FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

F 2992

Benjamin Freiherr von Wolf-Zdekauer

Erweiterung der normativen Verfahren zur energetischen Inspektion von Gebäuden durch die Entwicklung einer Analysemethode zur Identifikation von Effizienzpotenzialen auf Grundlage von Messdaten aus mobilen Monitoringsystemen

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung

Fraunhofer IRB Verlag

F 2992

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2016

ISBN 978-3-8167-9733-3

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00
Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/bauforschung

Bilfinger Bauperformance GmbH

Nachhaltigkeit Energieeffizienz TGA

Goldsteinstraße 114

60528 Frankfurt am Main

Kontakt: Dr.-Ing. B. v. Wolf-Zdekauer

Telefon: (069) 66 88 – 149

Telefax: (069) 66 88 – 198

Endbericht zum

Forschungsthema 18.7-12.19

Datum: 15. Juli 2015

Erweiterung der normativen Verfahren zur energetischen Inspektion von Gebäuden durch die Entwicklung einer Analysemethode zur Identifikation von Effizienzpotenzialen auf Grundlage von Messdaten aus mobilen Monitoringsystemen

Forschungsauftraggeber:

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im BBR

Referat II-3, Forschung im Bauwesen und Gebäudemanagement

Deichmanns Aue 31-37

53179 Bonn

Betreuer: Andreas Windisch

Tel.: +49 228 / 99 401-1631

Auftragnehmer:

Bilfinger Bauperformance GmbH

Goldsteinstraße 114

60528 Frankfurt

Erweiterung der normativen Verfahren zur energetischen Inspektion von Gebäuden durch die Entwicklung einer Analysemethode zur Identifikation von Effizienzpotenzialen auf Grundlage von Messdaten aus mobilen Monitoringsystemen

Endbericht

Forschungsprogramm
Zukunft Bau, ein Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)

Projektlaufzeit
09.2012 – 09.2013 (Verl.: 6 Mon.)

Aktenzeichen
II 3-F20-11-1-147 / SWD-10.08.18.7-12.19

mit Förderung
des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

bearbeitet von
Dr.-Ing. B. Frhr. v. Wolf-Zdekauer, Bilfinger Bauperformance GmbH, Frankfurt a. M.



Forschungsprogramm



Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.

Aktenzeichen: II 3-F20-11-1-147 / SWD-10.08.18.7-12.19

Die Verantwortung für den Inhalt des vorliegenden Forschungsberichts liegt beim Autor.

Inhalt

1 Einleitung und Zielsetzung 6
1.1 Motivation und Ausgangslage 6
1.1.1 Gegenwärtige Situation 6
1.1.2 Angestrebte Lösungsmöglichkeiten und Verfahren 12
1.2 Gegenstand des Forschungsvorhabens und Vorgehensweise 15
1.2.1 Bearbeitungsinhalte 15
1.2.2 Arbeitsplan / Bearbeitungsschritte 16
2 Grundlagen 19
2.1 Stand der Technik und Forschung 19
2.1.1 Übersicht 19
2.1.2 Studie zur energetischen Inspektion 19
2.1.3 Forschungsfelder RWTH Aachen, Lehrstuhl für Baubetrieb und Gebäudetechnik 19
2.1.4 TEK-Tool IWU (Teilenergiekennwerte von Nichtwohngebäuden) 20
2.1.5 Leitfaden „Lastgangmessung" Fachgebiet Bauphysik & Technischer Ausbau, KIT 21
2.1.6 Fraunhofer ISE Leitfaden „Hochrechnung" 22
2.1.7 Monitoring EnBop / EnOb 22
2.2 Konzeption mobiles Monitoringsystem 23
2.2.1 Systemüberblick 23
2.2.2 Beschreibung des gewählten Monitoring-Systems 24
2.3 Messkanal Analyseprogramm 26
3 Entwicklung energetische Anlagenanalyse zur Effizienzoptimierung 28
3.1 Energetische Inspektion Heizung, Lüftung, Klima-Kälte 28
3.1.1 Überblick und Verfahrensabgleich 28
3.2 Energetische Inspektion und Analyse anhand mobiler Monitoringsysteme 37
3.2.1 Gliederung Vorgehensweise 37
3.2.2 Entwicklung Analysemethode 38
4 Testanwendung und Pilotprojekte 51
4.1 Überblick 51
4.2 Messungen mit mobilem Monitoringsystem 51
4.2.1 Heizungs- und Lüftungssystem Altbau Schule und Sporthalle 51
4.2.2 Heizungssystem Altbau Kindergarten 58
4.2.3 Heizungssystem Neubau Niedrigenergiehausstandard 62

4.2.4 Lüftungssystem Bestandsgebäude EnEV 2001-Standard 64
4.2.5 Raumklimasystem Bürogebäude 68
4.2.6 Drei Mehrfamilienhäuser 73
4.3 Auswertung und Kriterien zur Identifikation von Energieeinsparpotenzialen 78
4.3.1 Auswertung und Ergebnisdarstellung 78
4.3.2 Effizienzindikatoren und Berechnungen 82
4.4 Erfahrungsrückfluss aus den Tests und Anwendungsbeispielen 89
4.4.1 Übersicht Aufgabenstellungen der Untersuchung und der identifizierten Maßnahmen durch Inspektion mittels temporären Monitorings 89
4.4.2 Vorort-Termine und Messinstallation 92
4.4.3 Aufwand und Nutzen 94
5 Resümee und Ausblick 96
5.1 Resümee 96
5.2 Ausblick 98
5.2.1 Praxisanwendung 98
5.2.2 Forschungsdesiderate 98
6 Anhang und Verzeichnisse 100
6.1 Literaturverzeichnis 100
6.1.1 Verordnungen, Normen und Richtlinien 100
6.1.2 Publikationen 101
6.2 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis 103
6.2.1 Abbildungen 103
6.2.2 Tabellen 104
6.3 Anhang / Diagramme / Dokumente 105
6.3.1 Unterlagen zu Pilotprojekten und Visualisierungen von Messdaten 105
6.3.2 Monitoringdaten Management 105

1 Einleitung und Zielsetzung

1.1 Motivation und Ausgangslage

1.1.1 Gegenwärtige Situation

Situation im Gebäudesektor:

Die Anzahl der Neubauten und Sanierungsmaßnahmen, bei denen gesetzliche Energiesparanforderungen und die Einsatzpflicht von Smart Metering greifen, ist verglichen mit dem Gebäudebestand relativ gering. Die Gesamtmodernisierungsrate (bezogen auf „Dämmung Außenwand“, „Dämmung Dach/Obergeschossdecke“, „Dämmung Fußboden/Kellerdecke“ und „Fenstererneuerung“) für den Zeitraum von 2005 bis 2008 liegt bei lediglich 0.83 % pro Jahr, wobei vorrangig Einzelmaßnahmen(inkl. „Modernisierung Heizungsanlage“) umgesetzt werden. Nur bei rund einem Drittel der Sanierungen werden zwei der oben genannten Maßnahmen gleichzeitig ergriffen - Teilsanierungen sind also, vermutlich aufgrund der mangelnden Liquidität der Eigentümer, die Regel. Die Anteile der Gesamtmodernisierungsrate bezogen auf den Altbau vor 1978 ist leicht höher, da bei diesen Immobilien ein größeres Einsparpotential realisiert werden kann [28]. Nur ein kleiner Anteil der Anlagen befindet sich demzufolge auf dem aktuellen Stand der Technik und wird mit geeignet eingestellten Anlagenparametern effizient betrieben. Aus diesem Grund besteht bei Bestandsgebäuden ein erheblicher energetischer Verbesserungsbedarf zur Realisierung der von der Bundesregierung angestrebten energie- und klimapolitischen Ziele (vgl. IEKP [18], Das Energiekonzept und seine beschleunigte Umsetzung [19]).

In der Definition der energetischen Sanierungsstrategie von Bestandsgebäuden wird bislang vorwiegend der in Abbildung 1 dargestellte, übliche Sanierungsweg beschritten. Dieser ist mit hohem Investitionsaufwand und gewissem Erfolgsrisiko hinsichtlich der monetären Einsparungen aus energetischer Verbesserung verbunden.

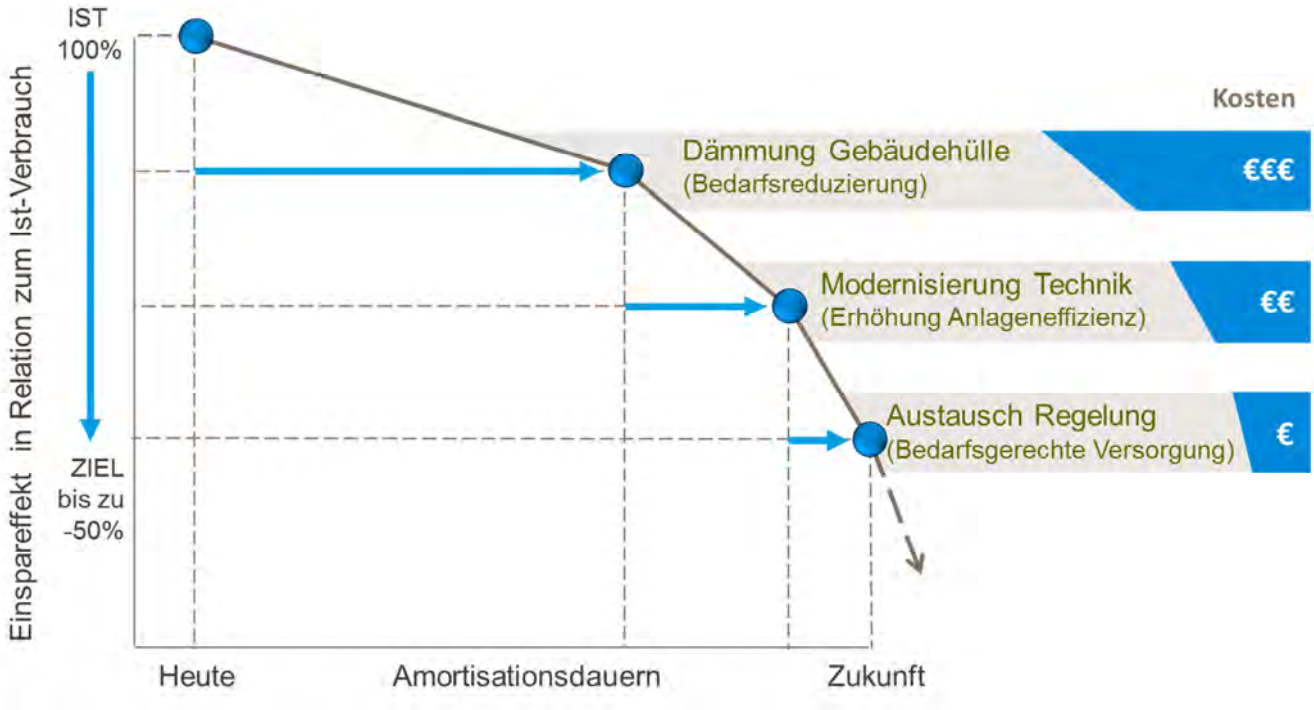


Abbildung 1: Übliche Sanierungsschritte zur energetischen Verbesserung

Insbesondere bei Neubauten werden die aus der Planung vorgegebenen Anlagenparameter meist ohne Berücksichtigung von Änderungen während der Ausführungsphase unreflektiert in den Gebäudebetrieb übernommen oder in manchen Fällen sogar von Beginn an nicht korrekt eingestellt. Derartige Optimierungspotentiale sind ausschließlich durch energetische Inspektion der Bestandsgebäude erschließbar.

Problemstellung:

Derzeit existiert zur Durchführung der energetischen Inspektion zur Identifizierung von Optimierungspotentialen bezüglich Betriebsparameter anhand von mobilem Monitoring noch keine durchgängige Methodik. Diese erweiterte Auswertung und Erschließung von Effizienzsteigerungs- bzw. Einsparpotentialen durch Analyse des Anlagenbetriebs kann nicht nur ausschließlich auf den derzeit vorhandenen, spezifischen Vorgaben je Gewerk bzw. Einzelanlage erfolgen.

Der vorliegende Forschungsansatz verfolgt daher eine gebäude- und systemumfassende Inspektions- und Analysemethodik. Ein derartiger Betrachtungsumfang ist in den bisherigen Methoden, welche sich zu großen Teilen aus Checklisten mit Sichtprüfungen zusammensetzen, nicht enthalten. Insbesondere die Methoden zur zielsicheren und schnellen Bestimmung des energetischen Soll-Zustands für den Abgleich mit den Messwerten des Ist-Zustands sind noch unzureichend erforscht.

Dafür sind eine strukturierte Erfassung von Gebäude, verbauter Anlagen sowie deren Betriebsverhalten erforderlich. Darüber hinaus muss die Interaktion zwischen Erzeugern und Verbrauchern in Abhängigkeit von den Nutzungsprozessen und den herrschenden Randbedingungen aufgrund Klima, Nutzung und Betrieb untersucht werden. Insbesondere bezüglich komplexer gebäudetechnischer Versorgungskonzepte mit Integration regenerativer Energiesysteme fehlen noch wissenschaftliche Ansätze zur strukturierten energetischen Bewertung der Monitoringdaten und der daraus aufbauenden Ableitung von Optimierungspotentialen.

Gesetzliche und normative Ausgangslage:

In §12 der EnEV 2009 [16] wird die Inspektion von Klima- und Lüftungsanlagen gemäß den bekannten Anleitungen zur Durchführung der Inspektion von Klimaanlagen nach DIN EN 15240 (2007) [5] sowie den VDMA- und FGK-Leitfäden gefordert. Diese Maßnahmen umfassen jedoch lediglich erweiterte Leistungen des Schornsteinfegers und des Heizungsbauers (z.B. Thermostateinstellung, hydraulischer Abgleich und Abgasverluste) mit beschränkter Betrachtungsweise. Zudem ist ein Heizungs-Check anhand des Anwender-Handbuchs von VdZ „Leitfaden zum Heizungs-Check“ [22] nach DIN EN 15378 (2008) [7]verlangt.

Die Forschungsarbeit baut somit auf dem aktuellen Stand der Technik und dem gesetzlichen bzw. normativen Hintergrund zur energetischen Gebäudeinspektion auf. Bereits bestehende Normen, Richtlinien und einschlägige Leitlinien des VdZ, BHKS, VDMA sowie des FGK werden in die Konzeption des energetischen Inspektionsprozesses und die Auswertungsmethode einbezogen. Bezüglich der Energiemanagement und -controllingsysteme werden die bekannten Maßgaben der DIN EN ISO 50001 (2011) [11] und GEFMA 124-1 (2009) [13] berücksichtigt.

Begriffsdefinition Energieeffizienz

Was ist Energieeffizienz? Wie kann man sie messen? Wie lässt sie sich steigern? Die Identifikation und Steigerung in bestehenden Gebäuden und Anlagen stellt das grundlegende Ziel dieses Forschungsvorhabens dar. Daher ist zunächst eine Begriffsdefinition von Energieeffizienz erforderlich, um ein einheitliches Verständnis für Energieeffizienz und damit auch für die daraus resultierenden Ziele, zu verwendenden Instrumente und zu verfolgenden Maßnahmen zu schaffen.

Energieeffizienz bezeichnet abstrakt den Grad der Ausnutzung von Energieressourcen. Mit der zusätzlichen Definition als Verhältnis zwischen erzieltem Nutzen zur eingesetzten Energie kann Effizienz jedoch auch nicht direkt sichtbar gemacht oder gemessen werden.

Aus diesem Grund wird in der Praxis zumeist nicht die absolute Energieeffizienz, sondern deren prozentuale Steigerung im Vergleich zu vorher, oder vielmehr deren Kehrwert: Die prozentuale Energieeinsparung bei

gleichbleibendem Nutzen / Komfort bestimmt. Diese lässt sich auch leicht als absolut erreichte Energieeinsparung messen und dokumentieren.

Gegenüber einer gesamtwirtschaftlichen Perspektive und anstatt eines ausschließlich technischen Schwerpunkts mit Blick auf die Energieumwandlungseffizienz (System-Wirkungsgrad) steht insbesondere die Endenergie- und Nutzenergieeffizienz im Fokus.

Bestehende Instrumente:

Die Erhöhung der Endenergieeffizienz umfasst wie zuvor erläutert alle Möglichkeiten zum Energiesparen. Die Bereiche des Energiesparens wiederum gliedern sich in folgende Fokusgruppen:

1. Organisatorische Maßnahmen
2. Elektrotechnik
3. Gebäudeautomation / Raumregelung
4. Kälte- / Klimatechnik
5. Heizungstechnik
6. Gebäudehülle
7. Raumlufttechnik

Zu den aufgezählten Punkten bestehen bereits zahlreiche Energieberaterleitfänden und einschlägige Fachliteratur. Zur Erhöhung der Energieeffizienz im betrieblichen Gebäudebereich bestehen folgende Instrumente und Anwendungsfelder. Diese gliedern sich in

- Identifikation,
- Analyse / Diagnose,
- Konzeption / Planung,
- Umsetzung und
- Erfolgskontrolle / Erfahrungsdokumentation

von organisatorischen und technisch-operativen Maßnahmen zur Energieeinsparung. In einer Matrix entsprechend Tabelle 1 sind die Tätigkeitsfelder zur Energieeinsparung im Rahmen eines Energiemanagements den Anwendungs- und Ergebniskategorien zugeordnet.

	Identifikation	Analyse Diagnose	Konzeption Planung	Umsetzung	Erfolgskontrolle Verifikation	Dokumentation Erfahrung
▪ **strategisch-organisatorisches Energiemanagement**						
- Anforderungsmanagement						
▫ Rechtliche, fiskalische, förderrelevante Aspekte			X			
▫ Energieeffizienzhandbuch			X			X
- Energiedatenmanagement						
▫ Erfassung, Monitoring und Analyse	X					X
▫ Bewertung und Controlling mit Energiekennzahlen		X			X	X
- Energieversorgungsmanagement						
▫ Erzeugung / Beschaffung			X	X		
▫ Verteilung / Speicherung			X	X		
▫ Wirkungsgradsteigerung						
- Energiebedarfsmanagement						
▫ Objektmanagerhandbuch zur Bedarfsorientierung / -optimierung	X					X
▫ Verbrauch (Abgleich / Prognose)	X			X		X
▫ Lastgang / Shutdown	X			X		X
▪ **technisch-operatives Energiemanagement**						
- Energetische Diagnose / Inspektion	X	X				
- Implementierung Energiemess- und -zählsysteme			X	X	X	X
- Instandhaltung / Verbesserung (pro aktiv)				X		

Tabelle 1: Instrumente / Prozesse und dokumentierte Erfahrungen zur Energieeinsparung

Neben den strategisch-organisatorischen Aspekten spielt insbesondere die Investition in neue Technologien bei der in Tabelle 1 genannten Instandhaltung der bestehenden Systeme im Rahmen der Instandsetzung und Verbesserung eine wesentliche Rolle zur Umsetzung von Energieeinsparungen.

Ein Hauptbestandteil mit entscheidender Bedeutung der strategisch-organisatorischen Aspekte, auf welchen der Fokus liegt, stellen die Instrumente für die zutreffende Initial-Beurteilung energierelevanter Sachverhalte mit integraler, richtiger und vollständiger Erfassung aller Einflussparameter dar. Denn davon hängt maßgeblich die geeignete Konzeption der Maßnahme in angebrachtem Umfang und mit adäquater Vorgehensweise ab.

Allzu häufig ist eine Erweiterung der energetischen Sanierungsmaßnahmen während der bereits laufenden Durchführung oder sogar eine „Sanierung der Sanierung“ erforderlich. Dies ist für Nutzer und Eigentümer mit hohem Ärgernis und erheblicher Beeinträchtigung verbunden. Beides resultiert meist aus einer zu Beginn nicht umfänglich und richtig erfassten Situation, die es energetisch zu verbessern galt. Auf die unzulängliche technische Diagnose folgen eine falsche Planung mit nicht bedarfsgerechten Zielen und die Umsetzung mit ungeeigneten Methoden.

Die Ursache dafür liegt meist darin, dass im Vorfeld nicht die nötigen Ressourcen für eine ausreichende Analyse, Diagnose und Konzeption mit Variantenverfolgung eingeplant wurden oder zur Verfügung standen.

Daher gehören zum erfolgreichen Energiesparen auch Instrumente, die dazu beitragen, günstige Projektrandbedingungen für die Umsetzung der Energiesparmaßnahmen zu schaffen. Zu straffe Zeitpläne, die eine gründliche Bestandsermittlung vereiteln sowie die Fehleranfälligkeit in der Planung und Ausführung erhöhen,

oder zu begrenzte Projektrahmen, die eine ganzheitliche Lösung mit maximalem Nutzen ausgrenzen, gilt es durch Instrumente zur Erzielung eines höheren Gesamtnutzens durch mehr Transparenz bei der Projektvorbereitung und Konzeption zu vermeiden (s. Abbildung 2).

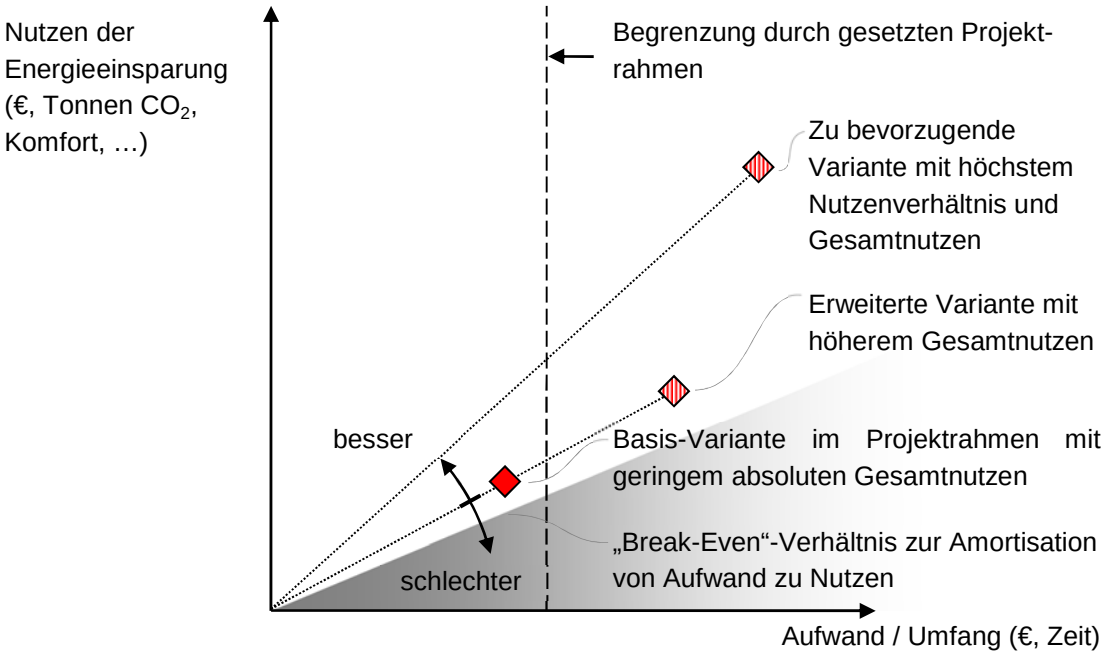


Abbildung 2: Qualitative Darstellung möglicher Verhältnisse von Aufwand zu erreichbarer Energieeinsparung bei der Variantenbetrachtung während der Projektkonzeption

Dennoch ist mehreren überschaubaren Maßnahmen in sequenziell geplanter Abfolge der Vorzug gegenüber komplexen Gesamtmaßnahmen zu geben. Dementsprechend ist zu prüfen, inwiefern die zu bevorzugende Maßnahme aus Abbildung 2 in Etappen erreicht werden kann. So kann durchaus die Basis-Variante zunächst innerhalb des Projektrahmens bei konzeptioneller Ausrichtung auf die Gesamtmaßnahme eine vorerst angestrebte Etappe zum verfolgten Maximalziel darstellen.

Über die Entwicklungs- und Konzeptionsphase hinaus liegt ein weiterer Schwerpunkt der strategisch-organisatorischen Instrumente auf dem Controlling im Gebäudebetrieb. Darunter repräsentiert das Energiecontrolling die Umsetzung des Controllingprozesses als Grundlage zur Dokumentation und Optimierung des Energieverbrauchs sowie der Energiekosten. Das Ziel des Energiecontrollings ist, anhand einer stetigen, systematisierten Beobachtung des Energieverbrauchs und dessen Rahmenbedingungen eine Verbrauchsreduzierung sowie zu erzielen. Darüber hinaus wird ein wertvoller Erfahrungsrückfluss aus umgesetzten Energieeinsparmaßnahmen durch Vorher- / Nachher-Abgleich generiert.

Das Energiecontrolling umfasst zwei wesentliche Betrachtungs- bzw. Erfassungsebenen:

1. Energieverbrauchsdaten (Verbrauchswerte und Kosten zusammen mit übergreifenden Objekt- und Nutzerdaten, etc.)
2. Betriebsdaten (Anlagedaten mit Betriebsrandbedingungen wie Klima, Störungsmeldungen, etc.)

Im Rahmen der Dokumentation der Energieverbrauchsdaten müssen umfassend alle Mengen der verbrauchten Energien und Medien (Erdgas, Öl, Fernwärme, Strom, Trinkwasser) dargestellt werden.

Die Betriebsdaten hingegen beinhalten die nutzer- und regeltechnischen Daten wie beispielsweise die Raumtemperatur und Anlagenbetriebsprofile.

Je nach Art der Messung (manuell, automatisch bzw. softwaregesteuert) erfolgt die Datenaufnahme in vorbestimmten Intervallen. Eine manuelle Datenaufnahme birgt den großen Nachteil eines überproportional

hohen Personalaufwands. Zudem verhindern bzw. erschweren größere und i.d.R. unregelmäßige Intervalle der Aufnahme ein kurzfristiges Überwachen und Eingreifen, wie beispielsweise bei einem erhöhten Wasserverbrauch aufgrund eines verdeckten Rohrbruches) sowie die Datenvergleichbarkeit aufgrund unterschiedlicher Betrachtungszeiträume. Bei einer automatischen Erfassung erfolgt eine Datenübertragung von speziellen Verbrauchszählern per Ferndatenübertragung an einen zentralen Server, von dem aus die Daten ausgewertet werden können.

Die möglichst tagesgenau zu erfassenden Daten der wesentlichen Verbraucher werden mit den vorhandenen Daten aus vorherigen Messintervallen sowie mit sowohl internen als auch externen Kennzahlen verglichen. Zudem erfolgt eine Grenzwertalarmierung bezüglich Spitzenlasten und maximaler Summenverbräuche innerhalb eines Zeitraums. Eine derartige Prüfung der Plausibilität und Kritikalität erfolgt bei EDV gestützten Systemen (im Rahmen eines Energiemanagement Softwaresystems) anhand automatisierten Abgleich. Auf signifikante Diskrepanzen jenseits eines Vertrauensbereichs wird zur Plausibilisierung hingewiesen.

Ein zentrales Hilfsmittel im Rahmen der Projektdurchführung von Energiemaßnahmen sowie der Anwendung des Energiecontrollings im Betrieb stellt das Benchmarking anhand von Vergleichskennzahlen dar (s. Abbildung 3).

Grundsätzlich wird Benchmarking in ein

- internes (unternehmensinterne Vergleichszahlen) und ein
- externes (Vergleich mit Dritten)

Benchmarking differenziert. Um die Vergleichbarkeit der Kennzahlen sicherzustellen, müssen diese ähnliche Leistungen und Systemgrenzen der Betrachtung abbilden, damit diese zur Beurteilung der Energieeffizienz und der relativen Trendentwicklung herangezogen werden können.

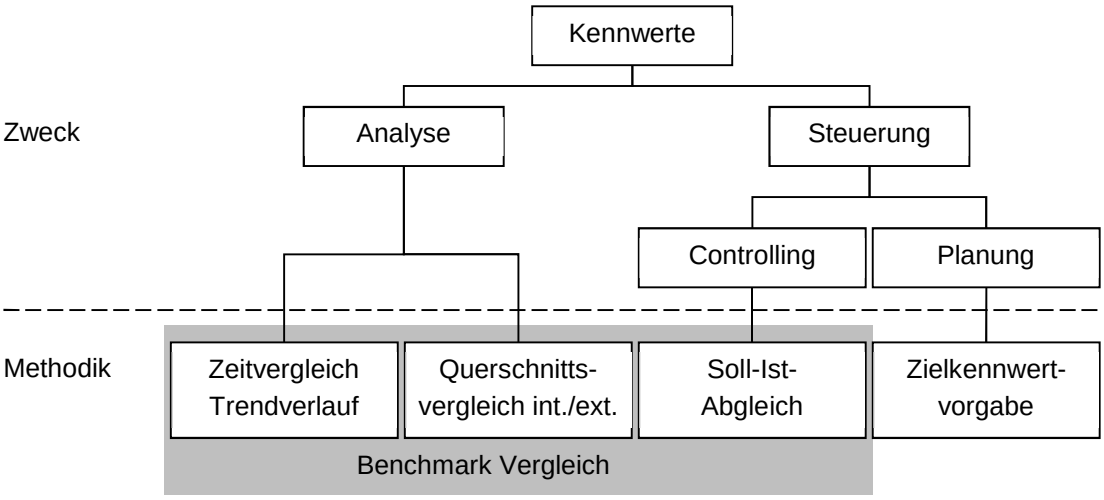


Abbildung 3: Anwendungsfelder von Energiekennzahlen (oberste Erfassungsebene)

Während der Kennwerteabgleich auf oberster Betrachtungsebene im ersten Schritt zunächst Indikatoren auf ineffizient verbrauchte Medien und Energieträger je Gebäude liefert, werden für den zweiten Schritt der Identifikation von Effizienzsteigerungspotenzialen die Betriebsdaten aus einer detaillierteren Betrachtung und Erfassungsebene benötigt.

Für die tiefergreifende Erfassungsebene der Betriebsdaten, wie Anlagenzustände und Regelverhalten mit zugehörigen Randbedingungen werden aus dem laufenden Prozess zwischengespeicherte Daten (sog. „tracking“ / „logging“) benötigt, die als Quelle entweder aus einer Gebäudeleittechnik mit speziell dafür installierter Messtechnik oder aus einem sonstigen stationär bzw. temporär installierten Zähler- und Sensorsystem stammen.

Da in Bestandsgebäuden diese Voraussetzungen nicht oder nur mit veralteter Technik gegeben sind, ist für die Erfassungsaufgabe eine neue und von der Ist-Situation unabhängige Methodik zu entwickeln.

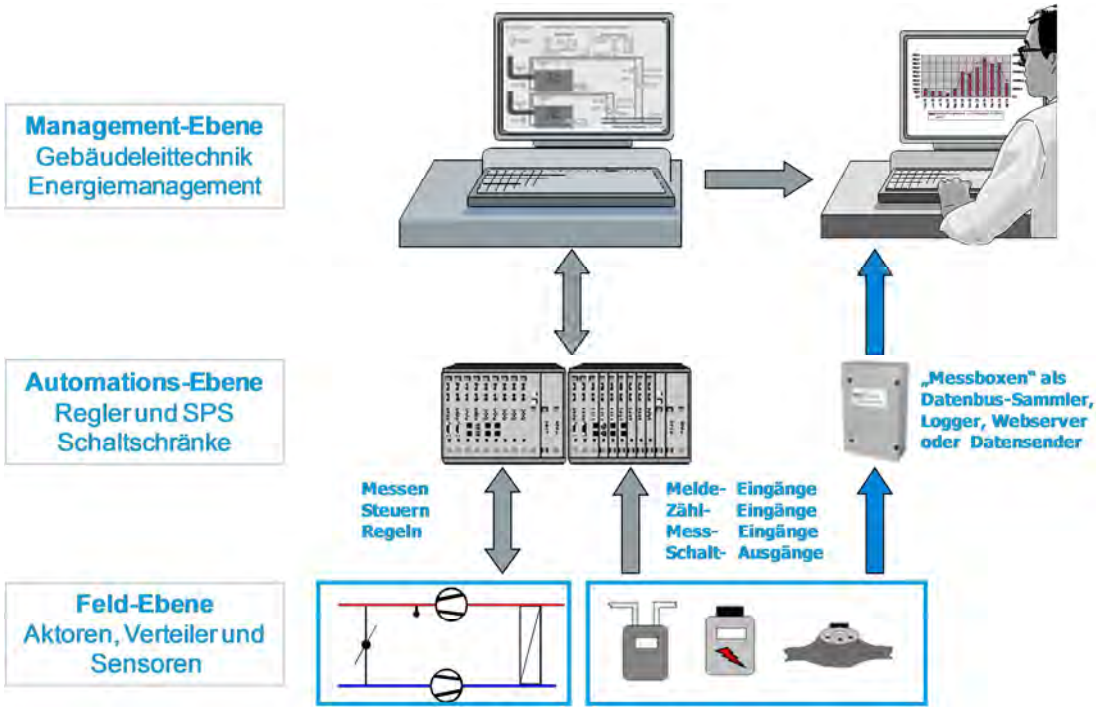


Abbildung 4: Schema und Hierarchieebenen der Gebäudeautomation / Gebäudeleittechnik

1.1.2 Angestrebte Lösungsmöglichkeiten und Verfahren

Zielsetzung:

Zur raschen Identifikation von Energieeinsparpotenzialen und zur Ermöglichung einer höheren Energieeffizienz im Bestand soll eine Analysemethode von Messdaten aus mobilen Monitoringsystemen entwickelt werden. In Erweiterung der aktuellen Normen und Richtlinien zu energetischen Gebäude- und Anlageninspektionen ermöglichen die Erfassung und Auswertung von Anlagenbetriebszuständen durch temporär im Gebäude installierte, mobile Monitoringsysteme eine Bewertung der zeitdynamischen Eigenschaften des Gebäudebetriebs.

Im Gegensatz zur bisherigen Betrachtungsweise wird dadurch die Möglichkeit zur gezielten Anpassung von Anlageneinstellungen entsprechend der vorhandenen Nutzungsprozesse und des tatsächlichen Gebäudebedarfs erschlossen, die einen erheblichen Effizienzgewinn im Bestand nutzbar macht (s. Abbildung 5). Als grundlegendes Instrument der energetischen Gebäudediagnose kommt ein mobiles Monitoringsystem zur Anwendung. Dieses technisch innovative System erfasst sowohl thermische als auch elektrische Leistungswerte und Temperaturgänge mittels mobiler Messtechnik über einen kurzen Zeitraum von wenigen Wochen. Der große Vorteil der dabei zum Einsatz kommenden Funk- und Clamp-On-Technik liegt in der Möglichkeit, die erforderlichen Messwerte ohne bauliche oder betriebsunterbrechende Systemeingriffe erhalten zu können.

Bislang fehlt eine geeignete Analysemethode der Messdaten, um anhand eines strukturierten Auswertungsverfahrens des Gebäude- und Anlagenbetriebs projektspezifische Optimierungsmöglichkeiten des Energieverbrauchs auf Basis der innerhalb eines kurzen Beobachtungszeitraums erfassten Messdaten zu erkennen. Die Entwicklung einer derartigen Analysemethode ist daher Schwerpunkt des Forschungsvorhabens.

Aufgrund der daraus realisierbaren strategischen Entscheidungen bezüglich des Energiemanagements lassen sich auch konkrete Sanierungsmaßnahmen ableiten, deren Erfolg wiederum anhand von Messwerten dokumentiert werden kann.

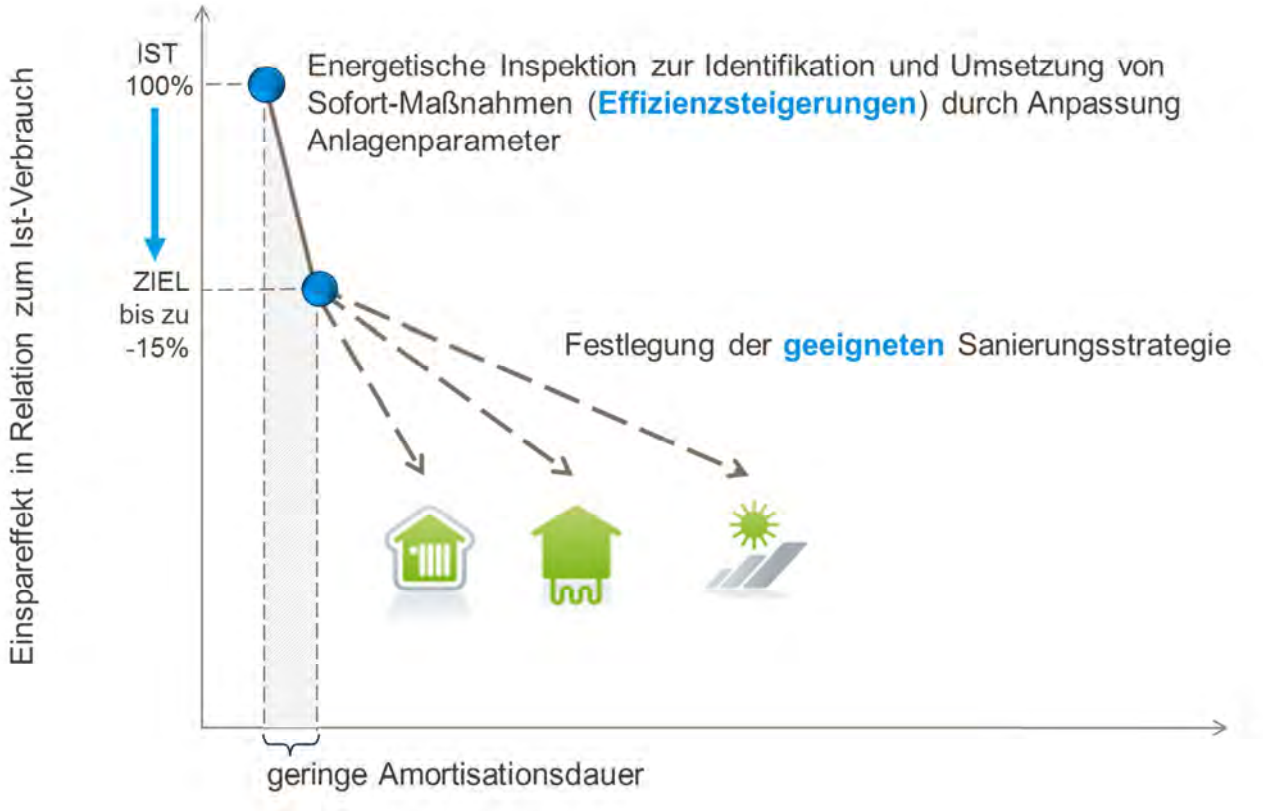


Abbildung 5: Zielsetzung des mobilen Kurzzeitmonitorings zur raschen Effizienzoptimierung für die Erschließung von Umsetzungsmöglichkeiten einer geeigneten Sanierungsstrategie

Lösungsansatz:

Das Verfahren eines temporär eingesetzten mobilen Energie- und Anlagen-Monitorings in Verbindung mit einer praxistauglichen und strukturierten Auswertungsmethodik stellt bezüglich dieser Problemstellung ein Schlüssel zur Sicherstellung optimaler und dauerhafter Energieeffizienz sowie zur Identifikation der projektspezifisch relevanten Stellhebel zur Performancesteigerung dar. Im Rahmen des Forschungsvorhabens soll daher anhand der Untersuchung von Pilotprojekten gezeigt werden, dass mittels mobiler Monitoringsysteme im Rahmen einer energetischen Inspektion sowohl wirtschaftliche als auch ökologische Vorteile kurzfristig und mit geringen Investitionskosten (und somit kurzer Amortisierungszeit) erzielt werden können.

Die wesentlichen Gründe, warum neben den bestehenden Verfahren, wie den stationären Monitoring basierend auf Gebäudeautomationsstationen und den Verbrauchsdatenfernablesesystemen dennoch eine Entwicklungserfordernis für ein weiteres Verfahren, dem temporären Energie- und Anlagenmonitoring besteht, bringt die Übersicht und Gegenüberstellung in Abbildung 6 zum Ausdruck. Insbesondere die Bewertung der Eignung der Systeme zur Identifikationsmöglichkeiten von Effizienzpotenzialen, der Analyse und darauf aufbauender Maßnahmendefinition zeigt eindeutig die Zielsetzung und den Einsatzbereich des temporären Monitorings zur energetischen Inspektion und Optimierung.



Abbildung 6: **Übersicht und Gegenüberstellung der Anwendungsbereiche mit Vor- und Nachteilen der grundsätzlichen Verfahren zur Datenerfassung von Gebäuden und Anlagen mit Bewertungsmöglichkeit der Energieeffizienz**

Ergebnisse:

- Dokumentation einer einheitlichen und strukturierten Vorgehensweise zur energetischen Inspektion von Gebäuden
- Transparenz bezüglich Ist-Verbrauch und Betriebszuständen bzw. energetischem Verhalten der Bestandsanlagen in der erforderlichen Detaillierungstiefe
- Entwicklung einer Analysemethodik zur Auswertung des Energieverbrauchs und der Ermittlung von Ursachen zum zielsicheren und raschen Aufzeigen energetisch ungünstiger Betriebsweisen und regelungstechnischer Anpassungsmöglichkeiten der Anlagentechnik auf die tatsächlichen Nutzungsbedingungen im Gebäude
- Funktionalität zur Prüfung und Verbesserung der Integration regenerativer Energiesysteme mit dem höchstmöglichen Leistungsanteil anhand tatsächlicher Messdaten

Nutzen:

Das Forschungsvorhaben trägt zur Verbesserung der Energieeffizienz im Gebäudebestand bei und stellt neue technische und methodische Lösungen zur Bestandsanalyse zur Verfügung. Der Erhalt detaillierter Informationen zu energetischen Eigenschaften des bestehenden Gebäudes und der Gebäudetechnik dient dabei als verlässliche Entscheidungsgrundlage. Eine auf gebäudespezifischen Messwerten beruhende Sanierungsempfehlung und damit zuverlässige Aussagen zur Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme ist wesentlich überzeugender für den Eigentümer und trägt somit zur Steigerung der Umsetzungsrate bei.

Darüber hinaus wird die Anwendungsreife der mobilen Funksensornetzwerktechnologie für das temporäre Monitoring als grundlegendes Diagnoseinstrument zur energetischen Inspektion weiterentwickelt.

Das Forschungsprojekt kann als prenormative Forschung zur Erweiterung gesetzlicher und normativer Anforderungen an die energetische Inspektion von Gesamtgebäuden angesehen werden. Hierfür stellen die Ergebnisse und Erfahrungen aus der Erprobung der energetischen Inspektionsmaßnahmen entscheidende Grundlagen dar, um praxisgerechte Anforderungen zu formulieren.

1.2 Gegenstand des Forschungsvorhabens und Vorgehensweise

1.2.1 Bearbeitungsinhalte

Im Zentrum der Forschung steht die Entwicklung einer praxistauglichen Analysemethodik zur Durchführung energetischer Inspektionen von Gebäuden und gebäudetechnischer Systeme. Die dafür erforderlichen Methoden und Instrumente sind noch unbekannt bzw. unerprobt und machen daher eine Entwicklung miteingehender Untersuchung im Rahmen von Testanwendungen in Pilotprojekten erforderlich.

Ein temporäres, mobiles Monitoring der Anlagen wird durch temporär installierbare Messgeräte wie beispielsweise Ultraschalldurchflussmesser im Clamp-On-Verfahren realisiert. Bisher kommen derartige Messgeräte lediglich vereinzelt zur Fehlerortung (hydraulischer Abgleich) zum Einsatz und wurden bislang auch nicht in ein funkbasiertes Monitoring-Netzwerk eingebunden.

Ein weiterzuentwickelndes Auswertungswerkzeug ermöglicht die unmittelbare Visualisierung der gemessenen Energieverbrauchsdaten. Diese Technologie ist insbesondere für das mobile Monitoring und die energetische Inspektion geeignet. Im Gegensatz zu konventionellen Systemen kann auf eine Gebäudeleitstation sowie Server im Gebäude verzichtet werden und dadurch sind investitionsseitig erhebliche Einsparungen realisierbar.

Die Einsatzmöglichkeiten dieser innovativen Technologien stellen vor allem in der vorliegenden Kombination ein technisch völliges Novum dar. Im Vordergrund steht jedoch nach wie vor die Entwicklung der Analysemethodik der Messdaten.

Das Verfahren basiert auf gemessenen Leistungsabgaben und Temperatur- sowie Betriebsrandbedingungen. Durch Nachrechnungen des Endenergiebedarfs, der in Abhängigkeit von den gemessenen Betriebsdauern und Nutzleistungsabgaben bei optimaler Funktion und Regelung maximal benötigt werden darf, kann ein praxisgerechter Sollwert ermittelt werden, der im Abgleich mit dem Ist-Verbrauch die Identifikation von Effizienzsteigerungspotenzialen ermöglicht. Hinsichtlich der einzelnen Betriebszustände werden die Parameter und Regelungsbedingungen überprüft. Zusätzlich wird der Nutzenergiebedarf in Relation gesetzt zu den Betriebszeiten sowie dem erzielten Nutzen, in Form von gemessener Raumtemperatur oder Beleuchtungsstärke, um auch auf der Bedarfsseite Einsparmöglichkeiten festzustellen.

Die funktionalen Zusammenhänge der relevanten Indikatoren mit den System- und Messdaten zur Identifikation der Effizienzsteigerungspotenziale werden in der Analysemethode hinterlegt.

Die Soll-Ist-Wertabgleiche beziehen sich auf einzelne Komponenten unter Berücksichtigung der spezifischen Auslegung und der zulässigen Arbeitsbereiche. Die optimalen Betriebspunkte und effizienten Arbeitsbereiche der Wärme/ Kälteerzeuger - beispielsweise von Wärmepumpen -werden darauf aufbauend analysiert.

Zusätzlich zur Erforschung der prinzipiellen Vorgehensweise und der Analysemethoden soll die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens der energetischen Inspektion des gesamten Gebäudes bezüglich des Aufwands der Durchführung und des erzielten energetischen, ökologischen und monetären Nutzens im Rahmen der Pilotprojekte bewertet werden.

Als Untersuchungsgegenstand und Umsetzungsform der Forschungsinhalte ist eine Pilotstudie mit exemplarischer Anwendung der Analysemethodik im Rahmen der energetischen Inspektion an drei Beispielgebäuden vorgesehen. Die Durchführung mit Bezug zu Pilotprojekten ermöglicht eine praxisgerechte Konzeption der Auswertungen und zu entwickelnden Optimierungsmaßnahmen. Zudem erfolgt dadurch eine realitätsbezogene Bewertung des energetischen Nutzens und der Wirtschaftlichkeit der Effizienzsteigerungen.

1.2.2 Arbeitsplan / Bearbeitungsschritte

Das Vorhaben gliedert sich in folgende Schritte:

1. Konzeption des mobilen Monitoringsystems zur temporären Installation
2. Entwicklung der Analysemethodik
3. Anwendung der entwickelten Methode im Rahmen der energetischen Inspektion in Pilotgebäuden

1. Konzeption des mobilen Monitoringsystems zur temporären Installation

1.1: Definition der energetische Inspektionsmaßnahme und Strukturierung der Vorgehensweise unter Berücksichtigung bestehender Normen und Richtlinien bezüglich energetischer Inspektion und Energiemanagement (Ablauf, Mess- und Zählkonzepte, Grundlagen der Analyse- und Identifikationsmethoden)

1.2: Auswahl und Konfiguration der Systemkomponenten des Funksensornetzwerks sowie der Datenerfassung gemäß den Anforderungen an die Instrumente zur energetischen Inspektion

1.3 Funktionstest der temporär installierten, mobilen Monitoringsysteme in den Pilotprojekten

2. Entwicklung der Analysemethodik

2.1: Entwicklung von Auswertungsmöglichkeiten, Kenngrößen und Indikatoren zur Identifikation von Einsparmöglichkeiten basierend auf den verfügbaren Messdaten des Energie- und Anlagen-Monitorings (i. A. sind dies alle messtechnisch erfassbaren physikalischen Größen wie Temperaturen, relative Feuchte, elektrische Arbeit und Volumenströme).

2.2: Entwicklung vereinfachter Verfahren und Kennwerte für den Soll-Ist-Abgleich anhand normierter Aufwandsfunktionen der Wärme- und Kälteerzeugersysteme basierend auf gemessenem Nutzenergiebedarf des Gebäudes

2.3 Analyse der Messdaten aus den Pilotprojekten mit Auswertung und Kennwert- bzw. Indikatorbildung sowie Abgleich mit den Soll-Bedarfsergebnissen zur Identifikation der projektspezifischen Einsparmöglichkeiten

3. Anwendung der entwickelten Methode im Rahmen der energetischen Inspektion in Pilotgebäuden

3.1: Gebäudebestandserfassung und -bewertung inklusive Analyse der Nutzungsprozesse zur Entwicklung des Mess- und Zählkonzepts entsprechend der Anlagentopologie des Gebäudes; Einbindung bestehender, fest installierter und integrierbarer Hauseingangszähler in das Messkonzept

3.2: Implementieren des mobilen Monitorings zur Beobachtung des Energieverbrauchs und des energetischen Anlagenverhaltens mit Funktionstest und Aufschaltung der Messwerterfassung auf ein Energy-Remote-Monitoring System

3.3: Verifikation des Analyseverfahrens wissenschaftliche Begleitung der energetischen Inspektionsmaßnahmen im Rahmen der Pilotstudie

3.4: Evaluierung der entwickelten Optimierungsmaßnahmen durch Kontrollmessungen nach der Durchführung

3.5: Abschließende Wirtschaftlichkeitsbewertung durch Gegenüberstellung der monetär bewerteten Einsparpotenziale und des Aufwands für die Durchführung der energetischen Inspektion und des temporären Anlagenmonitorings

3.6: Auswertung und Dokumentation im Ergebnisbericht

Übersicht der Forschungsleistungen:

i. Nach Verfügbarkeit von Pilotprojekten sollen die Analysemethoden vorzugsweise bezogen auf regenerative Energien und Kombinationssysteme (z.B. Solar- und Geothermie) entwickelt werden.

ii. In der Entwicklung der Analysemethode zur Identifikation ineffizienter Anlagenzustände sind folgende Bestandteile enthalten:

   - Messwertebereinigung(falls erforderlich)
   - Identifizierung einer Diskrepanz zum energieeffizienten Betriebszustand aus den erfassten Messwerten selbst (z.B. Temperaturen, Volumenströme,...) sowie dem daraus abgelesenen Anlagengesamtverhalten (z.B. Häufigkeit der Anschaltung, "übernervöse" Regelung, etc.)
   - Entwicklung einer spezifischen Analysemethode zum Soll-Ist-Werte-Abgleich für die Temperaturmessgrößen in Heizungs- und Kältekreisen
   - Ermittlung der Charakteristik von Regelorganen: hierzu liegen erste Forschungsergebnisse für Klimaanlagen vor, die in Berichtsform dokumentiert werden. Im Rahmen des Projektes werden jedoch auch weitere Anlagentypen betrachtet.

iii. Mit der Analysemethode werden vereinfachte Verfahren zur energetischen Quantifizierung des Verbesserungspotenzials bezogen auf eine je Anlagentyp definierte System-Bilanz- bzw. Betrachtungsgrenze präsentiert. Diese Verfahren basieren auf den Leistungsdaten sowie den messtechnisch ermittelten Betriebsfaktoren/Auslastungsgraden des Systems.

iv. Die Nutzung sowie die Betriebszustände werden aus den gemessenen Anlagenparametern und beobachteten Laufzeiten indirekt abgelesen und hinsichtlich energetischer Optimierungspotentiale überprüft. (z.B. höhere Ablufttemperatur während der Anwesenheitszeit aufgrund von internen thermischen Lasten). Ein energetisch nicht sinnvolles Betriebsprofil wird beispielsweise aus einer Diskrepanz zwischen Anlagenlaufzeit und Nutzungszeit über Prüfkriterien identifiziert.

v. Der Nachweis von erzielten Einsparungen wird zum einen durch eine Gegenrechnung erbracht, welche die Differenz zwischen Ist- und Sollzustand z.B. bei reduziertem Betriebsprofil ausweist. Zum anderen werden Kontrollmessungen nach Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen durchgeführt. Der Vor-

her-Nachher-Abgleich von Betriebszuständen, für die entweder aufgrund ähnlicher Randbedingungen, Bereinigung oder durch temporäre Sollwertvorgaben eine Vergleichbarkeit gegeben ist, dient dem fundierten Nachweis der Einsparungen durch energetische Inspektion.

vi. Über die bei Pilotprojekten gewonnenen Erfahrungen mit dem Monitoring-System und den Auswertungsmethoden zur energetischen Inspektion kann zum Austausch über Ziele und Anforderungen im Rahmen eines Workshops in den Arbeitskreis DIN SPEC 15240 berichtet werden.

vii. Das Prinzip der Analysemethodik wird unabhängig von der genutzten softwaretechnischen Lösung anhand der erzielten Ergebnisse dargestellt und veröffentlicht.

2 Grundlagen

2.1 Stand der Technik und Forschung

2.1.1 Übersicht

Innerhalb dieses Kapitels wird das eigene Forschungsthema in Zusammenhang mit einer Auswahl von themenverwandten Projekten im Forschungsfeld Energetische Inspektion und Energieeffizienzoptimierung von Gebäuden und Anlagen mit inhaltlicher Zusammenfassung, Einordnung und gegenseitiger Abgrenzung der Themen gestellt.

Anhand der unter 2.1.2 vorgestellten Studie zum Umsetzungsstatus und Einsparpotenzial der energetischen Inspektion wird ein Bezug zum aktuellen Stand der Technik und zur praktischen Anwendung und zum Nutzen der energetischen Inspektion hergestellt.

