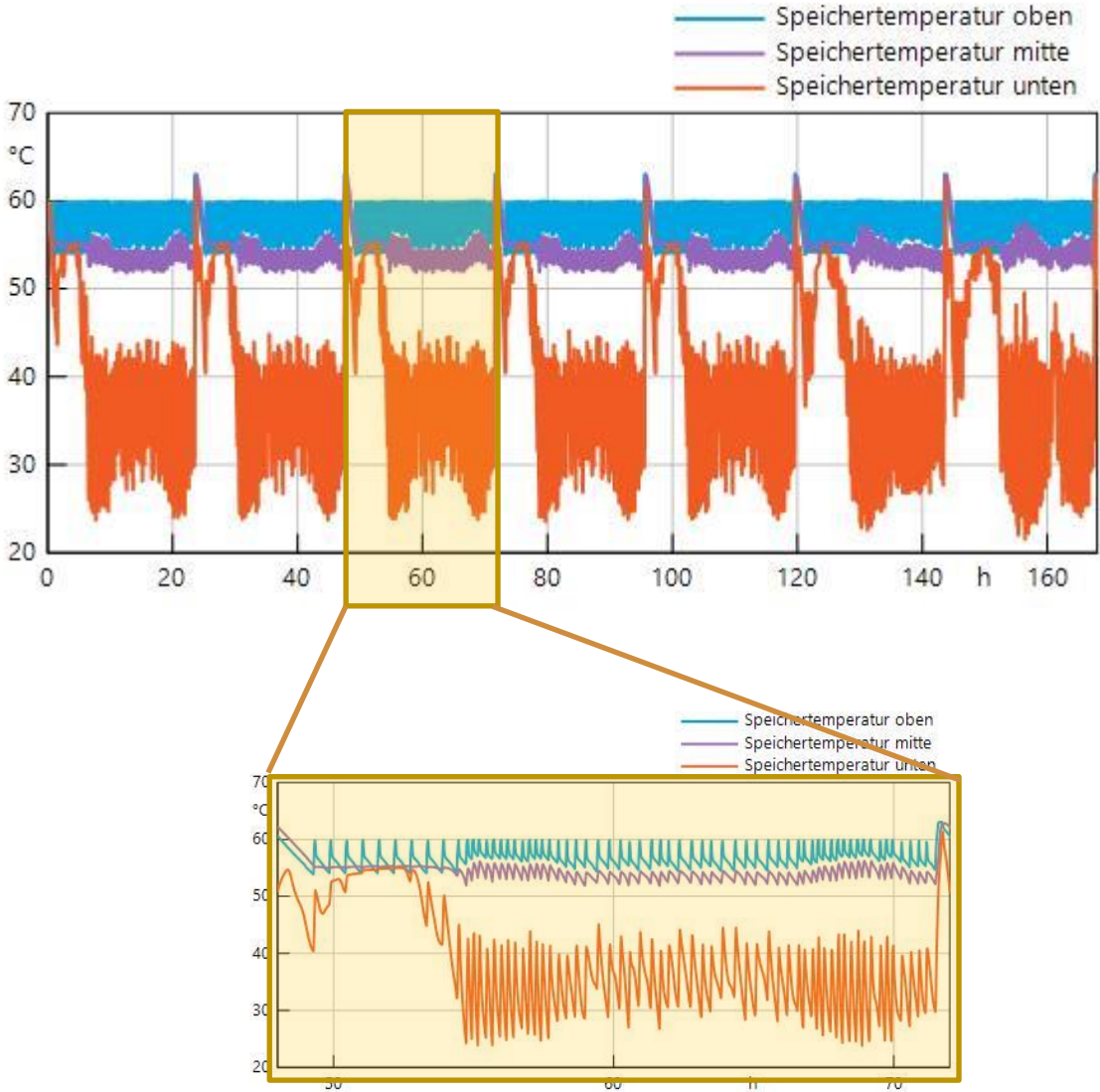


Abbildung 42: Speichertemperaturen im Verlauf der Kalenderwoche (oben) und eines Werktages (unten)

Abbildung 42 zeigt bezüglich dieser Zielstellung, dass diese mit Hilfe des entwickelten Regelungsansatzes deutlich erreicht wird. Die unteren Speichtemperaturen weisen im Vergleich zur IL-VN VOR-NACHWÄRMER-Variante eine deutlich kleinere Spreizung mit Minimalwerten um die 25 °C auf.

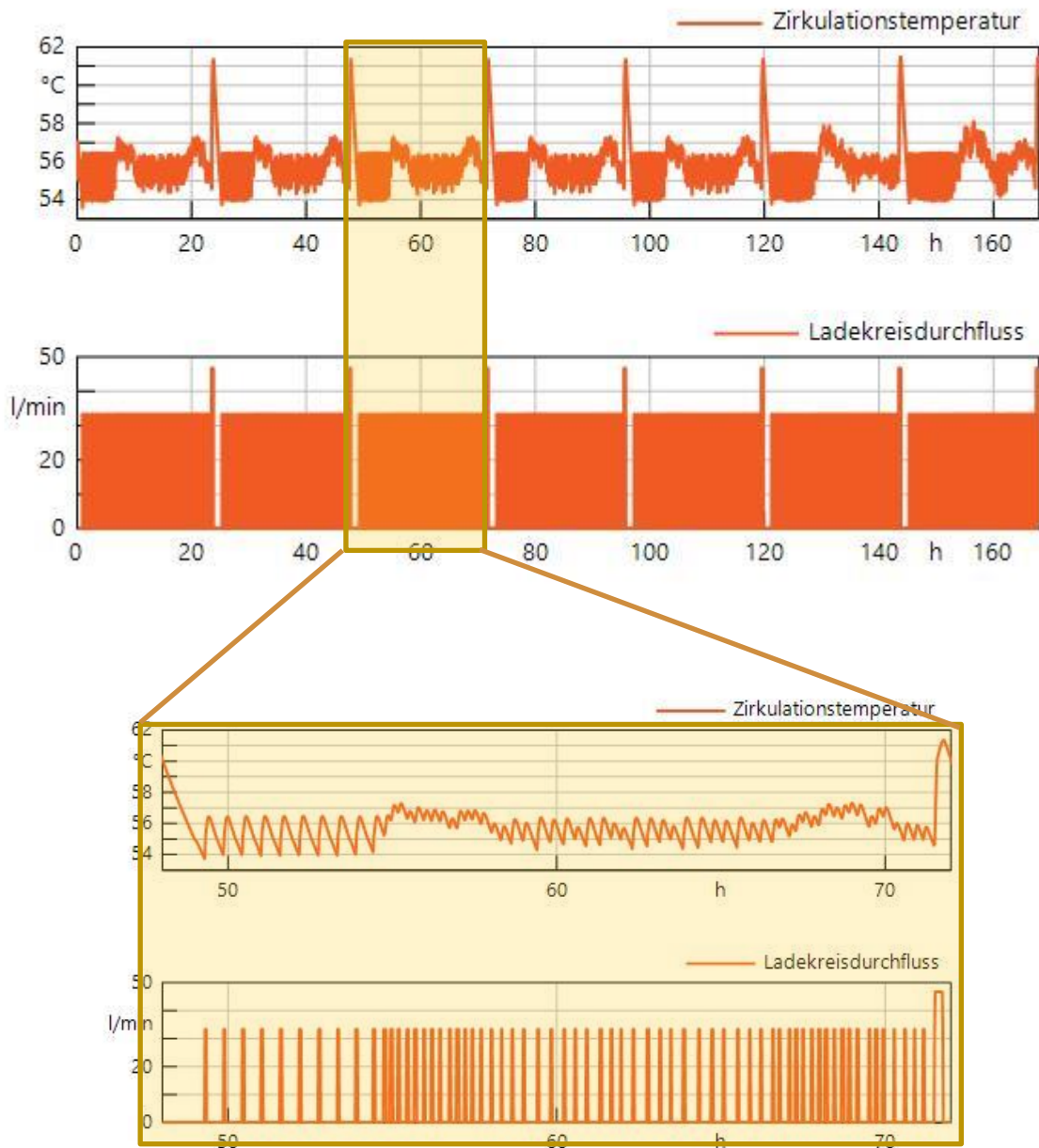


Abbildung 43: Zirkulationstemperatur und Ladekreisdurchfluss sowie Soll- Pumpendurchfluss im Verlauf der Kalenderwoche (oben) und eines Werktags (unten)

Jedoch zeigt Abbildung 42 auch, dass die unteren Trinkwasserspeicherbereiche nicht mehr so stark bis auf 57 °C bei jedem Ladeprozess erwärmt werden. Die Beladung des Speichers erfolgt last- und ladezustandsabhängig, wodurch der intendierte Effekt der neuen Regelung erreicht werden kann.