2.1.2 Studie zur energetischen Inspektion

Vom Institut für Luft- und Kältetechnik (ILK Dresden) und Schiller Ingenieure wurde eine Studie zu den Chancen und Potenzialen der energetischen Inspektion [21] herausgegeben. Im Rahmen der Studie wurden neben dem Marktpotenzial auch die Struktur sowie die Sanierungsempfehlungen der inspizierten Anlagen mit den verbundenen Einsparpotenzialen erhoben.

Im Fazit mit Hochrechnung des gesamten Einsparpotenzials kommt diese hinsichtlich des Umsetzungsgrads zu dem Ergebnis, dass obwohl seit Herbst 2007 die Energieeinsparverordnung (EnEV) im §12 energetische Inspektionen von Klima- und Raumkühlanlagen mit Kälteleistungen über 12 kW gesetzlich vorschreibt, lediglich knapp 3 % dieser Anlagen bisher inspiziert wurden. Besonders die mangelnden Kontrollsysteme, die Freiwilligkeit der Umsetzung von ermittelten Optimierungsmaßnahmen sowie ungeeignete Marktanreize wurden als Hemmnisse identifiziert. Laut Studie sei das ungenutzte Potential von 25% mit bis zu 20,4 TWh Wärme (rund 1,53 Mrd. €) und von 12,5 TWh Strom (rund 1,88 Mrd. €) pro Jahr erheblich.

Insbesondere die in der Studie enthaltende Ableitung von praxisgerechten Inspektionsmethoden und Verbesserung der verfügbaren Inspektionswerkzeuge als Resümee tangiert das Forschungsvorhaben. Hierbei steht die Fragestellung im Vordergrund, welche ergänzenden methodischen Hilfsmittel mit der Inspektion beauftragte Personen benötigen, um möglichst einfach wesentliche Verbesserungspotenziale darzustellen und gleichzeitig die Anforderungen der EnEV zu erfüllen. Hierbei befanden sich jedoch lediglich die Klimastandort-Korrektur, die vereinfachende Bewertungsmöglichkeit der Anlagen mit Hilfe von Energielabeling oder Erfüllung Ecodesign-Richtlinien von einzelnen (Haupt-)Komponenten sowie die Verfahren zur vereinfachten Last- oder Bedarfsabschätzung im Fokus. Die Aussagen und Festlegungen hierzu tragen jedoch nicht wesentlich dazu bei, die energetische Inspektion zu vereinfachen oder deren Ergebnisse signifikant zu verbessern und zu vereinheitlichen. Denn bezüglich der Effizienzkennwerte und Zertifizierung (Label) wird sich auf Ermessen je nach einzelnem Anwendungsfall des Inspekteurs gestützt, was die Ergebnisse u.U. nicht vergleichbar macht. Ebenso wurde auf die Verbesserung der Methoden sowie auf zugehörige Hilfs- und Inspektionswerkzeuge zur Verbesserung der Inspektion nicht eingegangen.

2.1.3 Forschungsfelder RWTH Aachen, Lehrstuhl für Baubetrieb und Gebäudetechnik

Interessante thematische Anknüpfungspunkte zu Forschungsfeldern des Lehrstuhls für Baubetrieb und Gebäudetechnik der RWTH Aachen bieten die Themen zu Monitoring und Systemanalyse von Gebäuden mit Geothermieanlagen und Betonkernaktivierung sowie die Entwicklungsthemen zur energetischen Gebäudeoptimierung durch Energetisches Monitoring von Gebäude- und Anlagentechnik allgemein, Ermittlung von

Energiekennzahlen für Gebäude und Aufzeigen von Energieeinsparpotenzialen sowie zur Professionalisierung (Standardisierung) der Energieberatung.

Zu erstgenanntem Forschungsbereich ist bekannt, dass die Vorgehensweisen überwiegend auf stationäre, auf die Gebäudeleittechnik basierende Monitoringsysteme beruht. Hierbei stehen primär die Datenpunkte zur Verfügung, die ohnehin zur Regelung und Abrechnung sowie Funktionskontrolle der Anlagen installiert sind.

Ebenfalls werden die Geothermieanlagen im Rahmen der Überwachungspflicht hinsichtlich Boden und Grundwasser ausschließlich mit stationären Messwerterfassungen ausgestattet. Die Auswertung erfolgt in vielen Fällen sogar nur manuell ohne hohe zeitliche Auflösung der Messwerte. Die an Geothermiesysteme gekoppelten Wärmepumpensysteme werden aufgrund der systemspezifischen Anforderungen stets durch herstellereigene Regelungen kontrolliert, sodass für den Zugang dieser Datenpunkte die Nutzung einer Schnittstelle erforderlich ist. Diesbezüglich bestehen daher geringe Möglichkeiten für ein mobiles Monitoringsystem zur energetischen Inspektion.

Sinnvolle Anwendungsmöglichkeiten werden hauptsächlich in der geeigneten hydraulischen Einbindung von Wärmepumpensystemen mit den geeigneten Systemtemperaturen bei bivalenten Heizungsverbundsystemen gesehen. Erfahrungen aus Anlagenbeobachtungen haben ergeben, dass diesbezüglich häufig Optimierungspotenzial zur Steigerung der Geothermienutzung besteht.

Da jedoch die Vorgehensweise bei der Untersuchung der RWTH Aachen von langfristigen, saisonalen Regelungsstrategien der Wärmepumpensysteme aufgrund der Projektgegebenheiten vorwiegend auf Simulationen basiert, haben sich die vornehmlich auf die Messtechnik beruhenden Schnittstellen und thematischen Schnittmengen zur unmittelbaren Kooperation im Gegensatz zum ungebrochenen Interesse an dem Thema verringert.

2.1.4 TEK-Tool IWU (Teilenergiekennwerte von Nichtwohngebäuden)

Die Entwickelte Methodik zur Erhebung und Analyse von Teilenergiekennwerten (TEK) von Nicht-Wohngebäuden [30] des Instituts für Wohnen und Umwelt weist insbesondere in der Kombination mit den unter den Punkten 2.1.5 und 2.1.6 dargestellten Teilprojekten hinsichtlich der Ziele eine große Schnittmenge mit dem vorliegenden Forschungsvorhaben auf, doch die methodischen Ansätze sowie deren Detaillierungstiefe unterscheiden sich. Mit Hilfe des temporären Monitoringsystems ist eine wesentlich umfassendere Analyse des Anlagenbetriebsverhaltens möglich.

Als Ausgangspunkt werden für bestehende Nicht-Wohngebäudevereinfachte Energiebilanzen nach DIN 18599 (Stand 2007) erstellt und diese mit dem klimabereinigten Verbrauch an Brennstoff bzw. Nah-/Fernwärme sowie an elektrischer Energie abgeglichen. Die Vereinfachungen des Bilanzierungsverfahrens wurden mit dem Zielvorgenommen, den Zeitaufwand für die Abbildung des Gebäudes zu reduzieren. Über die Berechnung und ergänzende Messungen können die Verbrauchsstruktur des Gebäudes analysiert und vorhandene Schwachstellen identifiziert werden. Derartige Feinanalysen sollen zur verstärkten Umsetzung der energetischen Verbesserungsmaßnahmen beitragen. Im Gegensatz zur TEK-Gebäudediagnose bei der sich die Detaillierung auf Zonenbezieht, ist diese beim temporären Monitoringsystem unter versorgungstechnischen Aspekten auf Gewerke und einzelne Anlagensysteme bezogen.

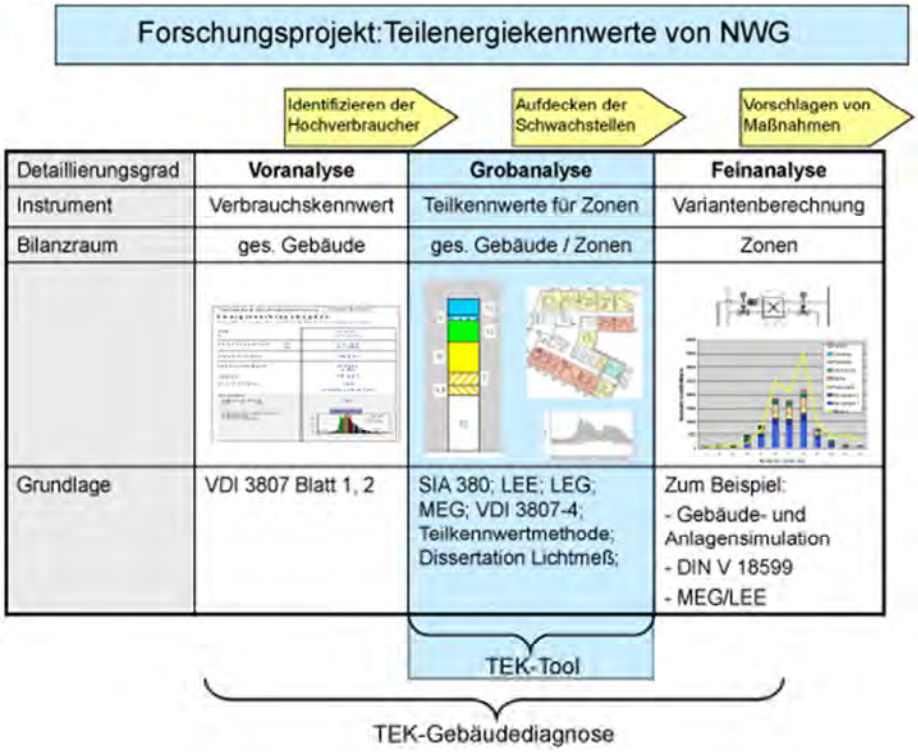


Abbildung 7: Übersichtsschema Forschungsprojekt Teilenergiekennwerte (Quelle: IWU)

Ausgewählte Sanierungs- oder Optimierungsmaßnahmen bzw. Maßnahmenpakete daraus werden in Bezug auf Energieeinsparung und Investitionskosten (Grobkostenschätzung) weiter u.a. mit Hilfe der Inhalte aus MEG ([34]/[35]) und LEE [27] detailliert und in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit bewertet.

Die Ergebnisse werden in einem Energieberatungsbericht dokumentiert. Darin wird die Identifikation der Schwachstellen anhand der Bewertung des Energieaufwandes der einzelnen Gewerke durch Vergleich mit tabellierten Teilenergiekennwerten vorgenommen (vorw. VDI 3807 [14]) vorgenommen.

2.1.5 Leitfaden „Lastgangmessung" Fachgebiet Bauphysik & Technischer Ausbau, KIT

Der Leitfaden zur Lastgangmessung [32] soll durch Erkennung atypischer Verbrauchsmuster zum optimierten Betrieb der Gebäudetechnik und damit generell zur Energieeinsparung in Gebäuden beitragen. Daten aus Lastgangmessungen von Gebäuden waren bisher eher selten verfügbar und spielen daher bei der energetischen Bewertung von Gebäuden noch eine untergeordnete Rolle. Mittlerweile bieten jedoch immer mehr Energieversorgungsunternehmen (EVU) und private Dienstleister solche Lastganganalysen an. Insbesondere bei Gebäuden mit einer schlechten Zählerstruktur können temporäre Lastgangmessungen der erste Schritt zu einer detaillierteren Verbrauchsauswertung sein. Durch den stark steigenden Einsatz von intelligenten Zählern der EVUs am Hausanschluss und vermehrter Anbindung von Zähleinrichtungen im Gebäude an die Gebäudeleittechnik werden zukünftig vermehrt ausführliche Lastgangdatenvorliegen. Dieser Leitfaden erläutert, wie Lastgangmessungen selbst durchgeführt werden können und welche technischen und organisatorischen Voraussetzungen erfüllt sein müssen. In der Systematik wird beschrieben, wie Daten aus Lastgangmessungen aufbereitet, analysiert und für die energetische Optimierung eingesetzt werden können. In der beigefügten Excel-Arbeitshilfe werden verschiedene automatische Auswertungsmöglichkeiten bereitgestellt.

Die Lastgangmessung wird in diesem Leitfaden mit dem Schwerpunkt Strommessung behandelt, aber auch Wärme-/Kältemessungen sowie Brennstoffverbrauchsmessungen werden betrachtet. Die Schwerpunktsetzung ist auf die rein wirtschaftlichkeitsgetriebene Motivation der Spitzenlastreduktion des Strombezugs zurückzuführen.

Die optional vorgehschaltete Datenaufnahme, die der Leitfaden ebenfalls beschreibt, kann entfallen, wenn Lastgangdaten bereits vorliegen. Auf die Datenauswertung aufbauend werden ableitbare Maßnahmen zur Optimierung beschrieben.

2.1.6 Fraunhofer ISE Leitfaden „Hochrechnung“

Die Zielsetzung des Leitfadens zur Hochrechnung von Kurzzeitmessungen [30]/[31] ist die Zurverfügungstellung eines Verfahrens, um aus Kurzzeitmessungen, also zeitlich befristete Messungen des Energieverbrauchs einzelner oder mehrerer Energieanwendungen einen Jahresgesamtverbrauch unter standardisierten Bedingungen hochzurechnen. Die Erforderlichkeit resultiert aus der Datenlage bezüglich der Nutzung und der energetischen Qualität der Hülle oder der Anlagentechnik in bestehenden Gebäuden, die häufig so lückenhaft ist, so dass eine darauf basierende rechnerische Ermittlung von Teilenergiekennwerten schwierig oder unmöglich wird.

Die hier beschriebenen Verfahren zur Hochrechnung von Kurzzeitmessungen sollen eine realitätsnahe Aufteilung des Energieverbrauchs auf die einzelnen Energieanwendungen und die Ermittlung von Teilenergiekennwerten unterstützen. Sie können auch zur Plausibilitätsprüfung rechnerisch ermittelter Teilenergiekennwerte genutzt werden.

Bezüglich der in 2.1.4 bis 2.1.6 beschriebenen Verfahren wird eine Integration zur darauf aufbauend Entwicklung geprüft. Dies betrifft insbesondere die Lastganganalyse und die Jahreshochrechnung zum Teilenergiekennwertvergleich. Inhalte aus dem TEK-Forschungsvorhaben werden hierbei explizit gekennzeichnet.

2.1.7 Monitoring EnBop / EnOb

Mit dem Forschungsprojekt ModQS wurde ein Verfahren zur messwertbasierten Einregulierung und Betriebsüberwachung von haustechnischen Systemen entwickelt. Der Fokus liegt auf dem Gebäudebestand und Systemen zur Wärmebereitstellung in Nichtwohngebäuden. Das Verfahren soll mit vergleichsweise wenig Informationen und Messwerten arbeitsfähig sein und sich damit für die Praxis des Gebäudebetriebs eignen. Es wurde bisher an sieben beispielhaften Modellprojekten getestet.

In dem Vorläuferprojekt ModBen (Modellbasierte Methoden für die Fehlererkennung und Optimierung im Gebäudebetrieb) wurde ein softwaregestütztes Verfahren entwickelt zur Fehlererkennung im Betrieb von Gebäuden. Mit ModBen können mögliche Einsparpotenziale weitgehend automatisch identifiziert und der Gebäudebetrieb überwacht werden. Jedoch hat sich herausgestellt, dass zur Einregulierung und Optimierung haustechnischer Systeme, beispielsweise ein hydraulisches Verteilungssystem, detailliertere Analysen notwendig sind. Hier setzt das aktuelle Forschungsprojekt ModQS (Qualitätssicherung des energetischen Gebäudebetriebs) an. Die im Vorläuferprojekt entwickelten Methoden wurden um eine messwertbasierte und modellgestützte Einregulierung, Betriebsüberwachung und optimierte Betriebsführung von Wärmeerzeugern erweitert. Erfasst werden komplette Systeme zur Wärmebereitstellung, Wärmeübergabe und Wärmeverteilung in Nichtwohngebäuden im Gebäudebestand. Das ModQS-Verfahren erfasst die Charakteristik der Anlage mit aktiven Tests, identifiziert eventuelle Fehler und zeigt Lösungsmöglichkeiten auf. Der Prozess erfolgt gestützt auf vereinfachte Modelle, so dass die Analyse weitgehend automatisiert erfolgen kann.

Dabei handelt es sich meist um einfache Maßnahmen wie z.B. die Anpassung von Zeitprogrammen für den Anlagenbetrieb, die korrekte Einstellung von Heiz- und Kühlkurven oder die Anpassung von Luftvolumenströmen. Dennoch kann die Erkennung dieser Einsparpotenziale zeitintensiv sein, wenn die notwendigen Messdaten nicht verfügbar oder nicht aufbereitet sind.

ModQS ist ein Forschungsprojekt, das dazu beitragen will, diese Einsparpotenziale zielsicher und zeitnah zu erkennen und nachhaltig, d.h. dauerhaft zu erschließen.

Es sollen Verfahren zur messwertbasierten Einregulierung und Betriebsüberwachung von haustechnischen Systemen entwickelt werden. Der Schwerpunkt wird dabei zunächst auf Systeme zur Wärmebereitstellung in bestehenden Nicht-Wohngebäuden gelegt. Um ein praxistaugliches Verfahren zu erhalten, soll versucht werden mit einem Minimum an Informationen und Messwerten zu arbeiten.

2.2 Konzeption mobiles Monitoringsystem

2.2.1 Systemüberblick

Onset® HOBO®Data Loggers

Die Onset Computer Corporation (kurz: Onset) entwickelt und fertigt seit 1981 Datenlogger und zählt heute zu den weltweit führenden Herstellern. Unter dem Markennamen HOBO® werden die unterschiedlichen Produktlinien der kompakten Datenlogger samt den dazugehörigen Sensoren und Softwarelösungen angeboten.

Neben der Erfassung von Innenraumparameter mit Fokus auf Temperatur, CO_2-Konzentration und relative Luftfeuchte werden unterschiedliche Gerätevarianten für Energieverbrauchserfassung, Laufzeitenüberwachung, Wasserqualität und -pegelmessungen sowie Meteodatenerfassung angeboten. Dabei können eine Vielzahl an unterschiedlichen Messgrößen wie beispielsweise Niederschlags- und Strahlungsintensität, Windgeschwindigkeit und -richtung oder Luftdruck erfasst werden.

Die neuste Produktgeneration ist sogar laut Herstellerangaben in der Lage, den Luftgehalt an VOC (Volatile Organic Compound) zu messen, was insbesondere hinsichtlich der in Deutschland gängigen Innenraumluftqualitätsbewertung nach IDA-Kriterien gem. DIN EN 13779 [3], die im Rahmen von Nachhaltigkeitszertifizierungssystemen Verwendung findet, ganz neue Möglichkeiten eröffnet.

Für den Einsatz im vorliegenden Forschungsprojekt sind insbesondere die Messgrößen Temperatur, relative Luftfeuchte, Luftstromgeschwindigkeit, Laufzeit, Stellsignalstand, Spannung, Stromstärke und Beleuchtungsintensität sowie übergeordnet der Gesamtenergieverbrauch von Interesse.

Moog Crossbow

Die 1995 gegründete Tochtergesellschaft der Moog Aircraft Group ist einer der führenden Hersteller von Sensortechnik sowie den dazu passenden Tracking-Programmen. Die ursprünglich auf militärische und logistische Bedürfnisse ausgelegten Sensorprodukte zur Erfassung der Umgebungsrandbedingungen sind mittlerweile auch zur Erfassung von Parametern im Gebäudebestand adaptiert worden. Die Umgebungs-Sensoren sind in der Lage, Messgrößen wie z.B. Temperatur, Luftfeuchte, Beleuchtungsintensität, Druckunterschiede und Orientierung positionsgenau in ein Funknetzwerk-System zu übertragen.

Eine Praxisuntersuchung hat gezeigt, dass stockwerksweise Funkreceiver vorgesehen werden müssen, um die gesammelten Daten an einen Zentralrechner weiterzuleiten. Nachteil dieser Technologie ist das mögliche Zusammenbrechen des kompletten Netzwerks, wenn ein spezifischer Sensor bei der Vernetzung nicht aufgefunden werden kann. Insbesondere bei hohen Wandstärken wiegt diese Anfälligkeit in der Kommunikation die Vorteile des Systems – namentlich schnelle Realisierung und kabellose Verlegung – wieder auf. Sind längere Einsatzzeiten vorgesehen, treten zudem aufgrund der steigenden Größe der benötigten Batterien insbesondere in Wohnräumen Probleme bei der Integration der Funkeinheiten auf [39].

Wireless M-Bus

Der Wireless-M-Bus ist die via Funktechnik kommunizierende Version des drahtgebundenen Meter-Bus und findet weltweit Anwendung in fortschrittlichen Verbrauchsmesssystemen (AMI = Advanced Metering Infrastructure). Die drahtlose Feldbus-Version ist in der europäischen Norm EN 13757-4:2005 bzw. deren länderspezifi-

schen Ausarbeitungen standardisiert und eignet sich zur Datenübertragung von den via Wasser-, Gas-, Wärme- und Stromzähler (= Slave) erfassten Verbrauchsdaten zu einem Datenkollektor (= Master).

Der Vorteil der unidirektionalen Variante liegt darin, dass der Datenkollektor im stromsparenden Standby-Modus betrieben werden kann und erst bei Erhalt eines Aktivierungssignal vor der eigentlichen Messwertübertragung in den operativen Modus schaltet. Das Transfer-Intervall kann dabei zwischen einigen Sekunden (Modus T1 – „Frequent Transmit“) und mehreren Stunden (Modus S1 – „Stationary“) variieren. Allerdings können mit diesem strukturell einfachen Verfahren keine dynamischen Netzwerkkonfigurationen realisiert werden und somit sind lediglich statische Systeme mit wenig Signalverkehr dafür geeignet [42].

Bei der bidirektionalen Variante ist zusätzlich eine dedizierte Datenabfrage des Datenkollektors möglich und durch das Frequenzmultiplexverfahren behindern sich unterschiedliche Zähler nicht gegenseitig. Somit sind auch komplexe Systeme mit starkem Signalverkehr umsetzbar [42].

WLAN (Wireless Local Area Network)

Das lokale Funknetz ermöglicht i.d.R. innerhalb von Gebäuden einen drahtlosen Zugang zum Internet. Abhängig von der verwendeten Antenne sowie der auftretenden Störgrößen (z.B. dichte, dicke Wand) können die Funknetze Radien zwischen einigen wenigen bis mehrere hundert Meter aufweisen [17].

Vorteile:

- Häufiges Repeating für nahezu unbegrenzte Reichweite möglich
- Leistungsfähige Komponenten vorhanden und handelsüblich
- Anwenderbekannte, einfache Funknetzwerkeinrichtung und -administration über PC
- Direkte Verwendung für die Datenübertragung zum Server durch Internet-Routing, nur ein Funknetz-Standard erforderlich

Nachteile:

- Noch kaum Messwerterfassungssysteme und Sensoren mit integrierter WLAN-Schnittstelle verfügbar (Kosten)
- Hoher Energiebedarf für WLAN-Betrieb von dezentralen Sendern (Sensoren)

2.2.2 Beschreibung des gewählten Monitoring-Systems

Primärziel des temporären Monitorings ist das unmittelbare Erkennen und Beseitigen von ineffizientem Anlagenverhalten durch gezielte Verbesserungsmaßnahmen. Das temporäre Anlagen- und Energiemonitoring erfasst detailliert Energieströme und Betriebszustände von Anlagensystemen zur energetischen Analyse, mit dem übergeordneten Ziel Effizienzsteigerungspotentiale zu identifizieren. Der Ecodac-Messkoffer liefert somit bereits nach kurzer Anwendungszeit Entscheidungsgrundlagen für den Kunden, um effiziente Sanierungsstrategien zu definieren. Das temporäre Anlagen- und Energiemonitoring nutzt mobile Mess- und Zähltechnik sowie Sensoren zur Erfassung und Abtastung von Bestandszähler in Kombination mit einem funkbasierten Datenübertragungssystem. Die zentrale, internetfähige Speicher- Kommunikationsstelle erfasst die gesammelten Daten zu Betriebszuständen und Energieverbräuchen der gebäudetechnischen Anlagen.

Entscheidender Vorteil des Messsystems gegenüber den anderen Systemen ist, dass die Funktechnologie auf dem in der Gebäudetechnik etablierten Standard EnOcean basiert, der mit äußerst geringen Sendeleistungen und dementsprechend geringem Energiebedarf auskommt. Zusammen mit der Energy-Harvesting-Strategie von EnOcean sind Sensoren weitgehend energieautark oder können mit äußerst langen Batteriestandzeiten ohne Unterbruch über mehrere Jahre bzw. mehrere Messeinsätze betrieben werden.

Der Kunde erhält als konkretes Ergebnis der Dienstleistung entweder ein Inspektions- bzw. Energiebericht mit Sanierungs- und Handlungsempfehlungen oder ein energetisches Gutachten mit Zustandsbewertung samt Aufnahmen von Schäden und Fehleinstellungen der Regelung.

In Abbildung 8 ist das Ablaufschema mit Fokus auf dem Datenfluss von der Erhebung der Messdaten bis zur Darstellung und Auswertung dargestellt.

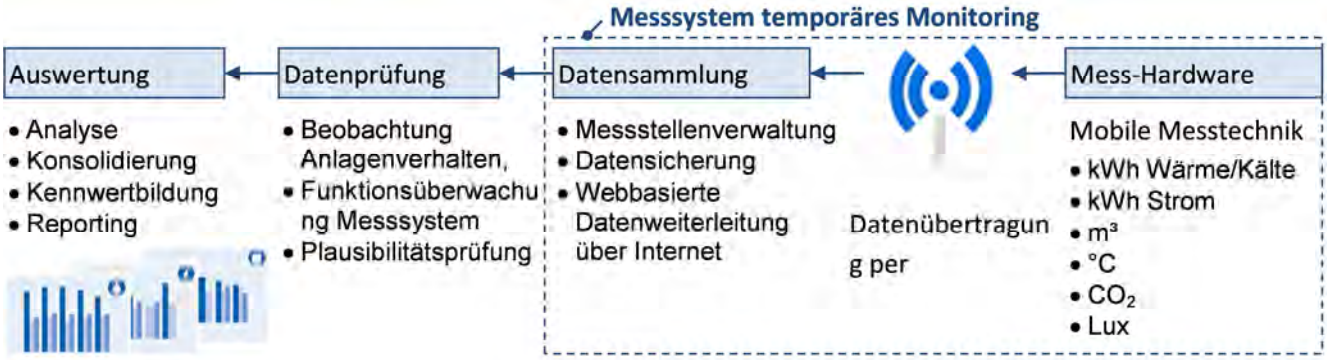


Abbildung 8: Prinzip der Messwerterfassung

Der technische Aufbau des temporären Mess- und Monitoringsystems mit dem computerbasierten Messkoffer als zentraler Verbindungspunkt zwischen Messwerterfassung und Auswertung geht aus Abbildung 9 hervor.

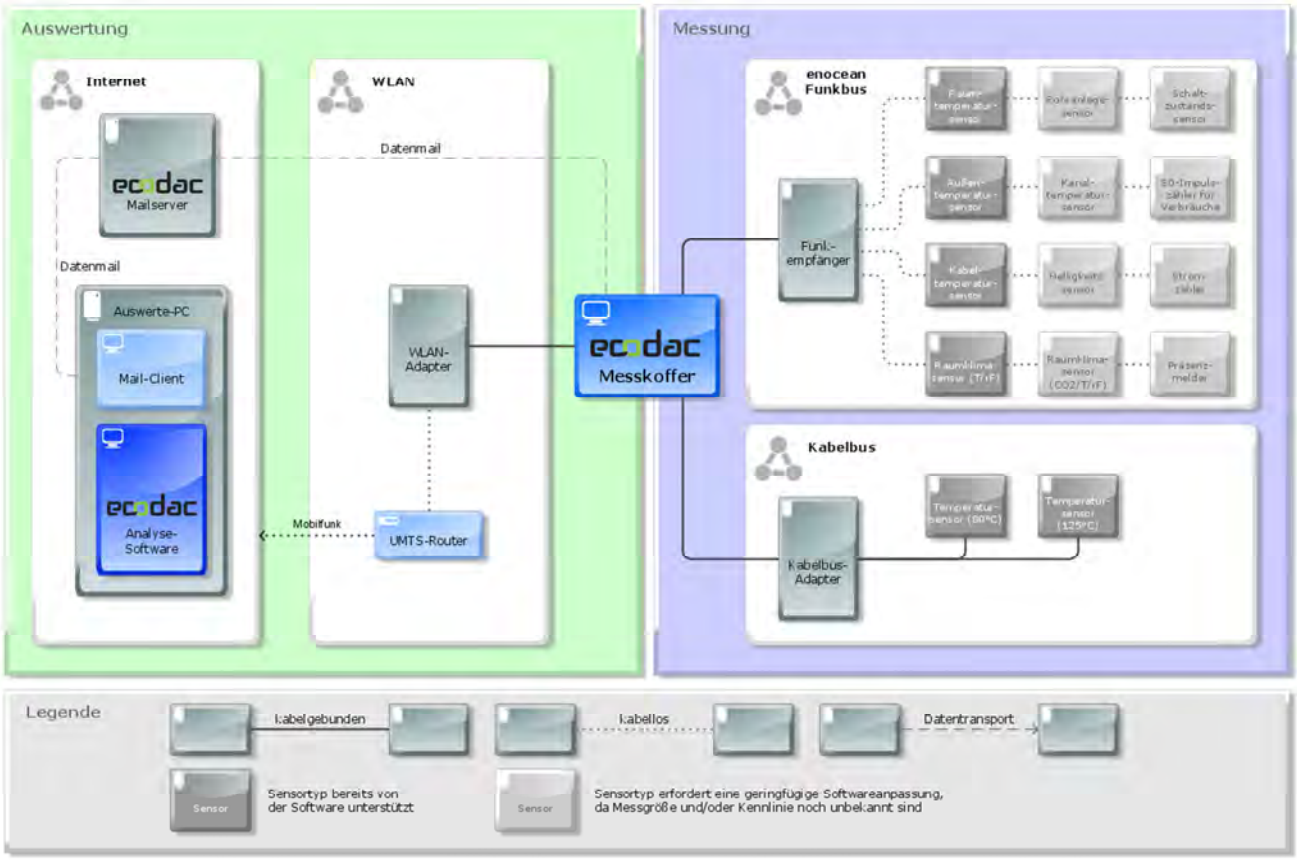


Abbildung 9: Topologie-Diagramm Mess- und Monitoringsystem

Die schnelle und sichere Handhabung bei der Konfiguration einer Messung spielt eine entscheidende anwendungspraktische Rolle. Denn beim temporären Anlagen- und Energiemonitoring steht nicht die technische Installation der Messkomponenten im Vordergrund, sondern die darauf basierende Dienstleistung von der Objekt- bzw. Anlagenaufnahme über die Konzeption der Datenerfassungsstruktur bis zur Analyse der Messdaten sowie die Beratung zur Umsetzung energetischer Optimierungsmaßnahmen.

Durch die automatische Datenübertragung können dabei während der Messphase die Anlagensysteme im Gebäude professionell, kostensparend und kontinuierlich mit hoher zeitlicher Datenauflösung untersucht werden. Für Fehlersuche, Ermittlung der Anlageneffizienz sowie Analyse- und Optimierungsaufgaben wird modernste Sensor-, Mess- und Computertechnik zugrunde gelegt. Dies ermöglicht die Anwendung eines objektiven, transparenten und treffsicheren Analyse-Verfahrens mit praxisorientierter Informations- und Präsentationsform.

Die in der Abbildung 10und Abbildung 11 dargestellte Messtechnik veranschaulicht das Verfahren des temporären Anlagen- und Energiemonitorings. Dabei kann auf die Erfahrungen aus dem stationären Monitoring zurückgegriffen und das abteilungsinterne versorgungstechnische Systemverständnis eingebracht werden.

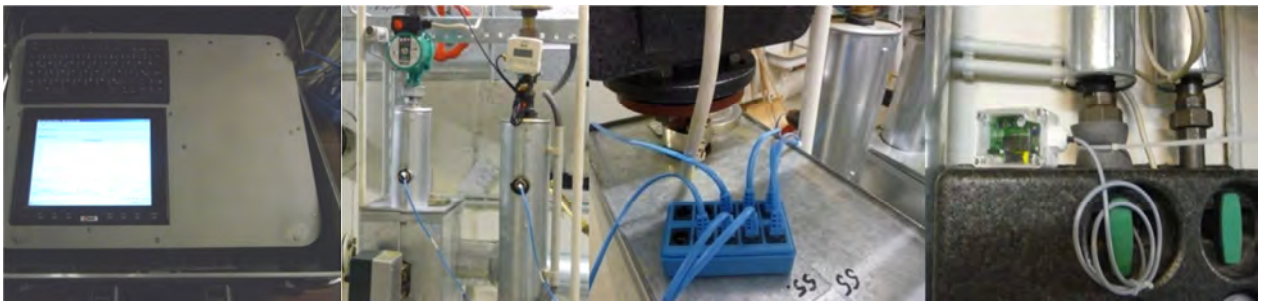


Abbildung 10: **v.l.n.r.: Ecodac-Messkoffer mit Computer zur Datensammlung / -kommunikation; Temperaturfühler in bestehenden Rohrhülsen; Verteiler- / Sammel-Adapter Bus-Leitungen; Funksender für entfernte Temperaturmesspunkte**



Abbildung 11: **Verteiler in der Heizzentrale, Ultraschallsensormessstelle und Ultraschall-Durchflussmessung mit Datenlogging**

2.3 Messkanal Analyseprogramm

Anwendungsbeschreibung National Instruments (NI) DIAdem

DIAdem ist das Softwarewerkzeug von National Instruments, mit dem Mess- und Simulationsdaten verarbeitet (Analyse) und dargestellt (Visualisierung) werden können. DIAdem ist dabei auf die speziellen Anforderungen der Prüfumgebungen von Ingenieuren, Technikern und Wissenschaftler zugeschnitten und bietet leistungsstarke Werkzeuge für die effiziente Bearbeitung von Daten unterschiedlichster Herkunft.

Kundenmehrwert [36] [37]

- Mittelungen, Verrechnungen etc. erfolgen nicht via kopierte Manipulierung zellenbasierter Einzelwerte sondern direkt auf Stufe eines Datenkanals (grundlegender Baustein von DIAdem). Somit sind Datenanalysen viel effizienter abzuarbeiten, da viel weniger Wiederholungen durchgeführt werden müssen.
- Konfigurationsbasierte Analysefunktion erlaubt wissenschaftliche Auswertung von Datensätzen ohne zusätzliche Programmierungsarbeiten (z.B. digitale Filterung) und erlaubt komplette Ergebnisvoransichten zu Vermeidung von fehlerhaften/unerwünschten Berechnungen.
- Große Datenmengen (Abtastraten > 1 Megasample pro Sekunde [MS/s]) können mit DIAdem erfasst werden, ohne dass der Datengewinnung Beschränkungen auferlegt werden.
- Durch die Möglichkeit des selektiven laden von lediglich dem aktuell benötigten Datenkanal ist die effiziente Bearbeitbarkeit von großen Datendateien sichergestellt.
- Unnötiger Speicheraufwand durch numerische Formatierungen, Verknüpfungen, Zellformatierungen, Formeln etc. wird vermieden, da in DIAdem die Flexibilität und Sichtbarkeit auf Zellebene keine Schlüsselrolle einnimmt. Somit sind - verglichen mit Konkurrenzprodukten - sowohl die Ladezeiten geringer als auch die Anzahl der bearbeitbaren Zellen massiv erhöht.
- Durch die modularen DataPlugins ist DIAdem in der Lage, binäre Dateiformate zu lesen. Vorteil dieser streaming-fähigen Formate besteht im geringeren Datenvolumen, da keine für den Anwender lesbare Datei erzeugt wird (wie dies beispielsweise bei den von Microsoft Excel unterstützten ASCII-Dateien der Fall ist).
- Möglichkeit des Importierens unterschiedlicher Dateiformate in eine übergeordnete Struktur zur raschen Identifikation von z.B. fehlgeschlagenen Testverläufen.
- Durch interaktive Achsenskalierung (Verknüpfung von 2D-Hintergrundgrafiken mit bestimmten Wertebereichen) lässt sich die Aussagekraft von Diagrammen erhöhen.
- Dynamische, wiederverwendbare Berichtsvorlagen referenzieren sich auf Datenspeicherorte und nicht auf die eigentlichen Datenwerte; somit können exportierte Reports in einheitlichem Layout erstellt werden.
- Durch die objektorientierte Visual Basic Script-Schnittstelle mit Syntaxhervorhebung und Autovervollständigung können sich wiederholende Datenverarbeitungsaufgaben automatisiert werden, was den Zeitaufwand für die Umwandlungsprozesse drastisch reduziert.

Durch die Aufhebung der Einschränkungen herkömmlicher Datenverarbeitungsanwendungen bezüglich Datenformat, Datenerfassungsrate, Lade- und Bearbeitungszeiten sowie dem Reporting ist NI DIAdem die Softwarelösung der Wahl für den Einsatz im zukunftsgerichteten Tätigkeitsfeld des Anlagen- und Energiemonitorings und kommt folglich bei der Auswertung der Pilotprojekte dieses Forschungsvorhabens zur Anwendung.

Anwendungspraktische Argumente für die Software waren die Auswertung und Diagrammdarstellung von Messkanälen mit über 32.000 Einzelwerten, die umfangreicheren Darstellungs- und Bearbeitungsmöglichkeiten sowie die Vorlagenerstellung bei Auswertung und Berechnung.

3 Entwicklung energetische Anlagenanalyse zur Effizienzoptimierung

3.1 Energetische Inspektion Heizung, Lüftung, Klima-Kälte

3.1.1 Überblick und Verfahrensabgleich

Im Folgenden wird der normativ geforderte Tätigkeits-Maßnahmenumfang mit den Ergebnissen der Analyse bezüglich temporärem Monitoring abgeglichen. Neben der Prüfung des Deckungsgrades – sprich ob alle gemäß Norm erforderlichen Messungen, Inspektionen sowie Auswertungen auch tatsächlich durchgeführt werden – sollen insbesondere potentielle Inhaltserweiterungen im Sinne von prenormativen Vorschlägen aufgezeigt werden.

Energetische Inspektion von Heizungsanlagen

Tabelle 2: Deckungsgrad-Übersichtenergetische Inspektion Heizung

Heizungsanalyseverfahren nach DIN EN 15378	**Temporäres Monitoring mit Ecodac-Messkoffer**
Ziel: Optimierung bestehender Heizungsanlagen durch Inspektion von Kesseln und Heizungssystemen Die Heizungsinspektion basiert auf einem messwert-gestützten Diagnosesystem zur Optimierung von Heizungsanlagen. Die Messung erfolgt nach dem Analyseverfahren DIN EN 15378. Die Aufzeichnung aller relevanten Leistungsparameter ermöglicht eine detaillierte Bewertung des Heizsys-tems zur Bestimmung von Leistungsmängeln, Energie-Einsparpotentialen und Fehlerursachen. Die Messung erfolgt mit einem Heizkesselanlagen- und Rauchgasanalysegerät, wie beispielsweise dem testo Energiemonitor-Messsystem. Die Messdauer variiert dabei je nach Aufgabenstellung zwischen24 Stunden bis zu einer Woche. Während diesem Zeitraum werden die Parameter jeweils in einem Messtakt von 12s aufgezeichnet. Abgasverlustbestimmung nach Vorgaben der 1. BimschV [1] mit Messung der: ▪ Abgastemperatur Verbrennungslufttemperatur ▪ Sauerstoffkonzentration im trockenen Abgas ▪ Kohlenmonoxidkonzentration ▪ Rußzahl (bei Öl oder Gas) bzw. gravimetrische Staubmessung (bei Festbrennstoffen) ▪ Kesseltemperatur (Vor- und Rücklauf) ▪ Brennertemperatur ▪ Heizkreistemperaturen ▪ Ladetemperatur Warmwasserbereitung ▪ Außentemperatur ▪ Raumtemperatur Als Ergebnis resultiert – nach Abgleich mit dem Brennstoffverbrauchs während des Messzeitraums und unter Berücksichtigung der gebäudespezifischen Eigenheiten – eine Zusammenstellung aller Fehlerur-sachen, Optimierungsmöglichkeiten und der zu	Ziel: Optimierung bestehender Heizungsanlagen mit dem mobilen, temporären Monitoringsystem Das temporäre Monitoring ist ein messwertgestütztes Diagnosesystem zur Optimierung von Heizungs- und Klimaanlagen. Die Messung orientiert sich am Analyseverfahren nach DIN EN 15378. Die Aufzeichnung aller relevanten Leistungsparameter ermöglicht eine detaillierte Bewertung des Heizsys-tems zur Identifikation ungeeigneter Regelungspara-meter und ineffizienten Betriebsverhaltens und bestimmt Energie-Einsparpotentiale, Fehlerursachen und unterstützt Maßnahmenempfehlungen. Die Messung erfolgt mit dem Ecodac- Messkoffer. Die Messdauer beträgt, je nach Aufgabenstellung, ein bis zwei Wochen. Dabei werden folgende Systemdaten alle 30s über den Bus abgefragt, erfasst und dargestellt: ▪ Vor- und Rücklauftemperaturen der Heiz- und Kühlkreise, des Kessels, von Solar- und Wär-mepumpenanlagen sowie jeglicher Systeme zur Warmwasserbereitung ▪ Abgastemperaturen Brennwert-Systemen ▪ Außentemperatur, Raumtemperatur, Raum-feuchte und CO_2 Gehalt im Raum ▪ Optional können Volumenströme und elektri-sche Ströme gemessen werden Siehe Abbildung 12 für die zur Anwendung kommen-de Checkliste der abzufragenden Daten bei der Abgasmessung am Wärmeerzeuger. Als Ergebnis erhält man eine Zusammenstellung aller Fehlerursachen, Optimierungsmöglichkeiten und der zu erwartenden Einsparpotentiale.

erwartenden Einsparpotentiale.	
Heizungs-Check[22] Die qualitative energetische Einschätzung mittels Maluspunktesystem des Heizungs-Checks erfolgt nach folgenden Parametern: **1.** Messungen am Wärmeerzeuger ▪ Abgasverlust bei Volllastbetrieb ▪ Oberflächenverlust bei Volllastbetrieb ▪ Ventilationsverlust (Wärmeverlust durch das Abgassystem 30 s nach Brennerschluss) **2.** Visuelle Inspektion und Bewertung der Heizungsanlage ▪ Wärmeerzeugung: Überdimensionierung (50% größere Kesselleistung als benötigt), Brennwertnutzung, Kesseltemperaturregelung ▪ Wärmeverteilung: Hydraulischer Abgleich, Heizungspumpe, Dämmung von Leitungen und Armaturen ▪ Wärmeübergabe: Raumtemperaturregelung Je höher die Anzahl der Maluspunkte, desto ineffizienter die jeweilige Anlage – sprich desto größer das energetische Verbesserungspotential. Schritt 2: Der zweiseitige Inspektionsbericht enthält ▪ alle relevanten Daten zu Gebäude und Wärmeerzeuger, ▪ die vergebenen Bewertungspunkte, ▪ detaillierte Sanierungsempfehlungen (inkl. Beurteilung deren Dringlichkeit).	Die Vorgehensweise beim temporären Monitoring präsentiert sich wie folgt: **1.** Visuelle Inspektion und Bewertung der Anlage ▪ Deckungsgrad Schemata und Ausführung ▪ Wärmeverteilung: Dämmung von Leitungen, Pumpentypen, Armaturen und Auffälligkeiten ▪ Wärmeabgabe: Raumtemperaturregelung **2.** Messung der Systemtemperaturen ▪ alle relevanten Vor- und Rücklauftemperaturen, Speichertemperaturen, Erzeuger-Oberflächen- und Abgastemperaturen (nur BW-Technik) ▪ Außentemperaturen ▪ Raumtemperaturen (inkl. Heizraum), Raumfeuchte und bei Bedarf den CO_2 Gehalt des Raumes ▪ optionale Bestimmung der Volumenströme in den Heizkreisen Schritt 2: Der Inspektionsbericht enthält ▪ alle relevanten Daten zu Gebäude und Heizungsanlage, ▪ graphische Auswertung der Systemtemperaturen, ▪ Angaben Regelungseinstellungen zu Betriebszeiten insb. hinsichtlich Nachtabsenkung, ▪ detaillierte Sanierungsempfehlungen mit fachtechnischen Hinweisen sowie optionale Amortisationsrechnung (Wirtschaftlichkeitsbetrachtung).

Um den Anforderungen an eine energetische Inspektion nach DIN EN 15378 [7] zu genügen, muss folglich der Umfang der Messdaten des temporären Monitorings insbesondere zur Erfassung der Brenner- und Abgastechnischen Messungen des Wärmeerzeugers erweitert werden, um die folgenden Parameter:

- Abgasverlust bei Volllastbetrieb
- Oberflächenverlust bei Volllastbetrieb
- Ventilationsverlust (Wärmeverlust durch das Abgassystem 30 s nach Brennerschluss)

Die Erfassung dieser Messwerte sowie z.T. die resultierenden Analyse-Ergebnisse daraus werden von bereits vorkonfektionierten Messtechnik-Sets, beispielsweise von Testo (vgl. [43]) oder Wöhler, zur Verfügung gestellt und können im Rahmen der energetischen Inspektion durch das mobile Monitoring-System zusätzlich zum Einsatz kommen.

Die Abstrahl- bzw. Oberflächentemperaturverluste (s. Formel 1) sind bereits mit dem Messkoffer nicht nur zeitlich punktuell, sondern über eine Zeitspanne für unterschiedliche Lastfälle bestimmbar.

$$q_{st} = \frac{\Sigma A_{Teilfläche} \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta_{Teilfläche}}{Q_{Kessel}}$$

Formel 1

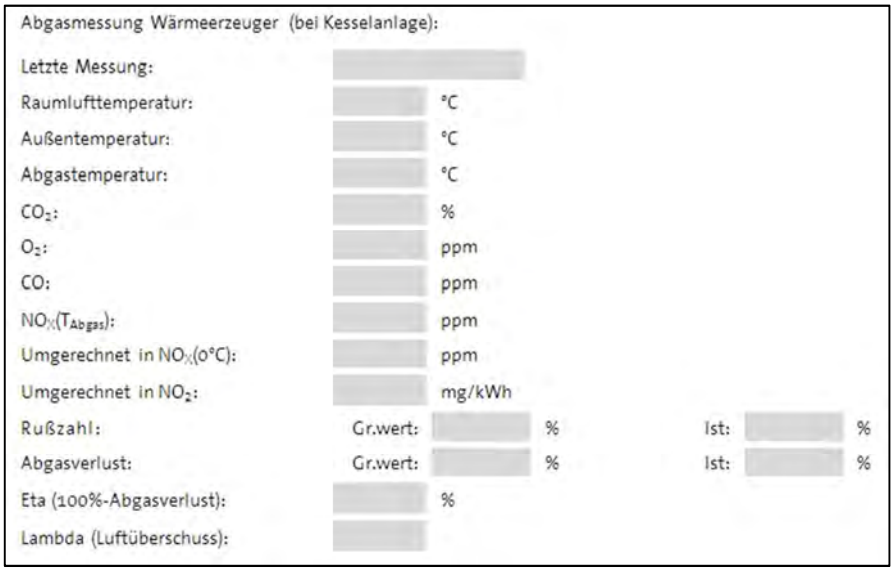
Ebenso ist im Rahmen der Vorort-Begehung die Prüfung der Eignung des Wärmeerzeugers zur Brennwertnutzung möglich. Darüber hinaus kann zusätzlich das Kesselsystem auf Modifizierbarkeit für die Optimierung des Teillast- und Taktverhaltens (Verminderung Brennerstarts) und für die Verbesserung der Abgaswerte untersucht werden. Durch die Nachrüstung von modularen Keramik-Speichermassen in bestehende Kesselsysteme lassen sich beispielsweise unmittelbar 8-15% an Energie sparen und Emissionen senken.

Auf Grundlage des mobilen Monitorings kann über die im normativen Verfahren der energetischen Inspektion enthaltenen Sichtprüfung der Regelung hinaus das Betriebsverhalten des Erzeugersystems im Abgleich mit den Regelparametern überprüft werden und dient der Optimierung von raum- oder witterungsgeführten Regelungsfunktionen und Zeitsteuerungen.

Die Sichtprüfungen der Rohrleitungen insbesondere der Rohrleitungsdämmung, und der vorhandenen Einrichtungen, wie Strangregulierventile zum hydraulischen Abgleich wird ebenso durchgeführt. Zusätzlich können Beratungen zur erweiterten hydraulisch-thermischen Potenzialnutzung in der Anlage erfolgen. Anhand des beobachteten Anlagenverhaltens kann die Eignung von Schicht-Pufferspeichern oder die Einsatzmöglichkeit bzw. das Erfordernis einer Entkopplung durch eine hydraulische Weiche sowie einer Kombination daraus (spezielles System Zortström) fundierter bewertet werden. Dabei werden auch die Einsatzoptionen der 4-Wege-Beimischung aus zwei Speicherschichten oder zwei Temperaturstufen des Erzeugers anhand von Bivalent-Ventilen oder die 4-Wege-Beimischung aus Heizkreis-Rückläufen mit höherem Temperaturniveau zur Nutzung auf niedrigerem Niveau anhand der Beobachtung der Verteilerkreise betrachtet.

Die Überprüfung der Wärmeübergabe kann nicht anhand der Sichtung der Voreinstellbarkeit und Thermostatfunktion von Ventilheizkörpern sowie mittels der Bewertung der Anordnung und der Raumwirkung des Heizkörpers erfolgen, sondern mit dem Messkoffer lassen sich gesamte Raumklimasysteme inklusive der Regelstrecke und dem thermodynamischen Raumverhalten analysieren und optimieren, siehe hierzu auch entsprechendes Anwendungsbeispiel mit Messung eines Ventilatorkonvektors unter Punkt 4.

Ebenso werden die Wärmeverteilsysteme, insbesondere die Umwälzpumpen nicht nur anhand der baujahrtechnologischen Einordnung bewertet sondern diesbezüglich erfolgt durch ergänzende Instrumente, wie dem Drehfeldindikator und dem Monitoring über die Infrarotschnittstelle mit Betriebs- und Einstellungsdatenauslesung moderner Pumpen eine detailliertere Untersuchung und Bewertung.



Abgasmessung Wärmeerzeuger (bei Kesselanlage):						
Letzte Messung:						
Raumlufttemperatur:		°C				
Außentemperatur:		°C				
Abgastemperatur:		°C				
CO_2:		%				
O_2:		ppm				
CO:		ppm				
$NO_X(T_{Abgas})$:		ppm				
Umgerechnet in $NO_X(0°C)$:		ppm				
Umgerechnet in NO_2:		mg/kWh				
Rußzahl:	Gr.wert:		%	Ist:		%
Abgasverlust:	Gr.wert:		%	Ist:		%
Eta (100%-Abgasverlust):		%				
Lambda (Luftüberschuss):						

Abbildung 12 Auszug Datenerhebungsbogen(Kapitel Wärmeerzeugung), Quelle: Bilfinger-Konzerngesellschaft

Energetische Inspektion von Klimaanlagen

Laut §12 der aktuellen Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) [16] muss für Klimaanlagen mit einer Nennkühlleistung über 12 kW (bezogen auf die Leistungssumme pro Gebäude)wiederkehrend mindestens alle zehn Jahren eine energetische Inspektion durchgeführt werden. Darin müssen die gebäude-, anlagen-und nutzungsspezifischen Randbedingungen für einen energieeffizienten Betrieb festgestellt werden. Dies beinhaltet [40]:

- Anlagentechnische Prüfung – Effizienzfeststellung der „wesentlichen Komponenten, die den Wirkungsgrad der Anlage beeinflussen“ (i.d.R. umfasst dies Befeuchter, Kältemaschinen, Ventilatoren etc.). Übergeordnet gliedert sich diese Komponentenprüfung in eine Energieeffizienzbetrachtung von Kälteanlage und RLT-Anlage.
- Prüfung von Gebäudeeigenschaften und -betrieb –Ermittlung und Bewertung von Einflüssen auf Anlagendimensionierung
    - Nutzungszeiten der Einzelräume
    - Belegung der Einzelräume (inkl. innere Wärmequellen)
    - relevante bauphysikalische Eigenschaften
    - Anlagensollwerte (Luftmenge, Temperatur, Feuchte) und -anforderungen (Betriebszeit, Toleranzen)

Als Ergebnis sind in der EnEV „kurz gefasste fachliche Hinweise“ zu Optimierungsmaßnahmen gefordert, ohne dass deren Effizienz oder Wirtschaftlichkeit detailliert untersucht werden sollen.