Abbildung 43 zeigt ergänzend dazu die Funktionsweise der neuen Regelung der Pumpe im Ladekreis. In Abhängigkeit des Speicherfüllstandes wird hierbei der Durchfluss geregelt. Dies führt zu einem sehr geringen Volumenstrom im Ladekreis. Auf diese Weise wird der Anteil der Entnahme von Trinkwasser aus dem unteren Speicherbereich zur Erwärmung gegenüber dem Zirkulationsvolumenstrom weiter verringert und damit eine verbesserte Schichtung im Speicher ermöglicht.

Die Zirkulationstemperatur wird erneut analog zu den vergleichbaren Systemen nach Speicherladeprinzip mit Hilfe des PI-Reglers ausgeglichen. Im Gegensatz zu anderen Systemen weist das IL-RA PREMIUM-System neben einer Betriebsmodusabhängigkeit (d.h. Legionellenbetrieb) auch eine deutliche Lastabhängigkeit in der Zirkulationsregelung auf.

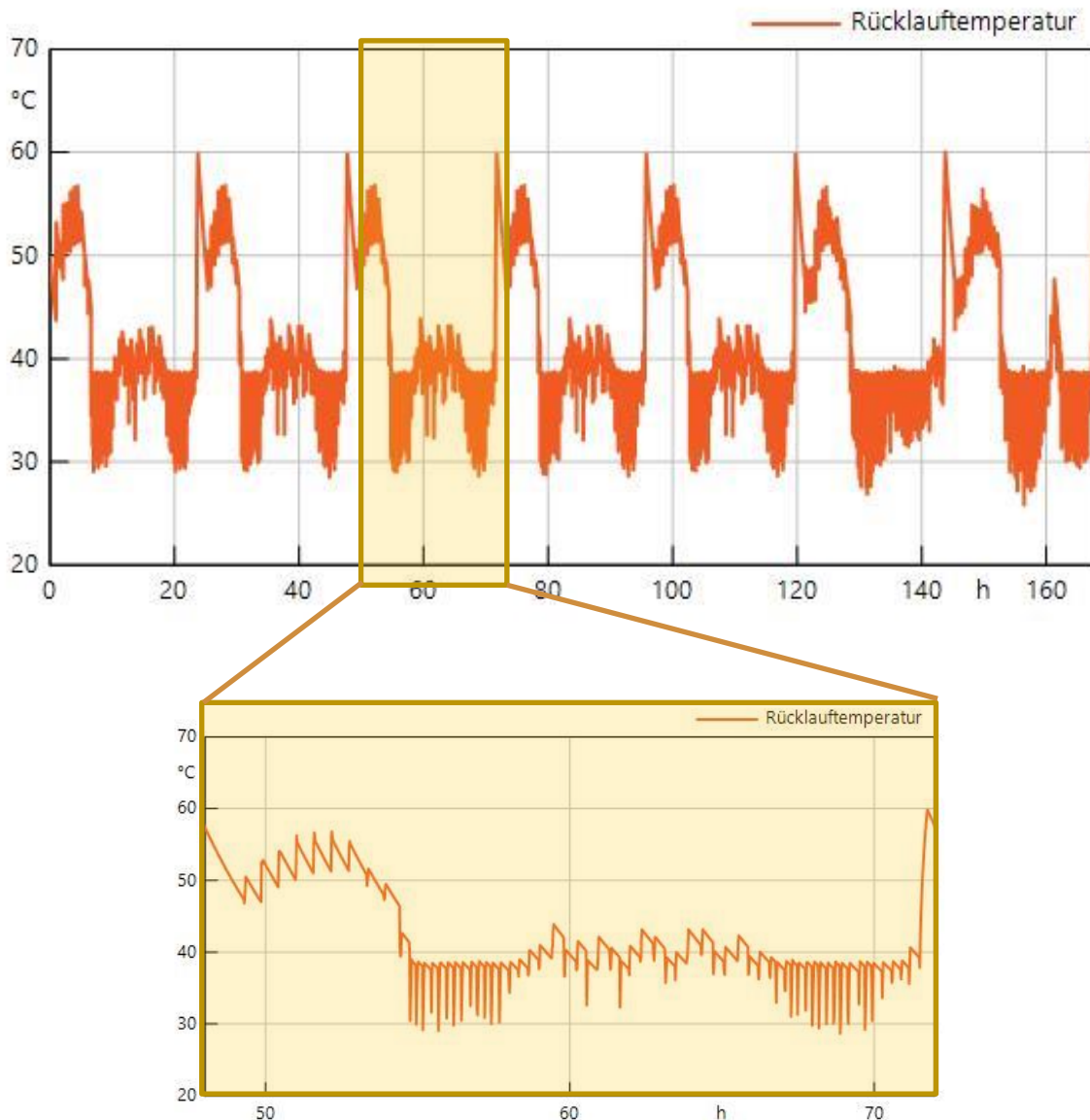


Abbildung 44: Rücklauftemperaturen im Verlauf der Kalenderwoche (oben) und eines Werktages (unten)

Auch bei der IL-RA PREMIUM-Systemvariante ist die resultierende, heizungsseitige Systemrücklauftemperatur der entscheidende Faktor zur Bewertung des Systemverhaltens. Für das hier betrachtete Szenario wird das zugehörige dynamische Verhalten dieser Größe in Abbildung 44 gezeigt, dass eine mittlere Rücklauftemperatur von 42,59 °C widerspiegelt.

Dies entspricht gegenüber dem einfachen zweistufigen Speicherladeprinzip IL-VN VOR-NACHWÄRMER einer nochmaligen Absenkung der entscheidenden Rücklauftemperatur um ca. 8 K, was aufgrund des geringfügigen technischen Mehraufwandes (Regelungsanpassung) einer signifikanten Verbesserung

entspricht. Wichtig ist hierbei jedoch die richtige Inbetriebnahme und dass der hydraulische Abgleich durchgeführt wird. Denn nur mit korrekt eingestellten Volumen- bzw. Masseströmen ist ein effizienter Betrieb möglich.

Auch bei diesem System ist die einmalige Durchladung des Trinkwasserspeichers zur Legionellenbekämpfung am Ende des Tages zu sehen. Dabei steigt in der Nichtnutzungszeit des Systems in der Nacht die Rücklaufftemperatur auf bis zu 60 °C an. Aufgrund der abgesenkten Speichertemperaturen kann die Rücklaufftemperatur im normalen Betrieb bei mittlerer Zapfleistung auf bis zu 38 °C abgesenkt werden. In Spitzenlastzeit erfolgt sogar eine kurzzeitige Absenkung bis auf unter 30 °C.

8.2.6 Systemvariante ID-RA PREMIUM

Analog zur Systemvariante IL-RA PREMIUM stellt die Systemvariante ID-RA PREMIUM eine Weiterentwicklung des zweistufigen Durchflussprinzips ID-VN VOR-NACHWÄRMER mit einem zusätzlichen heizungsseitigen Speichers sowie weiteren geregelten Ventilen zur optimalen Einschichtung der Heizkreisvolumenströme dar.