Tabelle 3: Deckungsgrad-Übersicht energetische Inspektion Lüftung und Klima-Kälte

DIN SPEC 15240[6]	Bemerkung	Temporäres Monitoring
Prüfung der vorhandenen Dokumentation		In der Regel erfolgt ein Abgleich der Schemata mit der Anlage vor Ort
Mess- und Zählkonzept (inkl. Alarme)		
Baujahr		
Gebäudevolumen, Etagenanzahl und Geschosshöhe		
Sanierungen/Umbauten/Erweiterungen (falls erfolgt)	Zeitpunkt, Grund und Umfang	
Zustand des Gebäudes und der Anlagen / Wartungsstand		
Energieverbrauchsdaten je Energieträger inkl. Preis		
Außentemperatur		
Außenluftfeuchte		
Konditionierte Flächen	Nur mit RLT- bzw. Kälte versorgte Flächen	++
Nutzung	Zuordnung der Flächen zu den Nutzungsarten	++
Verglasung, Sonnenschutz		+
Beleuchtung	Stichprobenhafte Überprüfung im Hinblick auf Raumlast	+
Geräte und Maschinen	Stichprobenhafte Überprüfung und Hinweise im Inspektionsbericht	+
Personen	Feststellung und Befragung	+
Raumlasten / innere Lasten		
Abschätzung Kühllast	Abschätzung nach VDI 2078 (Keine Berechnung)	o
Benchmark Kühllast		+
Außenluftvolumenstrom	Vergleich Soll – Ist, Messung Luftvolumenstrom	o
Raumtemperatur (Betrachtung von Minimum und Maximum), jeweils getrennte Betrachtung von Sommer und Winter	Soll-Ist-Vergleich, keine Langzeitmessung, Verwendung vorhandener Daten (gem. DIN EN 15251)	Hier erfolgt eine i.d.R. sieben Tage Messung aller relevanter Temperaturen
Raumtemperaturregelung	Prüfung individueller Regelungsmöglichkeit	
DIN SPEC 15240[6]	**Bemerkung**	**Temporäres Monitoring**

Raumluftfeuchtigkeit, jeweils getrennte Betrachtung von Sommer und Winter		Hier erfolgt eine i.d.R. sieben Tage Messung aller relevanter Temperaturen
Betriebszeiten (täglich und jährlich)		++
Sollwerte RLT		++
Sollwerte Klimakälte		++
Luftvolumenstromregelung		o
Betriebsmodi	Vergleich Soll – Ist	++
Luftfilterung	DIN EN 13779	
Ermittlung Luftvolumenströme	Zu- und Abluft, „schadstoff-arm“ gem. DIN EN 15251	o
Ermittlung Wirkleistung Ventilator	Zu- und Abluft	o
Berechnung SFP (specific fan power = Wirkleistung / geförderter Volumenstrom)	Für jeden Ventilator	o
Statische Druckerhöhung	Zu- und Abluft	o
Abschätzung WRG	Datenblätter, Typenschild	+
Feststellung Nebenantriebe WRG	Datenblätter, Typenschild	o
Feststellung Umluftanteile	Datenblätter, Typenschild	o
Feststellung Dampfbefeuchter	Datenblätter, Typenschild	o
Feststellung Wasserbefeuchter	Datenblätter, Typenschild	o
Dichtigkeit Kanalnetz und Geräte	Visuelle Inspektion auf offensichtliche Leckagen gem. DIN EN 13779	+
Wärmedämmung RLT- Geräte	Visuelle Inspektion	+
Wärmedämmung Kanalnetz	Visuelle Inspektion	+
Berechnung Effizienzkennwert und Referenzkenn-werte	Für jedes RLT-Gerät	o
Kälteerzeuger		
Überprüfung Wartungstätigkeiten	Wartungsprotokolle, ChemKlimaschutzVO, ChemOzonschutzVO	o
Feststellung EER (Nennkälte Leistungszahl)	Aus Dokumentation, Herstellerunterlagen, Standarddaten gemäß DIN 18599-7	o
Feststellung PLV (der gewichtete mittlere Teillastfaktor)	DIN V 18599-7	-
DIN SPEC 15240[6]	**Bemerkung**	**Temporäres Monito-ring**
Feststellung Rückkühlventilator	Datenblätter, Typenschild	o

Feststellung Pumpen	Datenblätter, Typenschild	++ Volumenstrom Messungen und Betriebsdatenauslesung über Infrarotschnittstelle möglich
Berechnung elektr. Aufwand Verteilung		o
Feststellung der Wärmedämmung	Visuelle Inspektion auf offensichtliche Leckagen	+
Berechnung Effizienzwert Klimakälte	Für jede Kältemaschine	++
Berechnung Referenzwert Klimakälte	Für jede Kältemaschine	o
Begehung und Feststellung der Endgeräte	Datenblätter, visuelle Inspektion und qualitative Bewertung	+
Funktion der Regelung	Stichprobenhafte Kontrolle der Funktion	++ Die Langzeitmessung zeigt ob und wie die Anlage geregelt ist
Blindstromkompensation / Spitzenlastabwurf		
Behaglichkeit: Akustik	DIN EN 15251	
Behaglichkeit: Zugluftrate (DR = draught rating) [2]	DIN EN ISO 7730	
Behaglichkeit: Temperaturgradient / Oberflächen-temperatur	VDI 3804	
Systembetrachtung	Kurz gefasste Bewertung	++
Energetisches Gesamtkonzept	Kurz gefasste Empfehlung	++
Beurteilung Gesamtsystem		++
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	Optionale Leistung	o

Legende:
++ Erfolgt
+ Wird bei einer Begehung dokumentiert und in die Bewertung mit einbezogen
o Möglich
- Erfolgt nicht

Der aus der Durchführung des temporären Monitorings resultierende Schlussbericht soll zum Nachweis der nach EnEV geforderten energetischen Inspektion dienen. Die Untersuchungsergebnisse im Sinne von Einsparpotentialen werden anhand der folgenden Kategorien transparent zusammengefasst und bewertet [25]:

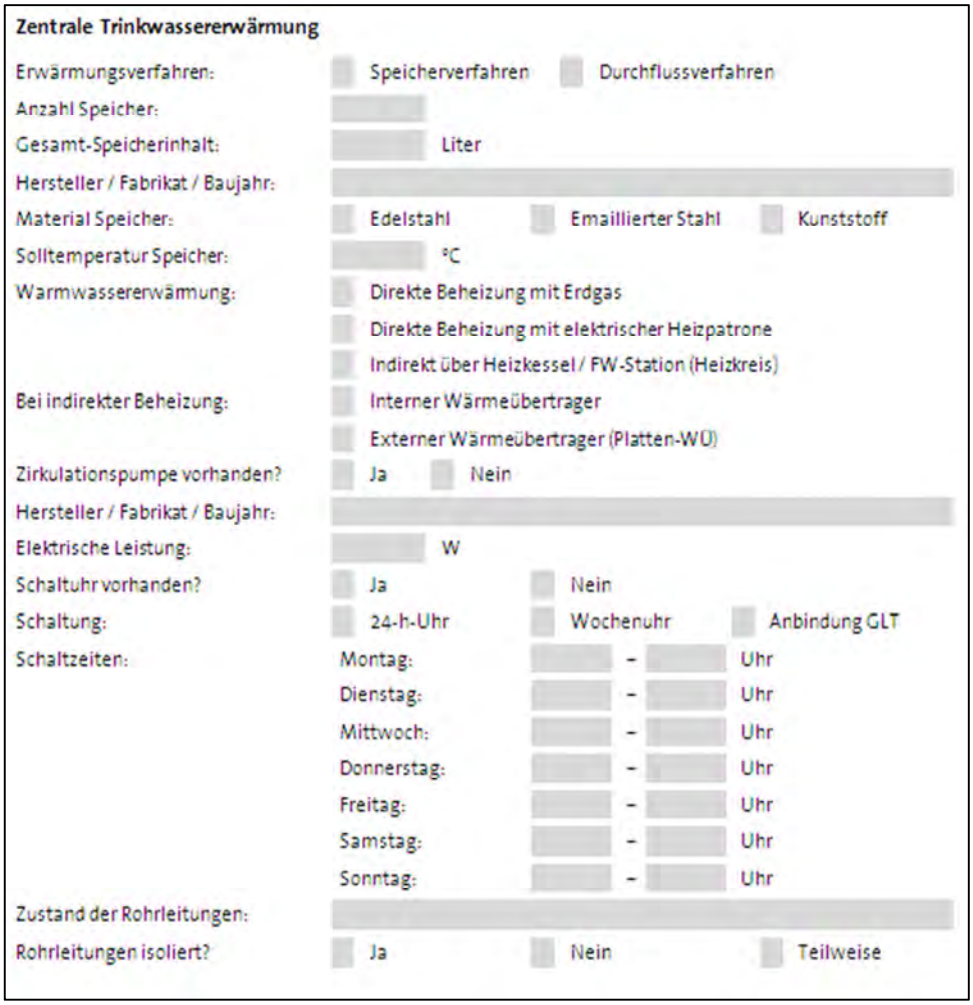
- Kühllastreduzierung
- Kühlleistung in Relation zur Kältemaschinenleistung
- Luftvolumenstrom
- Temperatur
- Luftfeuchtigkeit
- Regelparameter (Sollwerte)
- Betriebszeitanpassung

- RLT-Gerät ERLT
- Kanalnetz (Dichtheitsklasse)
- Kälteerzeugung EKK
- Kaltwasserverteilung $q_{Verteilung}$
- Endgeräte
- Beurteilung Klimakonzept

→ Anforderungen Analysemethodik / erforderlicher Umfang Messdaten. Bei Bedarf werden Verbesserungspotentiale aufgezeigt sowie spezifische Handlungsempfehlungen erteilt.

Die bei Bilfinger konzernintern verwendeten Erhebungsformulare, welche im Rahmen von Energieaudits zum Einsatz kommen, werden folgende zusätzliche Inhalte abgefragt:

- Dämmmaterial und Dicke, verbaute Türen (nach Norm erfolgt lediglich eine Einstufung in „leicht“, „gut“ oder „sehr gut“
- Detaillierte Betrachtung der Beleuchtung hinsichtlich Leistung, Lampentyp. Abdeckung und Regelung
- Abfrage letzte Zählereichung
- Erhebung von Warmwasserbedarf und Identifikation der Großverbrauch inkl. Datenabfrage der Trinkwassererwärmungssysteme(siehe Abbildung 13 für das Beispiel der Zentralen Trinkwassererwärmung)
- Abfrage der thermodynamischen Funktionen der RLT-Anlagen (z.B. Entfeuchtung)
- Abfrage der Anteile an Wirk- und Blindstrom
- Abfrage der verbauten Druckluftanlagen hinsichtlich Leistungsaufnahme, Betriebsstunden, etc.



Zentrale Trinkwassererwärmung

Erwärmungsverfahren:	☐ Speicherverfahren	☐ Durchflussverfahren	
Anzahl Speicher:			
Gesamt-Speicherinhalt:	Liter		
Hersteller / Fabrikat / Baujahr:			
Material Speicher:	☐ Edelstahl	☐ Emaillierter Stahl	☐ Kunststoff
Solltemperatur Speicher:	°C		
Warmwassererwärmung:	☐ Direkte Beheizung mit Erdgas		
	☐ Direkte Beheizung mit elektrischer Heizpatrone		
	☐ Indirekt über Heizkessel / FW-Station (Heizkreis)		
Bei indirekter Beheizung:	☐ Interner Wärmeübertrager		
	☐ Externer Wärmeübertrager (Platten-WÜ)		
Zirkulationspumpe vorhanden?	☐ Ja	☐ Nein	
Hersteller / Fabrikat / Baujahr:			
Elektrische Leistung:	W		
Schaltuhr vorhanden?	☐ Ja	☐ Nein	
Schaltung:	☐ 24-h-Uhr	☐ Wochenuhr	☐ Anbindung GLT
Schaltzeiten:	Montag:	–	Uhr
	Dienstag:	–	Uhr
	Mittwoch:	–	Uhr
	Donnerstag:	–	Uhr
	Freitag:	–	Uhr
	Samstag:	–	Uhr
	Sonntag:	–	Uhr
Zustand der Rohrleitungen:			
Rohrleitungen isoliert?	☐ Ja	☐ Nein	☐ Teilweise

Abbildung 13 Auszug Datenerhebungsbogen (Kapitel Trinkwassererwärmung), Quelle: Bilfinger-Konzerngesellschaft

Dabei stützen sich diese Formulare sowie die zugrundeliegenden Checklisteninhaltlich auf das Forschungsvorhaben „Elektronische Gebäude- und Anlagen-Checkliste als Basis für die Berechnung nach DIN V 18599“ der Forschungsinitiative ZukunftBau [41].

3.2 Energetische Inspektion und Analyse anhand mobiler Monitoringsysteme

3.2.1 Gliederung Vorgehensweise

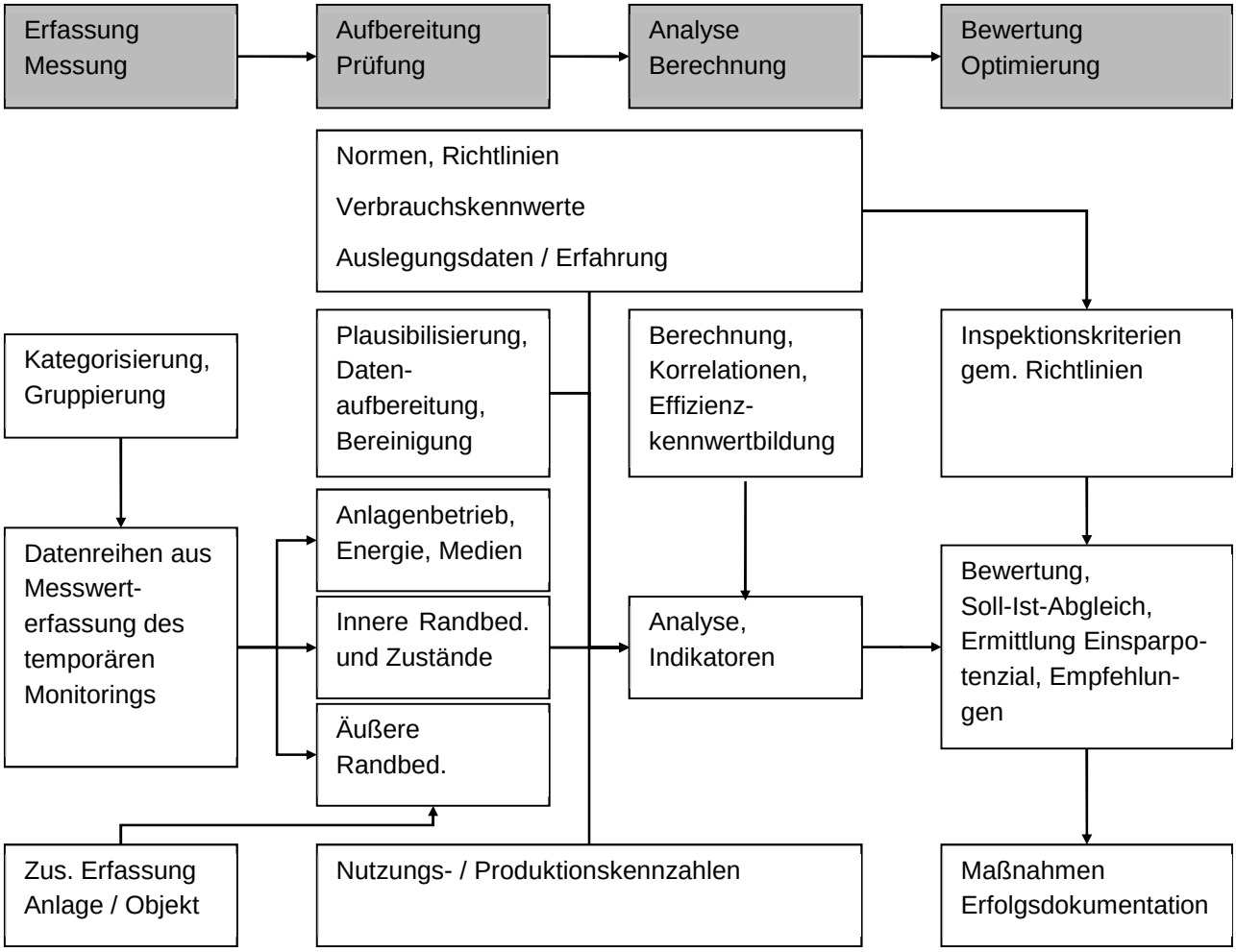


Abbildung 14 Ablaufschema / Vorgehensweise

Die generelle Vorgehensweise unabhängig vom Gebäudetyp, der Nutzungsart und des analgentechnischen Gewerks ist in Abbildung 14 dargestellt. Im Anschluss des Forschungsvorhabens kann aus den Anwendungserfahrungen und den entwickelten Untersuchungsmethoden ein Anwendungsleitfaden zur Durchführung energetischer Inspektionen gemäß Normung, ergänzt mit den zusätzlichen Inhalten und Maßnahmen hinsichtlich einer Analyse und Optimierung mit Hilfe des temporären Monitorings und den entsprechend erweiterten Bewertungsmöglichkeiten erstellt werden.

Ergänzend zu Abbildung 14 ist die praktische Vorgehensweise der Energetischen Inspektion mit mobilem Kurzzeitmonitoring in Abbildung 15 dargestellt.



Abbildung 15: Praktischer Ablauf der Energetischen Inspektion mit mobilem Kurzzeitmonitoring

3.2.2 Entwicklung Analysemethode

Die einzelnen Bestandteile zur Entwicklung des Gesamtverfahrens zum mobilen Kurzzeitmonitoring sind in Abbildung 16 dargestellt. Diese setzt sich aus der Identifizierung einer geeigneten Produktbasis und gezielten Konfiguration und Weiterentwicklung sowie der Entwicklung einer Analysemethodik zusammen, um darauf aufbauend die Ergebnisdarstellung zu entwickeln, um einer möglichst umfassende Realisierung der Effizienzoptimierungsmaßnahmen zu erzielen.

Nachdem sich unter Abschnitt 2.2 mit der Auswahl und Entwicklung der hardwaretechnischen Voraussetzungen beschäftigt wurde, beinhaltet der vorliegende Abschnitt die übrigen Entwicklungsbestandteile des Gesamtverfahrens aus Abbildung 16.

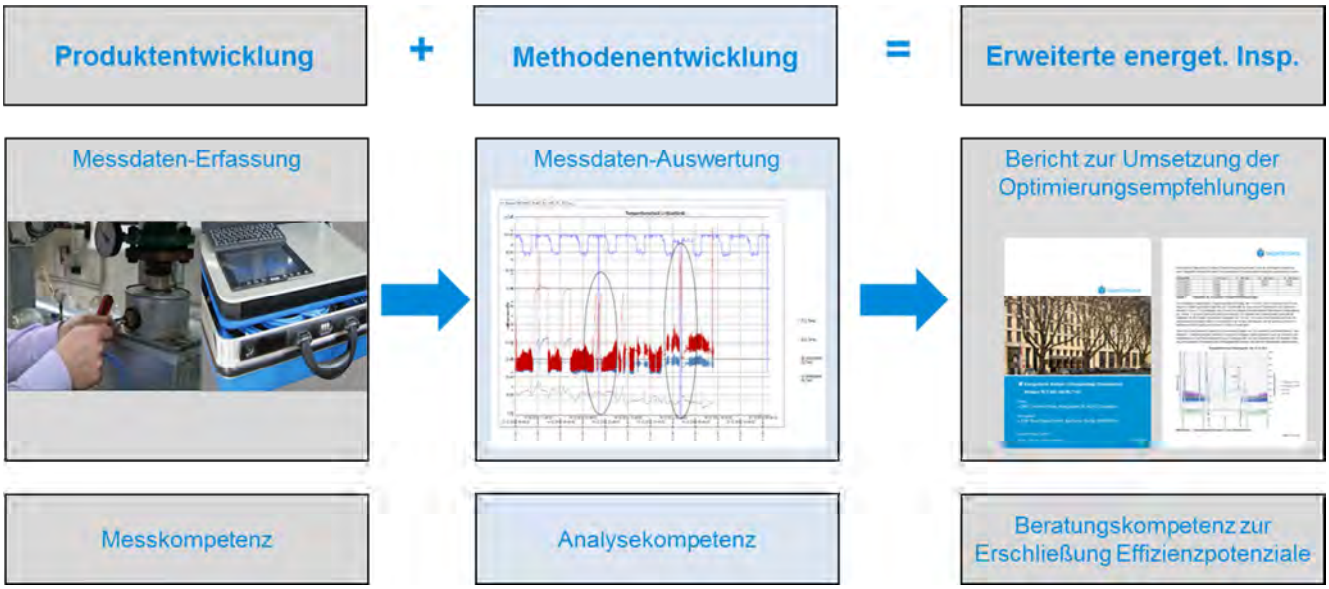


Abbildung 16: Entwicklungsbestandteile und -Ergebnis des Gesamtverfahrens

Zur Analyse von Messdaten aus temporärem Anlagenmonitoring im Rahmen der energetischen Anlageninspektion sind die in folgender Aufzählung genannten Bearbeitungsschritte erforderlich:

1. Vorbereitung der Messung und der Messdaten bis zum Import in die Messkanalanalysesoftware
2. Aufbereitung, Gliederung und Darstellung der Messdaten innerhalb der Messkanalanalysesoftware
3. Nachbereitung und Export der Daten / Ergebnisse mit Interpretation und Erstellung des energetischen Inspektionsberichts mit Maßnahmen- und Modernisierungsempfehlungen
4. Ergänzenden Dokumente und Berechnungen, wie z.B. Erfassungsbögen Anlage und Zähler-Datenarchiv, Berechnungsblatt des Energiekennwertes von Kälteanlagen zur Klimatisierung, Berechnungsblatt des Energiekennwertes von Lüftungs- und Klimaanlagen, Inspektionsbericht zum Heizungs-Check, Berechnungsblätter zur relativen Einsparung durch Variation von Betriebszeitprofilen und Absenkprogrammen oder durch Einsatz von Hocheffizienzpumpen)

Auf die durchgeführten Bearbeitungsschritte folgt üblicherweise die Präsentation und Erläuterung der Ergebnisse der energetischen Inspektion zur Vorbereitung der Umsetzung von empfohlenen Maßnahmen.

1. Schritt:

Vorbereitung der Messung:

- Anlagenaufnahme mit Erfassung des technisch-energetischen Anlagenzustands und möglicher, bereits bekannter oder sichtbarer Problempunkte
- Messkonzeption entsprechend der Aufgabenstellung der Analyse mit strukturierter, einheitlicher Benennung der Messpunkte und Pflege zusätzlicher Attribute

Vorbereitung der Messdaten Im Rahmen des Imports in das Messkanalanalyseprogramm im Nachgang der Messung:

- Datensicherung der Messdatei
- Kontrolle und Berücksichtigung von Systemzeit-Offsets (Korrekturen) / Messwert-Offsets
- Zeitkanal-Aufspaltung: Datum, Uhrzeit, Wochentag

- Grobe Voruntersuchung auf Unstimmigkeiten, Vollständigkeit der Messdatenaufzeichnung
- Ggf. Nachbenennung der Messpunkte (MP01…) gemäß eingetragener Messpunkte im Anlagenschema, falls nicht bereits vorab berücksichtigt und in der Start-Konfiguration der Messung enthalten
- Definition der Einheiten der Messkanäle (wird auf Grundlage der entwickelten Import-Schnittstelle von der Messtechnik zur DIAdem Software nun automatisch berücksichtigt)

Bezüglich der Anlagenaufnahme bestehen bereits sowohl eigene Standards als auch Vorlagen zur energetischen Inspektion von Heizungsanlagen (s. [7] und [22]), raumlufttechnischen sowie klima- und kältetechnischen Anlagen (s. [24] und [25]).

2. Schritt:

Im Rahmen der unter Kapitel 4 bearbeiteten Pilotprojekte wurden auf Grundlage der erfassten Messdaten mögliche Standard-Auswertungen anhand einer Vielzahl von Darstellungsvarianten untersucht und erstellt. Die Datenaufbereitung und Prüfung erfolgt bereits im Rahmen des Imports vom Messsystem. Anhand bestehender Report-Vorlagen, die vordefinierte Anzahl, Darstellungsarten und Layouts von Diagrammen enthalten, müssen bei neuen Messungen lediglich die passenden Kanaleingänge der Messpunkte per Referenz zugewiesen und die Anzahl angepasst werden. Bei Einhaltung der Systematik, je Messung die Messpunkte entgegen der Bedarfsentstehungsrichtung von der Erzeugerseite bis zur Verbraucherseite zu installieren und zu benennen, passt ein Großteil der Messkanäle ohne Anpassung in die Vorlage. Da jedoch je nach Messkonzeption, Erfordernis und Möglichkeit für Verbraucherkreise teilweise mehrere Messdatenpunkte jeweils vor und hinter den beeinflussenden Regelorganen aufgenommen werden, ist stets eine manuelle Anpassung erforderlich, sodass diesbezüglich die Entwicklung einer automatisierten Erstellung nicht lohnend ist.

Die Darstellungsvarianten und Messdatenauswertungen gliedern sich in folgende Kategorien:

- Darstellung Original-Messdaten:
    - Zeitdiagramme und Zeitausschnitte der Messreihen
    - 24h-Profil, Wochentagprofil (jeweils kumuliert über Gesamtmesszeit)
    - Korrelationen von Messkanälen untereinander (Punktewolken, Streudiagramme), wie Außentemperaturkorrelationen oder VL-RL-Spreizungskorrelation eines Verbraucherkreises

- Berechnung und Auswertung aufbereiteter und auf Messwerten basierende Berechnung von Messkanälen:
    - Kanalberechnungen (algebraische Formel-Berechnungen mit Messkanalwerten), wie Spreizung, Taupunkt, Mischventilstellung, Bestimmung Betriebszustand und Betriebszeiten (Heizen / Kühlen ; Betrieb/Absenkung/Abschaltung), Integration / Summen- / Dauerlinien, Differentiation (zeitlicher Temperaturänderungsgradient K/Min.)
    - Kanalberechnungen auf Grundlage von kurvenwertabhängigen Kriteriumsbestimmungen und Statusberechnungen (beispielsweise zuvor erwähnte Betriebszustände Heizen/Kühlen, oberes/unteres 25%-Quantil oder Grenzwertüber- / -unterschreitung) für die x- und y-achsenorientierte Hintergrundsegmentierung (Einfärbung/Hervorhebung) von Diagrammen zur Verbesserung visuellen Analysierbarkeit (insbesondere für x-Achse nicht trivial)
    - Untersuchung auf bekannte (am Regler / am Schaltschrank erfasste) oder indirekt aufgeprägte Betriebsprofile (Multiplikation der Messkanäle mit Betriebsfaktoren zur differenzierten Darstellung im Diagramm und in der Legende)
    - Abgleich Zeitprofile Bedarfsanforderung Verbraucher zu Betrieb Erzeuger
    - Messwertbereinigung, Messkurvenglättung, Hüllkurvenberechnung, Null-Wertentfernung

- Messwertkorrektur bei Werten jenseits physikalisch möglicher Minimal- / Maximalwerte (Wassersystem << 0°C, >> 105°C), Behandlung von nicht möglichen Negativ- / Positivwerten, Prüfung auf fehlende Sensor-Rückmeldung („eingefrorene“ Messwerte über unrealistisch lange Zeit exakt konstant), Prüfung auf nicht mögliche Unstetigkeit
- Logik und Plausibilitätsprüfung Heizung aufgrund Grädigkeiten VL > RL, Kühlung VL < RL, VL Kreis <= VL Hauptverteilung, Abgleich Prim-Sek-Kreise
- Klimabereinigung bzw. Klimakorrelationen für Heizung / Kälte
- Konvertierung (Kanaleinheitenumrechnung)
- Skalierung (Faktor, Offset)
- Interpolation von Datenlücken
- Effizienzkennwerte (momentaner / gemittelter COP)
- Deskriptive Statistik der Messkanaldaten (vgl. Abbildung 17), sowie Häufigkeitsverteilungen anhand Häufigkeitsklassierungen von Werten, reduzierende Klassierungen von Werten, Mittelwerte (arithm., quadrat., geom., harmon.), Quantile, Spannweiten, Standardabweichung, Varianz, Variationskoeff.
- Frequenzanalysen, (FFT, Schwingungscharakterisierung, Korrelationen, Digitale Filter) zur Auswertung von Regelcharakteristiken und Rückschluss auf Regelparametern / -funktionen

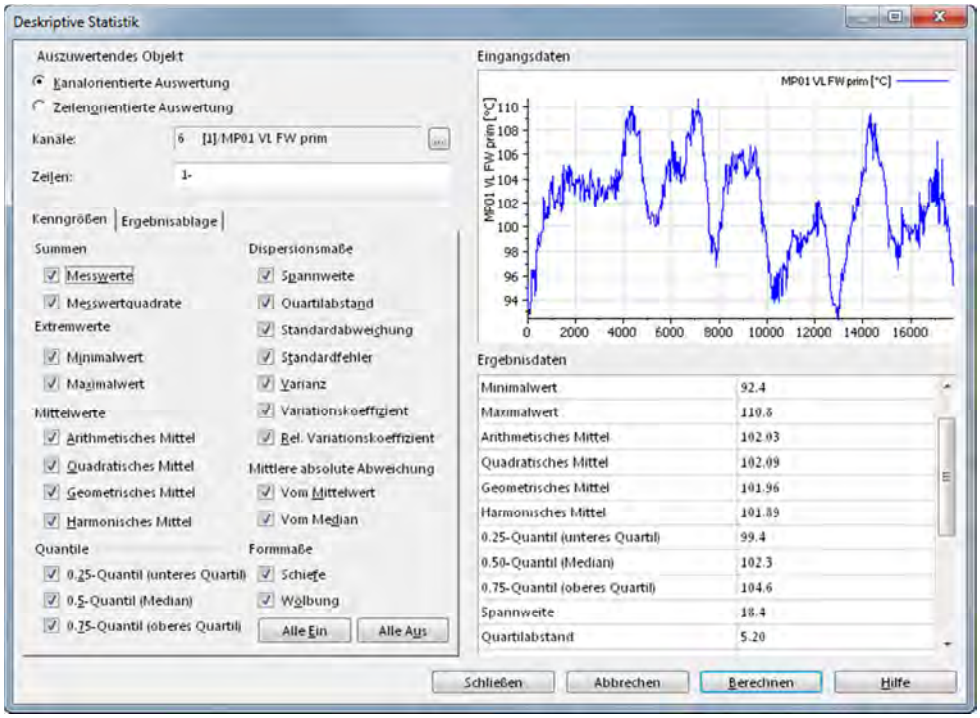


Abbildung 17: Deskriptive Statistik zur Bestimmung der charakteristischen Werte der Messkanalaufzeichnung

Eine Vielzahl von Analyse- und Berechnungsfunktionen sind bereits im Messkanalanalyseprogramm enthalten (vgl. Abbildung 17) und in den Diagrammvorlagen vorgesehen. Diese Funktionen und Algorithmen, wie vornehmlich die Extremwertbestimmung, werden durchgängig auf neu importierte Messdaten angewandt und in den vordefinierten Diagrammen zur Anzeige gebracht oder in den in Abbildung 18 dargestellten Berechnungsfunktionen als Parameter eingesetzt. Beispielsweise lassen sich Extrem-, Mittel- oder Quantilwerte des Messkanals als sinnvolle Eingangsgrößen in die aufgelistete Grenzlinienberechnung in Abbildung 18 einsetzen oder für die in Abbildung 20 dargestellte Segmentierung verwenden. Das Berechnungsformular zur Grenzlinienberechnung ist in Abbildung 21 detaillierter dargestellt.

Zur mathematischen Analyse der Messdaten sind im Programm Standardberechnungsbibliotheken hinterlegt, deren Anwendungsbestandteil allerdings von der jeweilig erworbenen Lizenz abhängt.

Diese Funktionen sind thematisch in den Funktionsgruppen des Anwendungsmoduls „ANALYSIS“ gegliedert nach:

- Funktionen zur Basismathematik
- Funktionen zur Kanalberechnung
- Funktionen zur Kurvenberechnung *
- Funktionen zur Signalanalyse *
- Funktionen zur Statistik und Klassierung *
- Funktionen zur 3D-Analyse
- Funktionen zur Analyse von Messdaten aus der Fahrzeugsicherheit **

*): Für die Anwendung sind für erweiterte Funktionen separate Lizenzen erforderlich

**): Für die Anwendung sind komplett separate Lizenzen erforderlich

Beispielsweise sind in der Funktionsgruppe Basismathematik die Funktionen Addieren, Subtrahieren, Multiplizieren und Dividieren zu finden, um zwei oder mehr Kanäle zeilenweise miteinander zu verrechnen. Sollten die Kanäle unterschiedlich lang sein, hat der Ergebniskanal die Länge des kürzesten Kanals. Die Funktion Skalieren rechnet Kanäle nach der Geradengleichung ax+b um. Zur Ermittlung des Kehrwerts von jedem Kanalwert ist ebenfalls eine entsprechende Funktion vorhanden. Um eine Konstante von den Kanalwerten zu subtrahieren oder auf die Kanalwerte zu addieren, besteht die Funktion Offset-Korrektur.

Besondere Relevanz bei der regel- und bedingungsbasierten Auswertung von Messkanälen besitzen die Funktionen „Normieren“ und „Relativieren“. Mit der Funktion „Normieren“ wird der Kanal auf den Wert Eins normiert, indem jeder Kanalwert durch den Betrag des betragsmäßig größten Werts im Kanal dividiert wird. Daraus lässt sich ein Kriterium für übliche Verhältnisse zwischen Schachlast- und Spitzenlastzeiten definieren. Die Funktion Relativieren dient dazu, um für jeden Kanalwert den prozentualen Anteil an der Gesamtsumme aller Kanalwerte zu errechnen. Mittels dieser Anwendung lassen sich unüblich hohe prozentuale Veränderungen des Messwerts, oder verbrauchsintensive Zeitabschnitte mit hoher Bedeutung für den Gesamtverbrauch identifizieren.

Darüber hinaus lassen sich im Messkanalanalyseprogramm numerische Kanäle und Zeitkanäle mit eigenen Formeln berechnen. Diese individuellen Berechnungsformeln mit technischen Konstanten oder Fallunterscheidungen mit booleschen Ausdrücken wurden zur standardisierten Analyse und erweiterten Darstellung der Messdaten entwickelt. Damit die Berechnungsanweisungen zur Auswertung stets zur Verfügung stehen, wurden diese in einer eigenen Berechnungsgruppe für die Analyse von Monitoringdaten abgelegt. Diese Gruppe an Berechnungssätzen kann für die Anwendung der Messkanalanalyse von Monitoringdaten in einen sog. „Calculation-Manager“ zu weiteren Gruppen hinzugeladen werden.

Abbildung 18 zeigt einen Ausschnitt der unter der Berechnungsgruppe definierten Berechnungen. Die Ergebnisse aus der Anwendung der Berechnungen werden i.d.R. in neue Ausgabe-Kanäle abgelegt. Zwar ist auch die Manipulation der Messkanalwerte im Ursprungskanal möglich, doch dieser soll stets erhalten bleiben. Die Anwendbarkeit der Berechnungsgänge wird durch den roten oder grünen Status-Button signalisiert. Im Fall eines roten Statusbuttons wurden entweder noch keine bzw. keine vorhandenen Eingangs- und Ausgangskanäle referenziert, Eingabewerte noch nicht definiert oder die Art der Messkanäle (z.B. Raumlufttemperatur und Luftfeuchte für die Taupunkttemperatur) wurden nicht erfasst und stehen im aktuellen Messdatensatz nicht zur Verfügung.

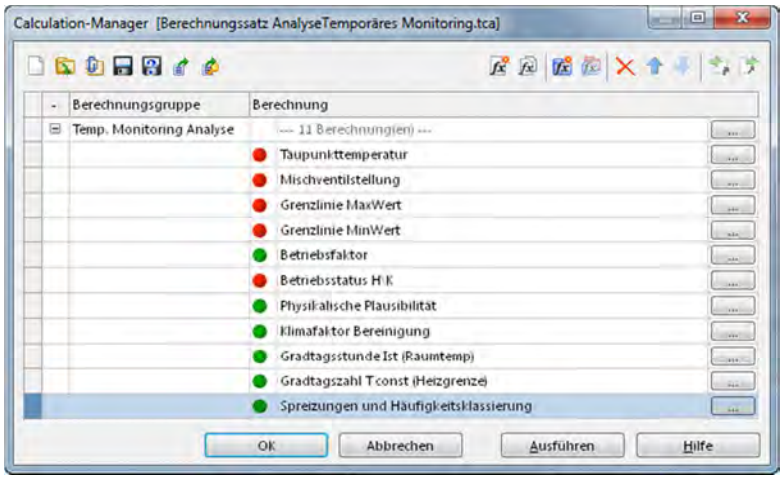


Abbildung 18: Listenausschnitt vordefinierter Berechnungssätze / -anweisungen im „Calculation-Manager“ zur Analyse der Monitoringdaten

Mit der im „Calculation-Manager“ ladbaren Berechnungsgruppe mit hinterlegten Berechnungsabläufen wurde eine individuelle Werkzeugsammlung entwickelt, die zusätzlich zu den bereits im Programm integrierten Grundwerkzeugen zur Analyse und ergänzenden Aufbereitung der Monitoringmessdaten zur Verfügung steht.

Zusammen mit den in den Reportvorlagen enthaltenen Diagrammen zur Messdatendarstellung, einer strukturierten Vorgehensweise ausgehend von der Sensorinstallation im 1. Schritt an definierten Messpunkten, über die Benennungsweise in der Messungskonfiguration und die entwickelte Datenschnittstelle bis zu Messdatenverwaltung mit ergänzten Zusatzinformationen / -eigenschaften sowie der Gliederung in bestimmte Kanalgruppen in der Software bilden die beschriebenen Elemente die Grundlage der entwickelten Analysemethodik.

Nachfolgend sind als exemplarische Auswahl einzelne Berechnungsformeln dargestellt und erläutert.

Für die in Abbildung 19 dargestellte Berechnung der Taupunkttemperatur sind als Eingangskanäle eine gemessene Raumlufttemperatur und eine relative Luftfeuchte erforderlich. Diese Kanäle werden durch die im Messsystem eingesetzten Sensoren zur kombinierten Erfassung von Temperatur und Feuchte erzeugt. Bei Ausführung des Berechnungslaufs wird einheitengerecht ein Ausgabekanal, der die Taupunkttemperatur enthält, generiert.

In Abgleich mit der Raumtemperatur oder durch Differenzbildung der beiden Kanäle können kritische Zeitpunkte mit Gefahr von Kondensatbildung identifiziert werden. Insbesondere bei der Anwendung der Messungen im Rahmen der energetischen Inspektion von Lüftungs- und Klimaanlagen können hierdurch wertvolle Aussagen gewonnen werden, inwiefern durch den Einsatz der Systeme unbehagliche oder lufthygienisch bedenkliche Raumluftzustände vermieden werden. Zur Beurteilung der Energieeffizienz derartiger Systeme gehören nämlich nicht nur die Kennwerte des nennvolumenstrombezogenen Energieaufwands und der Systemwirkungsgrade, sondern auch die Betrachtung, welcher qualitativ messbare Nutzen (IDA Luftqualitätsstufen gem. DIN EN 13779 [3]) durch das System erzielt wird.

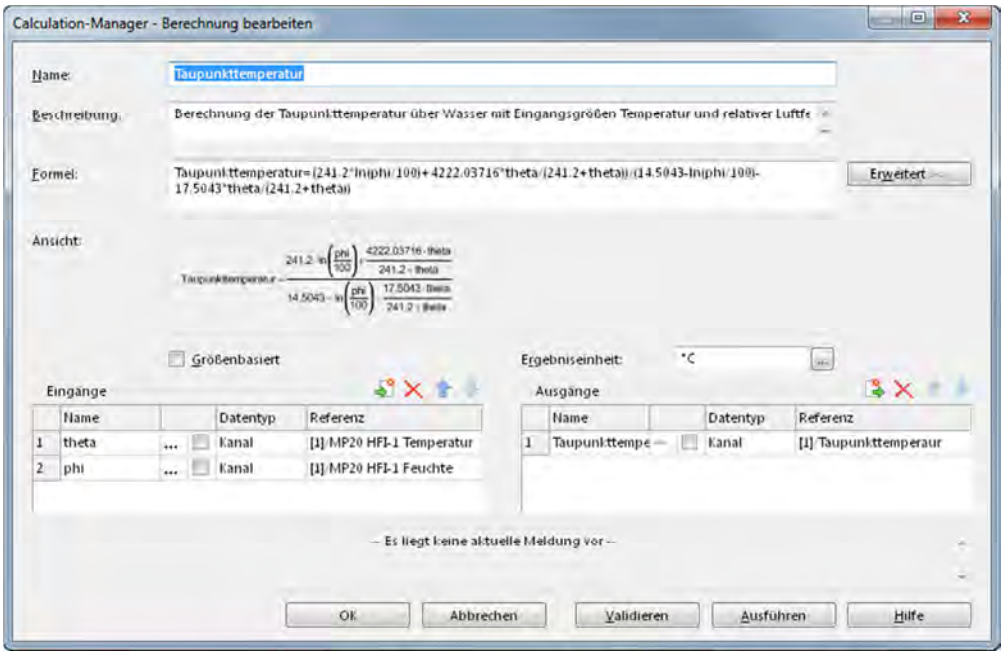


Abbildung 19: Editor-Fenster Berechnung der Taupunkttemperatur

Die Grenzlinien-Bestimmung für einen individuell definierbaren Minimal- oder Maximalwert, wie in Abbildung 21 exemplarisch für den Unterschreitungsfall dargestellt, dient zur Ermittlung von Unter- bzw. Überschreitungshäufigkeiten eines Messwertes. Die Funktion ermöglicht hierzu quantifizierte Aussagen in Form von absoluten Zahlen der Ereignisse sowie in relativen Häufigkeiten in Bezug auf eine definierte Zeit, wie ein spezieller Tag, eine Woche oder die gesamte Beobachtungszeit. Die auf dieser Grundlage mögliche Analyse der Häufung von Über- oder Unterschreitungsereignissen in Abhängigkeit von der Zeit (z.B. 24h-Profil, Tageszeitprofil der Nutzung), in Korrelation zu Temperaturen (z.B. Außenluft, Raumluft, andere Systemtemperaturen) oder in Bezug auf den Betriebsstatus (Heizen /Kühlen) sowie weiteren möglichen Einflussfaktoren und Abhängigkeiten trägt wesentlich zur tiefgreifenden Identifikation von anlagentechnischen Fehleinstellungen und Fehlfunktionen bei (z.B. inverse Reglerfunktionen durch Vorzeichenfehler oder Fehlinterpretationen von Analogausgängen mit beispielsweise 0-10V-Signal).

Darüber hinaus dient die Berechnungsfunktion der visuellen Aufbereitung in den Diagrammdarstellungen der Messwerte zur Verbesserung der Analysier- und Erkennbarkeit von Auffälligkeiten der Daten. Insbesondere für die visuelle Auswertung von Vor- und Rücklauftemperaturen von Heiz- und Kühlkreisen ist die Anwendung hilfreich. Die daraus generierten Kanäle werden innerhalb der Diagrammformatierung der Hintergrundsegmentierung zur grenzwertabhängigen, farbigen Hervorhebung von Kurventeilen hinterlegt – Beispiel s. Abbildung 20. Hierin sind in der oberen, roten Kurve (Vorlauftemperatur) die „äußeren“ Quantile (25% und 75%) bis zu den maximalen und minimalen Extremwerten der Kurve mit farblichen Segmenten horizontal hinterlegt (Segmentierung der y-Achse), was die Les- und Erkennbarkeit der Kurvencharakteristika verbessert. Zum besseren Abgleich der Systemtemperaturen untereinander kann eine Segmentierung der X-Achse durch Hinterlegung des Diagramms mit farblichen Segmenten vorgenommen werden, sobald die untere, blaue Kurve (Rücklauftemperatur) beispielsweise einen Wert von 70°C über- oder unterschreitet. Der hierfür eingehende Datenkanal wird aus der Grenzlinienberechnung generiert. Mit der Grenzlinienbedingung werden die Kurvenbereiche entlang der Zeit- bzw. X-Achse bei Über- oder Unterschreitung markiert und mit farblichen Segmenten hinterlegt. Dadurch werden Zeitpunkte auf der X-Achse besser erkennbar, für die ein Kriterium erfüllt oder nicht erfüllt ist.

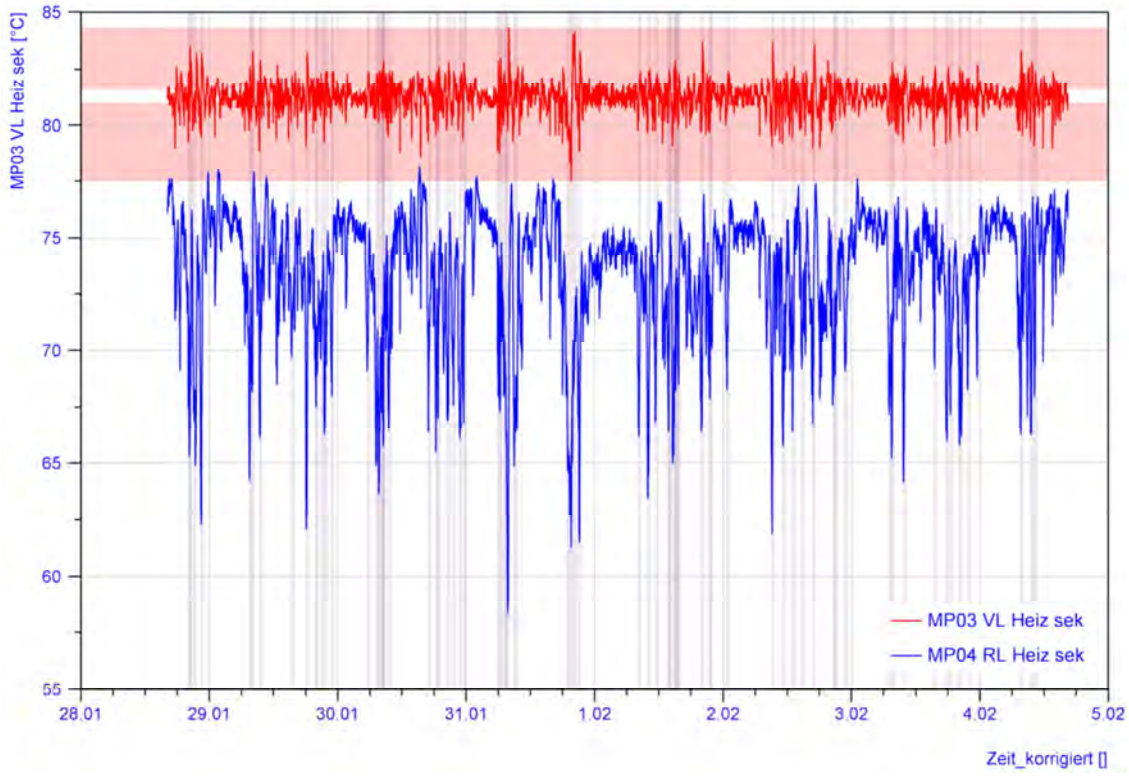


Abbildung 20: Visuelle Diagrammaufbereitung zur Unterstützung der Analyse mit Hilfe der Segmentierung aus generierten Datenkanälen der Grenzwertberechnung

Beispielsweise lassen sich anhand einer derartigen Auswertung und Darstellung zu hohe Rücklauftemperaturen (im Kontext einer Fernwärmeversorgung mit Rücklauftemperaturbegrenzung) erkennen. Aufgrund der Markierung der Zeitbereiche konnte leichter ein Zusammenhang zum Zeitprogramm der Legionellenschutzschaltung der Brauchwarmwasserbereitung hergestellt werden. Diese verursachte die zu hohen Rücklauftemperaturen, da während der Nachtzeit kaum weitere Wärmeabnehmer vorhanden waren. Diesbezüglich galt es den Start des Zeitprogramms so zu optimieren, dass sowohl ein paralleler Abnehmer aus dem hydraulisch zwischen die Fernwärmeübergabestation und dem Verteiler geschalten Pufferspeicher zur Verfügung stand, als auch ein ausreichender Schutz vor Verbrühung durch zeitlichen Abstand zu den Hauptzapfzeiten sichergestellt ist.

Darüber hinaus ist eine differenzierte Kurvenauftragung und -darstellung entsprechend der in den Berechnungsfunktionen definierten Grenzwertkriterien möglich. Erzielt werden die in einer Legende auch separat darstellbaren und unterschiedlich formatierbaren Kurven, indem die ursprünglichen Messwerte mit einer kanalbasierten Berechnungsoperation zum einen mit dem Grenzlinienkanal und zum anderen mit dem invertierten Grenzlinienkanal multipliziert werden. Daraus resultieren Diagrammkurven, die entweder nur die Kurventeile oberhalb oder ausschließlich unterhalb des Grenzwertkriteriums enthalten.

Anhand dessen gelingt im Zusammenhang mit weiteren, im Diagramm aufgetragenen Messwerten einfacher ein visueller Abgleich. Denn mit Hilfe der kurvenwertabhängigen Hintergrundsegmentierung oder einer differenzierten Kurvenauftragung wird leicht ersichtlich, wie sich in Abhängigkeit von der Unter- oder Überschreitung ein zugehöriger Messwert (Vorlauf zu Rücklauftemperatur, wie im Beispiel oben genannt) verhält.

Ein Anwendungsbeispiel, das zugleich auf die im Folgenden dargestellte Berechnungsfunktion des Betriebszustands hinführt, stellt die entsprechende Grenzwertdefinition bezüglich der Vorlauftemperatur im Erzeugerkreis zur Identifikation von Brenner- oder Kompressor-Starts mit Ermittlung der Anzahl pro Zeitintervall dar.

Hinsichtlich Lebensdauer, Funktion und Energieeffizienz kritische Startintervalle von Erzeugersystemen können dadurch nicht nur anhand optischer Auffälligkeit, sondern auch rechnerisch bestimmt werden.

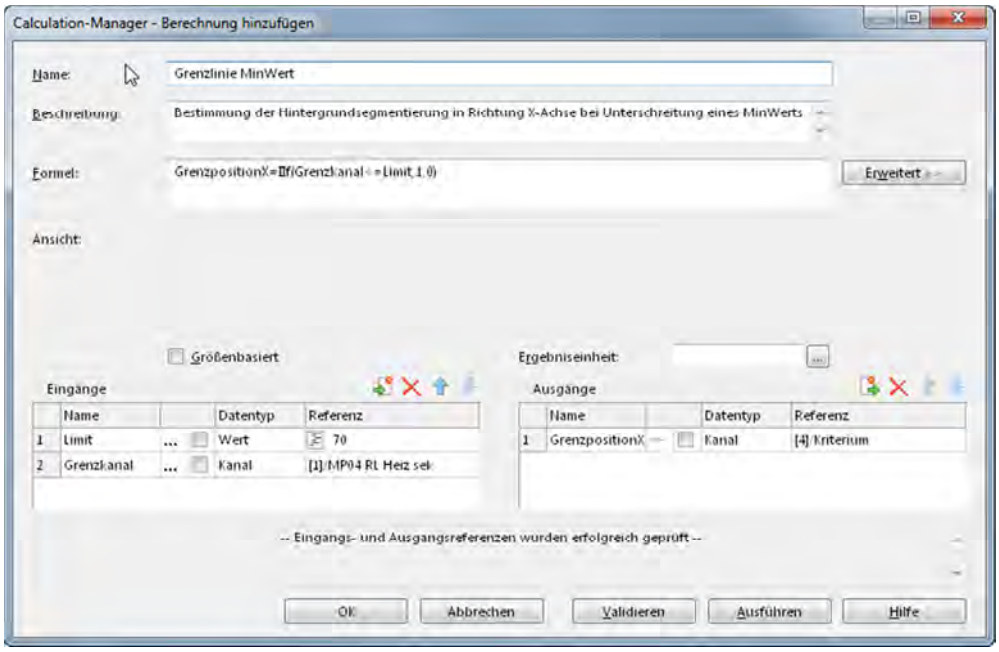


Abbildung 21: Editor-Fenster Berechnung der Grenzlinie

Die Berechnungsfunktion, deren Ausgabewerte die drei Statuswerte zur Beschreibung des Betriebszustands Heizen, Kühlen, Neutral (Aus) annehmen können, dient analogen Analyseanwendungen wie den Grenzlinienberechnungen. Wie in Abbildung 22 dargestellt, kann gegenüber der Funktion der Grenzlinienberechnung mit erweiterten kanalbasierten Eingangsgrößen und einem zusätzlichen Kriterium, dem frei definierbaren „Totband“ [K], der Betriebszustand ermittelt werden.

Auf Grundlage des generierten Ausgabe-Kanals können quantifizierte Aussagen über die Statushäufigkeit von Heizen, Kühlen und Neutral, über die Wechselhäufigkeit zwischen Heizen und Kühlen und die minimale, mittlere oder maximale Zeitspanne zwischen Heizen und Kühlen getroffen werden. Anhand dieser Analyse und generierten Datengrundlage können ungeeignete Regelparameter zur Umschaltung zwischen Heizen und Kühlen identifiziert werden.

Ein universell gültiges Grenzkriterium der Umschaltzeitspanne zwischen Heizen und Kühlen, das zur automatisierten, wissensbasierten Identifikation eines ineffizienten Umschaltverhaltens zwischen Heizen und Kühlen dient, kann trotz der Erfahrungen aus den Auswertungen jedoch nicht definiert werden. Denn je nach Wärmeübertragungssystem, dessen Trägheit und enthaltenen Medienvolumens sowie momentan herrschender Übertragungs- bzw. Entzugsleistung können Temperaturen und Betriebszustände unterschiedlich rasch wechseln oder in Takten auftreten. In dem Zusammenhang muss auch die Temperaturänderungsgeschwindigkeit bzw. Unstetigkeit Berücksichtigung finden. Die Beurteilung als ein ungeeignetes Regel- und Umschaltverhalten steht in Abhängigkeit davon, ob sich aufgrund der Umschaltung die Temperatur in einem Übertragungssystem (z.B. Luft-Wasser) direkt zwischen den Systemtemperaturen des Heiz- und Kühlmediums ohne freie Schwingung ändert, oder ob das System stets vor Umschaltung zunächst die Temperatur des Ziel-Mediums der Übertragung annimmt, bevor diese in Richtung der Systemtemperaturen des Heiz- oder Kühlmediums verändert wird.

Der zuerst erwähnte Fall der Umschaltung deutet auf eine fehlende oder deutlich zu geringe Einstellung der „Totzeit“ [sec] und bzw. oder des Toleranz- / Totbands [K] hin. Im anderen Fall sind entweder dynamische Lastwechsel, die u.U. im Zusammenhang mit der Anwendung untypisch sein können, oder zu hohe Übertragungsleistungen im Teillastbetrieb aufgrund eines zu geringen Proportionalanteils bei gleichzeitig zu hoher Nachstellzeit des Reglers Ursache sein.