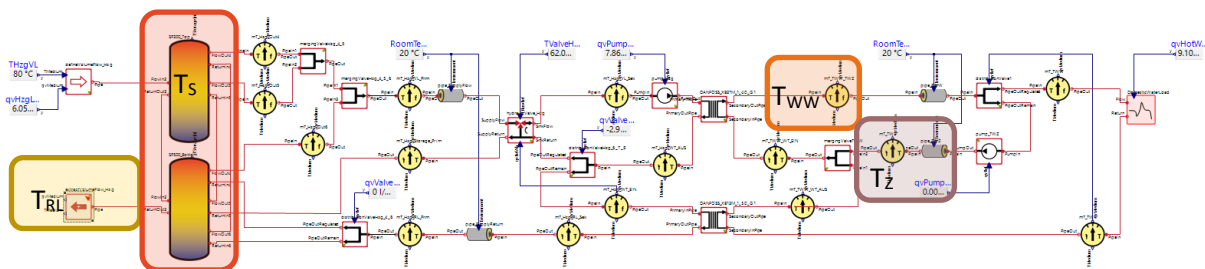


Abbildung 45: Systemvariante ID-RA PREMIUM mit relevanten Kenngrößen (T_{RL} – Rücklaufftemperatur, T_{zw} – Warmwassertemperatur Ladekreis, T_S – Speichertemperatur, T_Z – Zirkulationstemperatur)

Grundsätzlich entspricht die Systemvariante ID-RA PREMIUM im Trinkwasserbereich dem zweistufigen Durchflussprinzip ID-VN VOR-NACHWÄRMER mit Vorerwärmer und Nacherwärmer. Jedoch ist das Ziel der heizungsseitigen Speicherkaskadierung, dass die resultierenden Rücklaufvolumenströme der beiden Wärmeübertrager optimal in die jeweilig passende Speicherschicht eingelagert werden können. Die Kaskadierung des heizungsseitigen Speichers ermöglicht dabei zusätzlich eine bessere Schichtung innerhalb des Speichersystems.

Abbildung 46 zeigt die resultierenden Temperaturverhältnisse in den Warmwasser- und Zirkulationsleitungen des Systems. Im Gegensatz zu den einfachen einstufigen und zweistufigen Systemkonfigurationen ID-GA COMFORT und ID-VN VOR-NACHWÄRMER ist dabei trotz dessen, dass keinerlei Betriebsumschaltung in den Legionellenbetrieb erfolgen muss, ein deutlich hochfrequenteres Regelverhalten zu erkennen.

In der meisten Zeit schafft es der auf Basis der einfacheren Systemvarianten parametrisierte Regler, die geforderte Warmwassertemperatur von 60 °C möglichst genau einzustellen. Aufgrund des erhöhten Vorlaufvolumenstroms im Heizkreis, der durch die zusätzlichen Steuerventile hervorgerufen wird, kann die Vorlauftemperatur im Heizkreis teilweise unter Last nicht so weit heruntergeregelt werden, dass die Zieltemperatur im Warmwasserkreis von 60 °C nicht überschritten wird. Das ist jedoch unkritisch und kann durch weitere Optimierung des Regelverhaltens weiter verbessert werden.

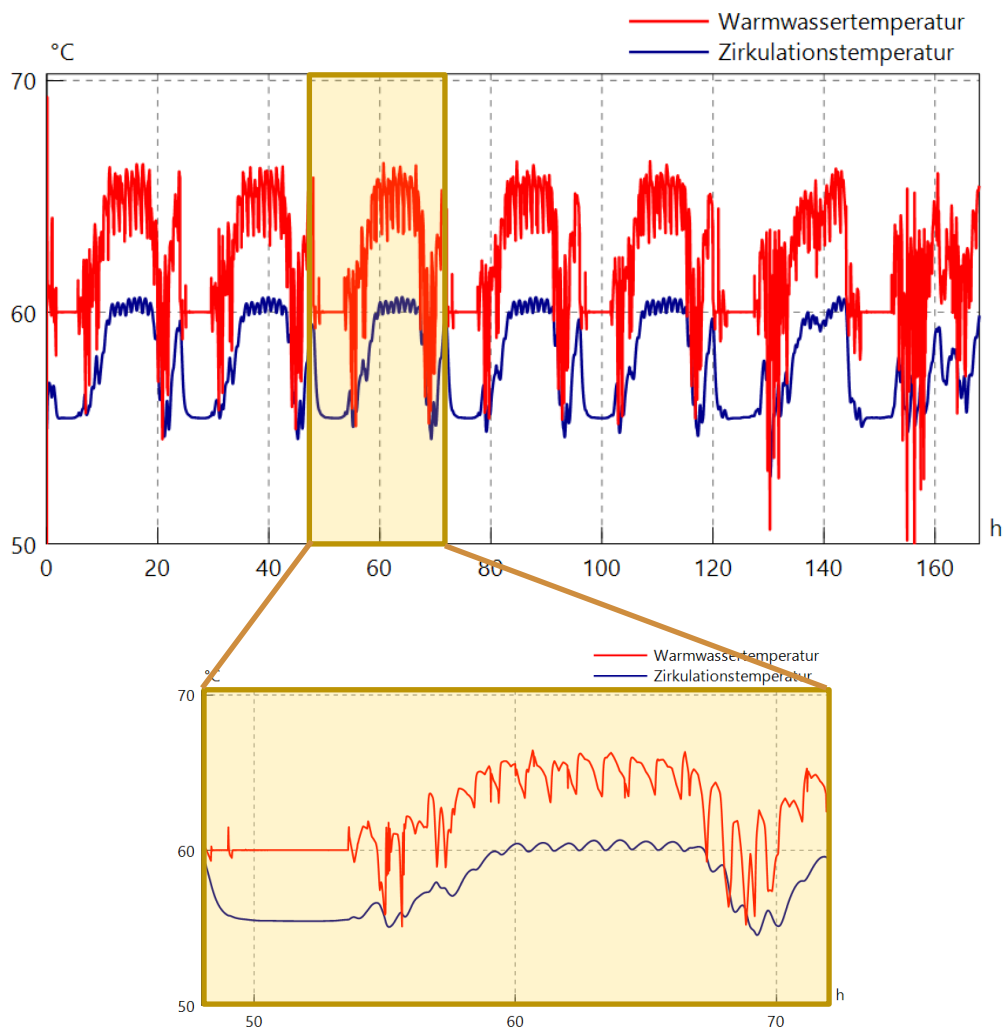


Abbildung 46: Zirkulations- und Warmwassertemperatur im Verlauf der Kalenderwoche (oben) und eines Werktags (unten)
 Diese Optimierung des Regelverhaltens war jedoch nicht Bestandteil dieser Studie und wurde auch in Hinblick des aktuellen Entwicklungsstandes des Systems nicht weiterverfolgt. Dies zeigt sich auch beim festgestellten geringfügigen Temperatureinbruch im höheren Lastbereich in Abbildung 46, der jedoch nicht System- sondern regelungsbedingt ist.

Um eine Vergleichbarkeit zu den anderen Versionen des Durchflussprinzips zu ermöglichen, wurde auch für das ID-RA PREMIUM-System mit Hilfe des PI-Reglers ein konstanter, mittlerer benötigter Zirkulationsvolumenstrom definiert, der im Rahmen der Analysen zur Regelung der Zirkulationspumpe genutzt wurde. Jedoch erfordert das ID-RA PREMIUM-System analog zur IL-RA PREMIUM-Systemvariante auch eine lastabhängige (bzw. heizkreisvorlaufemperaturabhängige) Regelung der Zirkulationspumpe. Aufgrund dessen regelt die Pumpe im Normalbetrieb eine Zirkulationstemperatur von 55 °C aus. Bei erhöhter Warmwassertemperatur wird diese jedoch auf teilweise über 60 °C angehoben. Hier liegt weiterer Optimierungsbedarf in der hier genutzten Regelung.