Die Bewertung, eines untypischen und zu korrigierenden Umschaltverhaltens sowie die Analyse der möglichen Ursachen und zu prüfenden Anlagenparameter liegt daher stets im fachlichen Ermessen des Ingenieurs.

Darüber hinaus kann der generierte Datenkanal des Betriebsstatus zur zustandsabhängigen Hervorhebung anhand Hintergrundsegmentierung oder differenzierter Kurvenauftragung und -darstellung genutzt werden, womit eine visuelle Analyse für die Ermessensentscheidungen des Anwenders unterstützt wird.

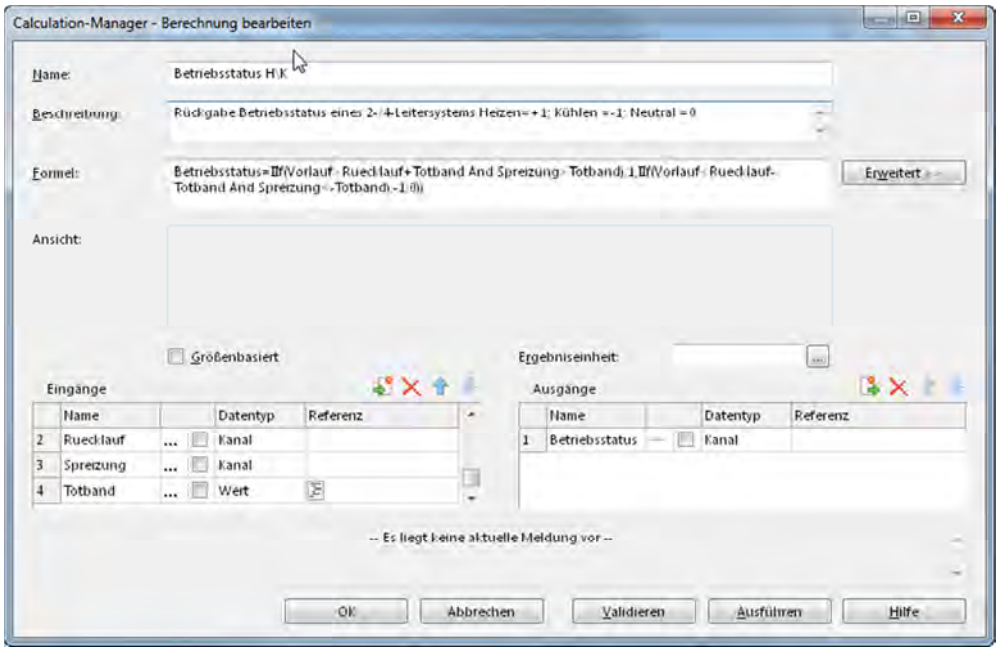


Abbildung 22: Editor-Fenster Berechnung des Betriebsstatus

Die Physikalische Plausibilitäts- und Logikprüfung der Messdaten enthält die bereits in obiger Aufzählung unter der Messdatenaufbereitung und den messkanalbasierten Berechnungen genannten Prüfkriterien und es bedarf an dieser Stelle nicht der Darstellung der Berechnungen in einem Editor-Fenster.

Viel mehr sind die eingesetzten Grenzwerte zur Plausibilitätsprüfung entscheidend. Bei Fernwärme- oder Dampfkreisen können die in den Technischen Anschlussbedingungen (TAB) des Versorgers definierten Minimal- und Maximalwerte der Medienparameter eingesetzt werden. In Pumpenwarmwasserheizkreisen sind die Auslegungswerte und -spreizungen sowie die Ober- und Untergrenzen der Erzeuger die primären Kriterien zur Plausibilitätsprüfung.

Bei Kühlanwendungen sind die Auslegungstemperaturen im Rückkühlkreis, die zulässigen Wertebereiche der Verflüssiger- und Verdampfertemperaturen der Kältemaschine die wesentlichen Plausibilitätsprüfkriterien zur Identifikation ungeeigneter Betriebsbedingungen.

Das Ergebnis der Berechnungsausführung wird ebenso in einem Kanal abgelegt, der boolesche Variablen der Prüfkriterien für jedes Zeitintervall über die gesamte Messdauer enthält. Die Verzweigungsfälle sind stet derart formuliert, dass aus physikalisch nicht möglichen Verhältnissen ein „False“ resultiert. Der Ergebniskanal kann zur Identifikation von „Fehlerstellen“ bzw. Zeitpunkten mit unplausiblen Messwerten betrachtet werden.

Alternativ zu „True“ und „False“ kann unter Berücksichtigung von Messungenauigkeiten und Differenzen aufgrund minimaler Zeitdifferenzen zwischen den Messwertauslesungen sogar innerhalb eines Toleranzbereichs – „geringfügig falsch“ – bewertet werden, der optional definierte Stillstandsphasen mit unplausibel wirkenden Messwerten – beispielsweise aufgrund von Thermik in den Rohren – innerhalb der Auswertung ignoriert.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, mit weiteren zeit- oder kanalbezogenen, statistischen Auswertungen der booleschen Variablen, wie Mittelwert, Häufigkeit, Varianz das Auftreten der Alarm- bzw. Fehlermeldung zu

analysieren. Dadurch können die Signifikanz und Zuverlässigkeit der Messung oder die Eignung des definierten Grenzkriteriums geprüft werden. Ferner lässt sich die Fehlerhäufigkeit und Fehlerandauer in Abhängigkeit der Zeit beurteilen und damit Rückschlüsse auf terminierte Schalt- und Betriebsprozesse in der Anlage ziehen.

Überwiegend dient die Plausibilitätsprüfung dem formellen Validierungsnachweis der Messdaten zur Sicherstellung und Dokumentation einer zutreffenden Analysegrundlage. Denn Fälle von unmöglichen und unplausiblen Messdaten treten bislang äußerst selten auf. Zum gezielten Ansatz von Messwertbereinigungen oder dem Abschneiden, sowie Ausschluss von der weiteren Analyse offensichtlich falsch gemessener Datenreihenabschnitte üblicherweise beim Start der Messung (noch nicht temperierte Fühler) oder zum Ende der Messung kann die entwickelte Plausibilitätsprüfung genutzt werden. Ebenso werden bereits durch die Methode erste Hinweise auf ungewünschtes Anlagenverhalten, wie eine Umkehrung der hydraulischen Fließrichtungen durch Thermik oder Fehlströmung bei fehlenden bzw. defekten Rückschlagklappen, erhalten.

Des Weiteren ist aus Abbildung 18 ersichtlich, dass für die basismathematischen Kanalberechnungen, die häufig und für eine Vielzahl an Kanälen wiederholt anzuwenden sind, Berechnungs-Skripte zur automatisierten Anwendung definiert und weiterentwickelt werden. Unter zu beachtenden Nomenklaturkonventionen lassen sich damit zeitaufwändige und u.U. fehleranfällige Anwendungsprozesse, wie die Berechnung der Spreizungen und deren Häufigkeitsklassierungen für alle zugehörigen Messkanäle automatisieren. Gleichermaßen ist die komfortsteigernde Beschleunigung der vorgenannten Berechnungsabläufe durch eine vorgeschaltete Kanalauswahl vorgesehen, damit die Berechnungsgänge nicht einzeln je Kanal manuell gestartet werden müssen sondern, sondern für den ausgewählten Messdatenbestand insgesamt abgearbeitet wird.

3. Schritt:

Zum einen besteht dieser Schritt aus der Nachbereitung bei Export der Daten:

- Hoher Bilddatenumfang mit feiner Auflösung

Aufgrund der Les- und Analysierbarkeit der Daten überwiegend aufgrund von Visualisierungen entsteht nach Durchführung des 2. Schritts bei Ergebnisexporten ein sehr hoher Bilddatenumfang. Je nach Hardwarevoraussetzungen kann dies ein Problem hinsichtlich Speicherplatz, Bearbeitungsdauer und Handhabbarkeit des Exportergebnisses darstellen. Die optisch gute Erkennbarkeit der Kurven mit teiltransparenten Flächen, hinterlegten Gitternetzen oder Segmenten erfordert eine hohe Auflösung der Grafiken und erhöht den Datenumfang. Häufiges Problem in diesem Zusammenhang ist die Erkenn- und Differenzierbarkeit farblich angelegter Kurven oder Punkten.

- Analysebedingte Datenexpansion

Aus einem während des Monitorings erfassten Messpunkt werden ca. 4 bis 6 zusätzliche Kanäle aus Berechnungen erzeugt. Bei zusätzlicher Matrix-Konvertierung für Raster- oder 3D-Diagramme steigt der Umfang der Daten sogar auf das 300- bis 350-Fache gegenüber dem ursprünglichen Umfang nach einer Analyse an. Bei üblicherweise $3 \cdot 10^4$ Werten je Kanal im Rahmen einer etwa 10-tägigen Aufzeichnung und einer Kanalanzahl i.d.R. von mind. 20 kann daher von einem resultierenden Datenumfang von $150\text{-}200 \cdot 10^6$ ausgegangen werden. Vor diesem Hintergrund werden die unter 6.3.2.6 beschriebenen Beschränkungen anderer Programme zur Messwertanalyse und -verwaltung begründet sowie der Datenumfang beim Export in konventionelle Formate oder Bilddateien deutlich.

Als am geeignetsten hat sich der Export von Bilddateien in eine Microsoft Power-Point Präsentation herausgestellt, da gegenüber programminternen Printer-Funktionen oder PDF-Exporten die Darstellung nicht modifiziert und am geringsten reduziert wird. Hierfür wurde eine geeignete Template-Präsentation mit auf VBA-Programmcode basierender Anpassung und Skalierung der Grafiken entwickelt.

- Entwicklung von Reports und Messdatenblättern

Zur Übersicht und schriftlichen Auswertung in Report-Form wurde zunächst ein Messdaten- bzw. Kenndatenblatt des Messobjekts entwickelt. Dieses Kenndatenblatt stellt die Eckdaten des Messobjekts, die Vorgehensweise mit den installierten Messpunkten und der nutzungsspezifischen und meteorologischen Randbedingungen sowie einen groben Überblick der Messungen dar. Dieses wurde für alle unter Abschnitt 4 beschriebenen Pilotprojekte erstellt. Für eines der unter 4.2.6 genannten Objekte ist das Kenndatenblatt exemplarisch in Abbildung 23 dargestellt. Auf der Rückseite sind die Maßnahmenempfehlungen zusammengefasst, welche die unter „5. Auffälligkeiten“ beobachteten Punkte ausführen und Gegenmaßnahmen dazu empfehlen. und in weiteren Blättern – beispielsweise bei Heizungssystemen – die detaillierten Auswertungsdaten gemäß jeweils informativem Anhang K und Anhang L der DIN 15378 [7] angefügt.

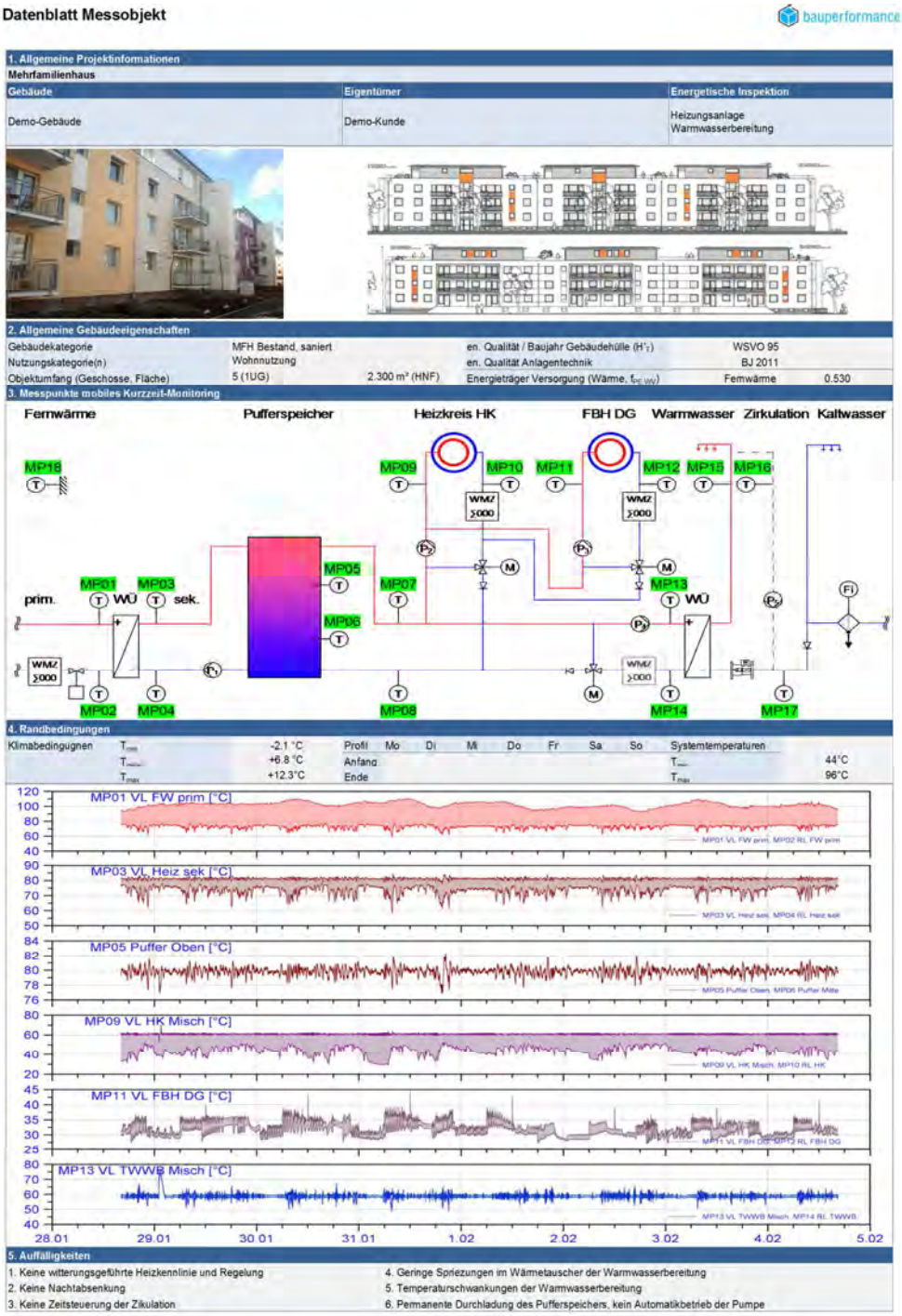


Abbildung 23: Datenblatt Messobjekt zur energetischen Inspektion

Zum anderen beinhaltet der Schritt die Erstellung des Schriftteils der Analyse:

- Geringer Vorlagenanteil

Die Zusammenstellung der Ergebnisse mit Interpretationen und die Erstellung des energetischen Inspektionsberichts mit Maßnahmenempfehlungen beruht in äußerst geringem Umfang auf vordefinierte Vorlagen. Diese umfassen ausschließlich den formellen Darstellungsteil der Vorgehensweise, die Bestandserfassung mit der Dokumentation der herangezogenen Objektkennwerte und erfassten Messpunkte, wie in Abbildung 23 dargestellt. Ansonsten besteht die Ausarbeitung aus einer projektspezifisch erstellten Schriftfassung.

Als ein Leitfaden zur energetischen Inspektion werden anlagentyp- und komponentenspezifische Checklisten zur Bestandaufnahme, Typisierung einzelner Komponenten verwendet. Dadurch kann im Rahmen der Erfassung der Anlagenkomponenten zugleich eine grobe Erst-Bewertung anhand von vordefinierten Kriterien und freier Vermerke vorgenommen werden. Die Listen sind in die Erzeugung bzw. das betrachtete Hauptaggregat mit übergeordneten Kriterien zum Versorgungskonzept und der Dimensionierung sowie in die nachfolgende Verteilung mit einzelnen Kreisen und die Übergabe gegliedert.

- Individuelle Maßnahmenentwicklung und -bewertung

Bei den Maßnahmenempfehlungen wird ein individuell ergänzter Maßnahmenkatalog auf Grundlage von VDI 3807 [14], Anhang D auf zutreffende Maßnahmen für das betreffende Projekt und den Auswertungsergebnissen abgeglichen. Auch die Maßnahmen und die Einordnung der Einflüsse durch Nachrüstung von Gebäudeautomation wie in DIN 15232 [4] beschrieben, zählen dazu. Üblicherweise werden die vorgeschlagenen Maßnahmen jedoch anhand der Analyse projektspezifisch konkretisiert und meist anhand der Anlagensituation unabhängig der Unterlagen individuell entwickelt.

4 Testanwendung und Pilotprojekte

4.1 Überblick

Die Methodik der energetischen Anlageninspektion mit Hilfe mobiler Monitoringsysteme wurde in zahlreichen Testmessläufen erprobt sowie in Pilotprojekten angewendet und aus Erkenntnissen daraus sukzessive weiterentwickelt.

Zur Klassifizierung der Gebäudetypen und deren Nutzungskategorien werden die BWZ (Nummer gem. Bauwerkzuordnungskatalog) nach VDI 3807 Bl. 2 (2012) [14] verwendet.

Die Pilotprojekte wurden hinsichtlich Anlagentechnik, Gebäudealters und energetischen Standards im Rahmen der gegebenen Projektmöglichkeiten unterschiedlich gewählt, um ein möglichst breit gefächertes Untersuchungs- und Problemstellungsspektrum bei der Testanwendung abzudecken. Dadurch konnten sowohl Heizungs- als auch Lüftungsanlagen sowie Raumklimasysteme energetisch inspiziert und analysiert werden. Systeme mit regenerativer Energienutzung sind jedoch in Bestandsanlagen relativ selten anzutreffen. Doch es sind gerade diese älteren Anlagen, für die es hauptsächlich Effizienzoptimierungspotenzial mittels temporärem Monitoring zu identifizieren gilt. Denn vornehmlich bei diesen Bestandsanlagen bestehen relevante Reduktionsmöglichkeiten, die mit geringinvestiven Maßnahmen umsetzbar sind.

Neuere Anlagen, insbesondere in der Phase der Inbetriebnahme und vor allem komplexe Versorgungskonzepte weisen ebenfalls nicht unerheblichen Optimierungsbedarf auf. Doch diese sind vorwiegend mit stationärer Mess- und Sensortechnik der Gebäudeautomation ausgestattet oder die einzelnen Systeme weisen Schnittstellen zur Datenauslesung auf. Die Technik des temporären Monitorings zur Betriebsdatenerhebung wird daher meist nicht benötigt.

4.2 Messungen mit mobilem Monitoringsystem

4.2.1 Heizungs- und Lüftungssystem Altbau Schule und Sporthalle

Bei dem Pilotprojekt handelt es sich um mehrere Gebäude mit insgesamt BGF: 7.443 m² von den Kategorien gemäß Bauwerkzuordnungskatalog BWZ 415020 BJ 1907, BWZ 417200 BJ 1974 und BWZ 511050 BJ 1984.

Zur Identifizierung energetisch relevanter und hinsichtlich Verbrauchskennwerten problematischer Bereiche der Liegenschaft wurde zunächst eine Verbrauchseinordnung anhand von Kennwerten, wie in Abbildung 24 und Abbildung 25 dargestellt, vorgenommen. Die Gegenüberstellung der vorliegenden Verbrauchsdaten mit Kennwerten dient im Weiteren, um das Einsparpotenzial zu quantifizieren und die Einsparbereiche zu lokalisieren.

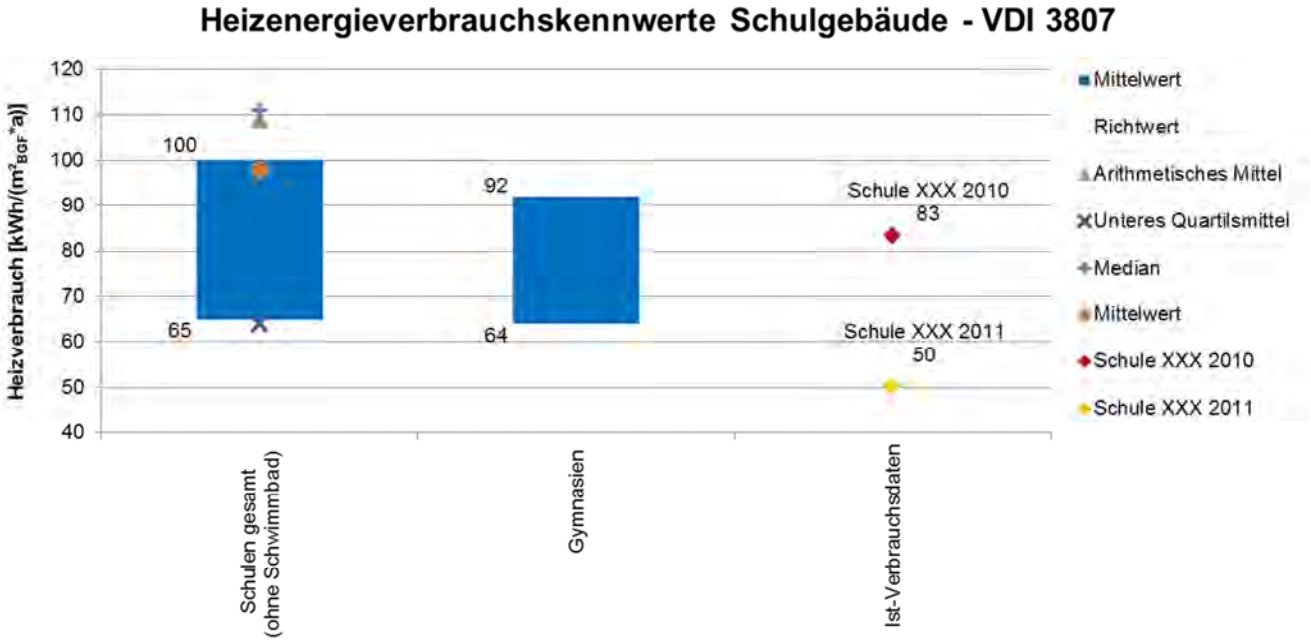


Abbildung 24: Gegenüberstellung Heizenergieverbrauchskennwerte Schulgebäude

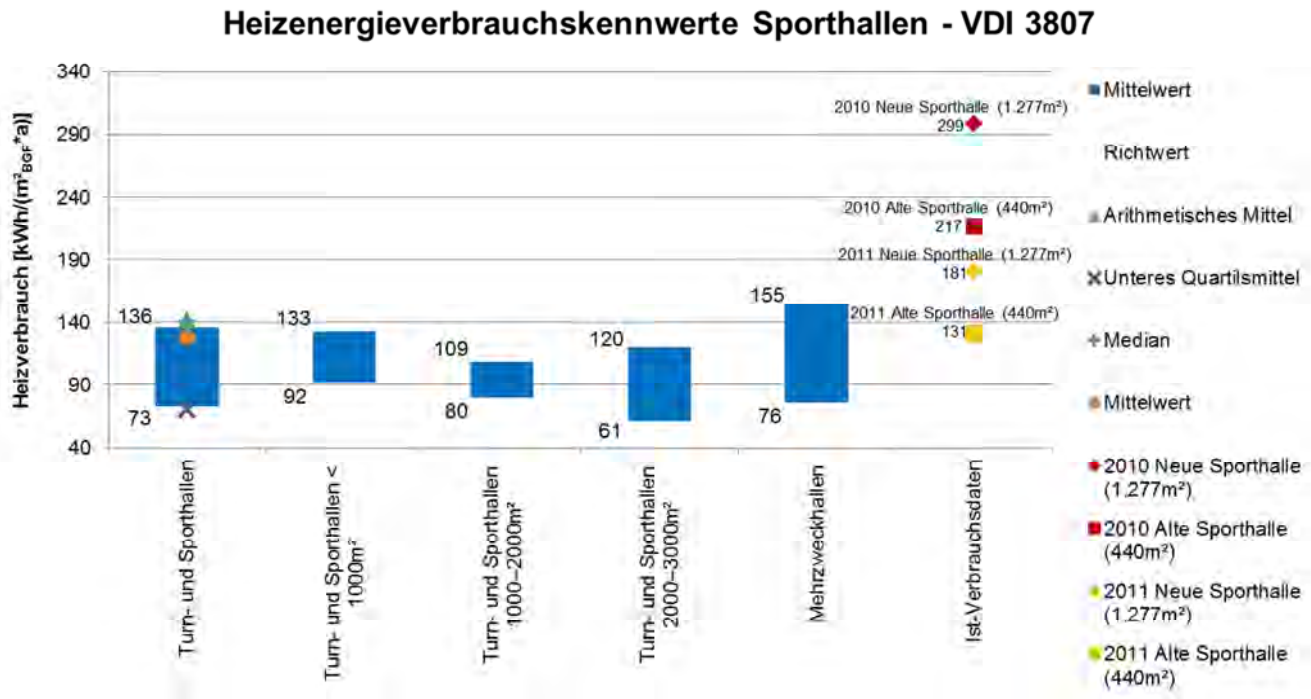


Abbildung 25: Gegenüberstellung Heizenergieverbrauchskennwerte neue und alte Sporthalle

Die Verbrauchsabgleiche in den Abbildung 24 und Abbildung 25 zeigen, dass bezüglich des Schulgebäudes lediglich geringe Einsparmöglichkeiten bestehen. Hier wurden bereits von 2010 auf 2011 Einzelraumregelungen nachgerüstet, die eine zeit- und temperaturgenauere Beheizung der Räume ermöglicht. Ebenso wurden bereits Einsparmaßnahmen in den Sporthallen durchgeführt. Anhand der witterungsbereinigten Verbrauchsentwicklung und Reduktion von 2010 auf 2011 zeigt sich, dass kaum noch „die nahe liegenden“ und geringinvestiven Maßnahmen durch Abgleich von Bedarf und Anlagenbetrieb mehr möglich sind, da diese bereits ausgeschöpft wurden.

Abbildung 26 zeigt den Aufbau des Messkoffers an unterschiedlichen Anlagenteilen. Die aufgenommenen Messpunkte der Anlage sind in den nachfolgenden Abbildung 27 bis Abbildung 30 dargestellt.

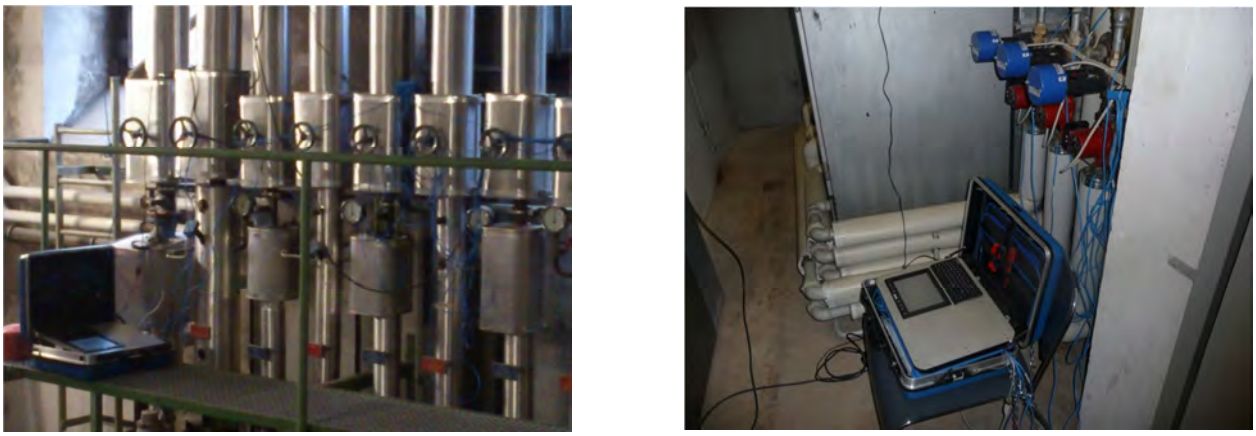


Abbildung 26: Aufbau Messkoffer Heizungszentrale

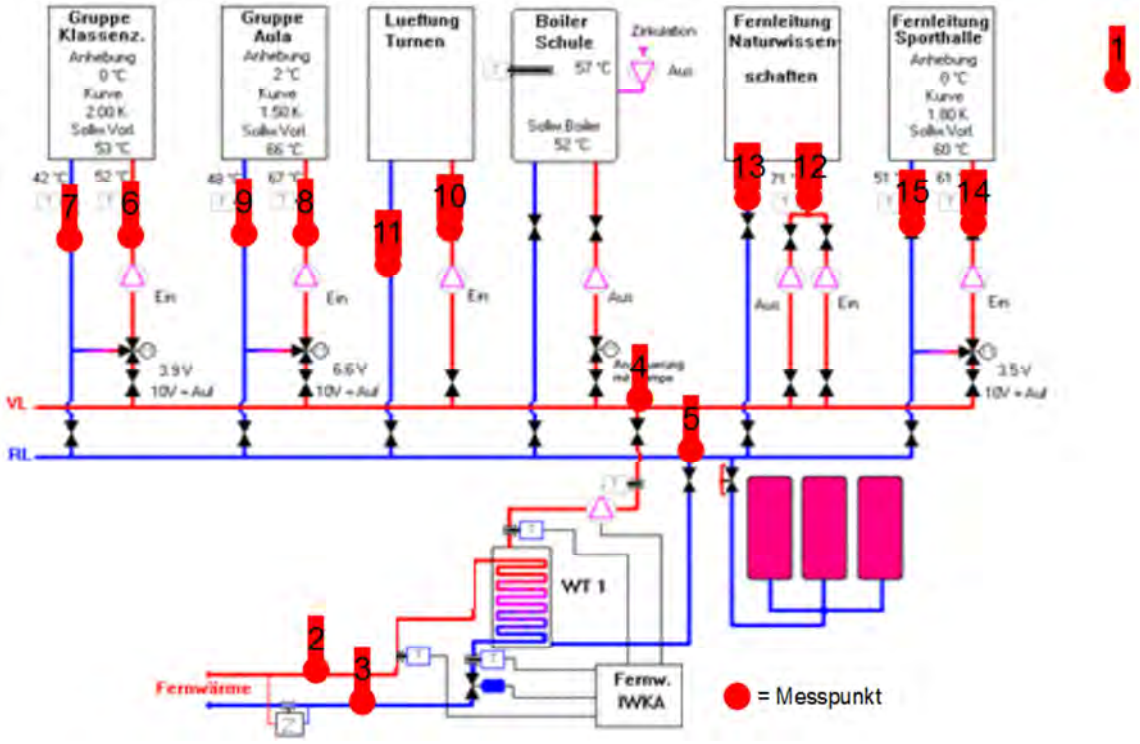


Abbildung 27: Anordnung Messpunkte (MP) im R+I Schema Heizzentrale Schulgebäude

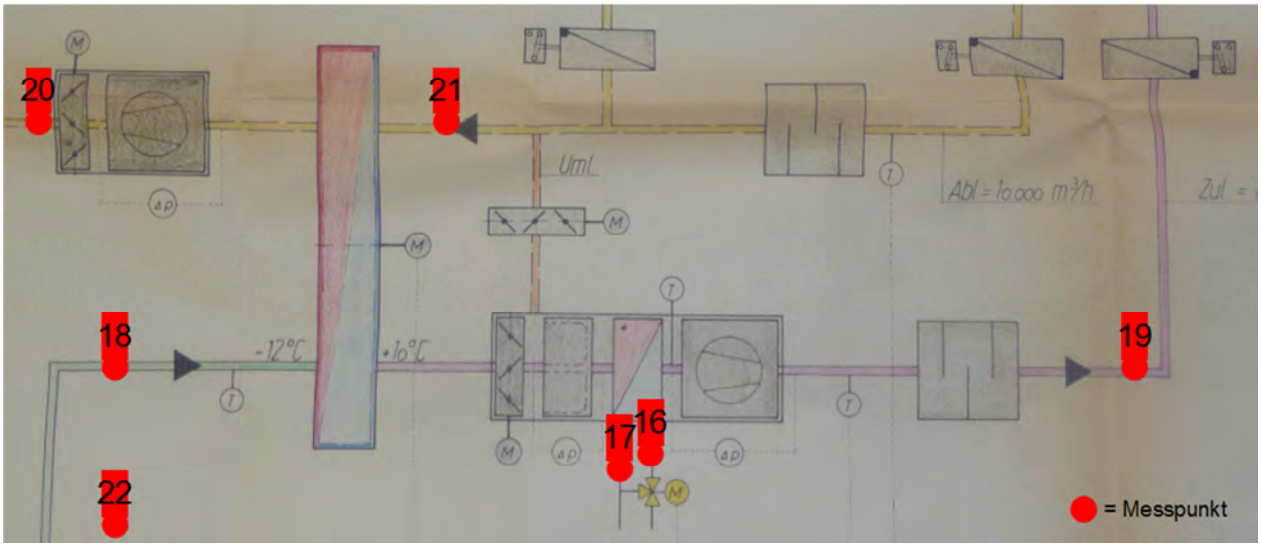


Abbildung 28: Anordnung Messpunkte (MP) im R+I Schema Lüftung Sporthalle

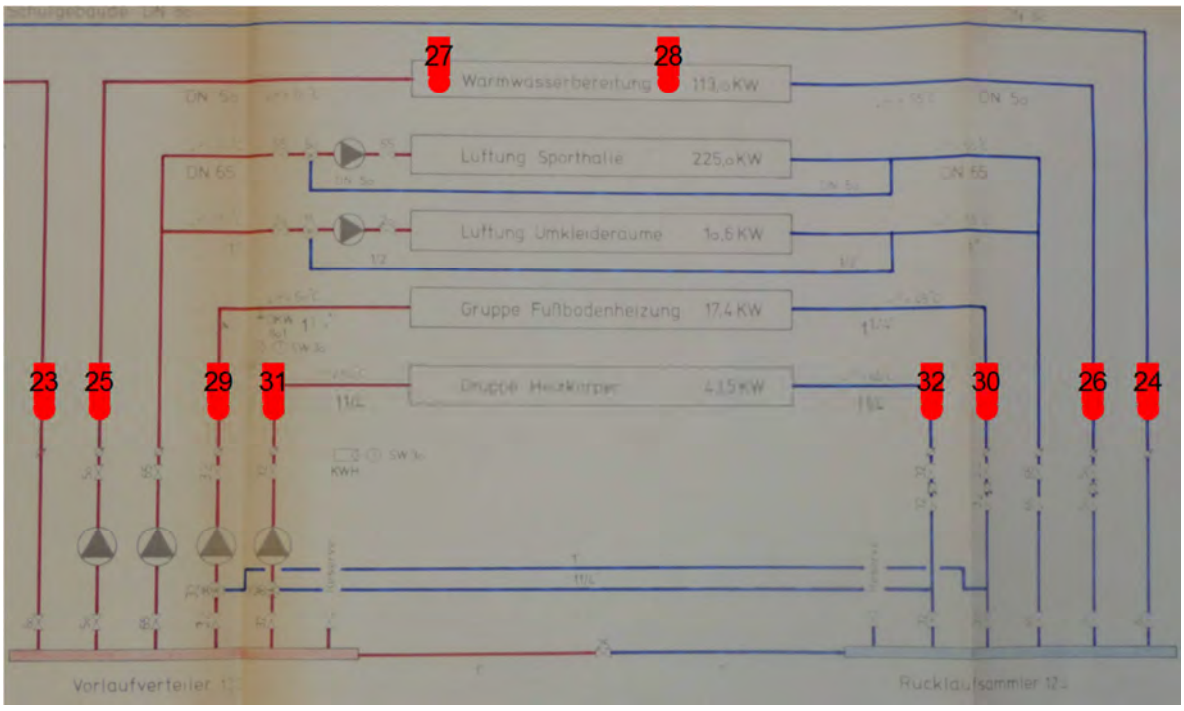


Abbildung 29: Anordnung Messpunkte (MP) im R+I Schema Heizverteiler Sporthalle

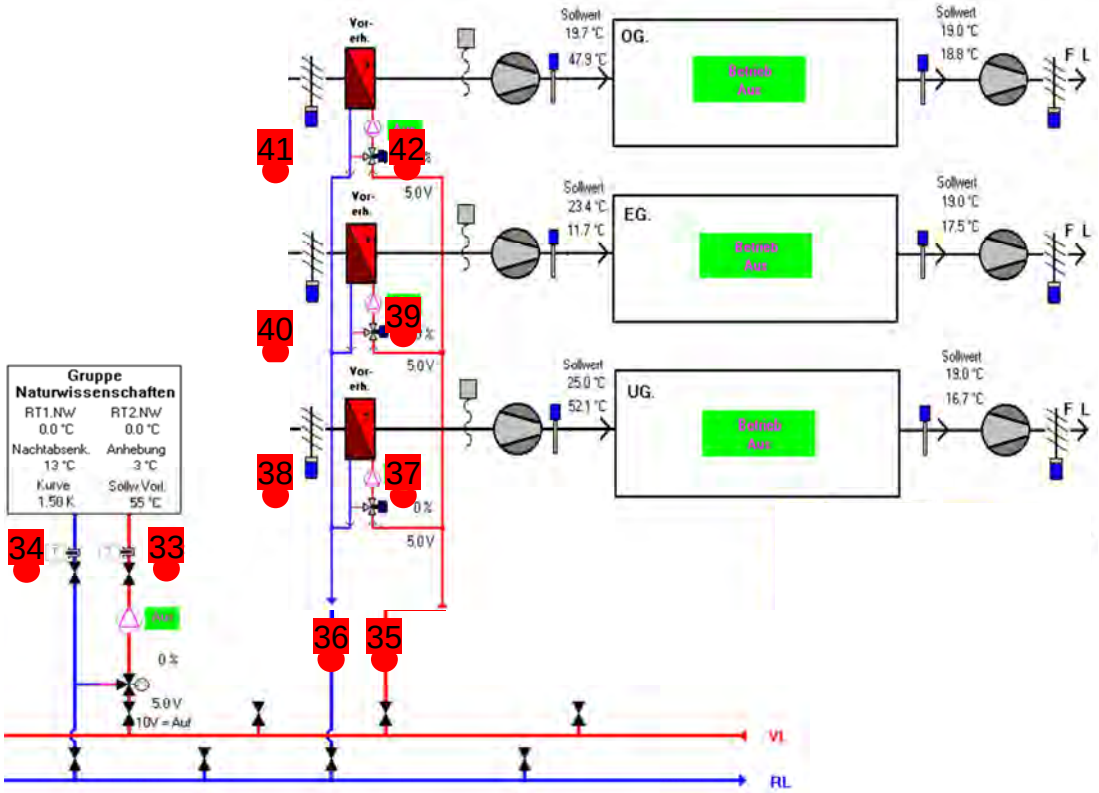


Abbildung 30: Anordnung Messpunkte (MP) im R+I Schema Naturwissenschaften

Der heterogene Bestand der Bildungsliegenschaft reicht vom Schulgebäude Baujahr 1907 bis zur 2-Feld-Sporthalle mit Lüftungsanlage aus den 80er Jahren. Auf Grundlage der Messwertanalysen und Zustandsbewertung der Anlagen wurde zunächst projektorientiert ein Maßnahmenkatalog zur Verbindung notwendiger Instandsetzungen mit Energieeinsparpotenzialen erstellt. Hierzu wurde der Anlagenzustand erfasst und mit dem gemessenen Anlagenverhalten abgeglichen.

Die bereits im Rahmen von Effizienzmaßnahmen nachgerüstete thermostatische Einzelraumregelung wurde aufgrund der beobachteten Überschwingungen in den Temperaturaufzeichnungen des Heizkreises angepasst. In Abhängigkeit von einer tiefen oder höheren Außentemperatur war ein stärkeres oder minderes Überschwingen mit hohen Rücklauftemperaturen im Heizkreis zu beobachten, das zeitlich exakt mit Nutzungsbeginn und der plötzlichen Wirkung interner Lasten auftritt. Hierzu wurde empfohlen, sowohl eine witterungsgeführte Anpassung der Vorlaufzeit der Aufheizphasen als auch eine Reduktion der Nachstellzeit der Regelfunktion vorzunehmen.

Die Identifikation derartigen Optimierungspotenzials ist ausschließlich durch ein Anlagenmonitoring mit hoher Anzahl an Datenpunktaufzeichnungen und detailliertem Auswertungsumfang erzielbar.

Die energetische Inspektion durch temporäres Energie- und Anlagenmonitoring bildete die Grundlage, um fundiert Sanierungsmöglichkeiten zur Effizienzsteigerung in Verbindung mit erforderlichen Instandsetzungsmaßnahmen zu entwickeln. Für die Entscheidung wurden die Maßnahmen mit den damit verbundenen Einspareffekten hinterlegt (s. Abbildung 31).

Nr.	Maßnahme	Umsetzung			Invest (Budget)		Bewertung	
		kurzfristig (< 1a)	mittelfristig (1-3a)	langfristig (> 3a)	< 1.000,- €	> 1.000,- €	Einsparung	Amortisation [a]
1.	**Nachparametrierung** Abgleich der Verbraucherbetriebszeiten Lüftung und Fußbodenheizung mit Zubringerversorgung und Absenkzeiten Hauptverteilung Heizzentrale	X			X		2-4% Stromeinsparung durch Reduktion von Pumpenlaufzeiten	< 1
2.	**Nachparametrierung** Betriebszeiten Lüftungsanlage insbes. am Wochenende	X			X		Ca. 10% Stromeinsparung durch reduzierte Laufzeiten	< 1
3.	**Austausch und Nachparametrierung** Ersatz der Warmwasserbereitung durch ein Speichervolumen angepasster Dimension. Anpassung Speichertemperatur 60 °C (Mehraufwand)		X			ca. 3.000,- €	15% Wärmeeinsparung Speicherverluste	ca. 8
4.	**Nachrüstung Zirkulationsleitungen** 150% Dämmung gemeinsam mit Vor- und Zirkulationsrücklauf, Strangabgleich zur Ausnutzung der Temperaturspreizung Anpassung Zirkulationszeiten 8h/Tag		X			ca. 8.000,- €	Ca. 20% Wärmeeinsparung durch Verlustreduktion und ca. 40 % Stromeinsparung durch weniger Umwälzaufwand für die Zirkulation bei Rücklaufabsenkung	

Abbildung 31: Maßnahmenempfehlungen „neue“ Sporthalle inkl. Warmwasserbereitung

Zur Verdeutlichung der Analyse- und Identifikationsweise der Empfehlungen anhand der Monitoringdaten werden die in Abbildung 31 enthaltenen Maßnahmenempfehlungen 1 und 4 herausgenommen und erläutert. Zum Abgleich siehe Diagramme unter 6.3.1, Anhang 1)

- Nr.1: Nachparametrierung

  Durch den Abgleich der Temperaturkurven aus dem für das Messobjekt Schule erstellten Diagramm-Report ist am Hauptverteilerabgang für den Zubringerkreis zur Sporthalle (Gruppe Sporthalle Hzg+Lft) zu erkennen dass diese werktags von 6-21 Uhr, am Samstag gar nicht und am Sonntag nur von 9-20 Uhr betrieben wird. Analog stellen sich die Temperaturen am Hauptverteiler der Sporthalle zeitlich ein.

  In der Sporthalle ist im Diagramm-Report am Verteiler allerdings zu beobachten, dass die Fußbodenheizung bis 24h betrieben wird, die über die Abschaltzeit hinaus aufgrund der Speicherkapazität des großen Volumens in den Rohren die für die Fußbodenheizung niedrigere Systemtemperatur aus dem Hochtemperaturverteiler beimischt. Die Fußbodenheizung wird generell ohne Beachtung der Trägheit und Nachheizkapazität betrieben.

  Den Betriebszeiten des Zubringerkreises samstags bis 20 Uhr gegenüber wird die Lüftung jedoch bereits ab ca. 15:00 Uhr abgeschaltet, sodass auch die Zubringerpumpe früher abgeschaltet werden könnte.

  Ferner wird wochends die Zirkulation des Brauchwarmwasserspeichers betrieben, während der Heizkreis der Zubringerleitung abgeschaltet ist. Infolgedessen wird der Speicher ausgekühlt.

  Resultierend aus der Auswertung und dem Abgleich der Diagramme wurde daher die Empfehlung ausgesprochen, die Laufzeiten des Zubringerheizkreises und die der Verbraucherheizkreise in der Sporthalle abzugleichen.

- Nr.4: Nachrüstung Zirkulationsleitungen

  Aus den Diagrammen „WWB-Flächenkurven“ und „WW-Speicher-Zirk“ ist ersichtlich, dass die Spreizung des Zirkulationsrücklaufs zur Speichertemperatur während des Zirkulationsbetriebs äußerst gering ist. Darüber hinaus wird währenddessen sehr häufig der Warmwasserspeicher nachgeladen – erkennbar an den Temperaturspitzen der Nachladehysterese in enger Zeitabfolge. Der steile Temperaturabfall deutet auf hohe Verluste der Zirkulationsleitung aufgrund zu geringer Dämmung hin. Außerdem besteht mangels hydraulischen Abgleich des Zirkulationsnetzes aufgrund der geringen Spreizung ein hydraulischer Kurzschluss am nächstgelegenen Umkehrpunkt des kürzesten Strangs und damit ein zu hoher Volumenstrom in dem durchströmten Teil des Zirkulationsstrangs.

  Darüber hinaus ist die Zirkulationszeit werktags auf 6-22 Uhr festgelegt. Über Nacht wird die Zirkulation für 8h/Tag abgeschaltet, wie nach DVGW W551 [12] zulässig, allerding nur für hygienisch unbedenkliche Anlagen. Am Wochenende wird die Zirkulation länger als 8h/d abgeschaltet.

  In Summe resultiert daraus die in Kurzform angegebene Empfehlung zur Dämmung, Strangabgleich und der Anpassung der Zirkulationszeiten.

Ergebnis

Das Ergebnis des Messeinsatzes im Pilotprojekt kann anhand folgender Stichpunkte zu den umgesetzten Maßnahmen zusammengefasst werden:

- Anpassung Solltemperaturen und Zeiten der Einzelraumregelung im Schulgebäude
- Änderung Trinkwasserversorgung neue Sporthalle zur Sicherstellung der Trinkwasserhygiene
- Vorzeitige Nachrüstung Hocheffizienzpumpen und Anlageninstandsetzung (Lüftung alte Sporthalle ohne Wärmerückgewinnung)

Einsparung: rd. 12% Wärme, ca. 8% Strom, d.h. > 2.700,- €/a

Weiterentwicklung anlässlich des Pilotprojekts

Bei der Analyse wurde noch der Grafik-Export aus dem Messkanalanalyseprogramm direkt in das Textdokument des Berichts genutzt sowie gleichzeitig zur besseren Übersicht ein PDF-Dokument aller Diagramme erzeugt (s. 6.3.1, Anhang 1). Da dabei jedoch stets grafischer Informationsgehalt aufgrund der Auflösungsreduzierung verloren ging, wurde daraus dann der separate Export wie unter 3.2.2 beschrieben, entwickelt.

Im Rahmen dieses Pilotprojekts konnte außerdem das thermisch-energetische Übertragungsverhalten von Nahwärmeleitungen und deren Temperaturabfall zu unterschiedlichen Betriebszuständen analysiert werden. Aus den erhobenen überschlägigen Leitungslänge wurde ein Temperaturabfallkennwert für Rohrleitungen bei unterschiedlichen Randbedingungen (Erdreich, unbeheizt und beheizt) und in Abhängigkeit von Rohrdimensionen und Dämmwerten gebildet.

Hierbei geht es um eine rasche Abschätzung mit Hilfe von Tabellenwerten, ob der beobachtete Temperatur- bzw. Leistungsabfall in Rohrleitungen zwischen den installierten Messpunkten plausibel oder erhöht ist und welches Energiesparpotenzial durch Dämmung oder Vermeidung hydraulischer Fehlzirkulation in etwa besteht. Zwar sind mit Berechnungsmodellen aus der Fachliteratur, wie beispielsweise [29] und aus den Tabellen 15 und 16 der DIN V 18599-5 [9] unter Pkt. 6.2 und in mit Hilfe der Standardwerte und Annahmen Wärmeverlustleistungen von Rohrleitungen zentraler Warmwasserheizungs-Verteilnetze in [W/m] zu berechnen, doch in der Praxis sind diese Werte nicht direkt anwendbar. Im Rahmen von Begehungen wird an den Zeigerthermometern

sowie beim Anlagenmonitoring anhand der Aufzeichnungsdaten von Temperatursensoren stets eine „Grädigkeit“ – ein Abfall an Temperatur und Leistung beobachtet und keine Verlustleistung. Daher ist die Angabe von Kennwerten des Leistungs- und Temperaturabfalls in [‰/m] in Abhängigkeit der Installationslage, Dämmung und Rohrdimension direkter anwendbar. Um die Pufferkapazität der Rohrleitung im Anlauf- und Abschaltfall zu ermitteln, sind zusätzlich die Rohrleitungsinhalte angegeben.

In Abbildung 32 ist der Temperaturabfallkennwert für die erdverlegte Zubringerleitung zur Sporthalle entsprechend der vorgenommenen Einordnung der Randbedingungen eingetragen. Hierfür wurde die Vorlauftemperatur des abgehenden Heizkreises am Hauptverteiler der Heizzentrale im Hauptgebäude der Schule mit der ankommenden Vorlauftemperatur am Unterverteiler in der Sporthalle zeitlich abgeglichen, sodass nur Temperaturwerte zu gleichen Betriebszustandszeiten (nur Werktage ohne Absenkphasen) gegenübergestellt werden, in Relation gesetzt und durch die Rohrlänge dividiert. Da diese nicht exakt, sondern nur mit einer Spanne zwischen 45m und 55m bestimmt werden konnte, wird für den Gesamtabfall auf 88% des Ausgangsniveaus ein oberer und unterer Bereich für den längenbezogenen Abfall [‰/m] angegeben. Ebenso wurde für den Heizkreis zur Brauchwarmwasserbereitung ohne Vorregelung ein Abfallkennwert ermittelt und Randbedingung entsprechend in die Tabelle eingetragen.

Kennwerte Leistungs- / Temperaturabfall *a* [‰ / m] für Rohrleitungen und Wärmeübertrager

Tab. 1.1: Rohrleitungen Heizwasser Längenbezogener Abfall *a* [‰/m] mit verfügbarer Leistung von $Q_2 = Q_1 \cdot (1 - a \cdot L)$; darin: *a* [‰]; *L* [m]

Rohrmaterial	Installations-randbedingung	Dämmung (WLZ025) <= 25% DN	Dämmung (WLZ025) 50% DN	Dämmung (WLZ025) >=100% DN	Nennweiten DN / Zoll (Rohrgew.)											
					8	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150
					1/4″	3/8″	1/2″	3/4″	1″	1 1/4″	1 1/2″	2″	2 1/2″	3″	4″	5″	6″
Stahl, mittelschwer		Rohrinh. [l/m]			0.07	0.12	0.20	0.37	0.58	1.01	1.37	2.21	3.72	5.13	8.71	13.27	18.97
	Außen, frei (%-Zahl 2-fach) (60-90K) +RBG-HZG	x															
			x														
				x													
	Außen, Erdreich (50-80K)	x															
			x										2.1	2.6			
				x													
	Innen, unbeheizt (40-60K)	x															
			x														
				x													
	Innen, beheizt (20-40K)	x															
			x						1.6	2.0							
				x													

Abbildung 32: Tabelle mit ermittelten Werten für die erdverlegte Zubringerleitung und dem Warmwasserstrang aus dem Pilotprojekt

Die Kennwertetabelle stellt lediglich ein Hilfsmittel zur Einordnung und Identifikation grober Fehler dar, denn häufig bestehen zwischen zwei Messpunkten mehrere Rohrstreckenabschnitte mit unterschiedlichen Randbedingungen. Ferner können häufig die Rohrlängen nur grob geschätzt werden, da die exakte Trassenführung nicht sichtbar ist oder zu aufwändig zu erfassen wäre. Aus diesem Grund unterliegt ein Berechnungsmodell zu hohen Unsicherheitsfaktoren und Streuungen, sodass an dieser Stelle auf eine Berechnungsmethode verzichtet wird.

Diese Kennwerte sind bei Ersterfassung noch erheblichen Schwankungen und Unsicherheiten unterworfen, doch mit zunehmender Datensammlung und im Abgleich mit Werten aus Normung und Fachliteratur kann eine Tabelle mit Kennwerten zur zunehmend gesicherten Ermittlung von plausiblen Temperaturabfällen entwickelt werden. Diese üblichen Temperaturabfälle werden wiederum im Rahmen der regelbasierten Plausibilitätsprüfung angewandt.

4.2.2 Heizungssystem Altbau Kindergarten

Pilotprojekt BWZ 441100 Altbau BJ 1968, BGF:1.438 m²

Die städtischen Immobilien besitzen aufgrund des Gebäude- und Anlagenalters, häufig ein hohes Energieeinsparpotenzial.

Im Rahmen der energetischen Inspektion wurde die Messwerterfassung mittels temporärem Energie- und Anlagenmonitoring durchgeführt und das Betriebsverhalten der Anlagen beobachtet. Auf Grundlage der Daten konnten in Verbindung mit einer ingenieurtechnischen Zustandsbegutachtung der Anlagensysteme fundierte Optimierungshinweise mit den energetischen und monetären Einsparungen angegeben werden.

Aufgrund der Energieeinsparberatung mit energetischen und funktionalen Optimierungshinweisen konnte die Anlage mit geringfügigen Investitionen nachgerüstet und nachparametriert werden. Im Anschluss der Umsetzung der Verbesserungsmaßnahmen wurde eine Kontroll- und Erfolgsmessung durchgeführt, um den Einspareffekt zu dokumentieren und für die zukünftige Nutzung zu verstetigen.

Bei diesem Pilotprojekt wurden im Rahmen der Anwendung des mobilen Monitoringsystems bislang die umfangreichsten Ultraschalldurchflussmessungen durchgeführt, die Messpunkte sind im R+I-Schema in Abbildung 35 eingetragen. Die Verwendbarkeit und Bedeutung der Momentanwerte zur Analyse im Vergleich zum Aufwand der Erfassung steht jedoch in keinem wirtschaftlichen Verhältnis. Detaillierter wird auf diesen Sachverhalt unter Punkt 4.4.2 eingegangen.