Im Gegensatz zu den einfacheren Durchflusssystemen ID-GA COMFORT und ID-VN VOR-NACHWÄRMER stellt das alternative heizungsseitige Speicherkonzept das wichtigste Weiterentwicklungskriterium dar.

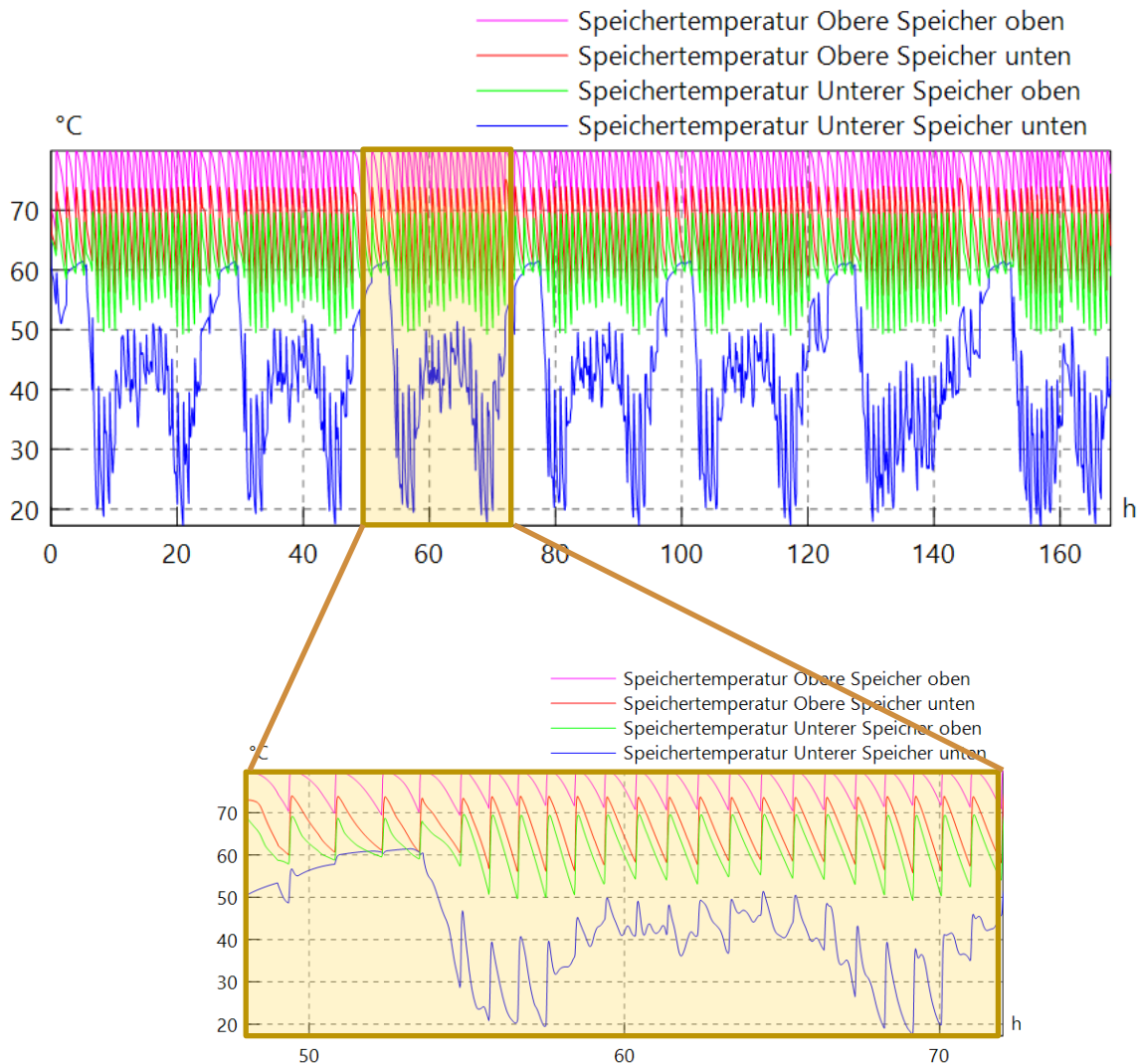


Abbildung 47: Speichertemperaturen im Verlauf der Kalenderwoche (oben) und eines Werktages (unten)

Aufgrund des hier genutzten Speicherkaskadenprinzips sind daher in Abbildung 47 vier statt drei Sensorpositionen mit jeweils den unteren und oberen Bereichen in beiden Speichern gezeigt. Aus den Simulationsergebnissen zeigt sich, dass die mit der Systemoptimierung intendierte deutliche Erhöhung der Temperaturspreizung im heizungsseitigen Speichersystem aufgrund der last- und temperaturabhängigen Einschichtung des Heizkreisrücklaufs augenscheinlich gelingt. Im unteren Speicherbereich werden dabei durch die Auskühlung Temperaturen von bis zu 20 °C erreicht. Im Mittel liegen diese für den heizungsseitigen Rücklauf entscheidenden Temperaturen im Bereich von ca. 40 °C. Lediglich zu nahezu lastfreien Zeiträumen in der Nacht wird die untere Speichertemperatur der Kaskade auf bis zu 60 °C erwärmt.

Dieses Verhalten zeigt sich analog bei der resultierenden heizungsseitigen Rücklauftemperatur (vgl. Abbildung 48). Mit dem ID-RA PREMIUM-System kann die mittlere Rücklauftemperatur im Betrachtungszeitraum auf ca. 42,20 °C abgesenkt werden, was einer weiteren Verringerung der

Rücklauftemperaturen gegenüber dem vergleichbaren zweistufigen ID-VN VOR-NACHWÄRMER-System um ca. 10 K unterschätzt.

Analog zu den unteren Speichertemperaturen wird auch hier bereits bei geringen Zapfleistungen eine Rücklauftemperatur von um die 40 °C erreicht. Bei höheren Nutzungsgraden erfolgt sogar eine Absenkung auf bis zu 30 °C und zweitweise bei höheren Lasten auch bis zu 20 °C.

Daher bietet diese optimierte zweistufige Systemvariante noch einmal ein höheres Verbesserungspotential für den Einsatz in Heizsystemen mit rücklauf temperaturabhängiger Effizienzcharakteristik.

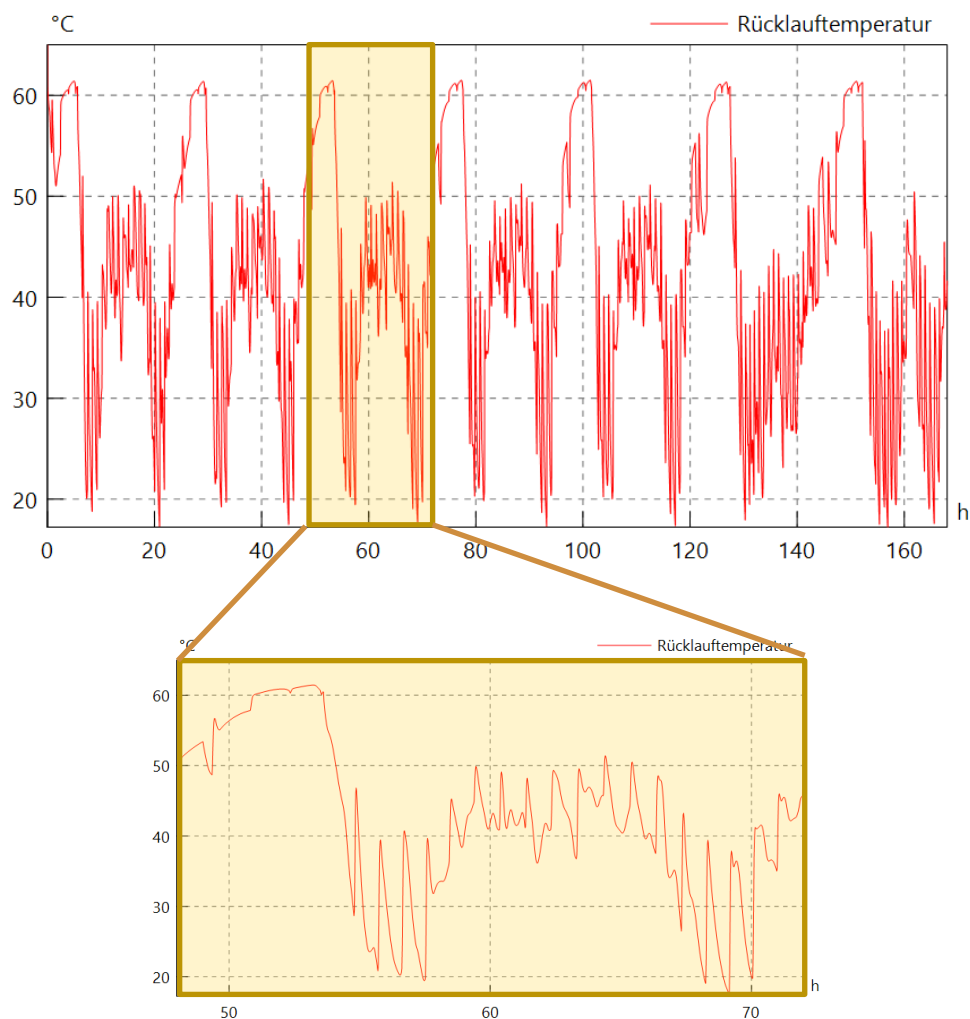


Abbildung 48: Rücklauftemperaturen im Verlauf der Kalenderwoche (oben) und eines Werktages (unten)

8.3 Vergleichende Systembewertung

Nach einer detaillierten Bewertung der einzelnen zu untersuchenden Systemkonfigurationen anhand eines Last- und Zirkulationssystemszenarios erfolgt im Rahmen dieses Abschnitts noch einmal eine vergleichende Bewertung aller betrachteten Untersuchungsvarianten anhand aller zuvor definierten Bewertungsszenarien.

Ein Vergleich aller Systemkonfigurationen kann dabei bezüglich zweier Lastszenarien (d.h. 30 l/d pro Person, 30 WE, davon je 1,8 und 3,5 Personen Pro WE) und drei Modernisierungsszenarien des Zirkulationssystems (d.h. 2, 4 oder 6 kW Wärmeverlust) erfolgen. Insgesamt ergeben sich daraus 6 Bewertungsszenarien für alle Konfigurationen.

Im Rahmen der vergleichenden Bewertung soll ausschließlich das entscheidende Bewertungskriterium, die mittlere Systemrücklauftemperatur während einer ganzen Kalenderwoche als repräsentativer Vergleichszeitraum analysiert werden. Die Ergebnisse dieser Analyse werden in Abbildung 49 dargestellt.

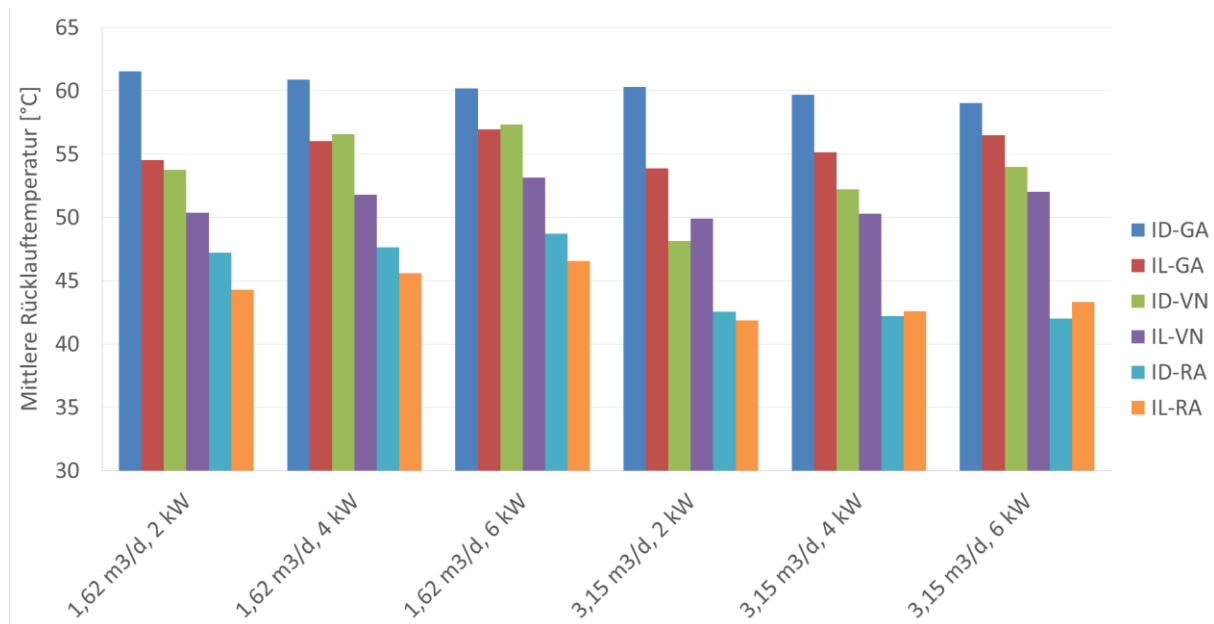


Abbildung 49: Vergleich der mittleren Rücklauftemperaturen der sechs untersuchten Systemkonfigurationen für die sechs betrachteten Hauptszenarien

Zunächst bestätigen sich die Erkenntnisse aus Abschnitt 8.2 des detaillierten Systemvergleichs auch für alle anderen o.g. Szenarien.

Die höchsten Rücklauftemperaturen der Yados-Systeme liefern die einstufigen Systemvarianten, wobei das Durchflussprinzip (ID) noch einmal deutlich höhere Rücklauftemperaturen hervorruft als das Speicherladesystem (IL). Die zweistufigen Systemkonfigurationen stellen eine deutliche Optimierung weil Verringerung der resultierenden Rücklauftemperaturen dar, welches jedoch von beiden RA-Systemen noch einmal deutlich überboten wird. Bei geringen Zirkulationsverlusten (d.h. 2 kW) erreichen die RA-Varianten auch bei den hier zum Vergleich genutzten realen aber vergleichbar geringen Zapfleistungen mit an die 40 °C sehr niedrige mittlere Rücklauftemperaturen.

Darüber hinaus zeigt die Untersuchung, dass bei den meisten Varianten die Verdopplung des Warmwasserbedarfs jeweils eine deutliche Reduktion der mittleren Rücklauftemperaturen (hier ca. 5 K) verursacht. Auch der Modernisierungsgrad der Zirkulationsleitungen hat einen signifikanten Einfluss auf das Systemverhalten und führt zwischen dem 2 kW und 6 kW Szenario zu einer Erhöhung der Rücklauftemperaturen um bis zu 3 K. Lediglich bei Systemkonfigurationen mit sehr hohen Rücklauftemperaturen oberhalb der 55 °C (d.h. ID-GA COMFORT) wirkt sich eine energetisch schlechtere Zirkulation sogar positiv auf das Ergebnis aus.