In Abbildung 33 und Abbildung 34 ist die durch energetische Inspektion mittels mobilem Monitoring identifizierte und umgesetzte Effizienzoptimierungsmaßnahme ersichtlich. Hierbei wurde nicht nur Energie durch den Einsatz neuer Pumpentechnologie mit höherem Wirkungsgrad, sondern insbesondere durch den Verschluss der differenzdruckgeregelten Überströmstrecke eingespart. Denn das federbelastete Differenzdruckventil war zu gering eingestellt oder sogar defekt. Daraus resultierte eine permanent hohe Förderleistung der Pumpe auch bei fehlender Abnahme.

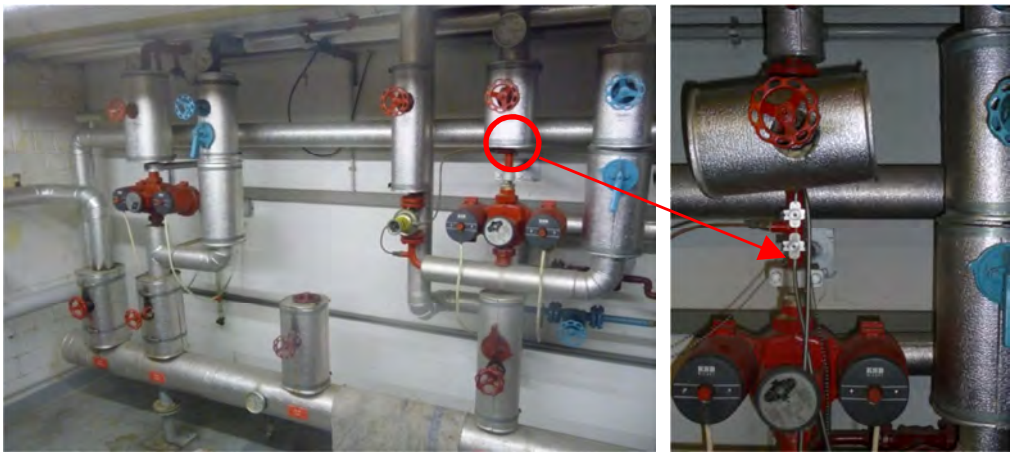


Abbildung 33: Heizungsverteiler der Bestandsanlage und Ultraschalldurchflussmessung am Verteilerkreis (re.)

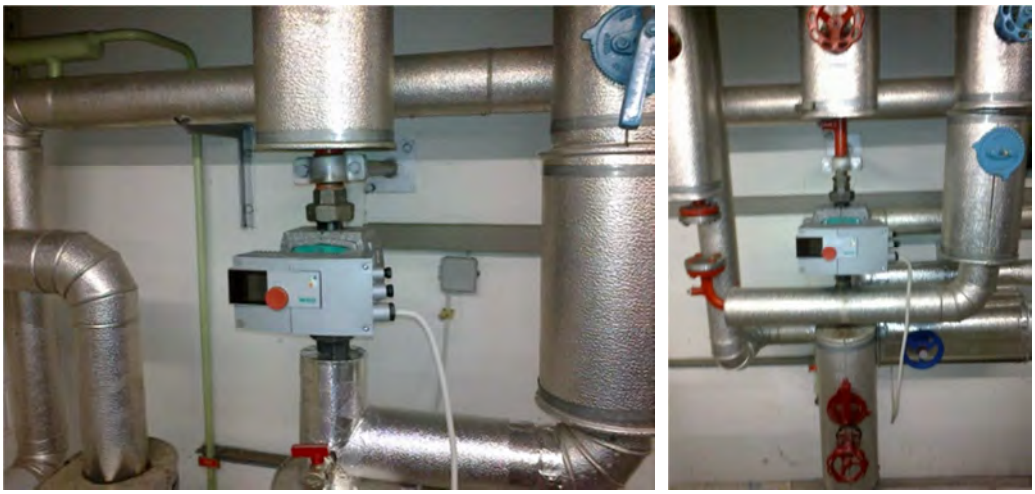


Abbildung 34: Heizkreise nach der Umrüstung mit neuen Hocheffizienzpumpen

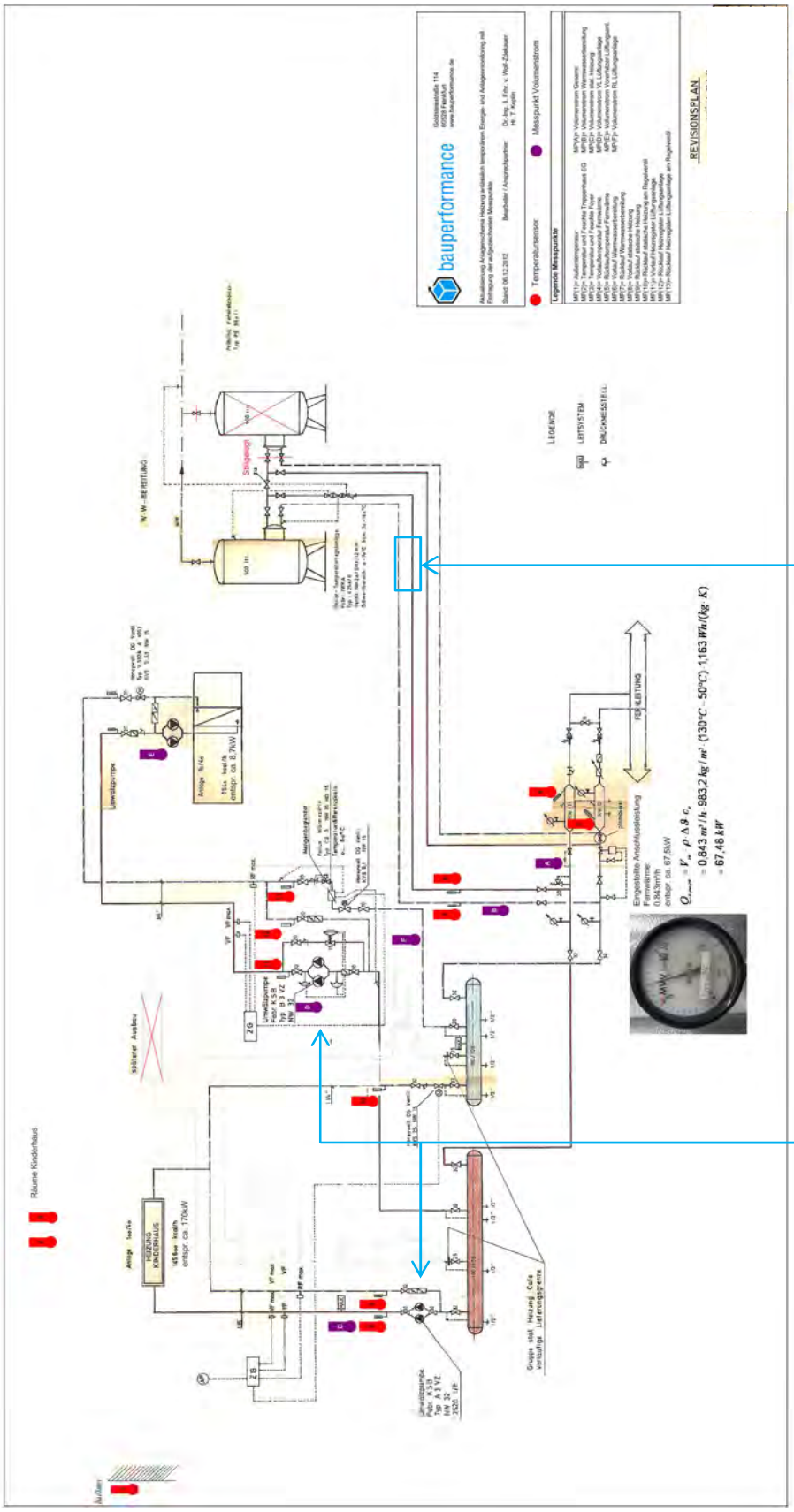


Abbildung 35: Anordnung der Messpunkte im R+I Schema der Heizzentrale des Kindergartens

Ein weiterer Optimierungsaspekt stellte der Anschluss der Brauchwarmwasserbereitung dar, in dem weder ein Abgleichventil zum Heizkreisverteiler noch eine Rückschlagklappe installiert war. Dadurch trat in der Aufheizphase eine Entladung des Warmwasserspeichers auf, der in dem Moment als Pufferspeicher des Heizungssystems fungierte (s. Abbildung 36).

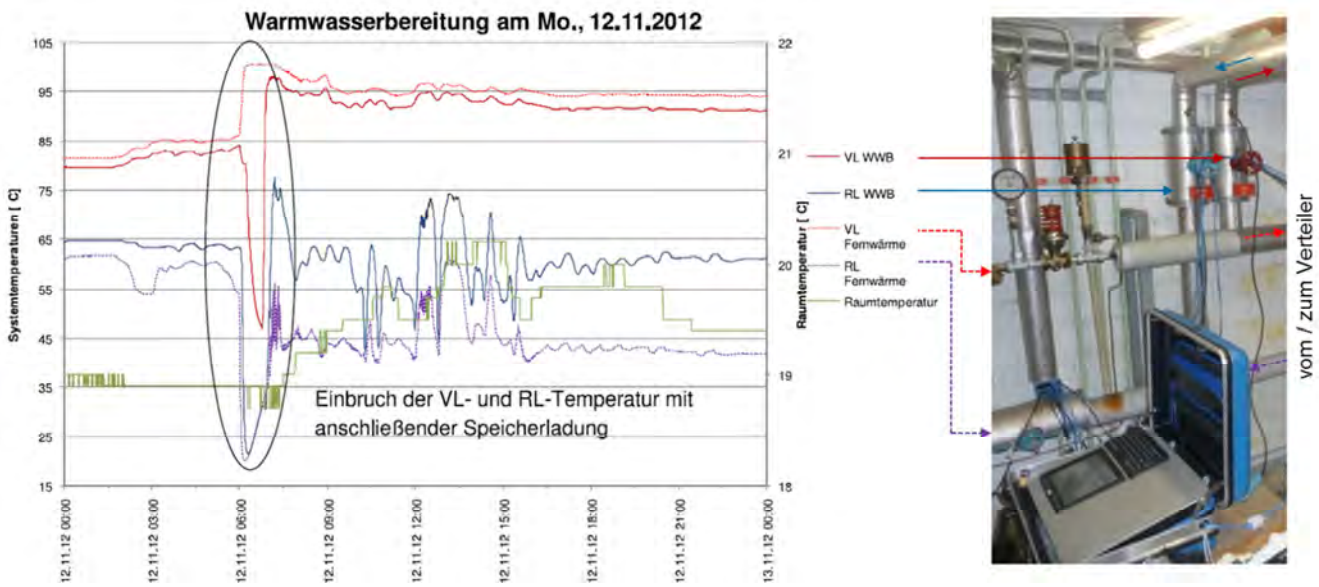


Abbildung 36: Unerwünschter Betriebszustand durch Entladung des Warmwasserbereiters

In der Konsequenz der im Rahmen der energetischen Inspektion identifizierten hydraulischen Fehlströmung wurde, wie in Abbildung 37 dargestellt, ein Schrägsitz-Rückschlagventil installiert und zusätzlich ein Regulierventil, um die Möglichkeit eines Volumenstromabgleichs vorzusehen.



Abbildung 37: Installation Regulier- und Rückschlagventil als Korrekturmaßnahme

Diese identifizierte Effizienzoptimierungsmaßnahme zählt zu denjenigen, die ohne den Einsatz eines mobilen Monitoringsystems nicht erkennbar gewesen wäre. Denn mit einer reinen Anlagenbegehung oder einen Blick auf das Anlageschema kann man dies nicht ersehen. Mit einem Blick auf das Schema kann davon ausgegangen werden, dass kein Volumenstromabgleich für den Nachladefall des Brauchwarmwasserspeichers erforderlich ist, da dieser Betriebszustand nur kurzzeitig andauert. Außerdem wird gemäß des Warmwasservorrangprinzips nur temporär der Heizkreis unterversorgt oder gar nicht versorgt, was aufgrund der Trägheit des Netzes, der schweren Stahlradiatoren und der Gebäudemasse überhaupt nicht auffällt und im Regelbetrieb keine Beeinträchtigung mit sich bringt. Jedoch tritt diese Anlagenfehlfunktion während des Aufheizfalls auf, der in der Planung offensichtlich nicht berücksichtigt wurde. Denn generell werden in der Planung zu wenig die

unterschiedlichen Betriebsfälle, sondern nur die für die Dimensionierung maßgebenden Auslegungsfälle betrachtet, sodass sich auch in modernen Gebäuden Versorgungskonzepte finden, die nicht in allen Betriebsfällen wie geplant funktionieren.

Im vorliegenden Fall wurde jedoch das Versorgungskonzept, wie zur damaligen Zeit der Errichtung üblich, ohne Energieverbrauchssensitivität überdimensioniert ausgelegt. Im Rahmen einer Anlagenbegehung können über das Hydraulikschema hinaus gehende Informationen gewonnen werden. Denn hierbei wird ersichtlich, dass die bestehende Überdimensionierung bereits mit geringinvestiven Sofortmaßnahmen auf das minimal mögliche gekappt wurde. Infolgedessen wurde bereits die Fernwärmeanschlussleistung reduziert. Ein Brauchwarmwasserbereiter, der ohnehin als Ergänzung und zur Rücklaufauskühlung eingebunden war, wurde komplett von den Leitungen getrennt und entleert.

Dass sich in der bestehenden Anlagenkonzeption die Kombination der reduzierten Fernwärmeanschlussleistung durch die Volumenstrombegrenzung am verplombten Einstellventil zusammen mit der unverminderten Zirkulationspumpenleistung an den Verteilern jedoch zu einer Fehlzirkulation im Aufheizfall auswirkt, wird erst ersichtlich, wenn das Versorgungsystem am „Anlagen-EKG“ des temporären Monitoringsystems angeschlossen wird, das den tatsächlichen Betriebszustand über einen Wochenverlauf sichtbar macht.

Darüber hinaus wurde das Berechnungsblatt zur überschlägigen Ermittlung der Energieeinsparungen bei Änderung der Zeitprogramme zur nächtlichen Absenkung und Abschaltung wochenends im Rahmen des Pilotprojekts entwickelt und angewandt. Die Ergebnisblätter der Berechnungen zur Wärmeeinsparung durch Absenkzeiten sind unter den Anlagen zu dem Pilotprojekt enthalten, daher wird unter Punkt 6.3.1 auf Anhang 2 verwiesen. Im Anschluss zu diesen Berechnungsblättern ist im Anhang die gegenüberstellende Berechnung, auf welcher die Empfehlung des Pumpenaustauschs basiert, angefügt.

Ergebnis und Maßnahmen:

- Nachrüstung Hocheffizienzpumpen
- Anlagennachparametrierung (Absenkzeiten Nacht, Abschaltzeiten Wochenende)
- Nachrüstung Regulierventil (durch Monitoring identifizierte Fehlzirkulation Hydraulik bezüglich Warmwasserbereitung)

Einsparung**:** rd. 13%, d.h. > 1.100,- €/a

4.2.3 Heizungssystem Neubau Niedrigenergiehausstandard

BWZ 441100 BJ 2011, NGF:970 m²

Das Kinderhaus, erbaut in Niedrigenergiehausbauweise mit Photovoltaik-Anlage auf dem Dach und mit Lüftungstechnik ausgerüstet, stellt ein bautechnisch ambitioniertes Projekt der Stadt Mannheim dar. Die erst kurz zuvor in Betrieb genommene Anlagentechnik des KfW-70-Gebäudes sollte zur Sicherstellung der Effizienz im Betrieb durch temporäres Anlagenmonitoring beobachtet werden.

Bei der Untersuchung stand weniger eine wirtschaftliche Erschließung von Einsparpotenzialen, sondern vielmehr die detaillierte Funktionsprüfung und -optimierung der Anlagentechnik im Betrieb im Vordergrund.



Abbildung 38 Außenansicht des Pilotprojekts

Mit moderner Messtechnik unseres temporären Anlagenmonitoring-Systems konnte der Effizienzanspruch der Planung im tatsächlichen Betrieb kontrolliert und bestätigt werden.

Darauf aufbauend wurden Empfehlungen zur Optimierung der Anlage und Regelungsstrategie erarbeitet.

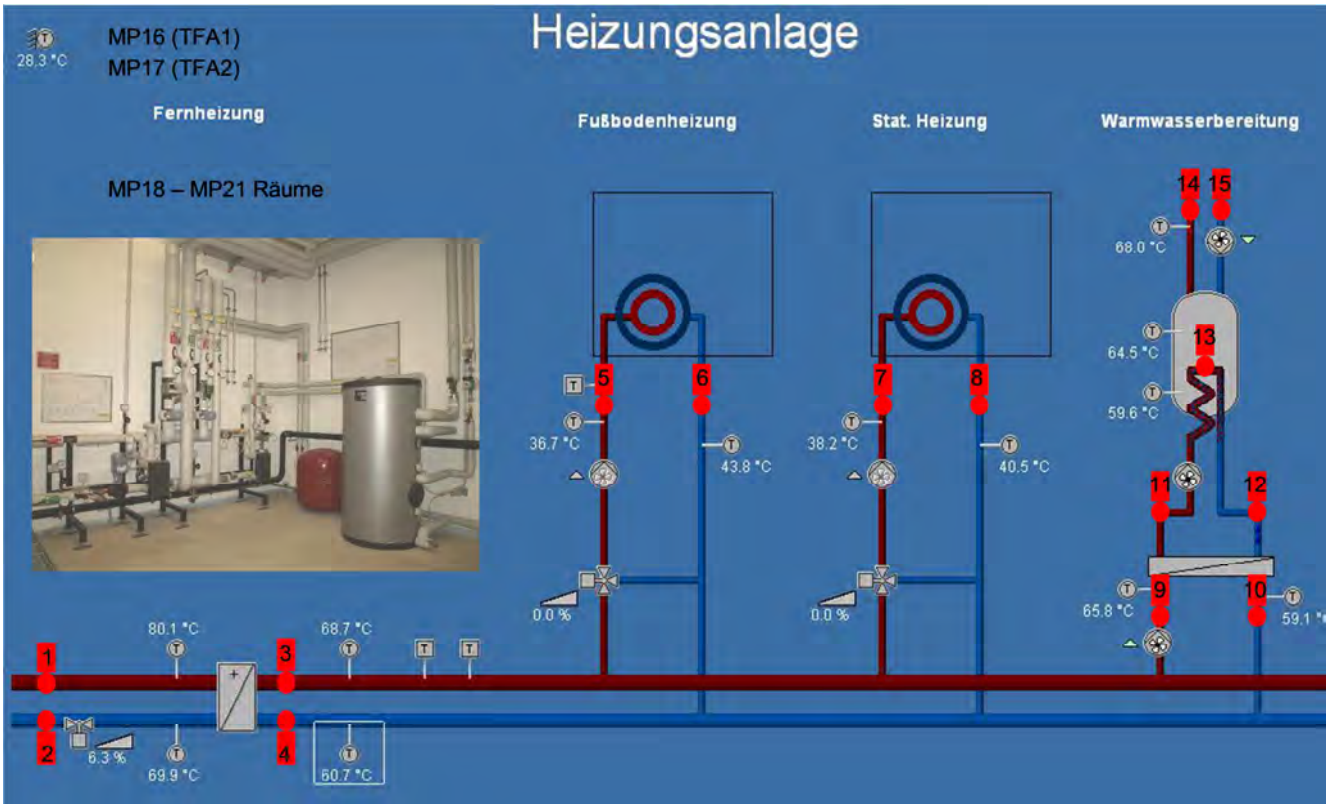


Abbildung 39 Anordnung der Messpunkte im Anlagenschema der Heizzentrale mit Bild der Installation

Das im Rahmen der energetischen Inspektion installierte Monitoringsystem zeichnete einen Datenumfang je Kanal von 14.825 Messwerten auf. Insgesamt umfasst das Monitoring eine Erfassung von 370.625 Messwerten bei 25 messtechnisch erfassten Datenkanälen und 48 zusätzlich rechnerisch generierten Messkanälen.

Während des Anlagenmonitorings wurde zufällig ein Anlagenausfall (s. Messdaten: 22.02 von 04:45 bis 14:30) mitbeobachtet. Aufgrund der Erfassung konnten Hinweise zur möglichen Fehlerursache gegeben werden, da der Ausfall direkt zum Beginn einer Aufheizphase auftrat.

Im Rahmen der Analyse wurde seitdem ausschließlich mit einem separaten Diagramm-Export, wie unter Punkt 3.2.2 beschrieben, gearbeitet. Dies verändert den Aufbau und die Handhabung des energetischen Analyse- und Inspektionsberichts, der zum Abschluss den Gebäudeverantwortlichen nun in zwei Teilen vorgelegt und erläutert wird. Innerhalb des Berichts wird jeweils auf die aus grafischen Auflösungsgründen in einer separaten Datei ausgelagerten Diagramme referenziert, die sich während der Ergebnisvorstellung zusätzlich präsentieren lassen. Da die tatsächliche Umsetzung der identifizierten Einsparmöglichkeiten wesentlich vom Verständnis der Beteiligten abhängt, ist die weiterentwickelte und verständnisfördernde Präsentationsform von entscheidender Bedeutung. Der Verweis auf das externe Dokument des Anhangs 3 befindet sich unter Punkt 6.3.1.

Ergebnis

- Generelle Bestätigung tatsächliches Effizienzniveau KfW-70 Standard im alltäglichen Betrieb
- Anlagennachparametrierung Warmwasserbereitung in Abhängigkeit von den Betriebsmodi (Beladung / Erhaltung / Legionellenschutz) sowie Berücksichtigung und Anpassung Betriebszeiten der Zirkulationspumpe
- Anpassung des primären Fernwärmemassenstroms (Leistungspreis)
- Bedarfsgerechtere Sollwerteinstellung der Raumtemperaturen
- Anpassung Heizkurven Heizkreise und Betriebszeit der Flächenheizung

Einsparung: ca. 5% Heizwärme mit kurzfristiger Amortisation der geringfügigen Maßnahmen

4.2.4 Lüftungssystem Bestandsgebäude EnEV 2001-Standard

BWZ 500000 (Fitnesscenter), BGF:3.597 m²

In einem Fitness- und Wellnessbereich in den Untergeschossen eines Hotelgebäudes in renommiertester Immobilienlage Deutschlands sollten die Anlagen aufgrund zu hoher Energiekosten untersucht werden. In diesem Rahmen wurde die energetische Inspektion der Raumlufttechnischen Klimaanlage, wie in Abbildung 40 dargestellt, durchgeführt.

Trotz schwieriger Randbedingungen konnten für die komplexe Messaufgabe in einem 2-geschossigen Technikraum im 2. UG von einem Zwischenpodest mit Stahlrosten aus die erfassten Messdaten per Funk aus dem Gebäude heraus übertragen werden.



Abbildung 40: Messtechnikinstallation RLT-Zentrale

Hierzu wurde die Hauptlüftungsanlage (mit 64.290m³/h Nennvolumenstrom) des gesamten Fitnessbereichs mit dem Messkoffer zum temporären Anlagenmonitoring beobachtet und analysiert. Die insgesamt 415.000 Betriebsdaten – unterbrechungsfrei alle 30 Sekunden erfasst – wurden online zur Auswertung an den Arbeitsplatz gesendet und dort regelmäßig beobachtet. Bereits während der Messung wurden Optimierungsmaßnahmen, ergriffen und deren Erfolg beobachtet. Hierzu zählen vor allem wie Einstellung einer Nachtabsenkung und die Erhöhung des Volumenstroms im Kreislaufverbundsystem zur Wärmerückgewinnung anhand Fehlerbehebung an der Umwälzpumpe.

Der Erfolg der Maßnahme wird aus dem rechten Teil der Abbildung 41 ersichtlich. Ab dem Zeitpunkt der Optimierung des Volumenstroms des Kreislaufverbundsystems weisen die Temperaturen (RL vom Kühler gegenüber VL Erhitzer) eine deutliche Spreizung auf, sodass mehr thermische Leistung zwischen Abluft- und Zuluftkanal übertragen wird.

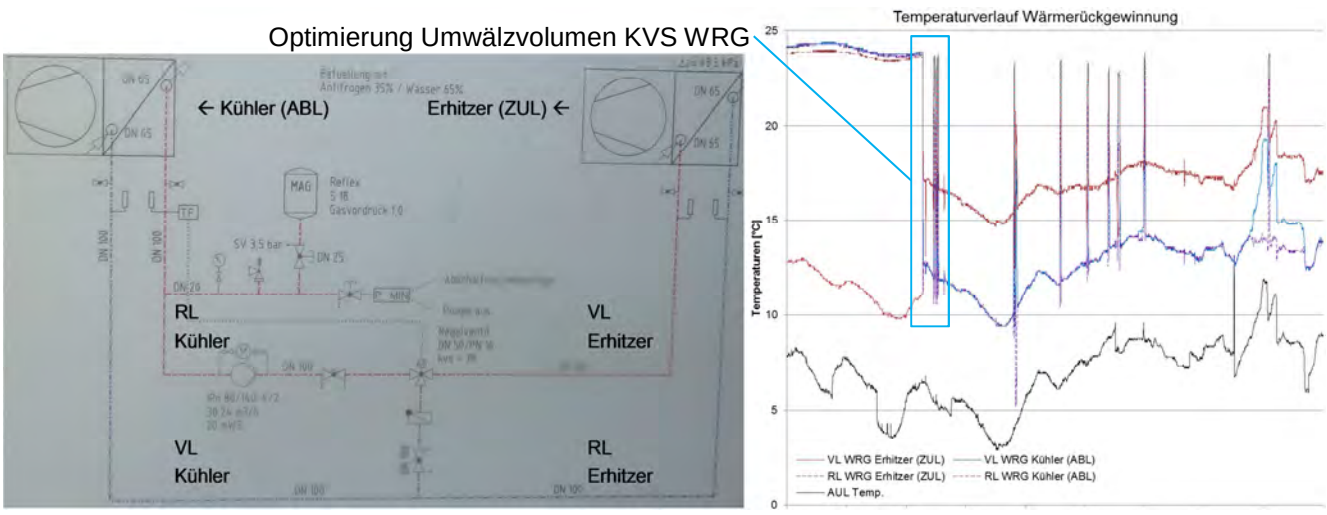


Abbildung 41: Wirkungsweise der Optimierung des Volumenstroms im Kreislaufverbundsystem

Im Abgleich mit dem Inspektionsverfahren nach DIN SPEC 15240 [6] wurden keine Abgleiche der Dimensionierung von Kühllast und Volumenstrom durchgeführt. Statt der Momentanwert- und Stichprobenkontrolle der Betriebsparameter und der Steuerung wird jedoch eine Messung über 1-2 Wochenzyklen durchgeführt, anhand der das Betriebsverhalten und die eingestellten Regelungsparameter ersichtlich werden.

Die Berechnung der Effizienz- und Referenzkennwerte zur energetischen Inspektion gem. [25] sind zwar auf Grundlage der Anlagenerfassung möglich, die zur Bewertung der Anlageneffizienz und der resultierenden Energieeinsparungen aus den Maßnahmen durchgeführt wurde. Jedoch wurden hinsichtlich des Aufgabenschwerpunkts diese nicht weiter ausgeführt und nicht in den Bericht integriert, denn der Effizienzgrad der Komponenten gem. energetischer Analageninspektion und die Anlagenausstattung und Regelungsmöglichkeiten waren überdurchschnittlich.

Messwertgruppe	Bezeichnung Messpunkt	Sensor-Nummer im Anlagenschema
Heizung	VL Heizung	1
	VL Heizregister	2
	RL Heizregister	3
WRG	VL WRG Erhitzer (ZUL)	4
	RL WRG Erhitzer (ZUL)	5
	VL WRG Kühler (ABL)	6
	RL WRG Kühler (ABL)	7
Kühlung	VL Brunnenwasser Vorkühler	8
	RL Brunnenwasser Vorkühler	9
Luftzustand	AUL Temperatur	10
	ZUL Temperatur	11
	ABL Temperatur	12
	Lufttemperatur RLT-Zentrale	--
Ventilatoren	Frequenzumformer Zuluft	13
	Frequenzumformer Abluft	14

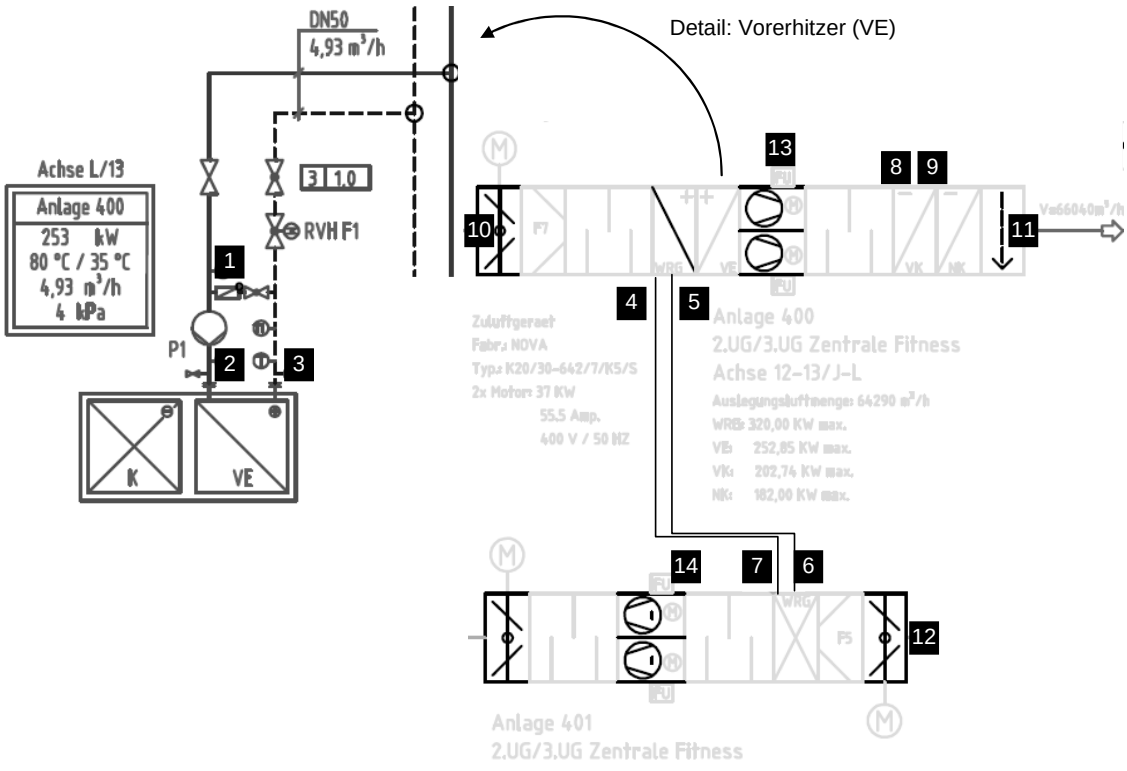


Abbildung 42: Installierte Messpunkte der Lüftungsanlage im Rahmen der energetischen Inspektion

Durch umfassende Betrachtung des gesamten Wärme-, Kälte- und Luft-Versorgungssystems konnten Betriebszeiten von Pumpen und Ventilatoren erheblich reduziert und bedarfsgerechter angesteuert werden.

Hauptsächlich wurde das Einsparergebnis aufgrund einer abgestimmten Ansteuerung des Regelventils der Heizungstechnik (s. Abbildung 42: RVH F1) mit der Ansteuerung der Zubringer- und der Einspritzpumpe (s. Abbildung 42: P1) sowie der Anlagenbetriebszeit unter Berücksichtigung der Frostschutzschaltung erzielt. Denn wie aus den Messdaten hervorging, liefen diese Pumpen während der Abschaltzeiten weiter und kühlte den Heizregisterkreislauf aus. Daher resultieren die geringen Systemtemperaturen im Heizregister gemäß Tabelle 4. Gleichzeitig griff jedoch ein zu hoch eingestellter Frostschutzwert, der diesen Temperaturabfall unter ca. 15°C regelmäßig verhinderte und entsprechend der zyklischen Aufheizhysteresen die Bereitschaftsverluste erhöhte (s. Abbildung 43).

	Vorlauf [°C]	AT [°C]; Zeitpunkt VL		Rücklauf [°C]	AT [°C]; Zeitpunkt RL	
Maximum	67,6	12,1	15:35	65,9	12,1	08:25
Minimum	15,1	3,7	04:03	11,8	3,7	04:03
Mittelwert	28,2			19,9	6,5	--:--

Tabelle 4: Extrem- und Mittelwerte der Heizregistertemperaturen im Beobachtungszeitraum

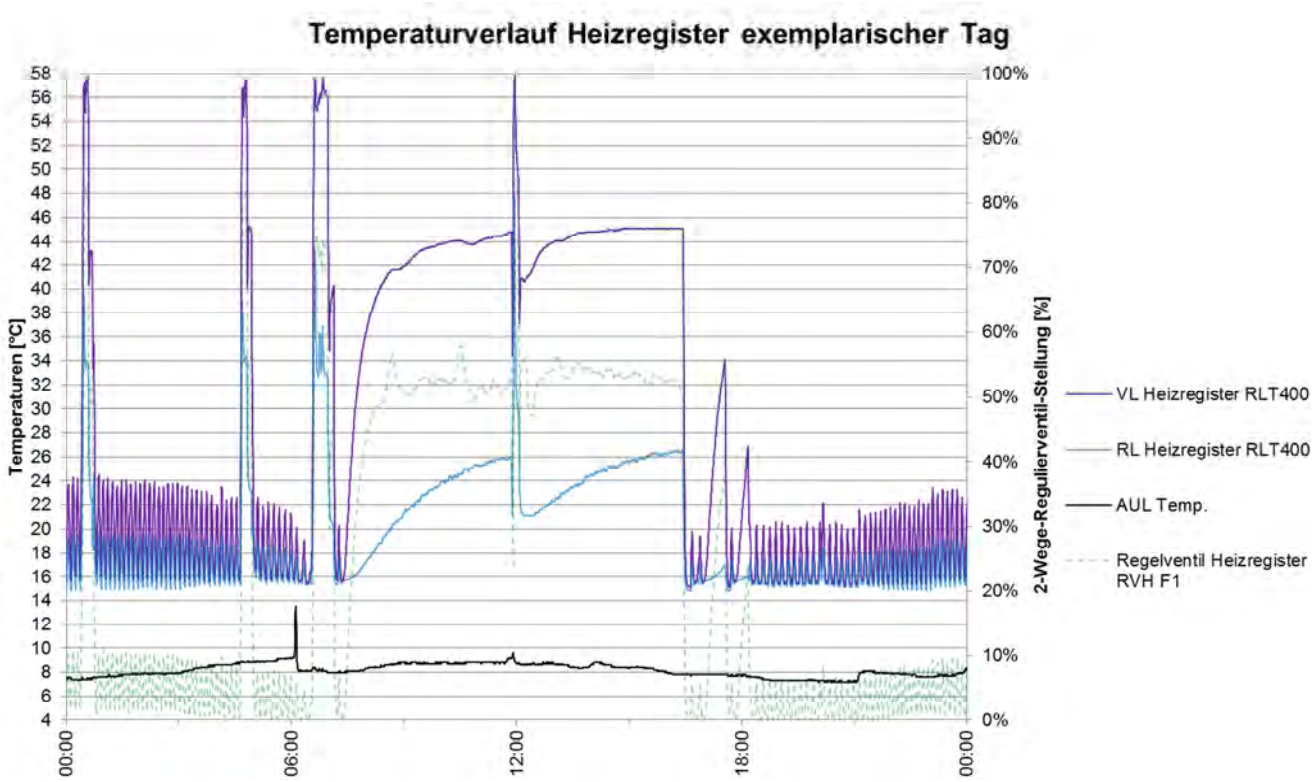


Abbildung 43: Tageslastgang Heizregister mit berechneter Regelventilstellung

Ferner wurde der Heizenergiebedarf der gesamten Lüftungsanlage reduziert, indem der Sollwert des Vorerhitzers im Rahmen der verfügbaren Leistungskapazität der Nacherhitzer abgesenkt wurde. Die Nacherhitzerleistungen waren noch nicht ausgeschöpft, da die Ventile – vor allem auch die Zonen mit den höchsten Sollwertanforderungen – überwiegend geschlossen waren. Der Grund für die Maßnahme ist, dass die Zonen im Fitnessbereich überwiegend Kühllasten aufweisen. Daher gilt es höhere Übertemperaturen als nötig zu vermeiden, um nicht Heizleistung aufzuwenden und im Gebäude unter erhöhten Verlusten zu verteilen, die an den meisten Stellen gar nicht benötigt oder durch Nachkühlung sogar vernichtet wird, weil die Zonensolltemperaturen niedriger definiert sind. Durch die Umlagerung der Leistung vom Vorerhitzer zu den Nacherhitzern

konnte rechnerisch ca. 15% Heizleistung am Zentralgerät gespart werden, an den einzelnen Zonen mit höherer Solltemperatur, die dennoch ausreichend versorgt werden konnten, wurde hingegen nur etwa 6% mehr an den Zonennacherhitzern benötigt.

Darüber hinaus wurden Eigentümer und Mieter umfassend hinsichtlich energiesparenden Verhaltens und Betriebsführung beraten, um das Einsparniveau auch zukünftig beizubehalten.

Ergebnis

- Einschaltung und Betriebsüberwachung Pumpe Wärmeverbundsystem
- Anpassung Temperaturregelung Vorerhitzer
- Änderung Betriebsprofil Ventilatoren
- Nachrüstung fehlender Dämmung (aufgrund korrelierender Temperaturschwankungen der Lüftungszentrale zum Heizregister)

Einsparung	Strom:	120.000kWh/a	(ca. 17.000,- €/a)
	Wärme:	37.500 kWh/a	(ca. 1.500,- €/a)

4.2.5 Raumklimasystem Bürogebäude

Im Rahmen des Pilotprojekts wurde eine Energetische Inspektion sowohl der Heizungszentrale (Hauptverteiler) als auch der Raumklimasysteme durchgeführt. Zuerst wurde die zentrale Heizwärmeversorgung energetisch analysiert, bevor die Raumklimasysteme untersucht wurden. Dadurch wurde vorab sichergestellt, dass die Vorregelung der Raumklimasysteme geeignet parametriert ist. Anhand der Messdatenauswertung konnte die Umstellung der Heizkennlinie durch den Betreiber aufgrund von Heizleistungsdefiziten im Gebäude erkannt werden (vgl. Abbildung 44).

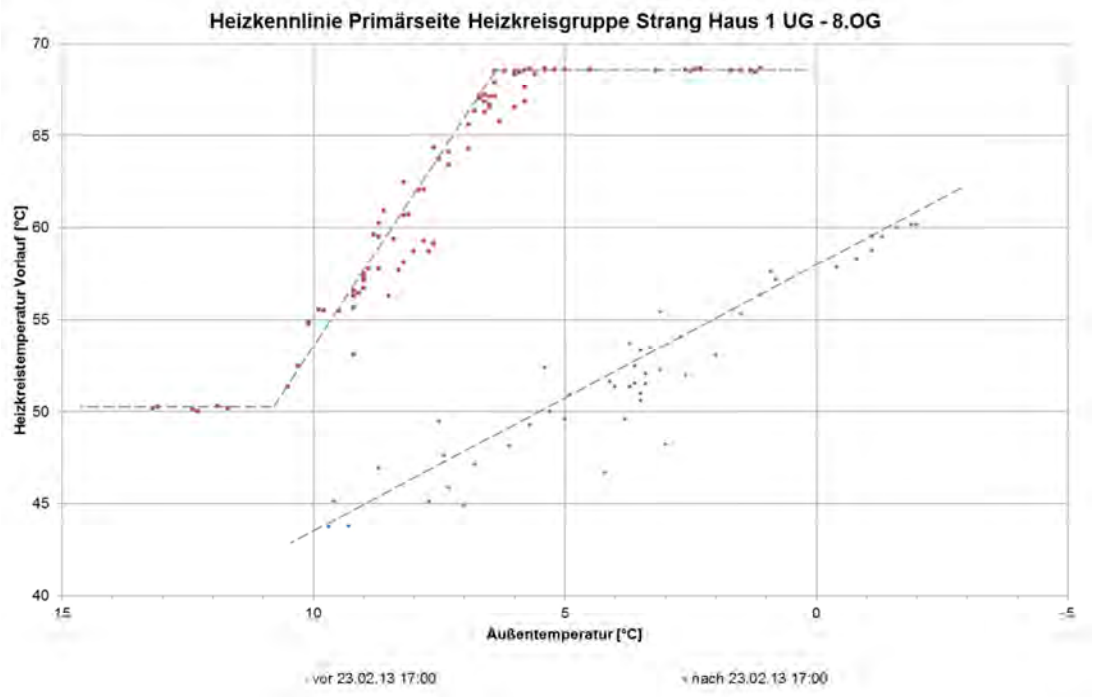


Abbildung 44: Identifikation der Umstellung der Heizkennlinie

In Abbildung 45 (li. und re.) sind die Messtechnikaufbauten in zwei repräsentativen Räumen dargestellt. Zur Untersuchung der Raumklimasysteme wurden nicht nur die Versorgungstemperaturen des 4-Leitersystems, die

Luftregistertemperaturen und die Vor- und Rückläufe sowie die Ansaug- und Ausblastemperaturen des Raumklimasystems gemessen, sondern parallel auch die Raumtemperaturen erfasst (s. Abbildung 46).



Abbildung 45: Aufbau Messtechnik zur energetischen Inspektion des Umluftklimageräts mit Primärluftversorgung und Heiz- Kühlfunktion im 4-Leitersystem

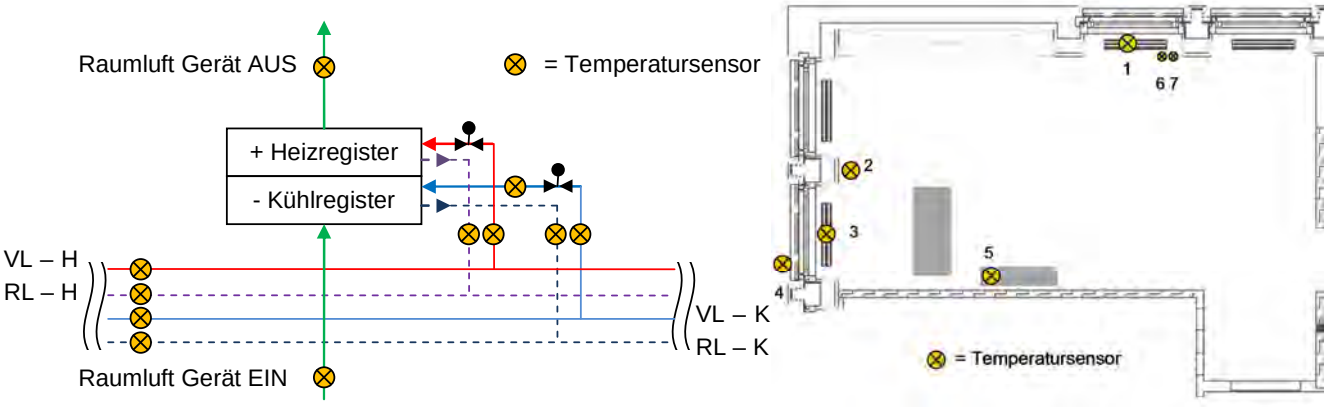


Abbildung 46: Installierte Messpunkte im Schema (li.) und Grundriss (re.)

Im Rahmen der energetisch-funktionalen Untersuchung des Raumklimasystems wurde die unter Schritt 2 von Punkt 3.2.2 erwähnte Berechnungsfunktion zur Ermittlung des Betriebszustands (s. Abbildung 22) entwickelt. Dadurch konnten zur besseren Übersicht die Systemtemperaturen des Registers ausgeblendet und stattdessen zur Beurteilung lediglich die Betriebsstatusfunktion verwendet werden.

Anlässlich von Behaglichkeitsbeschwerden war die Problemstellung, dass die Regelfunktion des Einzelraumreglers nicht auf die Eigenschaften des Raumklimagerätes und das Raumverhalten abgestimmt waren. Denn bis die Temperaturkriterien für Heizen/Kühlen im Raum erreicht werden, hat der PID-Regler aufgrund zu hohen I-,D-Anteils eine zu hohe Stellgröße errechnet und gleichzeitig die Ventilatorstufe zu hoch gestellt. In der Wahrnehmung des Nutzers ein zu spätes, überregierendes und -schwingendes thermisches Verhalten.

Anhand der Beobachtung von zwei Tagesverläufen konnte bereits eine fehlende Totzeit in der Regelfunktion und eine unangepasste Proportionalität der Leistungsregelung im Verhältnis zur Luftleistung des Geräts ermittelt werden. Dies führte zu einem Taktverhalten des Geräts und aufgrund der Übersteuerung sogar zum direkten Umschalten zwischen Heiz- und Kühlfunktion, die zudem nicht gegeneinander verriegelt waren. Die unmittelbaren Umschaltungen sind in Abbildung 48 gesondert gekennzeichnet. Da die Ventilstellungen zeitweise sogar parallel geöffnet waren und Heizen und Kühlen zwangsweise gegeneinander arbeiteten, kam es zu den großen Unterschieden der Ausblastemperatur innerhalb kurzer Zeit und dem unangenehmen Temperaturempfinden.

Aus Abbildung 47 ist ferner erkennbar, dass die erhebliche Spannweite der Ausblastemperatur des Umluftklimageräts von über 30K zu erhöhter Unbehaglichkeit und Beschwerden führte.

Abbildung 48 zeigt, dass trotz sukzessiver Sollwerterhöhung zwischen 11 und 13 Uhr zeitweise gekühlt wurde. Die Häufige Taktung des Kühlbetriebs nach 18:00 Uhr während der Abwesenheit von Personen und internen Lasten zeigt, dass zusätzlich das Toleranzband der Regelung zu gering eingestellt ist.

In Summe wurden daraus konkrete Optimierungshinweise und Parameter der Raumregelung erarbeitet, die zu Parameteränderungen und Umprogrammierung der Funktionen des Reglers führten (s.Tabelle 5). Die Kaskade und die Schalthysteresen der Stufen des Umluftventilators, die bei der Stellung des Raumbediengeräts auf der Ventilatorstufe „Auto“ ungünstig mit dem PID-Reglerwert verknüpft waren, wurden entsprechend einer nicht mehr „nervösen“ Stufenhoch- und Rückschaltung überarbeitet (Erhöhung der Prozentwerte für die Hochschaltung in die jeweils nächst höhere Stufe und Einführung einer Hysterese für die Zurückschaltung). Darüber hinaus wurde die Kühlleistung durch Vorregelung entsprechend einer Kühlkennlinie angepasst und gemäß einer Kühlgrenze von unter 12°C Außentemperatur ganz eingestellt. Denn die beobachteten Klimakaltwassertemperaturen entsprachen permanent den Auslegungstemperaturen von VL8°C / RL12°C und begünstigte das übersteuernde Verhalten.

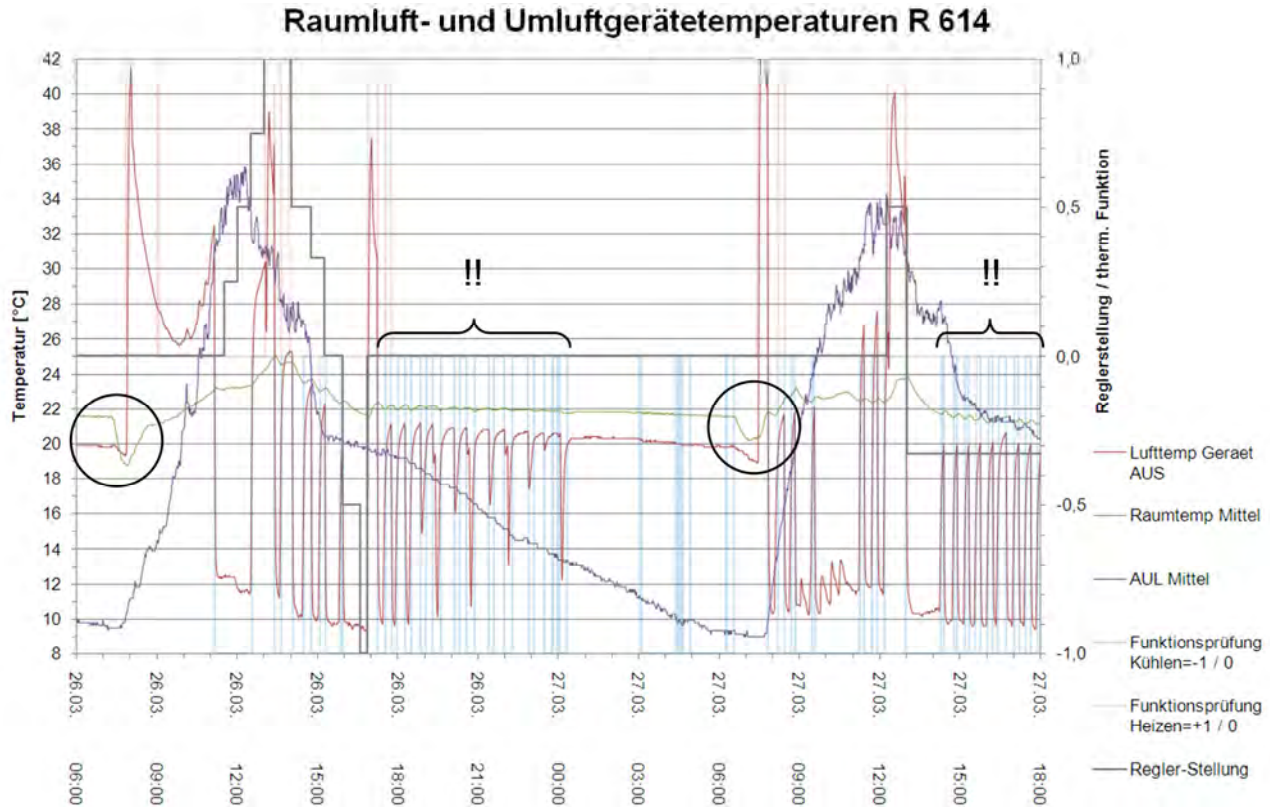


Abbildung 47: Betriebsverhalten Raumklimasystem

Das Betriebsverhalten des Raumklimasystems in Abbildung 47 zeigt die Entwicklung der Raumtemperatur, überlagert mit der Sollwertverstellung am Raumbediengerät durch den Nutzer (+1 = Temperatursollwert + 100% Verstellbereich / -1 = Temperatursollwert - 100% Verstellbereich) und mit dem Betriebsverhalten des Raumklimasystems. Das Verstellrad des Raumbediengeräts hat – wie häufig – keine explizite Temperaturskala, sondern nur + und - mit jeweils Strichen oder zunehmenden Keilen von 0 aus, sodass der Nutzer die effektiv eingestellte Solltemperatur und den im Hintergrund definierten Verstellbereich nicht kennt. Im Diagramm ist daher auf der rechten Achse nur 1 für voll Heizen und -1 für voll Kühlen angegeben. Die Regler-Stellungen wurden zu Testzwecken manuell verändert. Die restlichen Reaktionen verursacht das System. Hierbei gibt der Sollwertversteller nicht zwingend die thermische Reaktion des Raumklimasystems vor, sondern diese hängt

ausschließlich von den Regelparametern und vom erfassten Raumzustand und -verhalten ab. Auf der Reglerstellung 0, schwingt der Raum um 22°im Kühlfall. Da ab der Grenze 22°C vehement gekühlt, und ab 20°C geheizt wird, sind das die Kriterien für Heizen / Kühlen mit einem Toleranz- / (Tot-) band von +/- 1K um den Sollwert von 21°C. Der Verstellwert (±) ist offenbar mit 3-4K (24-25°C) zu hoch, der Verstellwert, wurde aufgrund der ungenehmen Ausblastemperaturen nicht ausgiebig getestet. Hinzu kommt, dass alle Parameter in Abhängigkeit der Zeit Tag/Nacht übergreifend verändert werden.

Im Verlauf am 26.03. zwischen 12:00 und 16:00 Uhr wird deutlich, dass durch eine übersteuernde Anlagenreaktion in Form der Ausblastemperatur am Gerät mehrfach gegengekühlt wird, obwohl vom Nutzer gemäß Regler-Stellung ein Temperaturanstieg gewünscht ist. Während der Abwesenheitsphase ist offensichtlich, dass das Toleranzband („Losbrechmoment“ der Anlagenreaktion) zu gering und der Proportionalanteil (Intensität der Anlagenreaktion) zu hoch sind. Insgesamt ist der Regelkreis Raumverhalten – Raumklimasystem noch nicht aufeinander abgestimmt, die Geräteparameter sowie die Anlagensystemtemperaturen verstärken zusätzlich das nervöse Betriebsverhalten.

In Abbildung 48 ist für den gleichen Beobachtungszeitraum nur die Regler-Verstellung am Raumbediengerät dem Funktionsstatus als Anlagenreaktion gegenüber gestellt. Bemerkenswert ist, dass aus einer Verstellung am Raumbediengerät durch den großen Verstellwertebereich in Kombination mit dem geringen Toleranzband und dem hohen Proportionalanteil unmittelbar eine thermische Anlagenreaktion resultiert, die jedoch an den eingekreisten Stellen direkt von einer konträren Funktion gefolgt wird.

Während des Beobachtungszeitraums wurde zwischen den zwei Tagen lediglich die Bedienstrategie am Sollwertversteller variiert, die Regelparameter blieben vorerst gleich.

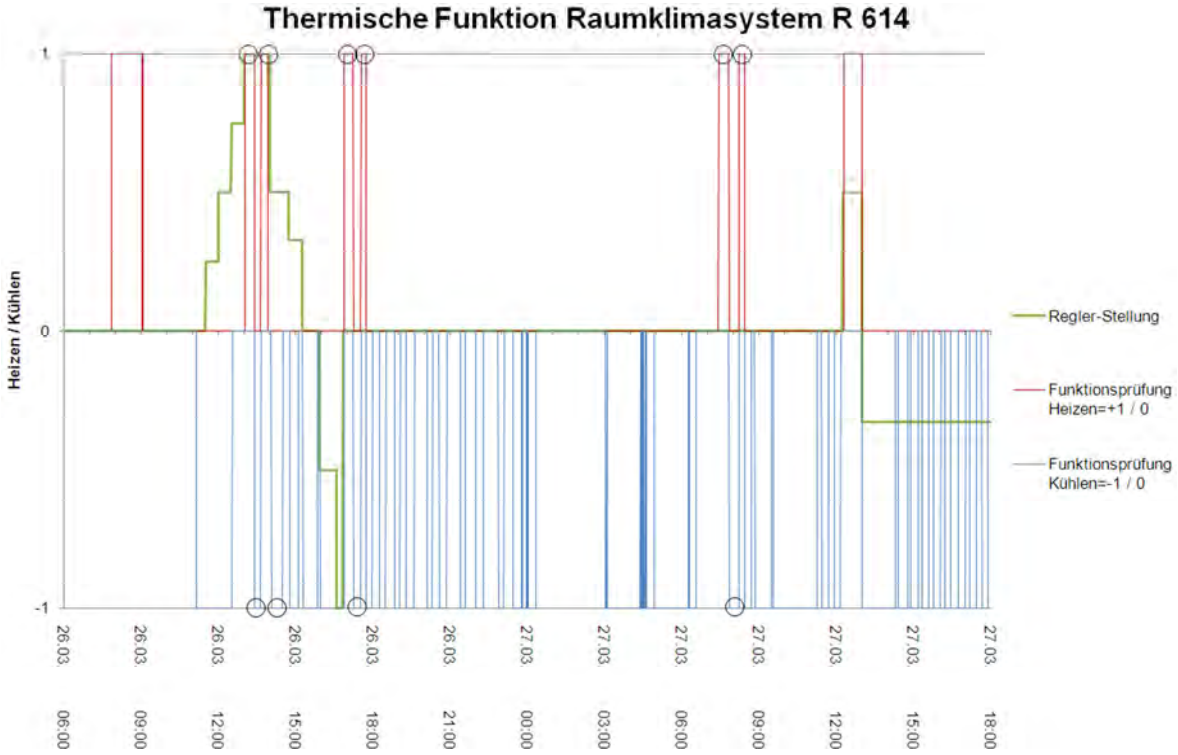


Abbildung 48: Thermische Funktion des Raumklimasystems und die Sollwertstellung des Reglers

Folgende Änderungen der Einzelraumreglerparametrierung wurden im ersten Schritt zur Optimierungsnäherung durchgeführt (s.Tabelle 5). Darüber hinausgehende Änderungen waren für individuelle Bereiche sinnvoll und konnten in Abhängigkeit des sich einstellenden Raum- und Regelverhalten durch den Betreiber im Nachgang selbständig optimiert werden, der über die Wirkungsweise der Parameter und vorzunehmenden Änderungsrichtung in Abhängigkeit von der Beobachtung informiert wurde.

Anhand der Parameteränderungen der Einzelraumregler, die auf die Temperaturen des Luftregisters und die Lüfterstufe wirken, konnte zusammen mit der Anpassung der Kaskaden-Werte für die Schaltstufen und der Hysterese insgesamt die Problematik der Ausblastemperaturen mit hohen Differenzen zur Raumluft sowie schnelle Änderungen der Ventilatorstufen erheblich gemindert werden.

Parameter Einzelraumregelung	Vorher	Nachher
Freigabe Heizbetrieb Tag	$t_{m,h}$ < 30°C Außentemperatur	$t_{m,h}$ < 25°C Außentemperatur
Freigabe Heizbetrieb Nacht	$t_{m,h}$ < 25°C Außentemperatur	$t_{m,h}$ < 18°C Außentemperatur
Freigabe Kühlbetrieb grundsätzlich	AT > -10°C (quasi immer)	AT > 12°C
witterungsabhängige AT-Kennlinien Heiz- und Kühlgruppen	Steigung > 1K/°C AT	Steigung < 1K/°C AT
Basissollwert Anwesenheit / Verstellbereich Raumbediengerät (=RBG)	23°C / ± 3K	22°C / ± 2K
Basissollwert Abwesenheit	keiner	20°C
Toleranzband Komfort	0,5 K	1,0K
Toleranzband Standby	0,5 K	1,5K Ignorierung Verstellwert RBG
Toleranzband Absenkbetrieb	0,5 K	2,0K Ignorierung Verstellwert RBG
Gegenseitige Verriegelung von Heizen / Kühlen je Regler	Sicherstellung indirekt über witterungsgeführte Vorlauftempera-turregelungen und „Temperaturni-veau im Raum“	Totzeit-Kriterium zur Umschaltung
I-Anteil für Heizen und Kühlen	120 sec. (2 Minuten)	360 sec. (6 Minuten)
P-Band für Heizen und Kühlen (reziproke Angabe P-Anteil Regler)	2K	5K
Umluftventilatorsteuerung im Automatik-Betrieb		
Lüfterstufe 1 zur Stellgröße y an Ventil bei	„Ein“ > 15 %; „Aus“ bei < 15 %	„Ein“ > 25 %; „Aus“ bei < 20 %
Lüfterstufe 2 zur Stellgröße y an Ventil bei	„Ein“ > 60 %; „Aus“ bei < 60 %	„Ein“ > 80 %; „Aus“ bei < 75 %
Lüfterstufe 3 zur Stellgröße y an Ventil bei	„Ein“ > 95 %; „Aus“ bei < 95 %	„Ein“ > 98 %; „Aus“ bei < 95 %

Tabelle 5: Regelungsparameter Einzelraumregler (nicht übertragbar, da nicht allgemein gültig)

Außerdem wurde die Ausstattung der Räume mit digitalen Raumbediengeräten vorgeschlagen, welche die exakte Anzeige des eingestellten Soll- und Istwerts ermöglichen.



Abbildung 49: Raumbediengerät der Einzelraumregelung (links: digitaler; rechts: analoger Sollwert-Versteller)

Ergebnis

- Optimierung der witterungsabhängigen Kennlinien der Heiz- und Kühlgruppen
- Anpassung Regelungsfunktionen und -parameter an die Raumregelstrecke zur Funktionssicherstellung

Einsparung	Kälte:	ca. 16%
	Wärme:	ca. 9%

4.2.6 Drei Mehrfamilienhäuser

Im Rahmen der energetischen Inspektion von drei Heizungsanlagen in bauähnlichen Mehrfamilienhäusern mit unterschiedlichen energetischen Standards wurde ein kurzzeitiges Monitoring anhand des mobilen Messsystems durchgeführt. Bei den stets nach dem gleichen Prinzip aufgebauten Heizungsanlagen (vgl. Abbildung 50) variieren lediglich beim Verbraucherheizkreis die Wärmeübergabesysteme von Fußbodenheizung zu Heizkörpern. Ansonsten sind für die Installation der Heizungsanlage bezüglich des Basismoduls der Heizungsstation, Regelung, Umwälzpumpen, Ventile die gleichen Komponenten eingesetzt. Auch die Nutzungsanforderungen mit einheitlicher Wohnnutzung sowie die klimatischen Randbedingungen aufgrund unmittelbarer Nachbarschaft sind identisch.

Dennoch hat sich gezeigt, dass aus sehr ähnlichen Anlagen- und Gebäudekonstellationen grundverschiedene Energieeffizienz-Verhältnisse hinsichtlich der:

- Verbrauchsmengen
- Heizleistungskennlinie in Abhängigkeit vom Monatsminimum der Außentemperatur
- Betriebsverhalten wie Temperatur- und Lastspitzen und Regelungseinstellungen, wie Zeitprofile

auftreten.

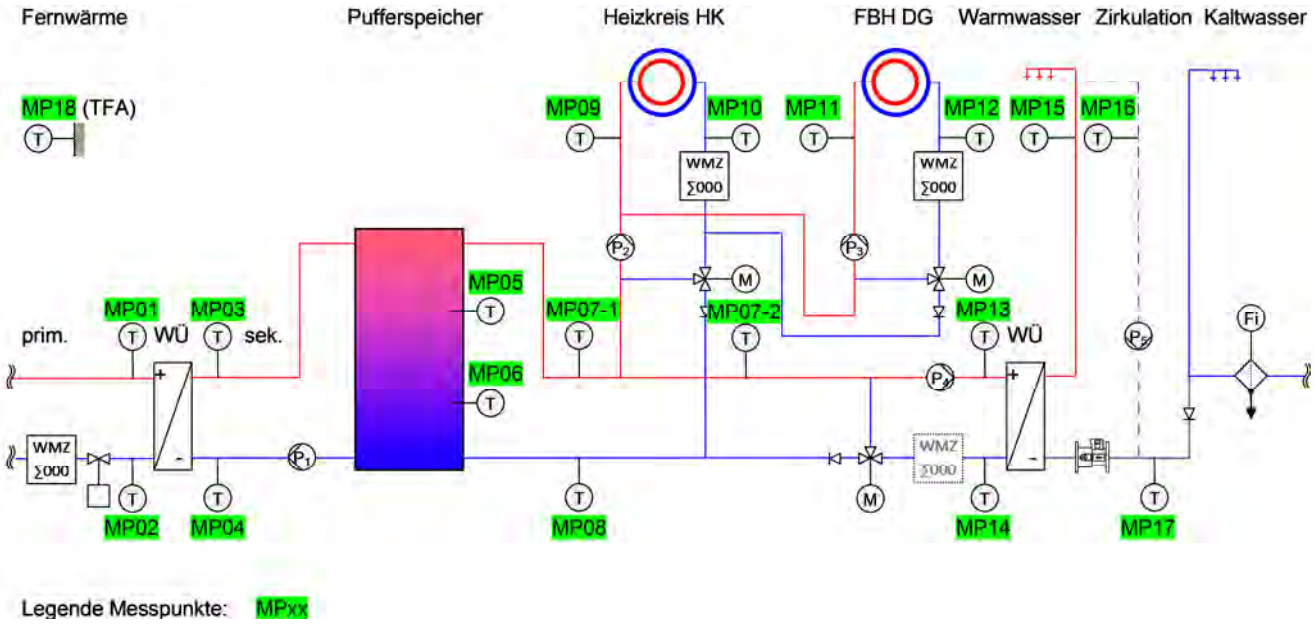


Abbildung 50: Temporär installierte Messpunkte des Monitoringsystems im Anlagenschema

Die eklatanten Unterschiede im Betriebs- und Regelverhalten trotz baugleicher Anlagensysteme zeigen, dass Energetische Inspektionen mit Untersuchung und Identifikation von Energieeffizienzmaßnahmen eine äußerst individuelle Aufgabenstellung darstellt. Hinzu kommt die Erfahrung, dass der unmittelbare Querabgleich der Anlagen untereinander zusätzliche Erkenntnisse bringt. Zwar wurden bereits auch Regelverhalten von Verbraucherkreisen gleicher Kategorie aus anderen Pilotprojekten beispielsweise dem unter 4.2.3 abgeglichen, doch die Messdatensammlung gleichartiger, direkt vergleichbarer Projekte erleichtert die Gegenüberstellung. Denn die Identifikation von Optimierungsmöglichkeiten beruht hauptsächlich ohnehin auf Soll-Ist-Abgleichen.

Für die beobachteten Unterschiede, sind insbesondere verschiedene Systemtemperatureinstellungen der Primärkreise zu den Sekundärkreisen bis zu den Verbraucherkreisen verantwortlich. Beispielsweise wurde im Abgleich der Heizungsanlagen untereinander festgestellt, dass offenbar versehentlich unterschiedliche Rücklauftemperatur-Sollwerte am Regler des 2-Wege-Regulierventils zur Rücklauftemperaturbegrenzung der Fernwärme eingestellt oder nachträglich verstellt wurde. Da diese Diskrepanz nicht im Unterschied der energetischen Bautypen begründet war, musste der Wert entsprechend einheitlicher Lieferungs- und Anschlussbedingungen angepasst werden. Ferner wurden unterschiedliche Regler- und Zeitprofile der Steuerung sowie unbegründet verschiedene Einstellungen an Komponenten, wie Betriebspunkte und -modi der Umwälzpumpen, identifiziert. Im Einzelfall sorgen auch Installationsfehler, wie fehlende Rückschlagklappen oder defekte Regelventile für eine hohe Abweichung im Betriebsverhalten der Anlagen.

Obwohl bei den Anlagen die vorliegenden Fehler Schnittmengen aufwiesen, führte die Messwerterfassung durch temporäres Monitoring mit detaillierterem Einblick in das Betriebsverhalten zu sehr unterschiedlichen Bewertungen, die aus dem normativen Verfahren nicht hervorgegangen wären. Vor allem resultierten aus der Analyse zu jeder Anlage andere Optimierungsempfehlungen zur Sicherstellung der im Rahmen der Anlageninstallation möglichen Effizienz.

Vor Allem im Abgleich der Messungen untereinander treten Unterschiede hervor. Während beispielsweise Anlagenkreise bei einem System mit Vorlauftemperatur-Konstant-Regelung mit lastabhängig abfallender Rücklauftemperatur betrieben werden, sind bei anderen Systemen an gleicher Stelle Vorlauftemperaturregelungen mit ansteigender Kennlinie und niedrigerer, konstanter Rücklauftemperatur zu beobachten. In Teillastfällen treten in erstem Fall erhöhte Bereitschafts- und Verteilverluste sowie eine schlechtere Regelung der Wärmübergabe aufgrund der höheren mittleren Heizflächentemperaturen auf. Die hohe Rücklauftemperatur verhindert zudem eine effiziente Wärmeübertragung auf den Sekundärkreis.

Zur Darstellung der Messwerte befinden sich unter Punkt 6.3.1 (Anhang 4) Verweise auf die beiliegenden Dokumente.

Ausschnittsweise werden an dieser Stelle die Analyseergebnisse einer Anlage zur exemplarischen Demonstration der identifizierbaren Effizienzkriterien aufgeführt. Bei den Auffälligkeiten wird zur Erläuterung auf die Diagramme und Seitenzahl verwiesen, die in diesem Fall auf das Dokument für Haus 3 bezogen sind.

- Hauptheizkreis (sekundär), Pufferspeicher

Der Vorlauf des Hauptheizkreises mit einem Mittelwert von 81,3°C ist sowohl zeitlich konstant als auch klimatisch unabhängig (→ s. Seite 9 als Zeitverlauf und Seite 12 als 24h-Profil sowie Seite 10 als Außentemperaturkorrelation).

Last- und Spreizungsabhängig nimmt lediglich die Rücklauftemperatur ab, die Vorlauftemperatur hingegen bleibt konstant (→ s. Seite 11 u. 13). Im Diagramm auf S.13 mit jeweiliger Korrelation der Systemtemperaturen im Vor- und Rücklauf wird ersichtlich, dass der Sekundärkreisvorlauf bei Variation des Fernwärmevorlaufs über 20K konstant um 81°C (± 2K) mittels geregeltem primärseitigen Volumenstrom ausgeregelt wird, während bei einer Wärmetauscher-Situation die RL-Temperaturen entsprechend des Übertragungsgrades ohnehin linear voneinander abhängig sind, falls kein fehlgeregeltes „Durchschießen“ des Primärmediums ohne Abnahme auftritt. Ebendieser Fall kann hiermit überprüft werden. Sind in der Korrelation der Temperaturen hohe Streuungen sichtbar, kann von entsprechenden Schwankungen und ungleich geregelten Volumenströmen Primär- zu Sekundärseite ausgegangen werden.

Da die Vorlauftemperatur jedoch kaum abfällt, ist sekundärseitig von einem stetigen Volumenstrom und Pumpenbetrieb auszugehen, obwohl der Pufferspeicher einen geregelten, intermittierenden Betrieb der Zubringerpumpe ermöglichen und sich dadurch ein Temperaturgradient im Speicher einstellen würde. Ferner geht eindeutig hervor, dass eine Konstant-Regelung bezüglich des sekundären Vorlaufs vorliegt, anstatt einer Konstant-Regelung bezüglich des Fernwärmerücklaufs, denn der sekundärseitige Rücklauf und der primärseitige Fernwärmerücklauf variieren, entsprechend des Zusammenhangs auf einer Diagonalen. Die sekundärseitige Vorlauftemperatur ist jedoch auf eine witterungsunabhängige Konstante eingestellt.

Letztlich resultiert aus dem Regelverhalten eine erhöhte Ineffizienz, da in Teillastfällen durch zu hohe Systemtemperaturen und permanente Temperaturvorhaltung über den kompletten Pufferspeicher erhöhte Bereitschafts- und Verteilungsverluste bestehen. Darüber hinaus werden durch die hohen Rücklauftemperaturen die volumenstrombezogenen Wärmeübertragungsraten vermindert und der Förderaufwand erhöht.

Der Pufferspeicher befindet sich permanent im durchgeladenen Zustand (MP05, MP06 vgl. Abbildung 50), da die Speicherladepumpe auf dem Betriebsmodus „Hand ein“ steht. Die Spreizung – dargestellt als aufgespannte Fläche zwischen den beiden Messkanälen aus Vor- und Rücklauftemperatur – ist daher äußerst gering (→ s. Seite 7, 8). Da die Spreizung wie beschrieben und als Mangel ausgewiesen sehr gering ausfällt, ist die als Fläche abgebildet u.U. schwer erkennbar. Der Vergleich der Systemtemperaturen in den Systemabschnitten und den Kreisen untereinander innerhalb der Heizungsanlage (→ s. Seite 7), der zeigt, dass der Rücklauf aus dem Verteiler (MP08) zwar auf den Rücklauf Fernwärme (MP02) und den Rücklauf im Hauptheizkreis (MP04; → s. Seite 14 u. 28), aber während der Beobachtungszeit kaum und nur in geringem Maß bis zur mittleren Temperatur des Pufferspeichers (MP05/MP06) durchschlägt, macht deutlich, dass stets ein höherer Volumenstrom im sekundären Hauptheizkreis als im Verteilerkreis besteht. Dies bestätigt den Zustand der Dauer-Durchladung des Pufferspeichers.

Die Auswertungen des Pufferspeichers (→ s. Seiten 15-20) sind daher nicht weiter analyserelevant. Denn ein Pufferspeicherverhalten sowie eine Temperaturschichtung kann nicht beobachtet werden.

Auch der Verlauf der Temperaturen im Pufferspeicher mit +/- 2K Streuung um 80°C sind analog zu den anderen Kreisen zeitlich und klimatisch bedingt invariant (→ s. Seite 16 u. 18). Insgesamt ist anhand des Diagramms (→ s. Seite 20 u. 21) erkennbar, dass eine erhebliche Grädigkeit, d.h. ein Temperaturfall zwischen den

Messpunkten MP03 (VL Heiz sek.) über MP05 Puffer oben bis zum MP07-1 VL HK-Verteiler und MP07-2 VL TWWB-Verteiler besteht. Im Mittel beträgt die Diskrepanz über 2,4K zwischen dem Hauptheizkreis sekundär bis zum Hauptverteilervorlauf. Vor allem der Abfall um weitere etwa 5K, insgesamt im Mittel von 7,8K zur Warmwasserbereitung (MP07-2) ist hinsichtlich der dortigen Temperaturanforderung unerwünscht und problematisch.

Die Temperaturen am MP07-1 VL HK-Verteiler und MP07-2 VL TWWB-Verteiler unterscheiden sich stark. Denn der Verteiler ist in allen Gebäuden in 2 Seiten (li.: Heizkreis, re: BWWB – vgl. Abbildung 51) aufgeteilt. Daher wurden in diesen Rohrabschnitten 2 Sensoren installiert, einer im VL zum Verteiler, einer nach dem T-Stück zur rechten Seite für die BWWB. Auch wenn ein gewisser Anteil der Messunterschiede auf die Sensoren und unterschiedliche Strömungsverhältnisse an den Tauchhülsen zurückzuführen sind, ist der Hauptbestandteil der Temperaturunterschiede anlagenbedingt.



Abbildung 51: Anlagenzentrale mit Verteiler und dahinter liegendem Pufferspeicher

- Heizkreis Heizkörper

Die Vorregelung des Heizkörperkreises mischt den Vorlauf auf einen konstanten Sollwert von 60°C ab, hierbei werden exergetisch 20°C Temperatur-Leistungspotenzial permanent vernichtet (→ s. Seite 22 u. 23).

Auch die Korrelation der Heizkreistemperaturen zu dessen Spreizung (→ s. Seite 24) macht die Regelcharakteristik deutlich, dass bei zunehmender Spreizung ausschließlich die Rücklauftemperatur abfällt. Einzig eine kurzfristig (während der Legionellenschaltung der Warmwasserbereitung) vorherrschende Änderung der Regelung um ca. 1:00 Uhr am 29.01.2014 (→ s. Einrahmungen Seite 22 u. 25) und die daraus resultierenden wenigen Punkte im Diagramm (→ s. Seite 24) zeigen den umgekehrten Zusammenhang, der bei last- und spreizungsabhängig ansteigender Vorlauftemperatur möglich wäre.

Ab einer Spreizung von 30K steigt die Vorlauftemperatur und die Rücklauftemperatur bleibt konstant. Diese Umkehrung der vorlaufgeführten Regelungsweise stellt sich ansonsten erst ab einer Spreizung im Heizkreis über 30K ein. Grund für die Änderung ab einer Spreizung von über 30K und einer Rücklauftemperatur unter 30°C ist vermutlich, dass ab diesen Temperaturen Sicherheitskriterien der Regelung (z.B. Frostschutz) greifen, die eine weitere Anhebung der Systemtemperaturen jenseits der Auslegungstemperaturen des Heizkreises bewirken. Darunter und dies zur häufigsten Zeit (→ s. Seite 8) wird eine weitere Reduktion der Vorlauftemperatur verhindert. Hierin wir eine unnötige Temperaturvorhaltung im Heizkörperkreis mit Bereitschafts- und Verteilverlusten sowie der Tendenz zur Temperaturüberschwingung im Raum während den Teillastzuständen in den Übergangsphasen gesehen.

Der insgesamt linear verlaufende Zusammenhang im Diagramm (→ s. Seite 24) ist auf die adäquate Volumenstromanpassung der drehzahlgeregelten Pumpen zurückzuführen.

Am häufigsten treten im Heizkreis Spreizungen zwischen 10K und 20K auf (→ s. Seite 8), diese Verteilung ist teillastbedingt in Ordnung.

- Warmwasserbereitung

Der Heizkreis zu Warmwasserbereitung weist eine wöchentliche „Anti-Legionellen-Schaltung“ auf. Dabei wird stets um 1:00 Uhr am Mi., 29.01.2014 das Warmwasser auf über 75°C und der Zirkulationsrücklauf auf über 65°C aufgeheizt (→ s. Seite 36 u. 38). Die DVGW (s. Arbeitsblatt W551 [12]) sieht die thermische Desinfektion bei Temperaturen ≥ 70°C für mind. über 3 Min. bzw. bis 70°C im Zirkulationsrücklauf angekommen sind, als erfüllt.

Während der übrigen Zeit wird auch in diesem Heizkreis die anstehende Temperatur von ca. 75°C permanent auf unter 60°C herunter gemischt (→ s. Seite 36).

Bezüglich der dargestellten relativen Häufigkeitsverteilung der Warmwassertemperatur (MP15; → s. Seite 42) wird auf die DVGW-Arbeitsblatt W551 [12] hingewiesen, dass eine Austrittstemperatur von stets ≥60°C und am Zirkulationsrücklauf ≥55°C fordert. Bezüglich der Warmwasserbereitung kommen daher lediglich Einstellungen zu Energiesparzwecken ausschließlich unter der Einhaltung des Schutzes der Trinkwasserhygiene in Betracht.

Trotz dauerhaften Betriebs der Zirkulation zeugt die Spannweite (Min.- zu Max.-Wert) des Messkanals (MP15 VL in das Warmwassernetz) von 21K von einer relativ hohen Streuung >35%. Der Temperaturverlauf des Warmwassers besitzt vom Mittelwert aus nach unten mit <5% eine geringe und nach oben mit >5% eine mittlere Variabilität.

Hinsichtlich zulässiger Temperaturdifferenzen an der Entnahmearmatur wird auf die Komfortanforderungen der Richtlinie VDI 6003 [15] verwiesen, die Temperaturen, Zapfmengen und Wartezeiten bis zur Verfügbarkeit der jeweiligen Nutztemperatur vorsieht. Die VDI lässt eine Differenz bei Stufe I von +/- 5K, bei Stufe II von +/-4K und bei Stufe III von +/-2K zu. Systembedingt treten im Durchlauferhitzersystem höher Schwankungen (→ s. Seite 42) als in Speichersystemen auf.

Ursache kann die Pumpenregelungsart Δp-c für die Pumpe (P_3) – vgl. Abbildung 50 – sein. Demgegenüber ist in allen anderen Heizungsanlagen diesbezüglich Δp-v eingestellt. Hier ist zu prüfen, ob die Regler-Funktion in Kombination mit einer Pumpenregelungsart Δp-v eine konstantere Temperatur am Wärmeübertrager sicherstellen kann. Weitere Gründe können in einer hydraulisch nicht einregulierten Beimischstrecke des über ein Mischventil temperaturgeregelten Heizkreises sowie in einem zugesetzten Wärmetauscher mit erhöhten Druckverlusten liegen. Denn gegenüber den anderen Objekten in denen die Pumpenförderhöhen zwischen 3,5m und 4,2m eingestellt sind, steht diese Pumpe auf H = 6,0m. Gleichzeitig ist die Diskrepanz mit 3,2m zwischen Soll- und Ist-Förderhöhe von 2,8m am höchsten (im Vergleich dazu 0,6 bis max. 2,2m in anderen Anlagen). Zudem spricht dafür, dass die Pumpe, obwohl sie von kleinerer Dimension als die Pumpen in den Heizkreisen ist, mit 76W die doppelte Leistungsaufnahme (Momentanwert) und auch nahezu den doppelten Verbrauch mit 14kWh aufweist. In den anderen Objekten wurde innerhalb einer Woche nur ein Verbrauch von 3-8kWh beobachtet. Durch den hohen Pumpendruck kann auch über die heizkreisseitige Beimischstrecke, die hydraulisch u.U. den günstigeren Weg darstellt, ein anteilig zu hoher Volumenstrom bei Öffnung des Mischventils beigemischt werden. Als weitere übliche Ursachen kommen folgende Aspekte in Betracht und sind zu prüfen:

- Zu hoher Druckabfall, durch zu geringe Einstellung am Druckminderer oder verschmutzter Filter (Schwankungen treten vorwiegen in den oberen Geschossen auf)
- Starke Kalksteinbildung am Wassererwärmer / im Plattenwärmeübertrager
- Falsch dimensionierte oder durch Kalk querschnittsreduzierte Warm- oder Kaltwasserleitungen bereits in den Steigesträngen oder – mitunter nur zu einzelnen – Zuleitungen zu Entnahmearmaturen aufgrund geänderter, höherer Durchflussmengen ohne Begrenzer (Auftritt bei Zapfung an 2. Entnahmearmatur

an hydraulisch günstigerer Stelle durch gegenseitige Beeinflussung: 2. Warmwasser → 1. kälter, 2. Kaltwasser → 1. Wärmer; d.h. Abfall des Fließdrucks im gesamten bzw. nachfolgenden Strang)

- Rückfluss aus dem kälteren Zirkulationsrücklauf durch nicht vorhandene / schließende Rückschlagklappe oder ungünstiger Positionierung des Rückflusses in der Zirkulationsleitung

Die Schwankungen treten vorwiegend während der Bedarfszeiten von 6:00 bis 22:00 Uhr auf. Außerhalb der Zeiten kann eine Abschaltung der Zirkulation vorgenommen werden. Die DVGW Richtlinien für Trinkwasserhygiene erlauben für hygienisch unbedenkliche Anlagen, was das vorhandene Durchflusserhitzersystem i.d.R. erfüllt, eine Abschaltung bis zu 8h/d. In diesem Rahmen liegt die Festlegung der Abschaltzeiten im Ermessen der Eigentümergemeinschaft.

Als optimale Maßnahme wird eine drehzahlgeregelte Hocheffizienzpumpe mit elektronischem Zirkulationskontroller (selbstlernende Anpassung der Zirkulationszeiten) empfohlen. Der Pumpenaustausch entsprechend der dem Analysebericht beiliegenden Wirtschaftlichkeitsberechnung amortisiert sich zwar aufgrund des Neu-Invests nicht, als Alternativ-Invest zur vorhandenen Pumpe zum Zeitpunkt der Anlagenerrichtung hätten sich die Zusatzkosten jedoch aufgrund der Strom- und Wärmeeinsparungen bereits in kurzer Zeit amortisiert.

Ergebnis:

Das identifizierte Effizienzoptimierungspotenzial bezüglich der Gebäudeheizung beträgt auf Grundlage des entwickelten Berechnungsblatts der Einsparung durch Nachtabsenkung mind. 11%; die Systemtemperaturanpassung durch witterungsgeführte Vorregelung wird u.E. zusätzliche 7% Effizienzoptimierung bringen.

Aufgrund der möglichen Zirkulationsunterbrechung der Warmwasserbereitung kann ebenfalls eine Einsparung von 25% der diesbezüglichen Bereitschaftswärme sowie des Stromverbrauchs der Zirkulationspumpe erzielt werden.

4.3 Auswertung und Kriterien zur Identifikation von Energieeinsparpotenzialen

4.3.1 Auswertung und Ergebnisdarstellung

Die Visualisierung wandelt die erfassten Daten in sicht- und lesbare sowie verständliche Darstellungen um. Dieser Bearbeitungsschritt der anlagenhierarchisch strukturierten und standardisierten Visualisierung je Unterelement mit erfassten und berechneten Daten ist unumgänglich. Denn die Art und Qualität der Visualisierung, die vom Zeitintervall und dem Umfang der Datenerfassung abhängt, ist entscheidend für das Erkennen von Optimierungspotentialen einer Anlage. Hierfür bietet das Messkanalanalyseprogramm die geeignete Grundlage sowie die entwickelten und unter 3.2.2 beschriebenen Vorgehensweisen mit hinterlegten Berechnungsabläufen und Report-Vorlagen liefern die Analysemethodik im Rahmen des mobilen Kurzzeitmonitorings.

Anfänglich können bereits einfache Visualisierungen, wie die Auftragung der Anlagenwerte über die Zeit, ausreichen, um durch Änderung des Zeitprogramms, Nutzer- oder Anlagenverhaltens erhebliche Einsparungen zu realisieren.

Aus den Auswertungserfahrungen der Pilotprojekte hat sich die je Messkanal bzw. zugehörigen Messkanälen zusammengefasste Erstellung von Sätzen an gleichartigen Diagrammauswertungen, wie z.B. zu VL- und RL-Temperaturen eines Kreises, als zweckmäßig herausgestellt.

Die Auswertungssätze bestehen aus aufgetragen Messwerten über die Zeitachse des gesamten Beobachtungszeitraums sowie ausgewählten Zeitausschnitten für einen typischen Wochentag und das Wochenende.

Darüber hinaus werden je zusammengehörige Gruppe 24h-Profile (Punktewolke aller Daten deren Mittelwerte sowie mit Min- Max-Hülllinien je Messkanal) erstellt. Ebenso dienen Außentemperaturkorrelationen (Auftrag über die Zeitachse mit sekundärer y-Achse für die Außentemperaturwerte oder x-y-Zuordnung der Werte (Systemwert über zeitlich zugehörigem Außentemperaturwert als Punktewolke) als Grundlage der Analyse und Identifizierung von Auffälligkeiten (Nullwerte, Peaks, (Über-)Schwingungen, Unstetigkeiten, Streuungen)

bezüglich einer zeitprogrammabhängigen Steuerung oder witterungsabhängigen Regelung. Bei der letztgenannten Art des Diagramms erfolgt die Analyse der aus den korrelierenden Werten resultierenden Punktewolke vorwiegend optisch.

Die Funktion einer rechnerischen Ermittlung und Darstellung einer Regressionsgeraden ist prinzipiell zwar gegeben, doch in der Regelungs- und Anlagentechnik sind in derartigen Kennlinien meist Knickpunkte (Heizgrenze und Auslegungsgrenze) vorhanden, sodass die Bildung einer Regressionsgeraden über alle Werte nicht sinnvoll ist. Hier ist in der Regel zunächst eine Auswahl eines Intervalls aus der Grundgesamtheit erforderlich, um abschnittsweise Regressionsanalysen geeignet anwenden zu können. Bei eindeutiger Bildbarkeit der Regressionsgeraden ist der Zusammenhang ohnehin optisch offensichtlich.

Üblicherweise interessieren die exakten Kurvenparameter einer Regressionsgeraden auch nicht, da sich diese – u.U. überlagert von anderen Effekten – sowieso nicht direkt in hinterlegten Regelungskurven eines Reglers auffinden lassen – vorausgesetzt die Zugänglichkeit auf die Systemebene, auf welcher dies definiert wurde, ist überhaupt gegeben. Überwiegend reicht die qualitative Bewertung der Grenz- und Knickpunkte sowie der Kurvenlage in Bezug auf die systemspezifischen Gegebenheiten mit Differenzierung in insgesamt „zu hoch“ / „zu niedrig“ und der Steigung in „zu steil“ / „zu flach“ zunächst zur Ergründung und Abklärung einer Optimierungsmöglichkeit im Dialog mit dem Nutzer oder Betreiber aus. Die Beobachtung aus dem temporären Monitoring kann mit den Einstellungen der Regelung abgeglichen sowie Anpassungen diskutiert und anschließend ausprobiert werden (idealerweise während die Messung noch bzw. ein zweites Mal erneut läuft).

Zudem werden Systemtemperatur-Korrelationen, wie Primär-Sekundärkreis-Korrelationen durch gegenüberstellenden Auftrag der jeweiligen zwei Systemtemperaturen der Kreise über die Zeitachse des gesamten Beobachtungszeitraums bzw. ausgewählter Zeitausschnitte erstellt (Beispiel: Diagramme auf den Seiten 13, 19, 26-27, 34 und 39 im Anhang 4; Punkt 6.3.1 des Pilotprojekts Haus 3 unter 4.2.6). Ebenso kann anhand gegenüberstellendem separaten Auftrag in einem zusätzlichen Diagramm mit n-fachen Achsensystemen und synchronisierter x-Achse und ggf. mit Flächenaufspannung zwischen zwei Messkanalkurven für VL und RL eine wertvolle Darstellung zur Analyse und Identifikation generiert werden. Zudem wird in Form einer x-y-Zuordnung der Werte als Punktewolke eine Charakteristik des Zusammenhangs der Werte erstellt.

Anschauliche 3D-Flächendiagramme können durch Inbezugsetzung von drei zusammenhängenden Systemgrößen (z.B. Tripel-Werte wie VL, RL, Spreizung, oder Tupel-Werte wie Temperatur und Luftfeuchte über die Zeit) generiert werden. Allerdings sind diese Darstellungen nur aussagekräftig, wenn daraus ein charakteristisches Kennfeld oder deutliche Auffälligkeiten (Extremwerte o.ä.) resultieren. Für die Erläuterung stellt diese Darstellung ein hilfreiches Erläuterungsmittel dar, aus dem beispielsweise erkennbar wird, bei welchen Systemzuständen ein gewisses Verhalten auftritt. Denn meist sind bereits aus der Korrelation der Systemtemperatur zu Spreizungen die Auffälligkeiten bzw. Unregelmäßigkeiten erkennbar. In diesem Zusammenhang exemplarisch zu nennen wäre die anhand von Temperaturverläufen identifizierte Fehlzirkulation in einem Verteilkreis (vgl. Abbildung 36 unter Pkt. 4.2.2) oder das bereits aus einer untypischen Lastgangverteilung wie in Abbildung 52 erkennbare Optimierungspotenzial.

Als hilfreicher – vor allem zur Erkennung wochenprofilsbedingter Auffälligkeiten – haben sich demgegenüber Isometrie-Ansichten aller Verlaufskurven je Tag über alle Wochentage herausgestellt, die als Raumkurve oder Spikes mit z-achsenwertabhängiger Farbpalette dargestellt sind.

Eine wiederum reduzierende Spezialform der 3D-Auswertung und Darstellung bilden die sog. Raster- bzw. Streifendiagramme (carpet plots), anhand der sich Verbrauchs- und Betriebsmuster erkennen lassen. Dabei werden die Messwerte entlang der Z-Achse über einer vom 24h-Profil und den Wochentagen aufgespannten X-Y-Achsenfläche aufgetragen und in einer vom Z-Wert abhängigen Intensität eingefärbt. I.d.R. werden derartige Diagramme in der Draufsicht dargestellt, doch auch Isometrie-Ansichten als Mischform von Rasterdiagrammen und den zuvor erwähnten Verlaufskurven sind möglich. Ebenso ist diesbezüglich eine tabellarische Auswertung – beispielsweise für Lastganganalysen – möglich, indem die Zellen werteabhängig gefärbt werden.

Des Weiteren wird die Auswertung um standardmäßig je nach Gruppentyp berechnete Größen, wie Min.-, Max.- und Mittelwerte, Spreizungen, Mischventilstellung, Taupunkt (bei Lufttemperaturen) ergänzt.

Jedoch hat sich auch herausgestellt, dass vor allem zur Erläuterung und Präsentation der Auswertung stets manuelle Eintragungen von Markierungen mit individuellen Hinweisen zu auffälligen Systemzuständen (z.B. Unstetigkeit aufgrund Wechsel der Betriebsmodi), Charakteristika (Bedarfs- und Lastgang), Grenzlinien (Heiz- / Kühlgrenzen oder Betriebsbereiche), Korrelationsgeraden (z.B. Heiz- / Kühlkurve) zu ergänzen sind. Ohne derartige Betrachtung und Überarbeitung durch den Projektbearbeiter mit versorgungstechnischer Sachkenntnis sowie Kenntnis der individuellen Situationen aus der Installation der Messpunkte sind komplexere Zusammenhänge nicht zu erläutern. Diese können in den meisten Fällen auch nicht anhand von vorformulierten Kriterien und Methoden abgeprüft werden, sondern sind lediglich durch visuelle Auffälligkeiten erkennbar.

Regressionsanalysen sind für die Interpretation der Daten von hoher Bedeutung. Auf diese Art der Darstellung und Datenauslegung, bei welcher zwei verschiedene Größen als Punktmenge aufgetragen werden, sind bedauerlicherweise kaum vordefinierte Methoden zur geeigneten Auswahl der Kanalwertepärchen anwendbar. Beispielsweise werden in den Auswertungen des temporären Monitoring stets die Systemtemperaturen (VL-/ RL-Temperaturen auf der y-Achse) über die mittlere Außentemperatur (x-Achse) aufgetragen. Häufig wird dabei manuell eine Variation des Mittelwertbildungsintervalls vorgenommen, um eine aussagekräftige Charakteristik zu erhalten.

Zwar sind hierbei auch mathematische Regressionsverfahren anwendbar, doch vornehmlich durch optische Auswertung der Punkthäufungen erhält man relevante Erkenntnisse über die Parameter der Vorlauftemperaturkurve der Heiz- / bzw. Kühlkennlinie, u.U. die Heiz- / Kühlgrenze und über die Streuung die Regelungsqualität.

Aufgrund von u.U. erheblichen Streuungen, Ausreißer-Punktefeldern sowie aus technischen Kriterien ergeben sich mitunter Teilmengen, die als sinnvolle Datengrundlage für die Regressionsbildung heranzuziehen sind. Daher können automatisch errechnete Regressionskurven keine signifikanten bis hin zu falschen Aussagen liefern.

Eine hohe Streubreite der Punktmenge bedeutet u.U. eine stark schwankende Energieabnahme bei gleichen klimatischen Bedingungen, die durch ungeeignete Vorregelung der Verbraucherkreise oder signifikante Änderung der Bedarfssituation innerhalb des Beobachtungszeitraums (z.B. über längere Zeit offen stehende Türen aufgrund von Anlieferungs- oder Umzugsprozessen) entstehen kann. Weiterer Grund kann, wie im Pilotprojekt unter 4.2.5 erfahren, die Beobachtung einer vorgenommenen Umstellung der Kennlinie selbst sein. Oder auch wie im Pilotprojekt unter 4.2.6 bezüglich der Regelungscharakteristik des Verteilkreisabgangs für statische Heizkörper beobachtet, kann ein zwischenzeitlich herrschender Betriebsmodus (z.B. Legionellenschutzschaltung) eine Erklärung für ein konträres Betriebs- und Regelungsverhalten sein. Meist hilft zunächst die „Ausreißer“ zeitlich und örtlich (d.h. Identifikation des Verbrauchers) so gut wie möglich einzugrenzen, um Vorfälle diesbezüglich gezielt recherchieren zu können. Denn wie aus den Projekten erfahren, können für ein beobachtetes Phänomen die Gründe sehr vielfältig sein. Je mehr Vorfälle und Zusammenhänge bereits aus Erfahrung bekannt sind, umso breiter gefächert können in der Hinsicht die Überlegungen und Überprüfungen von Aspekte routinemäßig vorgenommen werden.

Ein weiteres Beispiel der methodischen Identifikation von Effizienzoptimierungspotenzialen stellt die Heizkennlinie dar. Mit abnehmender Außentemperatur steigen i.d.R. die Systemtemperaturen. Hierzu gibt es eine Vielzahl an Beschreibungen dieses Zusammenhangs anhand von Steilheit und Parallelverschiebung der Heizkurve mit zugehörigen Anhaltswerten für die Einstellung. Für die Anwendung einer analytischen Methode zur Optimierung der Heizkurve oder Identifizierung einer ungeeigneten Heizkurve auf Basis von Kennwerten sind bereits zahlreiche Klassifizierungen notwendig, sodass der endgültige Abgleich auch manuell vorgenommen werden kann. Insbesondere gilt auch hier die vorgenannte Einschränkung hinsichtlich der Regressionsanalyse bei erforderlicher Vorselektion der Datengrundlage und der Gefahr von Extrapolationsfehlern.

Die Exakte rechnerische Ermittlung der einzelnen Parameter der Heizkurve unter Berücksichtigung der vielfältigen und objektspezifischen Einflussgrößen kann jedoch nicht auf Berechnungsweg mit deterministischen Variablen erfolgen, sondern erfordert mit Hilfe von Rekursion oder „statistischen“ Kumulationsspeicher selbstlernende, adaptierende Regelsysteme, die sowohl Teil- als auch Volllastfälle durchlaufen haben müssen und dabei die Eingangs-, Führungs-, Soll- und Stellwerte mit den resultierenden Ausgangswerten erfasst haben. Während Einzelraumregler mit selbstlernenden Betriebsmodi zur automatischen Optimierung der eigenen Regelparameter (P-, I-, D-Anteile) mit Anpassung an die Regelstrecke während einer Lernphase bereits bestehen [z.B.: Siemens Building Technologies, Raumtemperaturregler REV12 Typ 2261], sind derartige Systeme für komplexe Verteilerstrukturen mit mehreren Heiz- oder Kühlkreisen jedoch in dieser Gesamtheit weder konzipiert noch auf dem Markt verfügbar.

Im Rahmen der kurzzeitigen Messwerterfassung einer Anlageninspektion ist dieser Informationsgehalt nicht komplett verfügbar. Daher können sich die Aussagen nur auf einen begrenzten Datenumfang eines Zeitfensters stützen, das lediglich einen eingeschränkten Ausschnitt der gesamten Bandbreite der Außen- und Systemtemperaturkorrelation enthält.

Je höher der energetische Standard der Gebäudehülle, je flacher kann die Kurve verlaufen, denn umso geringer ist der Einfluss der Außentemperatur auf den Energiebedarf. In vielen Fällen ist die energetisch sinnvolle und mögliche Systemtemperatur aufgrund zu hoher Heizkennlinien nicht eingestellt. Steile Kurven und hohe Heizgrenzen sind Indikatoren für hohe Transmissionswärmeverluste. Die Anpassung einer zu hohen oder steilen Kurve ist nur durch Abgleich mit den sich einstellenden Spreizungen je Kreis und einem erfahrungsbasierten Vergleich mit der energetisch grob begutachteten Gebäudehülle möglich.

24h-Profile oder Wochentagprofile (Punktewolke aller Daten oder Mittelwerte der Daten mit Min- Max-Hülllinie je Messkanal) geben die Verbrauchsprofile im Abgleich der Nutzungszeiten wieder.

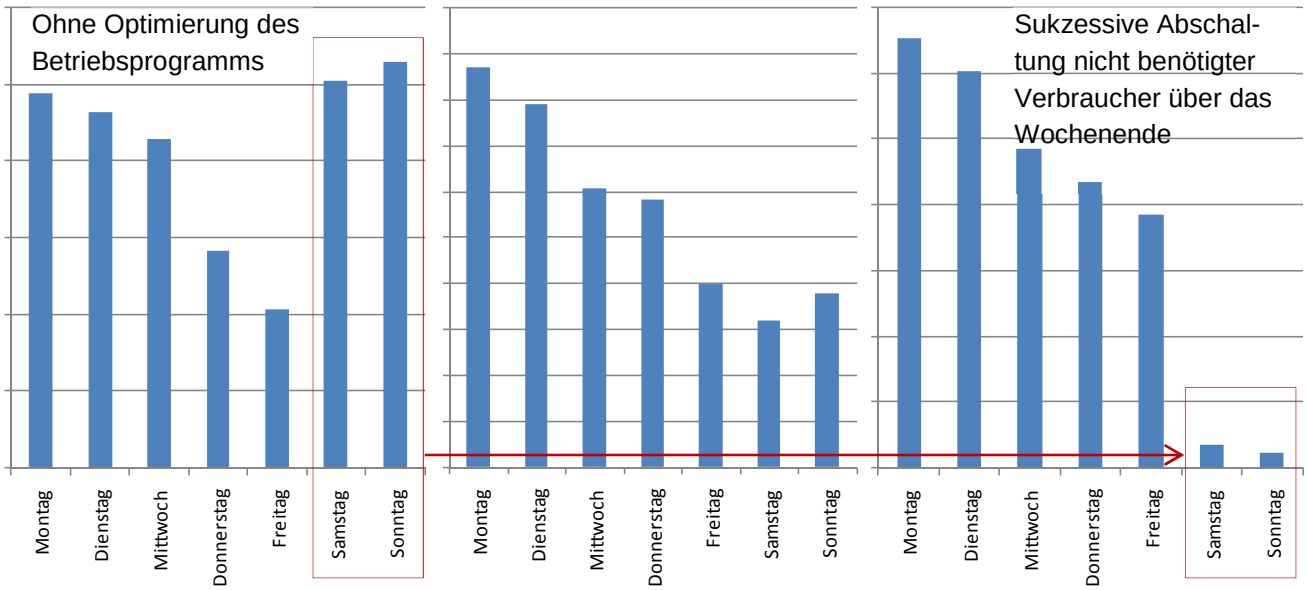


Abbildung 52: Wochentagsprofile (Stromverbraucher)

Diesbezüglich konnte aus den Projekt- und Betriebserfahrungen und mit Hilfe von Lastgangsanalysen ein regelbasiertes Kriterium zur Prüfung der Tages- und Wochenprofile und zur Identifikation von Optimierungspotenzialen entwickelt werden. Bürogebäude weisen beim Stromverbrauch typische Nacht-Tag-Verhältnisse und Wochenend-Werktag-Verhältnisse auf. Bereits anhand der Bandbreite von gut = 1/6-1/5 bis 1/3-1/2 = schlecht kann direkt nach der Erfassung eines Tageslastgangs die Optimierung der Verbraucherprofile und die Doku-

mentation der Einsparerfolge während der Messung des temporären Monitorings eingeleitet werden. Noch deutlichere Verhältnisse sollten bei Schulen und Kindergärten vorliegen.

Ähnliche Verbrauchsverhältnisse wurden bereits aus dem Kalkulationsblatt in Anhang 2 (s. 6.3.1) zum Pilotprojekt unter Punkt „4.2.2“ mit Berechnungsblättern zur Heizungsabsenkung in Abhängigkeit von der energetischen Qualität der Gebäudehülle gebildet. Damit sind Einsparpotenziale auf Grundlage von Nacht- und Wochenendabsenkungen oder sogar -abschaltungen quantifizierbar. Während der Beobachtungszeit des temporären Monitorings wird jedoch bezüglich Heizung und Kälte meist kein Lastgang eines Zählers ausgewertet, sondern die Einstellungen gehen aus den Beobachtungen der Systemtemperaturen der Heiz- und Kühlkreise hervor.

Extremstellen der Punktmenge oder von Kurven können Optimierungsbedarf signalisieren. Insbesondere bei gehäuftem oder regelmäßigem Auftreten sind diese eingehender zu analysieren. So kann beispielsweise eine Analyse der Peaks ergeben, dass bei periodisch wiederkehrendem Auftreten ungeeignete Parameter eines Zeitprogramms ursächlich dafür sein können, oder dass die Schaltzeiten einer thermischen Legionellendesinfektion in ungünstiger Weise mit anderen Lastsituationen zusammenfallen.

Ein repräsentativer Fall hierzu konnte innerhalb der Pilotprojekte zwar nicht beobachtet werden, doch um eine auf die Ursache hinweisgebende Regelmäßigkeit in derartigen Extremstellen zu erkennen, sind wochentagsbasierte Auswertungen und Darstellungen gut geeignet. Signifikante Abweichungen einzelner Wochentage und Diskrepanzen zu dem erwarteten Nutzungsprofil sind anhand dessen mühelos identifizierbar und deuten beispielsweise auf unpassende oder fehlende Zeitpunkte für Nachtabsenkung und Wochenendabschaltung hin.

4.3.2 Effizienzindikatoren und Berechnungen

4.3.2.1 Übersicht der gewerkespezifischen und komponentenbezogenen Prüfung zur Maßnahmenidentifikation für Effizienzoptimierungspotenziale

Zur Identifizierung der Effizienzoptimierungspotenziale sind Kriterien für den Soll-Ist-Abgleich von Anlagen bezüglich einzelner Komponenten erforderlich. Eine Reihe der Kennwerte und Kriterien werden im Folgenden differenziert nach Wärme- und Kälteerzeuger- und Lüftungssystemen dargestellt.

Übergreifend wurden für die vereinfachte Ermittlung der Einsparungen sowohl des Jahreskühl- als auch des Heizenergiebedarfs Berechnungsblätter (s. Beispiel Anhang 2, unter 6.3.1) erstellt. Anhand dieser wird ermöglicht, ohne die Berücksichtigung des Einflusses des Nutzerverhaltens grobe Richtwerte für das relative Einsparpotenzial in Bezug auf den Ist-Zustand zu quantifizieren. Die Ergebnisse liefern Motivation, die Zeitprogramme hinsichtlich der tatsächlichen Nutzungsprozesse abzugleichen und zu ändern sowie die Betriebsparameter zu kontrollieren und ggf. die übernommenen Planungswerte auf das tatsächliche Gebäudeverhalten anzupassen.

Das Berechnungsblatt zur Abschätzung des Einsparpotenzials bei Absenk- oder Abschaltbetrieb in der Nacht und am Wochenende des Heiz- oder Kühlsystems nutzt hierbei eine vereinfachte Stundenbilanz auf Grundlage von Gradtagsstunden beliebiger Referenzklimadatensätze. Anhand der ausgewiesenen Zeiten, der Abschaltung und des frei gleitenden Temperaturabfalls ohne Anforderung während der Absenkphasen können zusätzlich zu den thermischen Energieeinsparungen die Einsparungen an elektrischer Pumpenenergie bestimmt werden.

In ähnlicher Weise ist das Berechnungsblatt zur Abschätzung des Einsparpotenzials bei Anpassung der Betriebsgrenztemperaturen für Heizen und Kühlen aufgebaut. Anstatt definierter Zeiten werden Temperaturen mit dem langfristigen Mittel des Klimastandorts verglichen, um die zusätzlichen Abschaltzeiten zu ermitteln. Hieraus resultieren thermische und elektrische Energiemengen die durch eine Parametervariation eingespart werden können.

Darüber hinaus kann mit der Analyse die Auswirkungen der Anpassung einer witterungsabhängigen Heiz- und Kühlkurve der relative Einspareffekt durch zeitlich integrierte Relation der auftretenden Systemtemperaturen

ermittelt werden. Der Einsparfaktor ist hierbei mit den abgeschätzten Aufwandswerten/Verlustkoeffizienten für Erzeugung und Verteilung sowie den Jahresenergiebedarf zu multiplizieren.

Die Achilles-Ferse der Berechnungen kann u.U. eine nicht vorhandene Datengrundlage darstellen. Jedoch kann die Einschätzung des Einsparpotenzials durch Absenkphasen und Heizgrenzen bereits mit Kenntnis einer Fläche [m^2_{BFG} / m^2_{NGF}) vorgenommen werden. Zusätzlich muss nur die Hüllfläche erhoben bzw. abgeschätzt werden. Ausgehend von den Daten kann unter Verwendung der Gebäudetypologien [20] die energetische Qualität eingeordnet und die Wärmespeicherkapazität der Baukonstruktion kategorisiert werden. Unter Eingabe der vorhandenen und möglichen Absenk- und Abschaltparametern kann daraufhin mit den mittleren Klimadaten des Standorts das Einsparpotenzial ermittelt werden. Trotz der vorgenommenen Abschätzungen und getroffenen Annahmen gibt dies ein plausibles und geeignetes Maß der Einsparung wider.