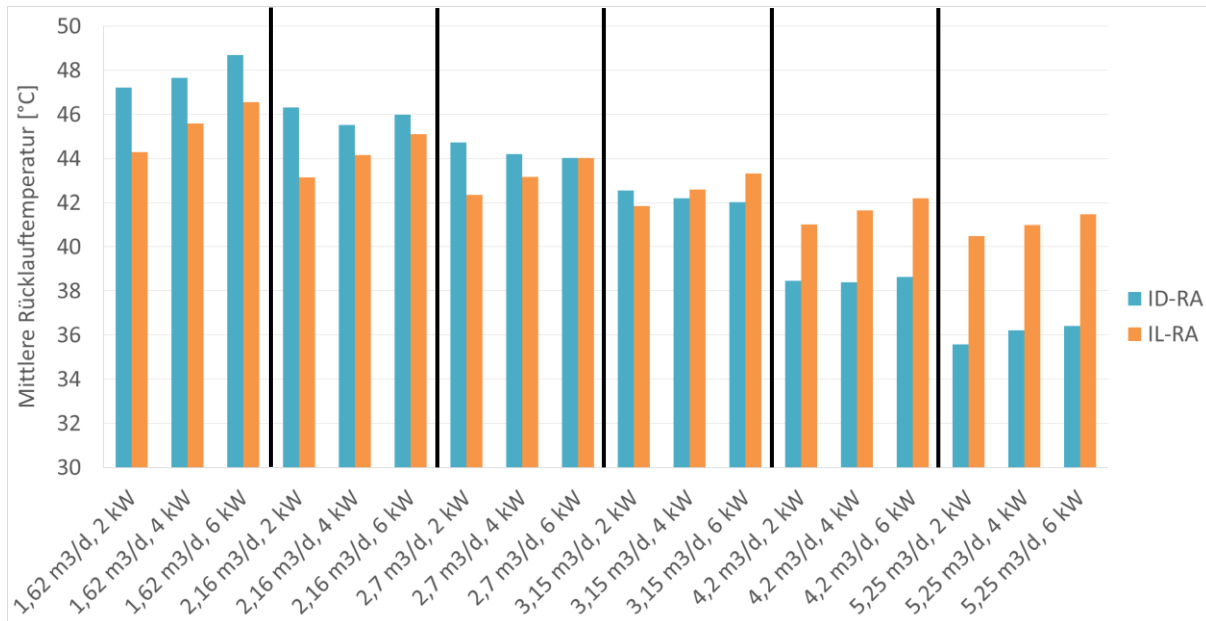


Abbildung 50: Vergleich der mittleren Rücklauftemperaturen der zwei RA-Systemkonfigurationen für alle Lastszenarien. Zusätzlich zum Vergleich aller Systemkonfigurationen wurde im Rahmen der vergleichenden Bewertungen in diesem Abschnitt noch einmal zusätzlich der Fokus auf die beiden RA-Varianten in Hinblick auf den Einfluss verschiedener Warmwasserbedarfe gelegt, da diese aufwendig geregelten System teilweise einer lastabhängigen Regelung unterliegen. Die Ergebnisse dieser Bewertung sind in Abbildung 50 dargestellt.

Im Allgemeinen führt eine Erhöhung des Warmwasserbedarfs (z.B. Verdopplung, entspricht Absenkung um 5 bis 10 K) zu einer deutlichen Verringerung der resultierenden Rücklauftemperaturen. Auch lässt sich aus den Ergebnissen ableiten, dass bei geringeren Warmwasserbedarf das Durchflussprinzip in der RA-Konfiguration bessere Ergebnisse liefert, dies jedoch bei höheren Warmwasserbedarf sich umkehrt und das Speicherladeprinzip die Oberhand gewinnt.

Darüber hinaus wird noch einmal sehr deutlich, dass zwischen einer modernisierten Zirkulation (2 kW) und Zirkulationsleitungen mit schlechtem energetischem Standard (6 kW) schnell 3 bis 4 K Unterschied hinsichtlich der Rücklauftemperatur liegen können. In den Untersuchungsvarianten, bei denen dies in Abbildung 50 nicht erkennbar ist, besteht noch Optimierungsbedarf bei der Einstellung des Zirkulationsvolumenstromes bzw. der Regelung der Warmwassertemperatur, wie es bereits in Abschnitt 8.2.6 dargestellt wurde. Diese Varianten stellen aber keine Ausnahme von den o.g. Erkenntnissen dar.

9 Fazit

Im Rahmen dieser vergleichenden Studie wurden insgesamt sechs verschiedene Systemkonfigurationen zur Umsetzung der Trinkwarmwasserbereitung der Fa. Yados als Simulationsmodelle umgesetzt. Diese Modelle beinhalteten das physikalische Verhalten der einzelnen Systemkomponenten sowie der jeweiligen Anlagenregelung auf Basis der Vorgaben und Regelungsbeschreibungen der Fa. Yados.

Für die Bewertung der unterschiedlichen Systeme wurden anhand einer detaillierten Analyse vergleichbarer Quellen und Messdaten verschiedene Szenarien für den Warmwasserbedarf und den energetischen Zustand des Zirkulationssystems definiert.

Der Vergleich der Simulationsergebnisse ermöglichte eine detaillierte Bewertung des jeweiligen Systemverhaltens anhand vorher definierter Kriterien in Bezug auf die unterschiedlichen Einsatzszenarien als auch im Vergleich zu den jeweils anderen Systemkonfigurationen.

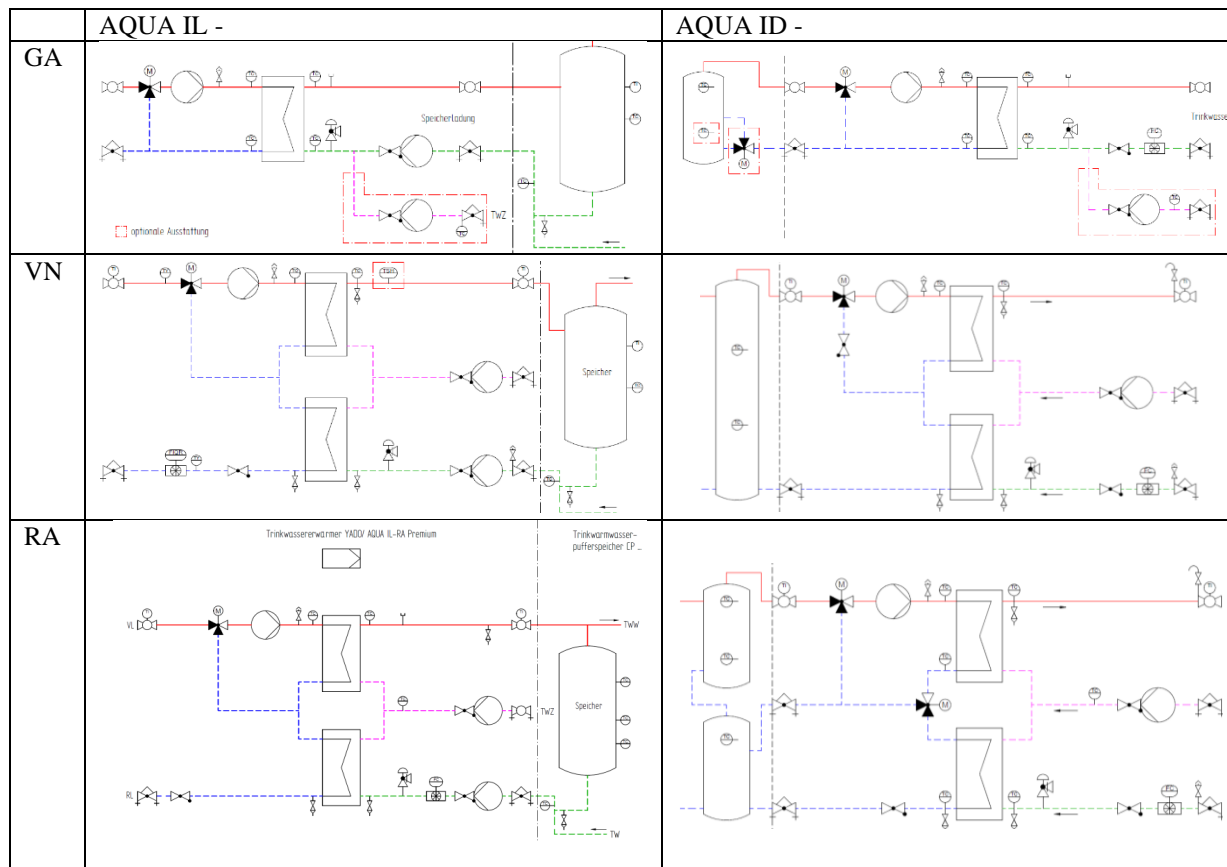
Die vorrangig in Abschnitt 8 gezeigten und analysierten Ergebnisse stellen deutlich die Leistungsfähigkeit und Vorteile der komplexen zweistufigen Systemvarianten des Speicherladeprinzips (IL-RA PREMIUM) und des Durchflussprinzips (ID-RA PREMIUM) dar. Darüber hinaus ermöglichte der Vergleich auch eine Einordnung der Systeme im Vergleich zu anderen Systemtechnologien.