4.3.2.2 Heizungssystem

Bei möglicher Auslesung von Gaszählern oder Wärmemengenzählern (Fernwärme) wird zumindest über die Monitoringphase durch Erfassung von Anfangs- und Endwert oder bezogen auf eine Archivauslesung eine allgemeine Bewertung und Einordnung des Verbrauchs vorgenommen. Zur Jahresheizwärmeverbrauchsermittlung durch Hochrechnung des erfassten Teilverbrauchs auf einen Jahresverbrauch wird ggf. auf die Methoden von [30] zurück gegriffen. Die dann mögliche Gegenüberstellung mit Verbrauchskennwerten oder Teil-Energie-Kennwerten kann zur Einordnung und Potenzialbewertung bezogen auf das Bedarfsniveau in Abhängigkeit von den Randbedingungen des Gebäudes und der Nutzung herangezogen werden. Gleichermaßen werden die Einordnung der Leistung und die Leistungscharakteristik in Abhängigkeit von äußeren Bedingungen wie der Witterung oder von inneren Bedingungen wie den Systemtemperaturen erstellt und gegenüber gestellt.

Sofern es sich um Kesselanlagen mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen handelt, sind die Untersuchungsmethoden sowie die in diesem Rahmen ermittelten Kennwerte und Indikatoren der DIN [7] sehr gut geeignet siehe auch: [38].

Im Gegensatz zu dem auf konventionelle Kesselanlagen mit fossilen Brennstoffen fokussierte Bewertungsverfahren ist das mobile Kurzzeitmonitoring auch auf Anlagen kombinierter Heizungssysteme mit regenerativer Energienutzung, wie Wärmepumpen und Solaranlagen ausgerichtet. Zur energetischen Inspektion beispielsweise von Wärmepumpen greift neben dem Verfahren nach [25] jedoch kein heizspezifischer, normativer Bewertungsautomatismus. Doch über die äußerlichen Systemkennwerte hinaus, wie die Art der Wärmequellennutzung der Verdichtertyp und die Leistungsregelung (Inverter, Druckentlastung) sowie die Nenn-Leistungsdaten nach EN 14511 und die Jahresarbeitszahl (JAZ) nach VDI 4650 DIN und EN 15316-4-2, können durch das Monitoring Effizienzkriterien, wie die tatsächliche Lage des Bivalenzpunkts, die Hilfsenergie für interne Druckverluste an den Wärmetauschern, Temperaturdifferenzen, Betriebspunkte und Leistungscharakteristik in Abhängigkeit von der Wärmequellentemperatur ermittelt und bewertet werden.

Auch hierbei liegt der Schwerpunkt auf einen Soll-Ist Abgleich von erfassten SEER / EER (Seasonal / Energy Efficiency Ratio) zu systemspezifisch üblichen Erwartungswerten.

In Abhängigkeit von den beobachteten Systemtemperaturen in Relation zu den Auslegungstemperaturen werden generell die relativen Teillastzustände eines Heizsystems ermittelt und mit dem planungstechnisch vorgesehenen Leistungsniveau (-stufen) der Erzeuger abgeglichen. Hierfür werden der momentane Verbrauch zum Maximalverbrauch und die aktuelle Leistungsabgabe des Systems zur Nennleistung in Bezug gesetzt. Insgesamt resultiert aus der Soll-Ist-Gegenüberstellung der Temperaturen ein Indikator, der über die lastgerechte Anpassung und Regelung der Anlage Auskunft gibt.

Beispielsweise betrug der Volumenstrom der Fernwärme bei einem Messobjekt innerhalb des Beobachtungszeitraums während der Installation der Messtechnik bei Außentemperaturen um 9,5°C zwischen 0,129m³/h bis 0,144m³/h. Das entsprach einer zu geringen Heizleistung, denn diese gemessene Leistung lag noch etwa 50% unter der außentemperaturabhängigen Heizleistungskennlinie (vgl. Abbildung 53 Leistungskennlinie, sowie Abbildung 54 Kategorie Fernwärme: Ist-Messung im Gegensatz zu Sollzustand ggü. Ist-Messung).

Die gleichzeitig hohe Spreizung von mehr als 40K im Sekundärkreis zwischen Vor- und Rücklauf zeigt eine Diskrepanz des lastabhängigen Verlaufs von Systemtemperaturen und Leistungen auf. Dem Zustand liegt ein unangepasster Volumenstrom zugrunde, der mit erhöhten Systemtemperaturen kompensiert wird (vgl. Temperaturkennlinie).

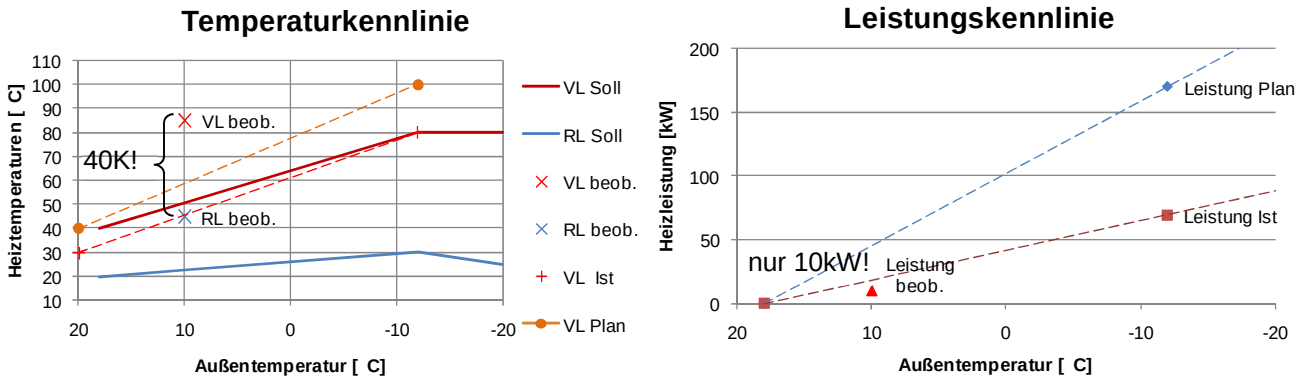


Abbildung 53: Außentemperaturabhängige Heizsystemtemperatur- und Leistungskennlinie zur Beurteilung des Teillastzustands

Die Teillastzustände werden analog zu dem oben geschilderten Beispiel auch für die weiteren Verteilkreise anderer Verbrauchergruppen abgeglichen (s. Abbildung 54), sodass sowohl unangepasstes Leistungsregelungsverhalten als auch Verursacher unnötig hoher Temperaturanforderungen oder die Brennwertnutzung mindernde hohen Rücklauftemperaturen transparent werden.

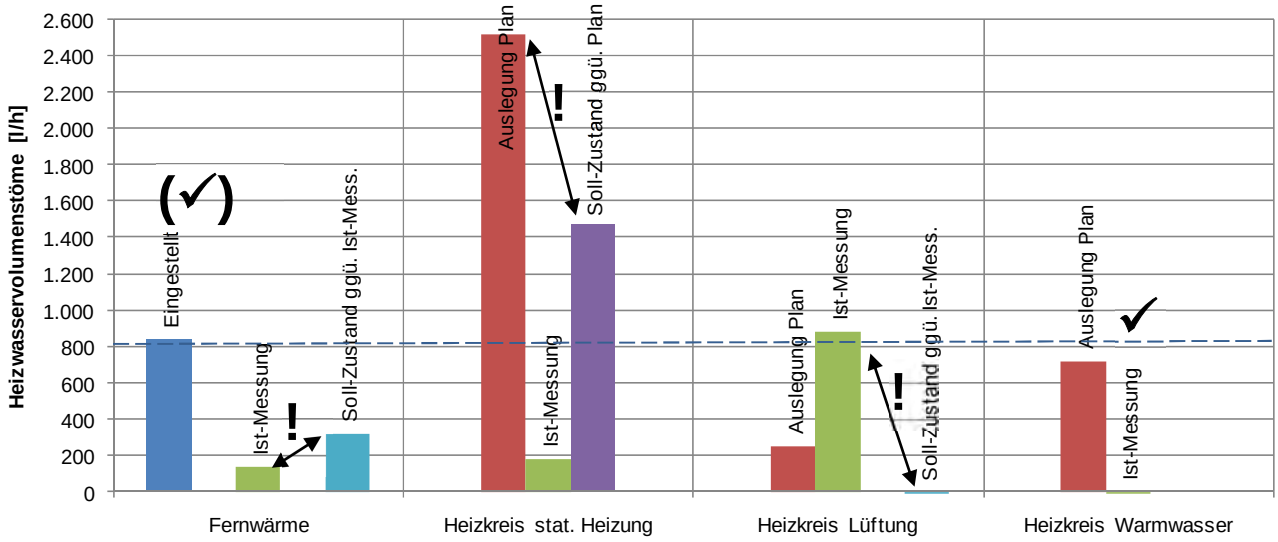


Abbildung 54: Ist-Volumenstromverhältnisse im Vergleich zur Auslegung und dem kennlinienbedingten Soll-Teillastzustand

In die Bewertung der Erzeuger-Primärsysteme und deren Regelung werden daher die Auslegung, sowie die übergreifende Funktionskontrolle einzelner Komponenten mit einbezogen. Sollten Auslegungsdaten nicht verfügbar sein, werden derartige Abgleiche nicht auf die Systemleistungen sondern, vorwiegend auf die Systemtemperaturen bezogen durchgeführt. Denn im Unterschied zu den erforderlichen Leistungen können die geeigneten Systemtemperaturen mit Berücksichtigung der bauphysikalischen Gebäudeeigenschaften und des Raumklimasystemtyps ohne hohen Aufwand festgelegt, erfragt oder aus Maximal-Einstellungen erfasst werden.

Bei der Bewertung der Betriebs- und Regelungsweise des konventionellen Wärmeerzeugers dienen die Anzahl der Brennerstarts, die Nacht- und Wochenend-Absenkung bzw. -Abschaltung, die Heizkennlinie und die

eingestellte Heizgrenze. Auch die herrschenden Temperaturen in hydraulischen Weichen und Pufferspeichersystemen mit Regelhysteresen der Nachladung werden ausgewertet, um den geeigneten Einsatz im Rahmen des Energie- und Anlagenkonzepts zu beurteilen.

Zur Beurteilung einer geeigneten Regelung der Heizwärmeverbraucherkreise und des Erzeugers werden die Betriebszeiten sowie die Vorregelung anhand der errechneten Mischventilstellung aller Kreise (gem. Methodik in Abbildung 18 unter 3.2.2) mit den Systemtemperaturen der Erzeugung abgeglichen, wie im Pilotprojekt unter 4.2.4 in Abbildung 43. Die Häufigkeit und relative Überhöhung des Angebots gegenüber der Anforderung ergibt ein Maß der Regelgenauigkeit und -effizienz.

Für die Bewertung des Anlagenkonzepts haben sich insbesondere der Abgleich des Temperaturabfalls zwischen den Kreisen: Primär, Sekundär, Puffer, Verteiler und Heizkreisen herausgestellt – vgl. Beispiel Auswertung zu Pilotprojekt unter 4.2.6. Häufig überschreitet der Temperaturverlust die technisch möglichen Werte. Der unnötige Einbau von Wärmetauschern ohne zwingendes Erfordernis der hydraulischen Trennung hat sich hierbei als häufiger Ineffizienzfaktor herausgestellt. In vielen Fällen sind falsch einregulierte Rohrstrecken oder nicht korrekt angesteuerte Mischventile Ursache.

Der Soll-Richtwert des Temperaturverlusts wird im Soll-Ist-Abgleich mit den Temperaturabfall-Kennwerten für unterschiedliche Rohrsysteme und Randbedingungen (Erdleitungen Nahwärme innerhalb von Liegenschaften, zwischen Erzeugern und Verteiler sowie entlang von Verteilsträngen) bestimmt – vgl. Beispiel aus Pilotprojekt unter 4.2.1 sowie die Abbildung 32. Die Kennwertesammlung wird mit jeden weiteren Messungen sukzessive ausgebaut.

Die Hydraulische Einschätzung des Rohrsystems und eines Abgleichs erfolgt nicht auf messtechnischer Grundlage, sondern durch Erhebung von Regulierarmaturen als hinreichendes Kriterium.

Darüber hinaus wird stets das Energieeinsparpotenzial durch Pumpentausch untersucht und die Effizienz der Maßnahme mit einer Wirtschaftlichkeitsberechnung begründet.

Die Beurteilung der Trinkwarmwasserbereitung und der Trinkwasserhygiene erfolgt anhand von Messungen der Temperaturen von Kaltwasser, Trinkwarmwasser, Zirkulation und Speicher mit Erfassung der Regelhysteresen zur Nachladung. Im Rahmen der DVGW-Kriterien [12] können lediglich engem Rahmen Optimierungen durch Anpassung der Laufzeiten und der Förderhöhe der Zirkulationspumpe zur Justage des Zirkulationsvolumens und der Zirkulationsrücklauftemperatur zur Vermeidung übermäßiger Entladung vorgenommen werden. Die Messwerte und die Anlagensichtung geben darüber hinaus häufig Hinweise auf Anlagenfehler, wie fehlender hydraulischer Abgleich der Zirkulationsleitung oder fehlende Schwerkraftbremse, Rückflussverhinderer oder fehlende Dämmung.

Die Effizienzindikatoren sind zusammengefasst:

Erzeugung:

- Heiztechnik (Heizwert/Brennwert), Brennstoffart und -versorgung in Abgleich mit Systemtemperaturen (Auslegung und Betriebszustand)
- Bewertung Änderungsmöglichkeit von Betriebstemperaturen (VL → Heizkennlinie, RL → Hydraulische Einregulierung) in Abhängigkeit von beobachteten Teillastzuständen

Verteilsystem:

- Aufnahme und Soll-Abgleich Voreinstellwerte an den Strangregulierventilen im Rohrnetz
- Bewertung der Heizkörperleistungen mit Betriebs-, Auslegungstemperaturen und Volumenströmen in Verbindung mit Art der Heizkörperventile und der Voreinstellungen an den Verschraubungen (ggf. Abgleich mit Heizlast oder Überschlagsrechnung bei unplausiblen Daten)

- Beurteilung Umwälzpumpe: Bauart, EEI gem. ErP-Richtlinie, Förderhöhe / Stufeneinstellung (ggf. Abgleich mit Rohrnetzberechnung bzw. punktuelle Kontrolle mit Überschlagsrechnungen bei unplausiblen Daten)
- Temperaturabfälle und Verteilverluste

Warmwassersystem:

- Warmwasserbereitungs- / Speichertemperaturen
- Zirkulationszeit und -Spreizung
- Legionellenschutzschaltung (DVGW-Konformität zur Gewährleistung der Trinkwasserhygiene)

4.3.2.3 Solarheizsystem

Die Inspektionsschwerpunkte von Solarthermieanlagen gliedern sich in Verhältnisse von Ertrag zur Sonneneinstrahlung, dem Temperaturniveau des Kollektorkreises während eines Tagesverlaufs, dem Speicherverhalten sowie die Integration in das Gesamtsystem.

- Kriterien Ertrag:

  Die thermische Leistung des Kollektorkreislaufs muss etwa (bis zu -20%) dem lokalen Einstrahlungswert in Abhängigkeit vom Einfallswinkel, abgemindert um den Kollektorwirkungsgrad inkl. Verschmutzung und Übertragungsverluste (je nach Einbauposition des Wämemengenzählers) entsprechen. Aus dem Hinweis der Streuung geht hervor, dass i.d.R. bereits eine signifikante Diskrepanz vom technischen Nennleistungswert oder von der regulären Anlagenfunktion vorliegt, um als Anfangsverdacht eine eingehendere Analyse und Optimierung zu initiieren.

  Häufig fehlt bei Anlageninstallationen der Strahlungssensor, um den Einstrahlwert in Relation zur thermischen Leistung bewerten zu können. Für diesen Fall wird die nachträgliche Beschaffung der Strahlungswerte für den Beobachtungszeitraum beim Deutschen Wetterdienst für die nächstgelegene, repräsentative Wetterstation mit Umrechnung auf die Ausrichtung der Kollektoren empfohlen.

- Temperaturniveau:

  Die Temperaturen im Vor- und Rücklauf des Kollektorkreises hängen von der vorhandenen Speichertemperatur und dem angepassten Volumenstrom zur Einstrahlung ab. Für den solaren Deckungsbeitrag ist von zentraler Bedeutung, dass durch ein passender Volumenstrom je nach Ertragsstrategie eine entweder möglichst hohe Spreizung gegenüber den Systemtemperaturen des Speichers zur systemspezifischen Nutzung des höheren Temperaturniveaus erzielt oder ein hoher Volumenstrom zur allgemeinen Durchladung bzw. Grundlastdeckung zugeführt werden. Wesentlich sind hierbei die zugrundeliegenden Regelungsparameter, die häufig Optimierungsmöglichkeiten bieten, oder sogar die Ursache von Fehlfunktionen sind.

Beide vorgenannten Punkte münden bezüglich der geeigneten Integration der Solarthermie in das Gesamtsystem in die Plausibilitätsprüfung der Speicherdimension.

BWWB	Heizungsunterstützung + BWWB	Saisonaler Langzeitspeicher
$V > 50$ L/ $m^2_{Kollektor}$	$V > 50\text{-}100$ L/$m^2_{Kollektor}$	$V > 200$ L/$m^2_{Kollektor}$
$A > 1{,}5\ m^2 + 0{,}018\ m^2/L_{WW\text{-}Bed.}^{Pers.}/_d$	$A = A_{BWWB} + 0{,}1\text{-}0{,}2\ m^2/m^2_{NF,\ beh.}$	A: Auslegung gem. Bilanzierung
$V_{BWWB} \approx 75\ L + 0.9\ L/L_{WW\text{-}Bed.}^{Pers.}/_d$	$V = V_{BWWB} + 5\text{-}10 \cdot NF_{beh.}$ [L]	V: Auslegung gem. Bilanzierung

Ein weiteres Prüfkriterium stellen etwaige Stagnationsfälle und vor allem die Randbedingungen während des Auftretens dar. Nahezu jede solarthermische Anlage weist diese Stagnationsfälle je nach Dimensionierungsstrategie und Nutzungszweck in höherer oder geringerer Häufigkeit auf. Unter welchen Voraussetzungen, über welche Dauer und wie temperaturintensiv die Stagnation verläuft, erweist sich jedoch bei den Anlagen als sehr unterschiedlich. Unter Berücksichtigung des Versorgungskonzepts und des geplanten solaren Deckungsgrades muss im Fall der Beobachtung eines Stagnationsfalls dieser individuell bewertet werden. Pauschal lässt sich nicht angeben, ob Stagnationsfälle auf inkonsistente Anlagen- oder Betriebsparameter zurückzuführen sind.

Daher lassen sich nicht vollkommen eindeutige Prüfkriterien und Indikatoren zur Optimierung von Solarthermieanlagen angeben. Jedoch sollte eine Anlage, die bei unter 800 W/m² Einstrahlung weit von 20K Spreizung entfernt arbeitet oder bei mit einem Vorlauf unter 70°C bei der genannten Einstrahlung bereits an die Stagnationsgrenze stößt, überprüft werden, falls keine versorgungsstrategischen Gründe den Betriebszustand der Anlage rechtfertigen.

4.3.2.4 Kühlsystem

Die wesentlichen Effizienzindikatoren resultieren aus Soll-Ist-Abgleichen im Verteilsystem:

- Kühlkurve in Abhängigkeit von der Außentemperatur oder rechn. Strahlungstemperatur
- Kühllastprofil

Die auf das Erzeugersystem bezogenen Effizienzkriterien sind:

- Leistungsstufe in Abhängigkeit von Anforderung / Bedarf in Relation zur Nennleistung
- EER / SEER (gebildet über den zeitlichen Beobachtungsausschnitt) in Abgleich mit COP (Laborwert)

Die Kennwerte beruhen analog zu [25] auf den Werten der Teillastregelungsart von Verdichtern und EER-Kennwerten nach DIN V 18599-7 [10].

Darüber hinaus wird die Regelbarkeit der Kältemaschine mit variablem Verdichter- / Verdampferdruck in Abhängigkeit von den verfügbaren Rückkühltemperaturen und der Rückkühlerbetriebsweise geprüft. Denn durch die lastorientierte Anpassung des Temperaturhubs im Carnot-Prozess kann eine Effizienzoptimierung vorgenommen werden, die sowohl dem gebäudespezifischen Lastverhältnissen gerecht wird als auch das Verhältnis der thermischen Energieabgabe zur elektrischen Energieaufnahme erhöht.

Die Übergreifende Bewertung des Kühlkonzepts erfolgt anhand des Systemtemperaturniveaus der Kaltwasserkreise zum Temperaturniveau der genutzten Wärmesenke, in Abhängigkeit von den Temperaturabfällen zwischen Primär- und Sekundärkreisen sowie der Nutzungseinbindung Freier Kühlungsfunktionen durch direkte Nutzung der Wärmesenke. Hinsichtlich des Verteilsystems ist die Vorgehensweise analog zu den Heizsystemen. Ebenso wird geprüft, ob die Systemtemperaturen des Kaltwasserkreises zu den versorgten Raumklimasystemen und den Konditionierungsaufgaben in den zu klimatisierenden Zonen passt.

4.3.2.5 Lüftungssystem

Die Soll- und Ist-Zustände der thermodynamischen Luftaufbereitungsstufen werden anhand von h-x-Berechnungsprogrammen bewertet. Darüber hinaus erfolgt eine energetische Soll- und Ist-Bilanz mit dem eigen entwickelten Bewertungsinstrument „EInRA“ [23], um die betriebstechnischen Parameter und die Regelungsweise zu beurteilen sowie um die energetischen Auswirkungen von Parameteränderungen zu quantifizieren. Die Ist-Bedarfswerte der Luftaufbereitung und Luftförderung werden mit den Soll-Werten des Energiebedarfs nach DIN V 18599 (s. [8] und [10]) verglichen.

Die Effizienzindikatoren sind zusammengefasst für das Zentralgerät:

- Klassifizierung der RLT-Anlagengrundart nach DIN V 18599 mit übergeordneter Bewertung des Lüftungs- und Klimatisierungskonzepts

- Wärmerückgewinnung und Wirkungsgradbewertung anhand der Temperaturänderungswerte im Zuluft- und Abluftstrom
- Lüftungssystem-Heiz- / Kühlkurven zur Bestimmung des Systemtemperaturnutzungsgrads (in Abhängigkeit von der AUL-Temperatur und errechneten Mischventilöffnungsgraden)
- Einspritzschaltung (Einregulierung), Frostschutzfunktion
- Effizienzbewertung der Luftförderung (SFP nach [3], Druckverluste und bedarfsgerechte Anpassung – s. Abbildung 55)

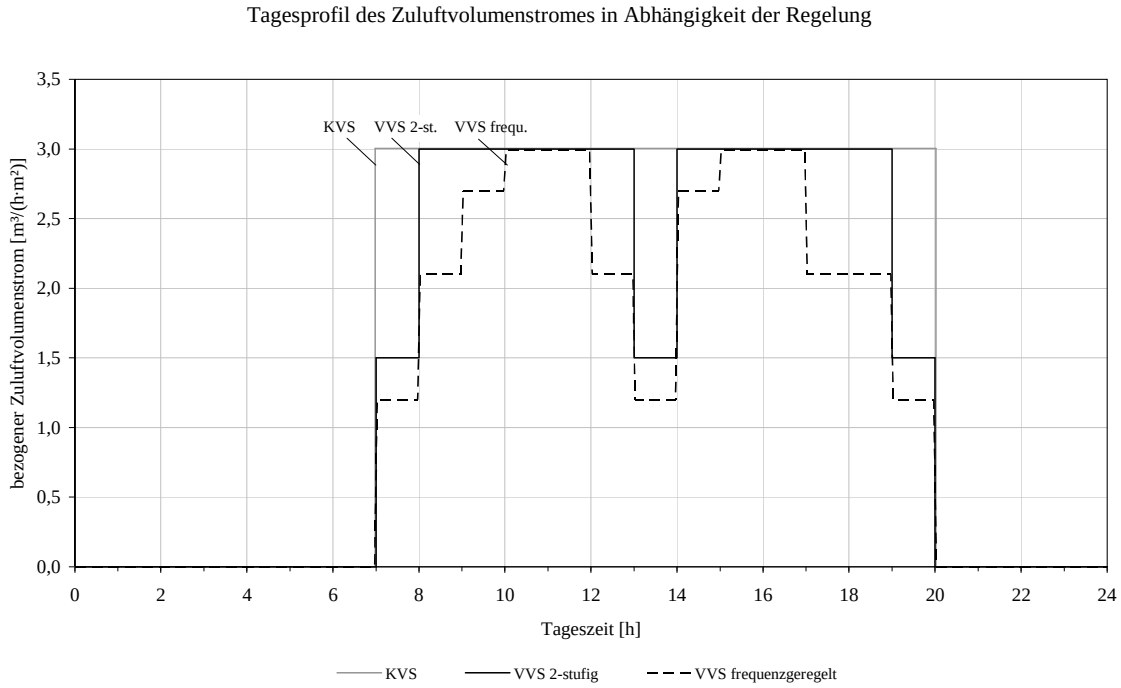


Abbildung 55: Tagesprofil des auf die belüftete Fläche bezogenen Zuluftvolumenstroms in Abhängigkeit von der Regelung der Luftförderung

Verteilungssystem und Zonennachbehandlung:

- Beurteilung der Regelung dezentraler, zonenorientierter Nachbehandlung in Korrelation zum erforderlichen Luftzustand der zu konditionierenden Zonen und gegenüber der zentralen Luftvorbehandlung, um überflüssige energetische Aufbereitungen der Luftzustände zu vermeiden, die u.U. im Kanalnetz durch Verteilverluste wieder verloren gehen oder durch Zonennachbehandlung wieder vernichtet werden.
- Bewertung des Luftförderaufwands in Abhängigkeit von den Volumenstromregulierungselementen, deren Anordnung und evtl. Rückkopplung auf die Ventilatorregelung durch Sollwertänderung des Differenzdrucks im Zu- oder Abluftkanal
- Kanaldichtheit analog zu [24]

Raumsystem / -zustand:

- Überschreitungs- / Unterschreitungshäufigkeiten der Sollwerte von Temperatur und Feuchte und Eintragung der Raumluftzustände im Mollier h,x-Diagramm mit Sollwertfenster durch schrittweises Nachvollziehen der einzelnen thermodynamischen Luftbehandlungsstufen (vgl. Abbildung 56 und Abbildung 57)

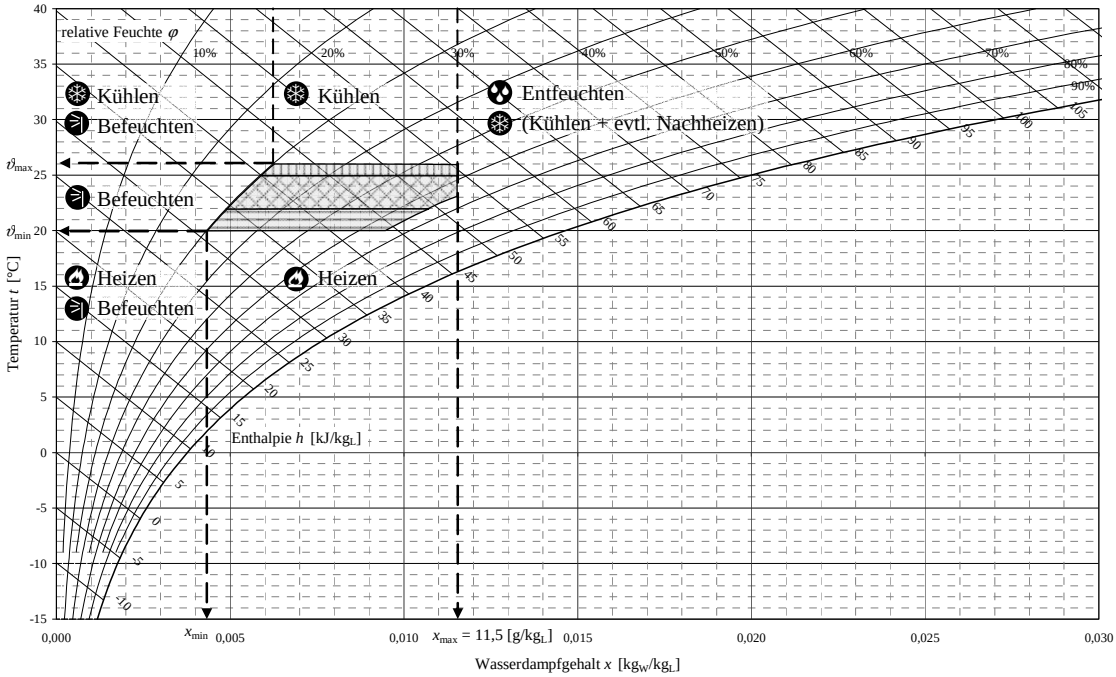


Abbildung 56: Segmentierung des Mollier-h-x-Diagramms nach Luftbehandlungserfordernis zur Einhaltung des Behaglichkeitsbereichs der Zuluft

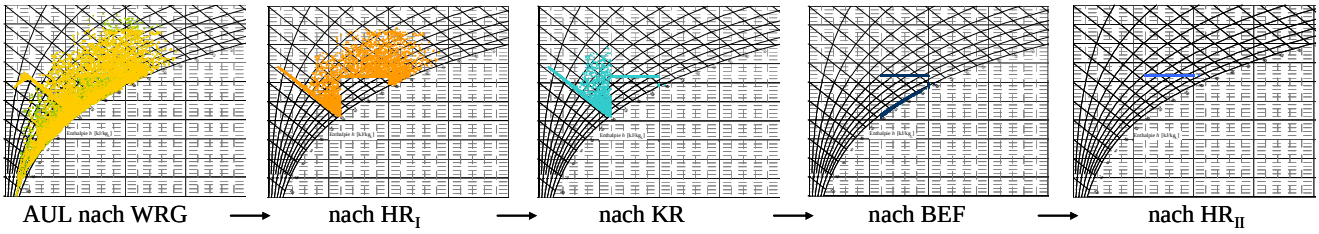


Abbildung 57: Luftbehandlungsprozesse im Mollier-h-x-Diagramm ausgehend von klimatisch herrschenden Außenluftzuständen

- Bewertung des Innenraumklimas gem. [26] durch PPM-Messungen des CO_2-Gehalts und der erzielten Luftversorgungseffizienz mit der vorhandenen Luftwechselrate (optional: PMV- / PPD- und IDA-Bewertungen). Hierdurch können Hinweise zur Änderungserfordernis der Anordnung der Luftauslässe und der Abluftführung oder zur Abgleichung des Kanalnetzes gewonnen werden, falls trotz nominell eingestellter Luftwechselrate keine entsprechende Innenraumluftqualität erreicht wird.

4.4 Erfahrungsrückfluss aus den Tests und Anwendungsbeispielen

4.4.1 Übersicht der Aufgabenstellungen und identifizierten Verbesserungsmöglichkeiten

Da die Pilotprojekte vielseitig gelagert und die Inspektionsergebnisse stet projektbezogen dargestellt sind, ist zunächst eine Übersicht der Aufgabenstellungen der Untersuchung sowie der identifizierten Maßnahmen durch Inspektion mittels temporären Monitorings hilfreich. Die Pilotprojekte zusammenfassend werden die identifizierten Anlagenfehlfunktionen und Effizienzoptimierungspotenziale verallgemeinert in einer tabellarischen Übersicht nach Projektphase und Einsatzgebiet kategorisiert. Insbesondere soll zur besseren Einordnung des Verfahrens damit aufgezeigt werden, welche Anlagenzustände mit der Methode identifizierbar waren, die mit herkömmlichen Inspektionsweisen nur sehr schwer oder sogar gar nicht hätten aufgedeckt werden können.

Übersicht der Aufgabenstellungen zur Inspektion und Voraussetzungen zur Identifikation	Identifikation		Erfordernis Einsatz Messtechnik / Sensorik						
	Inspizierung (visuell, Checklisten)	Temporäres Monitoring	Temperaturen	Raumzustand (T, rel. F., CO_2)	Anlagendatenauslesung (Pumpen)	Fluiddurchfluss Volumenstrom	Beleuchtungsstärke / Strahlung	Elektrischer Wirkstrom	Netzqualitätsanalyse (alle Daten)
Bestandsgebäude									
Energetische Schwachstellenanalyse → Einsparmaßnahmen (geringinvestive Sofort- / grundsätzliche Sanierungsmaßnahme)	◎	●	●	◎	◎	◎	○	○	
Beobachtung unsichtbarer Betriebszustände / Regelungsstrategien mangels Anlagenvisualisierung an Automationsstationen	○	●	●	○	◎	◎		◎	
Zustandsbewertung „funktional von Innen“ zur wirtschaftlichen Entscheidung über die Instandsetzung der Anlagensysteme	◎	●	◎	○	◎	○		◎	
Sicherheitsrelevante Hinweise (TW-Hygiene, Verbrühungsschutz, Betriebsrisiken)	◎	●	●		○	○			
Bewertung bzw. Wirkungsoptimierung bereits durchgeführter Teilsanierungen	◎	●	●	◎	○	○	○	○	
Neubaugebäude									
Kontrolle der effizienten Inbetriebnahme / Prüfung Effizienzstandard der Planung	◎	●	●	○	◎	◎		◎	
Funktionsprüfung Versorgungskonzept, Aufdeckung Fehlfunktionen bei nicht in der Planung betrachteter u. optimierter Betriebszustände (Teillast, Parallelbetrieb in Verbundsystemen oder bei Heiz-Kühlbetrieb in der Übergangsphase, Kaskadenschaltstufen, An- und Abschaltzustände, Stillstand)	◎	●	●	◎	◎	◎	○	◎	
Begutachtung Planungsdefizite und Entwicklung von Lösungen	◎	●	◎	◎	◎	◎		○	
Unterstützung Mangelbeseitigung, Grundlage für Mangelnachweis	◎	●	◎	◎	◎	◎		○	
Gebäudeunabhängig (bezüglich Nutzungsprozess)									
Prüfung Nebenkostenabrechnung u. Reduktionspotenziale für Mieter	○	●	◎	◎	◎	◎		◎	
Thermische Behaglichkeit / Luftqualität	○	●	◎	●	◎	○	◎	○	
Beleuchtungsoptimierung	○	●					●	●	
Netzqualität	○	●							●

Legende Kreismarkierungen:

Verfahrensart zur Identifizierbarkeit	unmöglich ○	schwer möglich ◎	gut möglich ◎	ideal /ausschließlich ●
Erfordernis Einsatz Messtechnik / Sensorik	optional ○	unterstützend ◎	sehr empfohlen ◎	unerlässlich ●

Tabelle 6: Übersicht der Aufgabenstellungen zur Inspektion und Voraussetzungen zur Identifikation

Die aus den Einsätzen des temporären Monitorings gemäß der jeweiligen Aufgabenstellungen in der Übersicht von Tabelle 6 resultierende Identifikation von Optimierungen sowie die Analyseergebnisse und Erkenntnisse über Betriebszustände und Anlagenverhalten sind im Wesentlichen:

- Schwachpunkte bei Regelungs- und Betriebsparametern in Bezug auf das Versorgungskonzept
- Niedrige Nutzungs- und Wirkungsgrade von Erzeugern
- Vorhandene Verbrauchsstruktur des Gebäudes und tatsächliche Haupt- bzw. Dauerverbraucher
- Hohe hydraulische Transportverluste vom Erzeuger zum Verbraucher, Hydraulische Kurzschlüsse / Überströmung / Fehlströmung / Ventilfehlfunktion / Ansteuerung / Mangelnder hydr. Abgleich
- Verteilung erzeugter Nutzenergie, für die oft (zeitlich und örtlich) kein Bedarf besteht (Anpassung Regelungsstrategie und Betriebsprogramme)
- Defekte Komponenten und Fehlfunktion, beispielsweise defekte Kompensationsanlagen (Kondensator-Stacks) oder Frequenzumformer an elektrischen Antrieben, die bei einer Netzqualitätsanalyse sichtbar werden können
- „Überfahrung“ regenerativer Systeme durch fehlenden Vorrang vor konventionellen, meist leistungsfähigeren Erzeugersystemen oder verminderter Verbrauchsdeckungsbeitrag aufgrund ungeeigneten, sich im Betrieb gegenüber der Planung anders einstellendem Systemtemperaturniveau
- Optimierungspotenzial bei Beleuchtungsschaltung durch Präsenz- und Lichtsensoren

Die Entwicklung und Umsetzung von Maßnahmen basierend auf den Untersuchungsergebnissen des temporären Monitorings laufen häufig auf folgende Aspekte und Leistungen hinaus:

- Anpassung Regelungs- und Betriebsparameter auf Prozesse und Systemspezifika (Abgleich Erzeuger- und Raumsystem)
- Nutzer- / Betreiber-Hinweise zur bedarfsgerechten Einstellung und saisonalen Umstellung der Anlagen
- Optimierung Anlagenhydraulik und Nachrüstung Komponenten zum – bevorzugt automatischen – Abgleich mit Reduktion der Volumenströme (Pumpenenergie) unter Steigerung der Nutzenergieabgabe und Verbesserung der Spreizungen mit Absenkung der Rücklauftemperaturen
- Revision der Dimensionierung und ggf. Reduktion von Erzeugungskapazitäten (insbesondere bei Fernwärmeübergabestationen)
- Modulare Ergänzung von / Zwischenschaltung an Teilen der Steuerung mit Regel-Komponenten und flexibler programmierbarer Zeitschaltautomatik
- (Teil-) Änderung des Versorgungskonzepts – insbesondere bezüglich der Brauchwarmwasserbereitung (z.B. dezentrale BWWB) hinsichtlich der Trinkwasserhygiene sowie Reduktion der Luftmengen gemäß des hygienisch erforderlichen Mindestluftwechsels durch regelungskonzeptionellen Wechsel der Grund- und Reaktionslastzuweisung an die Systeme
- Vorzeitiger (Teil-) Austausch alter Komponenten durch Hocheffizienzkomponenten (meist vor Ablauf technischen Lebensdauer aufgrund der Überschreitung der wirtschaftlich sinnvollen Lebensdauer)
- Weiterführende Beratung zur strategischen Ausgestaltung, Priorisierung und planerischen Detaillierung der passenden Sanierungsmaßnahmen
- Verfolgung der Umsetzung mit energetisch-technischer Wirksamkeits- und wirtschaftlicher Erfolgskontrolle

Die Identifikationsmethodik weist in der Regel eine zweiseitige Vorgehensweise auf und wird mit jedem Projekt erweitert und damit vielfältiger aber auch zuverlässiger. Zum einen wird unabhängig vom Projekt, der Aufgabenstellung und des Messzeitraums systematisch nach Auffälligkeiten gesucht. Je mehr Erfahrung aus Monitoringprojekten gesammelt wurde, nach umso mehr häufig vorkommenden Fehlern können die Messdaten gezielt analysiert werden. Dementsprechend werden auch die regelbasierten Kriterien zur Messfehler- und Plausibilitätsprüfung sowie für automatisierte Vorab-Indikatoren für die jeweiligen Messanwendungsfälle und Messstellenkategorien ergänzt. Beispielsweise werden je Heiz- oder Kühlkreis neben den individuellen Auswertungen stets gleichartige Diagramme mit Außentemperaturkorrelation, Systemtemperaturkorrelation zum vorgeschalteten, versorgenden Strängen oder Anlagenteilen, Häufungspunkte im 24h-Tagesprofil, u.v.m. erstellt. Anhand dessen lassen sich schnell Auffälligkeiten durch unüblichen, zu hohen bzw. zu niedrigen Verlauf der Werte oder im Querabgleich zu ähnlichen Messanwendungsfällen erkennen.

Doch die gezielte Suche nach Schwachstellen und Fehlfunktionen stellt nur die eine Seite der Herangehensweise dar, denn sie deckt nur einen bereits bekannten Standardteil ab. Die Projektbedingungen, die vorgefundenen Anlagenarten und -kombinationen mit ihren individuellen Einstellungen sowie die Aufgabenstellung als initiale Motivation für die Durchführung des temporären Monitorings sind stets sehr verschieden und haben meist einzigartige Bestandteile. Hierbei ist neben der Bestandserfassung auch eine Erhebung der Bestandsituation durch Interview von Nutzern, Betreiber oder Verwaltern unumgänglich, die das Gebäude seit langem nutzen und kennen. Häufig lassen sich hieraus wertvolle Zusatzinformationen gewinnen und anhand von Ungewissheiten und geschilderten Problemen ein „Untersuchungsauftrag“ herauskristallisieren.

Daher wird zum anderen auch in umgekehrter Herangehensweise, ausgehend von untersuchungsschwerpunktorientierten, nutzungsprozessbezogenen und versorgungskonzeptspezifischen Überlegungen ein idealer Sollzustand und Sollverlauf der Messwerte – überwiegend gedanklich – definiert und im Bedarfsfall skizziert. Darauf basierend erfolgt ein Abgleich mit den Ist-Messwerten zur Identifikation von Optimierungspotenzialen Recherche nach Ursachen bei Abweichungen. Hierfür gibt es keinen standardisierten, sondern lediglich einen versorgungstechnischen, ingenieurwissens- und erfahrungsbasierten Ansatz.

Neben den im „Untersuchungsauftrag“ gezielt zu prüfenden Anlagenfunktionen und Betriebszuständen gelangen daher häufig Untersuchungsaspekte in den Fokus und führen zu ergänzenden Empfehlungen, die nicht ausschlaggebende Problemstellung für die Durchführung des temporären Monitorings waren.

4.4.2 Vorort-Termine und Messinstallation

Als organisatorische Voraussetzungen zur Datenaufnahme gelten hinsichtlich der Wahl der Messphase und Messpunkte sowie der Zugänglichkeit und der Abstimmung mit dem Personal vor Ort die bereits in [32] enthaltenen Ausführungen. Der Informationswert der Durchflussmessdaten und die Verwendung in der Analyse hängen stark von der Organisation und dem zeitlichen Ablauf der Messinstallationen vor Ort ab, um die beabsichtigte Beobachtung saisonaler Lastsituationen und Volumenstromverhältnisse überhaupt aufzeichnen zu können. Die Zugänglichkeiten und Randbedingungen an der Messstelle sowie die meist nicht erzielbare Gleichzeitigkeit der Messungen an mehreren Anlagenmesspunkten beeinträchtigen zusätzlich die Aussagefähigkeit.

Im Fall dass Immobilienbesitzer oder Betreiber überhaupt energetische Inspektionen durchführen oder beauftragen, ist festzustellen, dass sich diese hauptsächlich auf Heizungsanlagen beziehen. Daraus ergibt sich, dass die energetische Inspektion mittels mobilem Kurzzeitmonitoring überwiegend während der Heizperiode zum Einsatz kam.

Anlass zur Untersuchung besteht meist im Zusammenhang ohnehin anstehender Sanierungsmaßnahmen bzw. diesbezüglich notwendiger Entscheidungen oder aber bei eklatanten Fehlfunktionen der Anlage mit Beeinträchtigung der Nutzer oder der Wirtschaftlichkeit. Dieser Zusammenhang liegt vor allem darin begründet, dass die Untersuchungen mit dem Monitoringsystem im Rahmen der energetischen Inspektion über diesen Inhalt hinausgehen. Mit der Erfassung zeitlich detaillierter Messreihen sowie optionaler Zusatzmessungen zu

Luftqualität (CO_2-Konzentration, Luftfeuchte), elektrischer Energie und der Beleuchtungsqualität weisen die Leistungen zu den Effizienzoptimierungen zusätzlich gutachterliche, auf Funktionalität und Qualität orientierte Bestandteile auf.

Aus dem Erfahrungsrückfluss der Pilotprojekte kann die Ausführung von Ultraschalldurchflussmessungen generell als problematisch bezeichnet werden. Die im Folgenden dargestellten Schwierigkeiten sind hauptsächliche Ursache dafür, dass derartige Messungen an gebäudetechnischen Anlagen äußerst selten nur zu Monitoringzwecken durchgeführt werden.

Bereits die Lokalisierung einer geeigneten Messstrecke ist nur in der Vorort-Besichtigung mit Erfassung aller Einbauteile und Armaturen in den Rohrleitungsstrecken möglich, da i.d.R. vorab anhand von Schemen und meist auch bei Grundrissplänen eine geeignete und tatsächlich zugängliche Messstrecke nicht mit Sicherheit bestimmt werden kann.

Die Einrichtung einer solchen Ultraschalldurchflussmessung ist mit erhöhtem Aufwand verbunden. Die Ummantelung und die Isolierung müssen demontiert werden. Häufig ist bei der Ummantelung eine zusätzliche Demontage von Handrädern von Ventilen oder Hebeln von Klappen verbunden (vgl. Abbildung 33). Danach sind die Rohrstellen, an den die Sensorpaare zu platzieren sind anzuschleifen oder sogar die Beschichtung zu entfernen. Erst nach dieser Vorbereitung kann das Sensorpaar mit Koppelgel auf die Rohrleitung angebracht werden. Dabei ist insbesondere die verrutschungssichere Befestigung an vertikal verlaufenden Rohren problematisch.

Darüber hinaus ist die Ultraschalldurchflussmessung aufgrund der unbekannten Rohrwandstärke, z.T. auch des unbekannten Rohrmaterials und der Rauigkeit an der Innenseite sowie hinsichtlich der Imperfektion der Messanordnung und der unzulänglichen Messtrecke mit erheblichen Unsicherheiten verbunden.

Nach der Durchflussbestimmung ist an der Messstelle wieder die ggf. entfernte Beschichtung oder der Rostschutz fachgerecht zu ergänzen, die entfernte Dämmung und Ummantelung wieder herzustellen. Mit diesem Eingriff ist nicht nur der erhebliche Aufwand, sondern zusätzlich noch eine Gewährleistung verbunden, die derartige Messungen ohne entsprechenden Ausschluss und Verzichtserklärung gänzlich unwirtschaftlich macht. Während für einzelne Messungen die Leistungen in der Praxis sogar vom Ingenieur erbracht werden, ist bei mehreren Messungen stets die Beauftragung von Handwerkern erforderlich. Für die Anfrage, Terminkoordination des Einsatzes sowie die Wartezeit auf die Herstellung der Messstelle entsteht zusätzlicher Aufwand.

Daher werden alle Möglichkeiten wahrgenommen, auf Durchflusswerte verzichten zu können, diese über vorhandene Messeinrichtungen zu erfassen oder anderweitig und indirekt zu bestimmen bzw. abzuschätzen.

Als technisch automatisierte Optionen stehen der Abgriff von Zählimpulsen bestehender, meist analoger Durchflusszähler über Magnet- oder Opto-Koppler, die Erfassung des elektrischen Impulses eines S_0-Ausgangs und digitale Meter-Reader von Walzenzählwerken zur Wahl, doch auch diese Methoden sind mit gewissen Unsicherheiten und Aufwand verbunden. Insbesondere ist der Zählimpulsfrequenz und die Impulswertigkeit zu berücksichtigen. Doch häufig kann die Erfassung an praktischen Faktoren und Randbedingungen, wie der dauerhaft stabilen Befestigungsmöglichkeit des Kopplers zur Zuverlässigen Erfassung des Zählimpulsgebers zur Gewährleistung einer fehlerfreien Impulserfassungsrate scheitern.

Ansonsten steht nur die manuelle Erfassung durch Differenzablesung von Zählerwerten, Ablesung von sog. Taco-Settern, sofern vorhanden mit entsprechenden unregelmäßigen und langen Zeitintervallen zur Verfügung. Für die Abschätzung werden i.d.R. Ventilstellungen an den Verteilerkreisen, Pumpenstufen oder Förderhöhen ergänzt um Druckverluste aus Rohrnetzberechnungsdaten benötigt, doch auch eine derartige Durchflussbestimmung ist aufwändig, unsicher und stets auf Momentanwerte eines Betriebszustands bezogen.

Daher besteht bezüglich einer praktikablen Erfassung des Durchflusses und Aufzeichnung über mehrere Tage noch grundlegender Forschungsbedarf.

4.4.3 Aufwand und Nutzen

Ein hoher Nutzen energetischer Inspektionen ist sowohl in ökologischer als auch ökonomischer Hinsicht gegeben. Die Untersuchungsmethoden wurden im Rahmen des Forschungsprojekts mit Blick auf einen vertretbaren Aufwand konzipiert. Weitere Voraussetzung für einen in Relation zum Nutzen stehenden Aufwand stellt die aufgabenspezifische Abstimmung des Leistungs- und Untersuchungsumfangs dar.

Zu den wirtschaftlichen Vorteilen, die stets den Hauptausschlag zur Durchführung energetischer Inspektionen geben, addieren sich meist funktionale und bedarfsorientierte Verbesserungen der Anlagen, die u.U. auch Komfortsteigerungen mit sich bringen.

Zudem kommt ein wertvoller Informationszuwachs über die eigenen Anlagen und das Gebäude hinzu, der aus Erkenntnissen durch das Monitoring, der Sichtprüfung mit fachlicher Zustandsbewertung und dem Abgleich zwischen Dimensionierung und zu erwartendem Bedarf resultiert. Derartige Informationen, die einen nicht unerheblichen organisatorischen Faktor zur Energieeffizienzoptimierung ausmachen, gingen meist bei Eigentümerwechseln, Betreiber- und Nutzerübergängen im Lauf des Immobilienlebenszyklus unwiederbringlich verloren und sind nur unter hohem Aufwand durch detaillierte Bestandsaufnahme wiederzuerlangen.

Die Wirtschaftlichkeit des energetischen Inspektionsaufwands hängt naturgemäß vom Kostenreduktionspotenzial der identifizierten Effizienzoptimierungen und dem Jahresgesamtverbrauch als grundlegender Skalierungsfaktor ab.

Bei den Pilotprojekten, zu welchen auch die monetären Einspareffekte abgeschätzt und angegeben wurden, zeichnet sich eine Rentabilität der beauftragten Leistung innerhalb weniger Jahre ab, in Einzelfällen ist sogar innerhalb von wenigen Monaten eine Reinvestition gegeben. Ab einer jährlichen Kostenposition von ca. 10 T€ für Wärme oder für Gebäudekühlung, alternativ ab etwa 25T€ anlagentechnisch bedingten Gesamtkosten für Wärme, Kälte und Strom sowie bei gleichzeitigem Anlagenbestand mit Baujahren vor der Inkraftsetzung von Energieeinsparverordnungen kann die Durchführung energetischer Inspektionen als wirtschaftlich interessant gelten. Dabei sind die angegebenen Werte nicht als scharfe Grenzkriterien zu verstehen, sondern als grobe Richtwerte, die projektspezifisch variieren können.

Zur besseren Einschätzung des angegebenen Wirtschaftlichkeitsrahmens sei angemerkt, dass den Kostenkriterien keine Kalkulation der Einsparung auf Basis prognostizierter Prozentsätze der Kostenreduktion bei unterschiedlichen energetischen Anlagen- und Gebäudequalitätsstandards zugrunde liegt. Zwar bestehen aus Nachkalkulationen Erfahrungen hierzu, jedoch streuen die Aufgabenstellungen, die Untersuchungsergebnisse und deren monetären Einsparwirkungen zu stark, um hieraus eine signifikante Aussage zur Wirtschaftlichkeit treffen zu können. Vielmehr basiert die Aussage auf der umgekehrten Betrachtung, dass jedem Kurzzeitmonitoringeinsatz ein gewisser Aufwand an Ingenieurleistungen gegenübersteht, der in kunden- und branchenspezifischer Zeit refinanziert sein soll. Die Höhe des Verbrauchskostenrahmens stellt daher einen Anhaltswert für das Volumen dar, innerhalb dem ein für den Inspektionsaufwand je nach Untersuchungsaufgabe rentables Einsparpotenzial erschlossen werden kann.

Außerdem werden durch die angegebenen Eckdaten kaum Gebäudekategorien aus dem Betrachtungsbereich ausgeklammert. Darüber hinaus bestehen auch andere Motivationen zur Durchführung einer energetischen Inspektion. Häufig sind auch funktionale Kriterien, die effiziente Einregulierung nach der Anlageninbetriebnahme, die Kontrolle von Betreiberverpflichtungen und die Absicherung strategischer Sanierungsentscheidungen von Bedeutung.

Einspargarantien und diesbezügliche Wirtschaftlichkeitszusagen können selbstverständlich nicht abgegeben werden, kommen aber bei unternehmerischen Wagnissen in Betracht. Bei diesen Kalkulationen wird ein „basic-fee“ zur Durchführung der Messung und Begehung angesetzt und ein „benefit-fee“ vereinbart, der erst bei absehbarem Einsparerfolg mit der detaillierten Analyse und Entwicklung von Maßnahmenempfehlungen zur Umsetzung zum Tragen kommt. Hierdurch kann die wirtschaftliche Attraktivität der energetischen Inspektion gesteigert und das Aufwandsrisiko durch eine nutzenorientierte Leistungsanpassung minimiert werden.

Nutzen und Aufwand energetischer Inspektionen und damit die vermehrte Durchführung hängt im Wesentlichen von zwei Faktoren ab, zum einen einer effizienten Methodik zum anderen einer geeigneten Konzeption des u.U. zusätzlichen Leistungsumfangs.

5 Resümee und Ausblick

5.1 Resümee

Die Ergebnisse der energetischen Inspektion von Heizungs-, Lüftungs-, Klima- und Kälteanlagen liefern entsprechend der ursprünglichen Zielsetzung, die eingangs unter Punkt 1.1.2 aufgeführt wird, Messdaten und kurz gefasste fachliche Hinweise zu Optimierungsmaßnahmen. Die Angabe der Maßnahmen wird gefordert, ohne dass diese tiefergehend geplant oder deren Effizienz oder Wirtschaftlichkeit detailliert untersucht werden soll. Auf dem Weg zur energetischen Optimierung stellt daher die energetische Inspektion nur der erste Schritt dar, auf dem zur Umsetzung weitere Leistungsschritte folgen sollten. Das in dem Rahmen eingesetzte mobile Kurzzeitmonitoring ermöglicht zugleich, diese weiteren Schritte und vor allem zur Verfügung stehende Optionen genauer zu beleuchten.