10 Literaturverzeichnis

- [1] „Einkommens- und Verbrauchsstichprobe Wohnverhältnisse privater Haushalte,“ 2019.
- [2] T. Tjaden, „Techno-ökonomischer Vergleich von Solarthermieanlagen mit Photovoltaik-Wärmepumpen-Systemen mittels dynamischer Simulation,“ 2013.
- [3] T. U. Braunschweig, „Systemanalyse zur solaren Energieversorgung,“ 2014.
- [4] J. Zeisberger, „Beitrag zur energieeffizienten Trinkwassererwärmung,“ 2017.
- [5] BBSR, „Nutzenergiebedarf für Warmwasser in Wohngebäuden,“ 2017.
- [6] S. Recknagel, *Heizflächenarten*.
- [7] D.-I. U. Mayer, *Kapitel IV: Heizflächen*, 2005.
- [8] Heimeier, „Anwendungstechnik,“ 2018.
- [9] U.-P. D.-I. G. Hausladen, „SKRIPT HEIZTECHNIK,“ 1998.
- [10] DIN, *DIN V 4701-10 Beiblatt 1:2003-08, Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen- Teil10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung Beiblatt1: Anlagenbeispiele*, Beuth Verlag GmbH, 2003.
- [11] DIN, *DIN SPEC 12831-1:2018-10, Verfahren zur Berechnung der Raumheizlast- Teil1: Nationale Ergänzungen zur DINEN12831-1, mit CD-ROM*, Beuth Verlag GmbH, 2018.
- [12] Dimplex, *Projektierungshandbuch: Solarthermie*, 2010.
- [13] N. Diefenbach, T. Loga, R. Born, M. Großklos und C. Herbert, „Energetische Kenngrößen für Heizungsanlagen im Bestand,“ 2002.
- [14] BDH, *Bivalente Wärmepumpen-Systeme*, Infoblatt 57 Hrsg., 2014.
- [15] *Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz - EEWärmeG)*, 2015.
- [16] N. D. Pflugradt, „Modellierung von Wasser und Energieverbräuchen in Haushalten,“ 2016.
- [17] K. Jagnow, „Kennwerte Verteilnetze,“ in *Qualifikation zum Energieberater TGA, TWW*, 2004.
- [18] S. Gährs, E. Wieckowski, J. Braunmühl, A. Wolfmaier und B. Hirschl, „Private Haushalte als neue Schlüsselakteure einer Transformation des Energiesystems,“ 2015.

11 Anhang

11.1 Anlagenschemata



11.2 Stichpunktartige Zusammenfassung der Normen zu Zapfprofilen und Trinkwarmwasserbedarf

Tabelle 8: Stichpunktartige Zusammenfassung der Normen zu Zapfprofilen und Trinkwarmwasserbedarf

Norm / Regelwerk	Stichpunktartige Zusammenfassung
DIN 4701-10	<ul style="list-style-type: none"> ○ bietet Grundlagen für den Nachweis des Energiebedarf eines Gebäudes nach der EnEV ○ nennt Aufwandszahlen für die gebräuchlichsten Anlagen von der Wärmeübergabe, der Wärmeverteilung und der Wärmeerzeugung ○ beziffert Bereitstellungsdauer für Trinkwarmwasser auf 350 d/a ○ Trinkwasser-Wärmebedarf 12,5 kWh/(m²·a)
DIN 4708-1	<ul style="list-style-type: none"> ○ Dimensionierung des Wärmeerzeugers nach Leistungskennzahl N ○ Ermitteln des Wärmebedarfs anhand der Leistungskennzahl N und eines gewünschten Bedarfszeitraumes z ○ Verbräuche aus den 70iger Jahren die sich stark reduziert haben ○ Gleichzeitigkeit von Zapfungen aufaddiert
DIN EN 12831 – 3	<ul style="list-style-type: none"> ○ für Wohn- und Nichtwohngebäude, ein sonstiges Gebäude oder für einen Bereich eines Gebäudes

	<ul style="list-style-type: none"> ○ für Speicher- und Speicherladesysteme ○ Gegenüberstellung von Bedarfs- und Angebotskurve ○ Bedarfskurve = summiertes Zapfvolumen sowie die Temperaturen von Kalt- und Warmwasser ○ Angebotskurve = Speichervolumen und die mittlere Speichertemperatur) ○ Einschaltkurve =Parallelverschiebung der Bedarfskurve und ergibt sich nur aus der Höhe des Einschaltfühlers ○ neigt zur Überdimensionierung der Speicherinhalte bei gleichzeitiger Unterschätzung der Anzahl der Brennerstarts ○ Norm mit konstant hoher Leistung, sodass die rechnerisch verfügbare Energie manchmal höher ist als in Wirklichkeit ○ Zapftemperatur 42°C Kaltwasser 10 °C 																								
DIN EN 15316-3-1	<ul style="list-style-type: none"> ○ Liefert Zapfprogramm 																								
DIN V 18559-10	<ul style="list-style-type: none"> ○ Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung (Energiebilanz) von Gebäuden ○ Nutzwärmebedarf Trinkwarmwasser EFH: 11 kWh/(m² · a); MFH: 15 kWh/(m² · a) 																								
VDI 2067-12	<ul style="list-style-type: none"> ○ Referenznutzen für Wasser- und Wärmebedarf von unterschiedlichen Nutzungen an den Entnahmestellen ○ Angabe von Mittelwerten für bestimmtes Hygieneausstattung im Haushalt ○ Angegebene Werte in kWh/(P·a) oder kWh/(P·d) ○ Tabelle zu statistischen Belegungszahl von Wohnungen d.h. Rückschluss der Personen je Haushalt anhand der Raumanzahl 																								
VDI 4655	<ul style="list-style-type: none"> ○ Referenzlastprofil für KWK-Anlagen für den Einsatz in Wohngebäuden mit einer Brennstoffleistung bis 70 kW (bezogen auf den Heizwert) ○ bei Einfamilienhäusern auf eine maximale Personenzahl von 12 Personen ○ bei Mehrfamilienhäusern auf bis zu 40 Wohneinheiten ○ Gliederung in Typtage ○ Beziehen sich auf Testreferenzjahr für einzelnen Klimazonen ○ 1000kWh/WE für MFH <p style="text-align: center;">Tabelle 1. Systematik der Typtagkategorien</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Jahreszeit</th> <th colspan="2">Werktag W</th> <th colspan="2">Sonntag S</th> </tr> <tr> <th>Heiter H</th> <th>Bewölkt B</th> <th>Heiter H</th> <th>Bewölkt B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Übergang Ü</td> <td>ÜWH</td> <td>ÜWB</td> <td>ÜSH</td> <td>ÜSB</td> </tr> <tr> <td>Sommer S</td> <td colspan="2">SWX</td> <td colspan="2">SSX</td> </tr> <tr> <td>Winter W</td> <td>WWH</td> <td>WWB</td> <td>WSH</td> <td>WSB</td> </tr> </tbody> </table>	Jahreszeit	Werktag W		Sonntag S		Heiter H	Bewölkt B	Heiter H	Bewölkt B	Übergang Ü	ÜWH	ÜWB	ÜSH	ÜSB	Sommer S	SWX		SSX		Winter W	WWH	WWB	WSH	WSB
Jahreszeit	Werktag W		Sonntag S																						
	Heiter H	Bewölkt B	Heiter H	Bewölkt B																					
Übergang Ü	ÜWH	ÜWB	ÜSH	ÜSB																					
Sommer S	SWX		SSX																						
Winter W	WWH	WWB	WSH	WSB																					
VDI 6002	<ul style="list-style-type: none"> ○ Gliederung in Woche, Samstag Sonntag 																								
	<ul style="list-style-type: none"> ○ Fabrikatsneutrale Auslegung von Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung ○ Während dieser Schwachlastperiode liegt der Warmwasserbedarf ○ in großen Wohngebäuden bei 18 bis 28 l Pro Tag und Pro Vollbelegungsperson bezogen auf 60°C 																								
EU Verordnung Nr. 814/2013	<ul style="list-style-type: none"> ○ (ErP-Richtlinie) die Ökodesign-Anforderung an Warmwasserbereiter ○ 4XL ≈ N-Zahl 15 ○ Gleichzeitigkeit der Zapfstellen 																								

4XL	Market share	<1%	collective hot water (16 * M-class)			
	Largest flow rate required ($\Delta T=45$ K)	96 ltr./ min.	larger multi-family, homes for elderly			
	Largest tapping required	430 ltr	swimming pool showers, hospitals, military, prisons			
	24 h net hot water demand	93,6 kWh/ a	hotels, car wash			
	Nr. of cycles per 24 h	23	collective shower facilities (gym), also in cascades			
Angegebenes Lastprofil	M	L	XL	XXL	3XL	4XL
Mischwasser bei 40 °C	65 Liter	130 Liter	210 Liter	300 Liter	520 Liter	1 040 Liter

11.3 Regelungsschemata

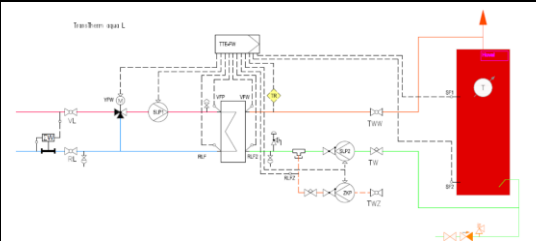
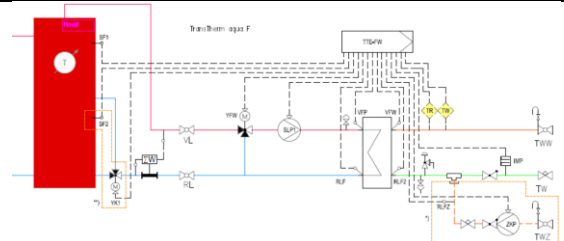
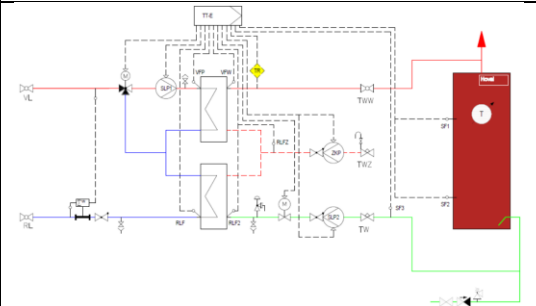
	AQUA IL -	AQUA ID -
GA / VN	59	61
		
RA	60	62
		noch nicht eingetragen

Abbildung 51: Darstellung der Anlagenvarianten im Schemenhandbuch

11.4 Simulationsdaten

Tabelle 9: Simulationsdaten Wärmeübertrager

Wärmeübertrager	Volumen Primär [l]	Volumen Sekundär [l]	Wärmeübertragerfläche [m ²]	Wärmedurchgangskoeffizient [W/m ² K]	Einsatz
DANFOSS XB12M-1-40 G1	0.608	0.64	1.06	10000	Vorwärmer: ID-VN VOR-NACHWÄRMER
DANFOSS XB12M-1-50 G1	0.768	0.8	1.34	10000	Vorwärmer: ID-RA PREMIUM
DANFOSS XB37M-1-20 G1	0.63	0.7	0.918	10000	IL-GA COMFORT, Nachwärmer: IL-VN VOR-NACHWÄRMER, IL-RA PREMIUM
DANFOSS XB37M-1-30 G1	0.98	1.05	1.458	10000	ID-GA COMFORT
DANFOSS XB37M-1-40 G1	1.33	1.4	1.938	10000	Nachwärmer: ID-VN VOR-NACHWÄRMER, ID-RA PREMIUM
DANFOSS XB37L-1-10 G1	0.408	0.51	0.462	10000	Vorwärmer: IL-VN VOR-NACHWÄRMER
DANFOSS XB37L-1-20 G1	0.918	1.02	0.972	10000	Vorwärmer: IL-RA PREMIUM

Tabelle 10: Simulationsdaten Wärmespeicherparameter

	Wärme- speicher	Wärme- ver- lustrate [W/K]	Volu- men [l]	Durch- messer [m]	Ein [%]	Kno- ten Ein	Aus [%]	Kno- ten Aus	RA [%]	Kno- ten RA	SF1 [%]	Kno- ten SF1	SF2 [%]	Kno- ten SF2
IL-GA COMFORT	CP400	3.08	411	0.59	50	6	100	1						
IL-VN VOR- NACH- WÄRMER	CP400	3.08	411	0.59	50	6	100	1						
IL-RA PRE- MIUM	CP500	3.28	490	0.65	50	6	100	1	80	3				
ID-GA COMFORT	SP500	3.24	473	0.597	50	6	90	2			15	9	60	9
ID-VN VOR- NACH- WÄRMER	SP500	3.24	473	0.597	50	6	90	2			15	9	60	9
ID-RA PRE- MIUM	SP800	5	781	0.79	20	9	35	7			5	10	50	10

Tabelle 11: Simulationsdaten Reglerparameter

	kPumpLK	TPumpLK	KValveHzg	TValveHzg	kPumpeHzg	TPumpHzg	kPumpCirc	TPumpCirc
IL-GA COMFORT	10	300	25	15			50	900
IL-VN VOR- NACH- WÄRMER	10	300	4	15			50	900
IL-RA PRE- MIUM	10	300	25	15			50	900
ID-GA COMFORT					30	10	50	900
ID-VN VOR- NACH- WÄRMER			500	50	30	10	50	900
ID-RA PRE- MIUM								

Tabelle 12: Simulationsdaten Übertragungsfunktion Zeitkonstante und Nachlaufzeit

	TsPumpHzg	TsPumpCirc	TsPumpLK	TsValveHzg	ti- meRampPu mp	TNPumpHz g	TNPumpLK	TsPumpHzg
IL-GA COM- FORT	60	60	60	8	90	60	60	60
IL-VN VOR- NACHWÄR- MER	60	60	60	8	90	60	60	60
IL-RA PRE- MIUM	60	60	60	8	90	60	60	60
ID-GA COMFORT	60	60	60	8		60	60	60
ID-VN VOR- NACHWÄR- MER	60	60	60	8		60	60	60
ID-RA PRE- MIUM								

Tabelle 13: Simulationsdaten Reglerparameter

	qvPumpHzgMax [l/min]	qvPumpLKMax [l/min]	qvPumpCircMax [l/min]	TstorageEIN-Ref [°C]	TstorageAUS-Ref [°C]	TstoragerARef [°C]	TstoragerS1Ref [°C]	TstoragerS2Ref [°C]	TvalveHzgRef [°C]	TPumpHzgRef [°C]	TPumpCircRef [°C]	TLegionellenRef [°C]
IL-GA COMFORT	22.62	18.10	11.49	55	57				60		55	60
IL-VN VORNACHWÄRMER	22.62	18.10	11.49	55	57						55	60
IL-RA PREMIUM	18.10	18.10	11.49								55	60
ID-GA COMFORT	52.07	41.66	11.49						67	60	55	
ID-VN VORNACHWÄRMER	52.07	41.66	11.49						67	60	55	
ID-RA RPREMIUM	41.66	41.66	11.49						35		55	