Die einschlägigen Regelwerke, wie die EnEV [16] sowie die DIN 12831 zu Berechnungsverfahren der Normheizlast, die DIN 4701 Teil 10 zu Anlagenaufwandszahlen mit Auslegungs- bzw. Betriebstemperaturen und Regelungsweisen der Wärmeübergabe, die DIN V 18599 Teil 3 [8] und Teil 7 [10], die DIN 31051 zu Grundlagen der Instandhaltung, die VDI 2073 zu Hydraulischen Schaltungen in Heizungsanlagen, die VDI 3811 zu Modernisierung heiztechnischer Anlagen und die FGK-Statusreports [24], [25] und [26] gehören zum grundlegenden Handwerkszeug für die Schwachstellenanalyse von Anlagen für die Energetische Inspektion. Im Rahmen des entwickelten Verfahrens der energetischen Inspektion anhand mobilen Kurzzeitmonitorings wird die Vorortbegehung je nach projektspezifischer Anforderung mit bestehenden gewerketechnische Prüflisten zum Controlling und zur Abnahme oder Commissioning nach LEED kombiniert.

Im Rahmen der energetischen Inspektion sind zusätzlich versorgungstechnische Randbedingungen und die Konformität mit technischen Regeln und Installations- sowie Betriebsvorschriften zu beachten, auch wenn die sachgerechte Wartung und Instandhaltung Voraussetzung für eine energetische Inspektion darstellt. Derartige Prüfkriterien sind in Mustervorlagen energetischer Inspektionsberichte daher kaum enthalten. Dennoch spiegelt diese Abgrenzung die realen Sachverhalte nicht wieder. Hier kann fachtechnische Ausführungs- und Betriebserfahrung auch nicht durch Checklisten ersetzt, allenfalls unterstützt werden. Darüber hinaus ist die fachliche Zustandsbewertung der Anlagentechnik zur Feststellung und Behebung von Mängeln erforderlich, um mit geringfügigen Maßnahmen an bestehenden Anlagen eine Verbesserung der Funktion und Energieeffizienz zu erzielen. Eine geeignete Maßnahmenentwicklung sowie die Aufstellung einer passenden Sanierungsstrategie stehen zur Umsetzung der realisierbaren Effizienzoptimierungsmöglichkeiten im Vordergrund.

Die energetische Inspektion entfaltet hierbei in vielfältiger Hinsicht Nutzen in Form von Effizienzoptimierung oder auch Funktionssicherstellung und Parameterkorrekturen in Kombination dieser zusätzlichen Leistungen.

Neben der thematischen Bewertung seien zusammenfassend und zur Übersicht die innerhalb dieses Forschungsvorhabens gemäß Arbeitsplan durchgeführten Bearbeitungsschritte noch mal aufgeführt:

- Nach einer Grundlagenrecherche zum Stand der Technik wurde in Kap. 2.2 das mobile System zur Durchführung eines temporären Monitorings hinsichtlich Messtechnik und Komponenten konzipiert.
  - Definition der energetische Inspektionsmaßnahme und Strukturierung der Vorgehensweise unter Berücksichtigung bestehender Normen und Richtlinien
  - Auswahl und Konfiguration der Systemkomponenten des Funksensornetzwerks sowie der Datenerfassung gemäß den Anforderungen an die Instrumente zur energetischen Inspektion
  - Definition Ablauf des mobilen Kurzzeitmonitorings hinsichtlich Entwicklung Messkonzept mit beispielsweiser Benennung der prinzipiell messbaren und grundsätzlich zu erfassenden Messpunkte an Anlagen als Grundlage zur Vorbereitung und Durchführung der Messung sowie Begehung
- Darauf aufbauend erfolgte in Kap. 3 mit dem Schritt der Verfahrensabgleiche der energetischen Inspektionsmethoden (Kap. 3.1 ff.) und den Schritten der Entwicklung der Vorgehensweise bei der Anwendung

sowie der Entwicklung des Analyseverfahrens die Erarbeitung des im vorliegenden Bericht dokumentierten energetischen Inspektions- und Analyseverfahren zur Effizienzoptimierung.

- Entwicklung von Auswertungsmöglichkeiten je Messdatentyp mit Integration von Prüfkriterien für die Plausibilität wie beispielsweise Minima und Maxima von Temperaturmess- bzw. errechneten Spreizungswerten je Kategorie der thermischen Heizungs- und Kältekreise
- Funktionen zur Bereinigung von Erfassungsfehlern / -lücken der Daten innerhalb des Messkanalanalyseprogramms
- Kenngrößen, Berechnungswerte, wie exemplarisch die Funktion zum Heiz- oder Kühlbetriebsstatus (s. Abbildung 22) und Indikatoren für den Soll-Ist-Abgleich sowie zur Identifikation von Einsparmöglichkeiten insbesondere für die Temperaturmessgrößen in Heizungs- und Kältekreisen

- Im anschließenden Anwendungstest (Kap. 4.2.1 bis 4.2.6) der zuvor ausgewählten und konzipierten Instrumente an einer über die im Forschungsantrag weit hinausgehenden Anzahl an Pilotprojekten wurde das Verfahren verfeinert und hinsichtlich der Analysemöglichkeiten bezüglich projektspezifischer Aufgabenstellungen sukzessive erweitert.
  - Funktionstest der temporär installierten, mobilen Monitoringsysteme in den Pilotprojekten
  - Gebäudebestandserfassung und -bewertung inklusive Analyse der Nutzungsprozesse zur Entwicklung des Messkonzepts entsprechend der Anlagentopologie des Gebäudes
  - Implementieren des mobilen Monitorings zur Beobachtung des Energieverbrauchs und des energetischen Anlagenverhaltens mit Funktionstest und Datenübertragung der Messwerterfassung, die wie bei Pilotprojekten zur Anwendung gekommen, bereits während der Messung die Optimierung von Regelungssystemen ermöglichte
  - Analyse und Auswertung der Messdaten aus den Pilotprojekten und Identifikation der projektspezifischen Einsparmöglichkeiten sowie Weiterentwicklung der Darstellungsweisen zur Identifikation von zu prüfenden Werten und Zuständen (beispielsweise die
- Abschließend wurden die Anwendungserfahrungen aus den Pilotprojekten reflektiert, um daraus entweder Weiterentwicklungsbedarf abzuleiten oder die Grenzen der Anwendung – beispielsweise hinsichtlich der Ultraschalldurchflussmessung – auszuloten. Ferner wurde der technisch-wirtschaftliche Nutzen des Untersuchungsverfahrens erörtert. Zu einem Bericht im Rahmen eines Arbeitskreises zur DIN SPEC 15240 ist entgegen der vorab definierten Zielsetzung während der Bearbeitung des Forschungsvorhabens jedoch nicht gekommen.
  - Evaluierung des Analyseverfahrens und der daraus entwickelten Optimierungsmaßnahmen durch Kontrollmessungen nach der Durchführung, konkret nach Pumpen- und Ventilaustauschen wie im Pilotprojekt unter Pkt. 4.2.2
  - Abschließende Wirtschaftlichkeitsbewertung durch Gegenüberstellung der monetär bewerteten Einsparpotenziale und des Aufwands für die Durchführung der energetischen Inspektion und des temporären Anlagenmonitorings

Im Rahmen energetischer Inspektionen wird sich im Zusammenhang der Durchführung dafür ausgesprochen, dass als Zielsetzung die Identifizierung und schnelle Umsetzung von Energieeffizienzsteigerungen im Vordergrund und nicht die vollständige Erfüllung und Dokumentation formeller Inspektionskriterien stehen sollte.

Die Bestimmung von Effizienzkennzahlen von Lüftungs-, Klima- und Kälteanlagen in einem Inspektionsbericht mit enthaltenen Hinweisen aufgrund überproportionaler Abweichungen ist als Voruntersuchung und für einen Gesamtüberblick über einen großen Gesamtbestand von Anlagen – beispielsweise bei einer industriellen Werksliegenschaft – sehr sinnvoll. Doch daran muss die tiefergehende Analyse der energetisch und wirtschaft-

lich ungünstigsten Anlagen zur Erkennung von Fehlfunktionen einzelner Komponenten und zur Aufdeckung ungeeigneter Regelungseinstellungen anknüpfen.

Die Vorgehensweise und Projektkonstellation energetischer Inspektionen hängt dabei von der vorhandenen Anlagenperipherie, den verbundenen Problemstellungen sowie den definierten Schritten der Zielerreichung ab.

Bei einzelnen Gebäuden und Technikzentralen, für die eine erst in 10 Jahren wiederkehrende Erstinspektion durchgeführt werden soll, oder bei denen in der kommenden Zwischenzeit des Inspektionsintervalls eine umfassende Instandsetzung und energetische Sanierung unumgänglich ist, wird eine gründliche energetische Inspektion mit darüber hinausgehender Analyse anhand eines mobilen Kurzzeitmonitorings empfohlen. Die Auswertungen liefern über den gesetzlich geforderten Umfang des Inspektionsberichts hinausgehende versorgungstechnische Informationen, die als Grundlage sowohl zur Priorisierung und Planung als auch zur Wirtschaftlichkeitsbewertung von Maßnahmen dienen.

Handelt es sich jedoch um komplexere Anlagensysteme in hoher Anzahl und räumlicher Verteilung, bezüglich derer zunächst die Notwendigkeit besteht, sich einen Überblick über den konkreten energetischen Zustand zu verschaffen, wird die Durchführung der energetischen Inspektion im Zuge der ohnehin durchzuführenden Wartung empfohlen. Denn aufbauend darauf sind dann weitere Schritte zu definieren.

5.2 Ausblick

5.2.1 Praxisanwendung

Aufgrund der Durchführung des Forschungsprojekts anhand von Pilotprojekten ist eine schnelle Umsetzung in der Praxis gegeben. Eine fortgeführte Anwendung energetischer Inspektionen und eine Verstetigung der Vorgehensweise als Standard im Rahmen der Umsetzung von ganzheitlichen energetisch und wirtschaftlich lohnenden Gebäudesanierungen ist aufgrund des hohen Interesses der Bauindustrie gewährleistet.

Während der Forschungslaufzeit haben sich die Anforderungen und komponentenbezogen Inspektionsweisen wie z.B. bezüglich DIN SPEC 15240 [6] weiterentwickelt und die Anwendung konkretisiert.

Die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens entwickelten Methoden der energetischen Inspektion tragen zur Erweiterung des Betrachtungsrahmens bei energetischen Inspektionen bei. Diesbezügliche Projektleistungen werden durch entsprechende Leistungsbilder in die Praxis überführt, sodass eine rasche und verbreitete Anwendung mit fortlaufender Anpassung und Weiterentwicklung im Rahmen von Praxisanforderungen sicher gestellt ist.

Über die gesetzlichen Bestimmungen zu den prüfpflichtigen Anlagen und dem Prüfungsumfang hinaus wird die Nachfrage auch außerhalb der Geltungsbereiche und des notwendigen Leistungsumfangs aufgrund steigender Energiekosten zunehmen. Auch die aktuelle Marktsituation im Immobiliensektor, bei der energetische Kriterien an Relevanz gewinnen trägt zur vermehrten Umsetzung in die Praxis bei.

Darüber hinaus nimmt aufgrund der geltenden Pflicht zum Einsatz von Smart Metering in Zukunft sowohl die Anzahl der Technologieanbieter als auch der Anwendungsfälle von Messtechnik und die Verfügbarkeit von Messdaten im Gebäude zu. Dadurch entstehen weitere Möglichkeiten zur Messdatenauswertung mit ergänzender Messwerterfassung durch Anwendung von mobilem Kurzzeitmonitoring. Ferner werden steuerliche Anreize zur Einführung von Energiemanagement nach ISO 50001 [11], eine verbreitete Anwendung beschleunigen, denn im Rahmen der Implementierung und Durchführung des Energiemanagements müssen bei Audits Maßnahmen zur Identifizierung und Umsetzung von Effizienzsteigerungsmaßnahmen nachgewiesen werden.

5.2.2 Forschungsdesiderate

Der Bedarf an effizienter anwendbaren Durchflussmessungen sowohl im Rahmen der normativen Inspektion als auch beim mobilen Kurzzeitmonitoring wurde sowohl im Rahmen der Pilotprojektdurchführung als auch bei den

Erfahrungen daraus unter Punkt 4.4.2 bereits erwähnt. Ultraschalldurchflussmessungen sind bei Industrieanwendungen stets lohnend, im Rahmen der Gebäudetechnik besteht die Effizienz in vielen Fällen nicht, sodass eine umfangreiche Messung und Beobachtung der Durchflussmengen meist unterbleibt.

Für diese Aufgabenstellung müssen alternative Verfahren zur Bestimmung und Beobachtung von Volumenströmen z.B. durch Pumpenbetriebsparameter, Rohrdaten und Ventilkennwerten etabliert werden. Bei Hocheffizienzpumpen neuerer Bauart sind bereits die Strömungsdaten mit hinreichender Genauigkeit aufgrund bekannter Leistungsaufnahme, Drehzahl, Förderhöhe über die Pumpenkennlinie steuerungsintern enthalten. Die Auswertung durch Momentanwertab- oder -auslesung ist zwar möglich, eine kontinuierliche Beobachtung über eine Zeitspanne scheitert allerdings an einer für mobile Technik anschließbaren Schnittstelle. Diesbezüglich wird in Zukunft über die ErP-Richtlinien die Möglichkeit gesehen, auf die Eigenschaften zum Informationsaustausch energierelevante Komponenten einzuwirken, um einfacher Effizienz-Parameter der Anlage zu erhalten.

Weiterer Entwicklungsbedarf wird sich mit der fortschreitenden Verfügbarkeit von Funksensoren und der Funktechnologie, an der die Messtechnik des mobilen Kurzzeitmonitorings partizipiert, ergeben. Diesbezüglich wird insbesondere die Anwendbarkeit zur automatisierten Bewertung des Innenraumklimas nach [26], das in Verbindung mit [5] und [24] Relevanz hat, gesehen. Die Sensortechnik bezüglich Luftfeuchtigkeit, CO_2-Konzentration und auch Helligkeit stehen bereits zur Verfügung. Hierzu sind die geeigneten Verfahren zur Übertragung von Werten eines Bewertungsausschnitts auf gemittelte Kennwerte, die für die Gesamtnutzungsdauer repräsentativ sind zu entwickeln.

Ein Forschungsvorhaben in dieser Themenrichtung kann dazu beitragen, dass bei der Neuplanung und der Sanierung im Bestand hinsichtlich geringen Energiebedarfs die Sicherstellung der wesentlichen Parameter für Hygiene, Raumklima, Innenraumluftqualität und Behaglichkeit eine höhere Beachtung findet.

6 Anhang und Verzeichnisse

6.1 Literaturverzeichnis

6.1.1 Verordnungen, Normen und Richtlinien

[1] 1. BImSchV - Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen). Bundesanzeiger Verlag, Berlin 2010.

[2] DIN EN ISO 7730 Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin 2006.

[3] DIN EN 13779 Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlagen und Raumkühlsysteme. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin 2007.

[4] DIN EN 15232 Energieeffizienz von Gebäuden - Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin 2012.

[5] DIN EN 15240 Lüftung von Gebäuden - Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Leitlinien für die Inspektion von Klimaanlagen. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin 2007.

[6] DIN SPEC 15240 Lüftung von Gebäuden - Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Energetische Inspektion von Klimaanlagen. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin 2013.

[7] DIN EN 15378 Heizungssysteme in Gebäuden - Inspektion von Kesseln und Heizungssystemen. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin 2008.

[8] DIN V 18599 Teil 3 Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 3: Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin 2011.

[9] DIN V 18599 Teil 5 Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 5: Endenergiebedarf von Heizungssystemen Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin 2011.

[10] DIN V 18599 Teil 7 Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 7: Endenergiebedarf von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin 2011.

[11] DIN EN ISO 50001 Energiemanagementsysteme - Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin 2011.

[12] Arbeitsblatt W551: Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen. DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V. Technisch-wissenschaftlicher Verein (Hrsg.). Bonn, 2004.

[13] GEFMA124-1 Energiemanagement; Grundlagen Leistungsbild. GEFMA Deutscher Verband für Facility Management e.V., Bonn 2009.

[14] VDI 3807 Verbrauchskennwerte für Gebäude. Blatt 2: Verbrauchskennwerte für Heizenergie, Strom und Wasser. Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2012.

[15] VDI 6003 Trinkwassererwärmungsanlagen; Komfortkriterien und Anforderungsstufen für Planung, Bewertung und Einsatz. VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik (Hrsg.), Düsseldorf, 2012.

[16] Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung. Bundesanzeiger Verlag. Berlin 2009.

6.1.2 Publikationen

[17] BMWI-Mediathek ‚Publikation “Technik – WLAN Flexible Funkbrücken zum Endnutzer“, URL: http://www.bmwi.de/DE/Mediathek/publikationen,did=236552.html (12.09.2013)

[18] Bundesregierung Deutschland: IEKP. Eckpunkte für ein integriertes Energie-und Klimaprogramm, Meseberg 23. August 2007.

[19] Bundesregierung Deutschland: Das Energiekonzept und seine beschleunigte Umsetzung. Beschlüsse Bundestag Berlin, 28. September 2010.

[20] Diefenbach, N.; Cischinsky, H.; Rodenfels, M.; Clausnitzer, K.-D.: Datenbasis Gebäudebestand – Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2010.

[21] Franzke, Uwe; Mai, Ronny; Schiller, Heiko; Händel, Claus: Chancen der energetischen Inspektion für Gesetzgeber, Anlagenbetreiber und die Branche. ILK Dresden (Hrsg.), Dresden 2013.

[22] FÖGES: Anwender-Handbuch. Leitfaden zum Heizungs-Check nach DIN EN 15378, Ausgabe Mai 2010, FÖGES – Fördergemeinschaft Gebäude- und Energiesysteme GmbH und VdZ – Forum für Energieeffizienz in der Gebäudetechnik e.V. (Hrsg.), Berlin 2010.

[23] Graubner, C.-A.; et al.: EInrA. Energetische Inspektion raumlufttechnischer Anlagen. Software zur Simulation und Optimierung des Nutzenergiebedarfs und der Energieeffizienz von RLT- Anlagen. Wettbewerbsbeitrag „Auf IT gebaut“ 2011. Technische Universität Darmstadt, Institut für Massivbau. Darmstadt, 2011.

[24] Händel, Claus: FGK Status-Report Nr. 5.3 – Energetische Inspektion von Lüftungs- und Klimaanlagen. 4. Auflage, Fachverband Gebäude-Klima e.V. (Hrsg.), Bietigheim-Bissingen, 2011.

[25] Händel, Claus; Schädlich, Sylvia: FGK Status-Report Nr. 6 – Energetische Inspektion von Kälteanlagen zur Klimatisierung, 4. Auflage, Fachverband Gebäude-Klima e.V. und InEKK GmbH – Institut für Energie-, Kälte- und Klimatechnik Gladbeck GmbH (Hrsg.), Bietigheim-Bissingen, 2011.

[26] Hellwig. Runa Tabea; Händel, Claus: FGK Status-Report Nr. 17 – Bewertung des Innenraumklimas. Fachverband Gebäude-Klima e.V. und InEKK GmbH – Institut für Energie-, Kälte- und Klimatechnik Gladbeck GmbH (Hrsg.), Bietigheim-Bissingen, 2009.

[27] Hennings, Detlef: Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau (LEE). Institut Wohnen und Umwelt, Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.), Wiesbaden 2000.

[28] Institut der deutschen Wirtschaft Köln: Immobilien-Monitor, Nr. 1/2012.

[29] Jagnof, Kati; Wolff, Dieter: Wärmedurchgang durch Rohre. Skript IfHK FH Wolfenbüttel, Wolfenbüttel, 2004.

[30] Jakob, Dirk: Leitfaden zur Hochrechnung von Kurzzeitmessungen. Fraunhofer ISE, Freiburg 2010.

[31] Jakob, Dirk: Gebäudebetriebsoptimierung. Verbesserung von Optimierungsmethoden und Optimierung unter unsicheren Randbedingungen. Dissertation. Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe 2012.

[32] Kleber, Michael: Leitfaden Lastgangmessung für das Projekt Teilenergiekennwerte. Fachgebiet Bauphysik & Technischer Ausbau (fbta) Karlsruher Institut für Technologie (Hrsg.), Karlsruhe 2013.

[33] Knissel, Jens; Hörner, Michael: Teilenergiekennwerte von Nicht-Wohngebäuden – Methodische Grundlagen, empirische Erhebungen und systematische Analyse. Institut Wohnen und Umwelt (Hrsg.). Darmstadt 2013.

[34] Knissel, Jens: Validierung des MEG-Kurzverfahrens Klimakälte(Methodik zur Erfassung, Beurteilung und Optimierung des Elektrizitätsbedarfs von Gebäuden); Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2006.

[35] Knissel, Jens; Hörner, Michael: Methodik zur Erfassung, Beurteilung und Optimierung des Elektrizitätsbedarfs von Gebäuden (MEG).Abschlussbericht. IWU Institut Wohnen und Umwelt, DS-Plan AG, Frankfurt 2007.

[36] National Instruments, Pressemitteilung, NI DIAdem 2011 beschleunigt Analyse von Messdaten und Berichterstellung (11.07.2011)

[37] National Instruments, White Paper: Vorteile von NI DIAdem im Vergleich zu MS Excel für die Messdatenanalyse und Berichterstellung (16.05.2012)

[38] Oschatz, B.: Physikalische Bewertung vorgeschlagener Messverfahren zur energetischen Inspektion von Heizungsanlagen. BMVBS Forschungsbericht Ressort Bauwesen sowie BBR. Institut für Technische Gebäudeausrüstung (ITG), Dresden, 2006.

[39] Reeb, S.: Beitrag „Funkmesstechnik“, Tagungsband EnOB-Workshop Monitoring, 14.-15.3.2012.

[40] Schädlich, Silvia; Trogisch, Achim: Energetische Inspektion von Klimaanlagen. cci Buch, cci Dialog GmbH, Karlsruhe 2011

[41] Staudt, Anna; Erhorn-Kluttig, Heike; Erhorn, Hans: Elektronische Gebäude- und Anlagen-Checkliste als Basis für die Berechnung nach DIN V 18599. Checkliste in Papierform. Forschungsinitiative „Zukunft Bau“. Stuttgart 2007.

[42] Steinbeis Transfer Center Embedded Design and Networking, Wireless M-Bus Documentation, January 17, 2011.

[43] Testo: Messlösungen für Heizung, Kälte, Klima, Lüftung. Testo AG, Eigenverlag, Lenzkirch, 2012.

[44] Wieland: Kupfer-Kompendium. Heizung / Solar. 2. Aufl., Wieland-Werke AG (Hrsg.), Ulm, 2009.

6.2 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

6.2.1 Abbildungen

Abbildung 1: Übliche Sanierungsschritte zur energetischen Verbesserung 6
Abbildung 2: Qualitative Darstellung möglicher Verhältnisse von Aufwand zu erreichbarer Energieeinsparung bei der Variantenbetrachtung während der Projektkonzeption 10
Abbildung 3: Anwendungsfelder von Energiekennzahlen (oberste Erfassungsebene) 11
Abbildung 4: Schema und Hierarchieebenen der Gebäudeautomation / Gebäudeleittechnik 12
Abbildung 5: Zielsetzung des mobilen Kurzzeitmonitorings zur raschen Effizienzoptimierung für die Erschließung von Umsetzungsmöglichkeiten einer geeigneten Sanierungsstrategie 13
Abbildung 6: Übersicht und Gegenüberstellung der Anwendungsbereiche mit Vor- und Nachteilen der grundsätzlichen Verfahren zur Datenerfassung von Gebäuden und Anlagen mit Bewertungsmöglichkeit der Energieeffizienz 14
Abbildung 7: Übersichtsschema Forschungsprojekt Teilenergiekennwerte (Quelle: IWU) 21
Abbildung 8: Prinzip der Messwerterfassung 25
Abbildung 9: Topologie-Diagramm Mess- und Monitoringsystem 25
Abbildung 10: v.l.n.r.: Ecodac-Messkoffer mit Computer zur Datensammlung / -kommunikation; Temperaturfühler in bestehenden Rohrhülsen; Verteiler- / Sammel-Adapter Bus-Leitungen; Funksender für entfernte Temperaturmesspunkte 26
Abbildung 11: Verteiler in der Heizzentrale, Ultraschallsensormessstelle und Ultraschall-Durchflussmessung mit Datenlogging 26
Abbildung 12 Auszug Datenerhebungsbogen(Kapitel Wärmeerzeugung), Quelle: Bilfinger-Konzerngesellschaft 30
Abbildung 13 Auszug Datenerhebungsbogen (Kapitel Trinkwassererwärmung), Quelle: Bilfinger-Konzerngesellschaft 36
Abbildung 14 Ablaufschema / Vorgehensweise 37
Abbildung 15: Praktischer Ablauf der Energetischen Inspektion mit mobilem Kurzzeitmonitoring 38
Abbildung 16: Entwicklungsbestandteile und -Ergebnis des Gesamtverfahrens 39
Abbildung 17: Deskriptive Statistik zur Bestimmung der charakteristischen Werte der Messkanalaufzeichnung 41
Abbildung 18: Listenausschnitt vordefinierter Berechnungssätze / -anweisungen im „Calculation-Manager“ zur Analyse der Monitoringdaten 43
Abbildung 19: Editor-Fenster Berechnung der Taupunkttemperatur 44
Abbildung 20: Visuelle Diagrammaufbereitung zur Unterstützung der Analyse mit Hilfe der Segmentierung aus generierten Datenkanälen der Grenzwertberechnung 45
Abbildung 21: Editor-Fenster Berechnung der Grenzlinie 46
Abbildung 22: Editor-Fenster Berechnung des Betriebsstatus 47
Abbildung 23: Datenblatt Messobjekt zur energetischen Inspektion 49
Abbildung 24: Gegenüberstellung Heizenergieverbrauchskennwerte Schulgebäude 52
Abbildung 25: Gegenüberstellung Heizenergieverbrauchskennwerte neue und alte Sporthalle 52
Abbildung 26: Aufbau Messkoffer Heizungszentrale 53
Abbildung 27: Anordnung Messpunkte (MP) im R+I Schema Heizzentrale Schulgebäude 53
Abbildung 28: Anordnung Messpunkte (MP) im R+I Schema Lüftung Sporthalle 54
Abbildung 29: Anordnung Messpunkte (MP) im R+I Schema Heizverteiler Sporthalle 54
Abbildung 30: Anordnung Messpunkte (MP) im R+I Schema Naturwissenschaften 55
Abbildung 31: Maßnahmenempfehlungen „neue“ Sporthalle inkl. Warmwasserbereitung 56
Abbildung 32: Tabelle mit ermittelten Werten für die erdverlegte Zubringerleitung und dem Warmwasserstrang aus dem Pilotprojekt 58

Abbildung 33: Heizungsverteiler der Bestandsanlage und Ultraschalldurchflussmessung am Verteilerkreis (re.) 59
Abbildung 34: Heizkreise nach der Umrüstung mit neuen Hocheffizienzpumpen 59
Abbildung 35: Anordnung der Messpunkte im R+I Schema der Heizzentrale des Kindergartens 60
Abbildung 36: Unerwünschter Betriebszustand durch Entladung des Warmwasserbereiters 61
Abbildung 37: Installation Regulier- und Rückschlagventil als Korrekturmaßnahme 61
Abbildung 38 Außenansicht des Pilotprojekts 63
Abbildung 39 Anordnung der Messpunkte im Anlagenschema der Heizzentrale mit Bild der Installation 63
Abbildung 40: Messtechnikinstallation RLT-Zentrale 65
Abbildung 41: Wirkungsweise der Optimierung des Volumenstroms im Kreislaufverbundsystem 65
Abbildung 42: Installierte Messpunkte der Lüftungsanlage im Rahmen der energetischen Inspektion 66
Abbildung 43: Tageslastgang Heizregister mit berechneter Regelventilstellung 67
Abbildung 44: Identifikation der Umstellung der Heizkennlinie 68
Abbildung 45: Aufbau Messtechnik zur energetischen Inspektion des Umluftklimageräts mit Primärluftversorgung und Heiz- Kühlfunktion im 4-Leitersystem 69
Abbildung 46: Installierte Messpunkte im Schema (li.) und Grundriss (re.) 69
Abbildung 47: Betriebsverhalten Raumklimasystem 70
Abbildung 48: Thermische Funktion des Raumklimasystems und die Sollwertstellung des Reglers 71
Abbildung 49: Raumbediengerät der Einzelraumregelung (links: digitaler; rechts: analoger Sollwert-Versteller) 73
Abbildung 50: Temporär installierte Messpunkte des Monitoringsystems im Anlagenschema 74
Abbildung 51: Anlagenzentrale mit Verteiler und dahinter liegendem Pufferspeicher 76
Abbildung 52: Wochentagsprofile (Stromverbraucher) 81
Abbildung 53: Außentemperaturabhängige Heizsystemtemperatur- und Leistungskennlinie zur Beurteilung des Teillastzustands 84
Abbildung 54: Ist-Volumenstromverhältnisse im Vergleich zur Auslegung und dem kennlinienbedingten Soll-Teillastzustand 84
Abbildung 55: Tagesprofil des auf die belüftete Fläche bezogenen Zuluftvolumenstroms in Abhängigkeit von der Regelung der Luftförderung 88
Abbildung 56: Segmentierung des Mollier-h-x-Diagramms nach Luftbehandlungserfordernis zur Einhaltung des Behaglichkeitsbereichs der Zuluft 89
Abbildung 57: Luftbehandlungsprozesse im Mollier-h-x-Diagramm ausgehend von klimatisch herrschenden Außenluftzuständen 89
Abbildung 58: Kombination der Aufgaben Erfassung und spätere Bearbeitung bereits im Dateiformat (Quelle: National Instruments) 105
Abbildung 59: Hierarchie des Technical Data Managements (Quelle: National Instruments) 107

6.2.2 Tabellen

Tabelle 1: Instrumente / Prozesse und dokumentierte Erfahrungen zur Energieeinsparung 9
Tabelle 2: Deckungsgrad-Übersichtenergetische Inspektion Heizung 28
Tabelle 3: Deckungsgrad-Übersicht energetische Inspektion Lüftung und Klima-Kälte 32
Tabelle 4: Extrem- und Mittelwerte der Heizregistertemperaturen im Beobachtungszeitraum 67
Tabelle 5: Regelungsparameter Einzelraumregler (nicht übertragbar, da nicht allgemein gültig) 72
Tabelle 6: Übersicht der Aufgabenstellungen zur Inspektion und Voraussetzungen zur Identifikation 90
Tabelle 7: Erfüllung der Kriterien von Datenspeicheroptionen in einem TDMS-Dateiformat (Quelle: National Instruments) 106

6.3 Anhang / Diagramme / Dokumente

6.3.1 Unterlagen zu Pilotprojekten und Visualisierungen von Messdaten

Anhang 1 Messdatenvisualisierungen zum Pilotprojekt „Heizungs- und Lüftungssystem Altbau Schule und Sporthalle“ unter Punkt 4.2.1 (externe Dokumente Diagramm-Reporte Schulgebäude, Sporthalle, Naturwissenschaften)

Anhang 2 zum Pilotprojekt „Heizungssystem Altbau Kindergarten“ unter Punkt „4.2.2“ mit Berechnungsblättern zur Heizungsabsenkung (externe Dokumente)

Anhang 3 Messdatenvisualisierungen zum Pilotprojekt „Heizungssystem Neubau Niedrigenergiehausstandard“ unter Punkt 4.2.3 (externe Dokumente Diagramm-Reporte)

Anhang 4 Messdatenvisualisierungen zu den Pilotprojekten „Drei Mehrfamilienhäuser“ unter Punkt 4.2.6 (externe Dokumente für Haus 1 bis Haus 3)

6.3.2 Monitoringdaten Management

6.3.2.1 Übersicht

Ein optimaler Austausch von umfangreichen Informationen wie Monitoringdaten trifft häufig auf verschiedene technische Hürden. Stets wird versäumt, bereits beim Anlegen einer Messung, d.h. bei der Definition eines Sets an Messkanälen zur Datenerfassung, Voraussetzungen für die effiziente Nutzung der erfassten Daten zu schaffen. Meist werden Messdaten, daraus berechnete Daten und ohne beschreibende Zusatzinformationen in diversen Dateiformaten an mehreren Speicherorten verteilt abgelegt. Daraus entstehen unübersichtliche Strukturen und Datenmengen, aus denen sich nur mühsam die Informationen extrahieren lassen, die für die Auswertung und Dateninterpretation benötigt werden. Lassen sich Datensätze nicht finden, müssen u.U. Datenerfassungen unter hohem Aufwand erneut durchgeführt werden.

Als Lösung wurde in dem zu Anwendung kommenden Messkanalanalyseprogramm (DIAdem von National Instruments) das TDM-Dateiformat (Technical Data Management) definiert. Darin sind drei Komponenten enthalten:

- Das offene TDMS-Dateiformat zum Speichern umfassend dokumentierter Messdaten
- Den „DataFinder“ zum schnellen Auffinden zuvor gespeicherter Datensätze
- Toolkits zur Verarbeitung von Daten und zum Erstellen von Berichten



Abbildung 58: Kombination der Aufgaben Erfassung und spätere Bearbeitung bereits im Dateiformat (Quelle: National Instruments)

Der grundlegende Schritt zu einer einheitlichen Lösung für das Datenmanagement besteht darin, sicherzustellen, dass die Daten so effizient, organisiert und skalierbar wie möglich gespeichert werden. Dieser Aspekt des

TDMS-Dateiformats wird an dieser Stelle vorgestellt. Dabei handelt es sich um ein offenes Format, das für die Speicherung von Messdaten auf einer Festplatte optimiert wurde.

6.3.2.2 Traditionelle Ansätze bei der Messdatenspeicherung

Für das Speichern von Messdaten steht eine Reihe von Formatoptionen zur Wahl. Jedoch steht ein genaues Abwägen der Möglichkeiten für die Datenspeicherung bei der Anwendungsplanung meist nicht im Vordergrund. Die Auswahl des Dateiformats wird oft zugunsten anderer, offensichtlicherer Entscheidungen wie Hardwaresystemdesign oder Softwarearchitektur vernachlässigt. Entscheidungen über die Datenspeicherung werden je nach Bedarf getroffen, ohne die Wiederverwendbarkeit und Erweiterbarkeit zu berücksichtigen, so dass komplexe und kostenaufwändige Softwarearchitekturen entstehen. Da sich Anwendungen und Anforderungen mit der Zeit ändern, erfüllen selbst die gängigsten Speicherformate schon bald nicht mehr die Erfordernisse der Anwender, die zeitbasierte Messdaten speichern. Tabelle 7 zeigt die Vor- und Nachteile einiger der am häufigsten gewählten Speicheroptionen für Messdaten.

Kriterien	ASCII	Binär	XML	Datenbank	TDMS
Austausch- / Übertragbarkeit	✓		✓		✓
Geringer Speicherplatz		✓			✓
Indexbasierte Suchfunktion				✓	✓
Integrierte Daten-Attribute			✓		✓
Streaming (Empfangen + Wiedergeben)		✓			✓
Programmtechnische Unterstützung	✓	✓	✓	✓	✓

Tabelle 7: Erfüllung der Kriterien von Datenspeicheroptionen in einem TDMS-Dateiformat (Quelle: National Instruments)

Da andere, bisher vorhandene Datenspeicheroptionen, die in Mess- und Prüfanwendungen bislang eingesetzt werden, nicht ausreichten, wird in dem angewendeten Messkanalanalyseprogramm das TDMS-Dateiformat (Technical Data Management Streaming) eingeführt. Das binäre TDMS-Dateiformat ist ein leicht austauschbares, strukturiertes Dateiformat mit Hochgeschwindigkeits-Streaming-Fähigkeit, das in Verbindung mit auf das TDM-Dateiformat angepassten Technologien schnell durchsucht werden kann. Hierfür ist – wie ansonsten üblich – keine komplizierte und kostenaufwändige Datenbankgestaltung, -architektur oder -pflege erforderlich.

6.3.2.3 Überblick über die TDMS-Dateistruktur

Die wichtigste Eigenschaft des internen Formats der TDMS-Dateistruktur ist seine hierarchische Organisation. Das TDMS-Dateiformat ist anhand dreier Hierarchieebenen strukturiert Abbildung 59: Datei, Gruppe und Kanal. Die Dateiebene kann eine unbegrenzte Anzahl von Gruppen enthalten und jede Gruppe wiederum eine unbegrenzte Anzahl von Kanälen.

Aufgrund dieser Kanalgruppierung besitzt der Anwender die Entscheidung, wie Daten verständlicher organisiert werden können. So kann beispielsweise eine Gruppe für die Rohdaten und eine weitere für die analysierten Daten in einer einzelnen Datei angelegt werden. Alternativ können mehrere Gruppen bestehen, die unterschiedlichen Sensortypen oder Messpunkten entsprechen.

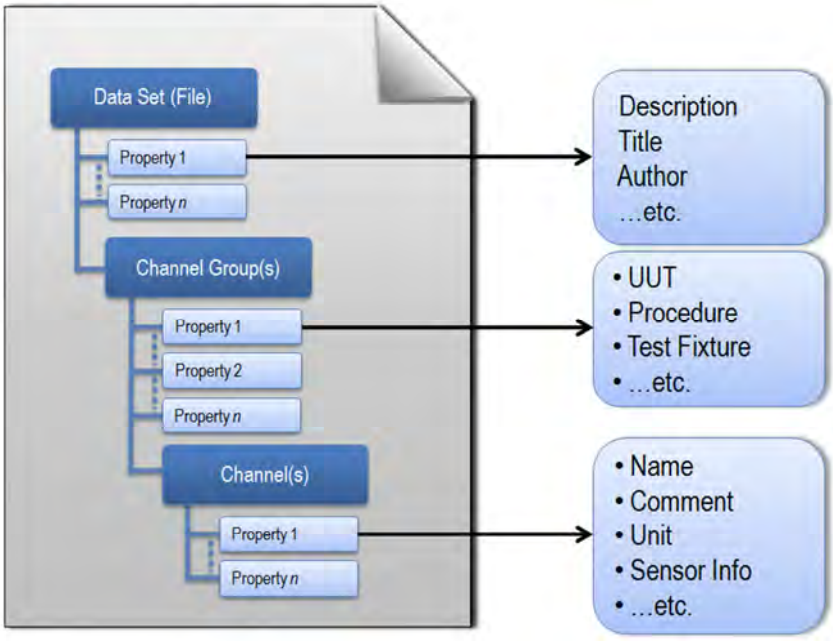


Abbildung 59: Hierarchie des Technical Data Managements (Quelle: National Instruments)

Auf jeder Ebene der Hierarchie ist eine unbegrenzte Anzahl benutzerdefinierter Zusatzeigenschaften definier- und speicherbar. Jede Ebene nimmt eine unbegrenzte Anzahl an anwenderdefinierten Attributen auf, um umfangreich dokumentierte und suchoptimierte Datendateien zu erhalten. Die Zusatzeigenschaften innerhalb der Datei – ein wichtiger Vorteil dieses Modells – bieten eine einfache Möglichkeit, Daten zu dokumentieren, ohne dass dafür eine eigene Kopf-Struktur an Meta-Daten erstellt werden muss. Mit zunehmenden Dokumentationsanforderungen muss die Anwendung nicht neu entwickelt werden. Stattdessen wird einfach das Datenmodell erweitert, um spezifische Anforderungen zu erfüllen.

Je mehr Zusatzeigenschaften zur Dokumentation der erfassten Messdaten verwendet werden, desto einfacher können diese später gefunden, gefiltert und weiterverarbeitet werden. Dabei muss keine komplexere Datenbankkommunikation angewendet werden.

Vordefinierte Funktionen ermöglichen die Speicherung beliebiger Zusatzeigenschaften zusammen mit den eigentlichen Daten.

6.3.2.4 DIAdem

Die Software NI DIAdem ist eine flexible Umgebung für die Datennachbearbeitung, Visualisierung, Messkanalanlyse und Berichterstellung, die im Rahmen des temporären Monitorings zur Identifikation der Optimierungspotenziale zum Einsatz kommt. Durch Einsatz von Daten-Import-Assistenten können auch beliebige benutzerspezifische Dateiformate, wie sie beispielsweise in der Messhardware vorliegen, bearbeitet werden. DIAdem ist speziell darauf ausgelegt, standardmäßig TMDS-Dateien als Basis zu nutzen. Allerdings werden Daten, die ins Datenportal – eine visuelle Darstellung des internen DIAdem-Speichers – kopiert werden, auf das TDMS-Modell abgebildet. Mit DIAdem – einem Client zum DataFinder – können Sie den Index durchsuchen, um Daten so einfach wie Internetinformationen mit einer Suchmaschine zu finden.

6.3.2.5 Austausch von TDMS-Dateien mithilfe von Microsoft Excel

Obwohl alle Entwicklungsumgebungen des Messkanalanalyseprogramms TDMS-Dateien schreiben und lesen können, ist es gelegentlich erforderlich und dabei von Vorteil, Datendateien auszutauschen, die nicht über das Dateiformat verfügen. Zu diesem Zweck stehen Import- und Exportfunktionen und weitere Dienstprogramme für gängige Softwareumgebungen, wie Microsoft Excel, zur Verfügung, auf die viele Anwender Zugriff haben. Zwar ist Microsoft Excel kein ideales Werkzeug für die Nachbearbeitung umfangreicher Messdaten, aber es eignet

sich gut, um schnell kleine Datendateien zu sichten. Gründe hierfür, die im Wesentlichen die monitoringspezifische Betrachtung und Zusammenfassung von [37] darstellt, werden im Weiteren dargestellt.

6.3.2.6 Gegenüberstellender Vergleich von DIAdem mit MS Excel

Als im Office-Paket enthaltenes Programm bildet es häufig die De-facto-Wahl von Anwendern, die eine Software für die Analyse und Bearbeitung von Messdaten benötigen. Microsoft Excel bietet sich insbesondere für geringumfängliche Mess- und Berechnungsanwendungen sowie für die Finanzmathematik an, für die es konzipiert wurde.

Die Software DIAdem von National Instruments – die speziell für die Verwaltung, Sichtung, Analyse und Berichterstellung erfasster oder simulierter technischer bzw. wissenschaftlicher Daten erstellt wurde – sorgt mithilfe von Funktionen, die über die Möglichkeiten von Excel hinausgehen, bei den meisten Anwendungen zur Datennachbereitung für Produktivitätssteigerungen und Skalierbarkeit.

1. Unterschiede bei den grundlegenden Bausteinen: Zellen und Kanäle

Microsoft Excel verwendet Zellen als grundlegende Bausteine. Zellen bilden Zeilen und Spalten, so dass ein Arbeitsblatt entsteht, das sich besonders für zellenbasierte Berechnungen, wie Budgets und Bilanzen eignet. Einfache Datenerfassungsanwendungen mit Einzelwertverarbeitung lassen sich mit dieser Architektur oft leicht abbilden.

Die meisten Datenerfassungsanwendungen sind allerdings nicht derart strukturiert und komplexer. Anwendungen, bei denen Messwerte an Dutzenden von Datenkanälen mit Abtastraten von Megasamples pro Sekunde (MS/s) erfasst werden können, sind bei wissenschaftlichen Test- und Prüfanwendungen der übliche Fall. Bei diesen Anwendungen erfolgt die Datenmanipulation an einem Signal (oder Kanal) als Ganzes. Werden in Excel Kanäle als Spalten individueller Zellen geändert, geht die Einheit eines Signals verloren. Obwohl ganze Excel-Spalten gleichzeitig manipuliert werden können, ist das bei längeren Spalten aufwändig. Zudem enthalten Spalten neben den reinen Ziffern häufig auch beschreibende Informationen wie einen Namen oder eine Einheit. In diesem Fall muss eine Teilmenge der Spalte ausgewählt werden, so dass es zu Mehraufwand und durch mögliche Fehlverweise zu Fehlern kommen kann.

2. Vielzahl an technischen und wissenschaftliche Analyseberechnungen

Die Anzahl verfügbarer Formeln für finanzbezogene Berechnungen in Excel ist zwar umfangreich, doch technische und statistische Berechnungen sind eher gering. Im Allgemeinen erfüllen die Analysefunktionen von Excel oft nicht die Anforderungen wissenschaftlicher oder technischer Anwendungen.

Um mehr Möglichkeiten zu bieten, verfügt Excel über eine robuste VBA-Engine (Visual Basic for Applications) und eine ausgezeichnete VBA-Bearbeitungsumgebung, mit denen eigenen Programmcodes mit technischen Berechnungen für spezielle Anwendungsanforderungen erstellt werden können, wenn die in Excel integrierten Funktionen für spezielle Anwendungen nicht ausreichen.

In DIAdem gehören technische und wissenschaftliche Analyseberechnungen – von einfachen Additionen bis hin zu komplexen Matrixmanipulationen und Ordnungsanalysen – zur Umgebung. Selbst für die Ausführung von komplexen Analysen wie beispielsweise der digitalen Filterung ist keine Programmierung erforderlich. Darüber hinaus beinhalten die Analysefunktionen in DIAdem komplette Voransichten der Analyseergebnisse.

Zudem ist eine Architektur zur Erstellung eigener bereichsspezifischer Berechnungen mittels „Calculation-Manager“ enthalten, die eine integrierte Visual-Basic-Scripting-Schnittstelle umfasst, um eine Reihenfolge für integrierte DIAdem-Berechnungen oder benutzerdefinierte Berechnungen festzulegen.

3. Laden und Bearbeiten großer Datenmengen

Die Datenerfassungs- und -übertragungsgeschwindigkeiten gängiger Anwendungen liegen in Bereichen, bei denen in einem einzigen Kanal insgesamt 1 Millionen Datenpunkte in einer Sekunde erzeugt und speichertechnisch erfasst werden müssen. Wird hingegen in Excel ein umfangreicher Datensatz geladen, wird versucht,

jeden einzelnen Datenpunkt in den Speicher zu laden, was aufgrund der Menge oft mehrere Minuten in Anspruch nehmen kann. Des Weiteren erfolgt in Excel nicht nur die Speicherung numerischer Werte in jeder Zelle, sondern auch numerische Formatierungen, Zellformatierungen, Formeln, Verknüpfungen zu Arbeitsblättern und Kommentare. Diese auf Zellen ausgerichtete Flexibilität eignet sich für Tabellenkalkulationen in Unternehmen, wo die Sichtbarkeit auf Zellebene eine Schlüsselrolle spielt. Allerdings verursacht dies hohen Speicheraufwand für Datensätze mit Millionen von Werten. Um Speicherprobleme zu vermeiden, wurde die maximale Anzahl von Zeilen und Spalten in Excel begrenzt. Demgegenüber steht die 500-fache Speicher- und Bearbeitungskapazität in DIAdem zur Verfügung.

Außerdem beinhaltet DIAdem selektives Laden, Datenreduktion und Funktionen für das Laden von Registern speziell für das Arbeiten an extrem großen Datensätzen.

4. Flexibilität beim Dateiformat und integrierte Werkzeuge für die Datenverwaltung

Anwendungen, mit denen Daten bei hohen Erfassungs- und Übertragungsraten erzeugt und gespeichert werden, müssen typischerweise auf eine Festplatte geschrieben werden, wozu ein Dateiformat eingesetzt wird, das über hohe Streaming-Fähigkeiten verfügen muss. Daher werden häufig binäre Dateiformate verwendet, weil diese auf den Mehraufwand verzichten, eine für den Anwender lesbare Datei zu erzeugen, wie dies beispielsweise bei ASCII-Dateien der Fall ist. Tabelle 7 zeigt einen Vergleich gängiger Dateiformate.

Im Laufe der Zeit werden unzählige Datendateien auf unterschiedlichen Speichermedien gespeichert und Versuche unternommen, sie zu organisieren. Sollen Daten aus mehreren Datendateien aufgezeichnet werden, muss i.d.R. jede einzelne Datendatei geöffnet, die entsprechenden Spalten kopiert und in eine Masterdatei verschoben werden.

Im Messkanalanalyseprogramm ist das Laden unterschiedlicher Dateiformate in eine gemeinsame importierte Struktur möglich, um sie einheitlich zu analysieren und Berichte zu extrahieren.

5. Datensichtung und Synchronisation

Microsoft Excel ermöglicht das Erstellen einfacher Diagramme und Graphen. Mit statischen Graphen können allerdings keine Daten, die im Laufe der Zeit gemessen wurden, bearbeitet und untersucht werden. Um alle Aspekte zeitbasierter Messungen vollständig zu charakterisieren, enthält das Messkanalanalyseprogramm ein Visualisierungswerkzeug, das synchronisierbare Anzeigebereiche umfasst, um Messungen zusammen mit Videos, 3D-Modellen, Achsensystemen, GPS-Kartendarstellungen, Konturen, Audiosignalen etc. wiederzugeben. Dadurch wird der Kontext einer Messung besser verständlich. Außerdem wird ermöglicht, bestimmte Bereiche eines Graphen zu vergrößern, Datenbereiche zu kopieren, zu löschen oder zu interpolieren und die genauen Werte bestimmter Punkte grafisch zu untersuchen. Mit diesem Werkzeug lässt sich eine Bereichsauswahl identifizieren. Außerdem können Ausreißer innerhalb großer Datensätze gefunden werden.

6. Berichtsvorlagen

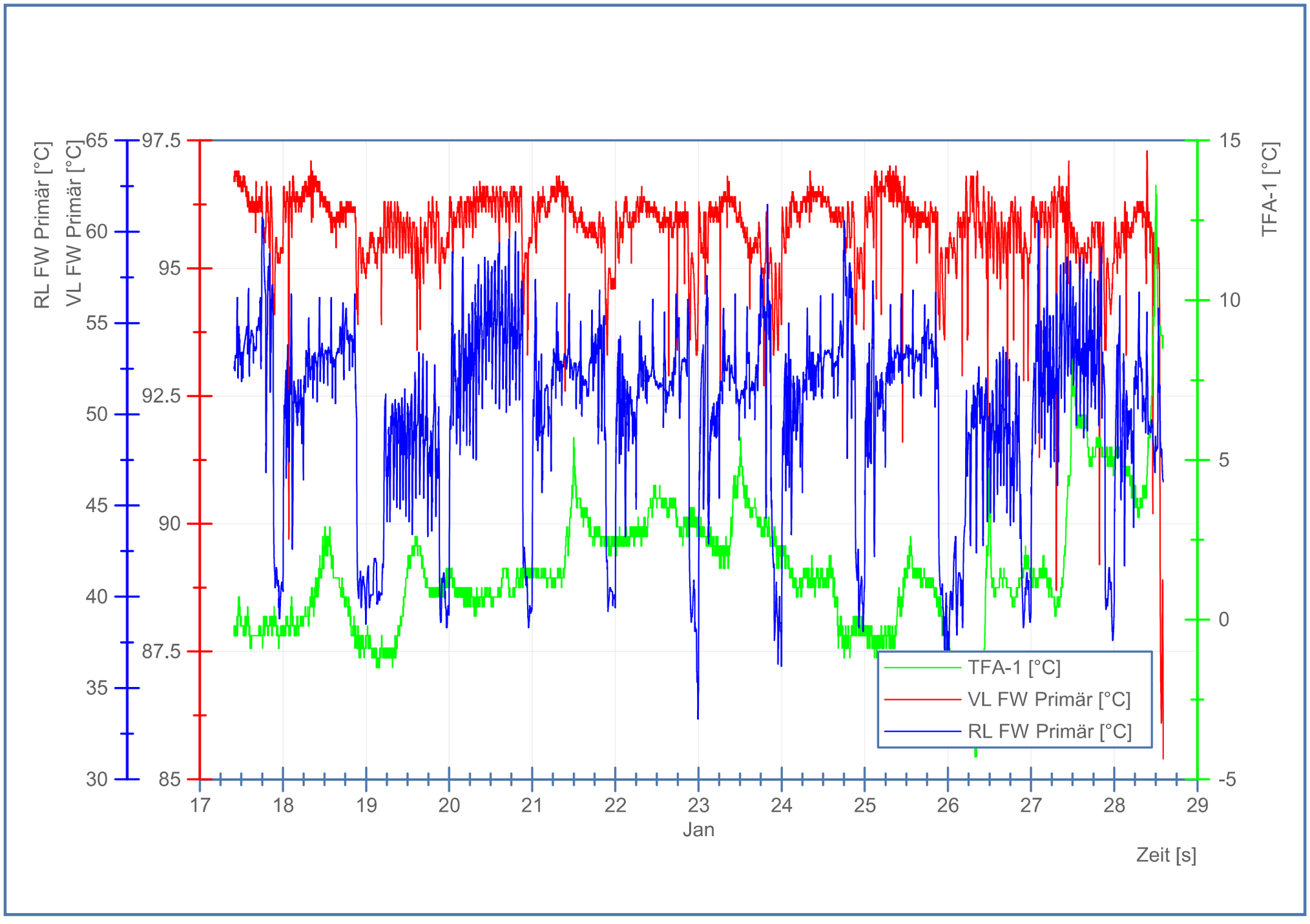
Das Messkanalanalyseprogramm bietet eine robuste Plattform für die Berichterstellung, die wiederverwendbare Vorlagen nutzt, da im Rahmen des temporären Monitorings häufig Berichte gleicher Struktur und Datendarstellungsart mit unterschiedlichen Datensätzen erzeugen. Die Berichtsvorlagen speichern lediglich Referenzen zu Daten und nicht die eigentlichen Datenwerte. In anderen Programmen wird die Berichtsanzeige zusammen mit den Daten in einer gemeinsamen Arbeitsblattdatei gespeichert. Dadurch ist es viel schwerer, eine bestimmte Berichtsanzeige für mehrere Datensätze zu nutzen.

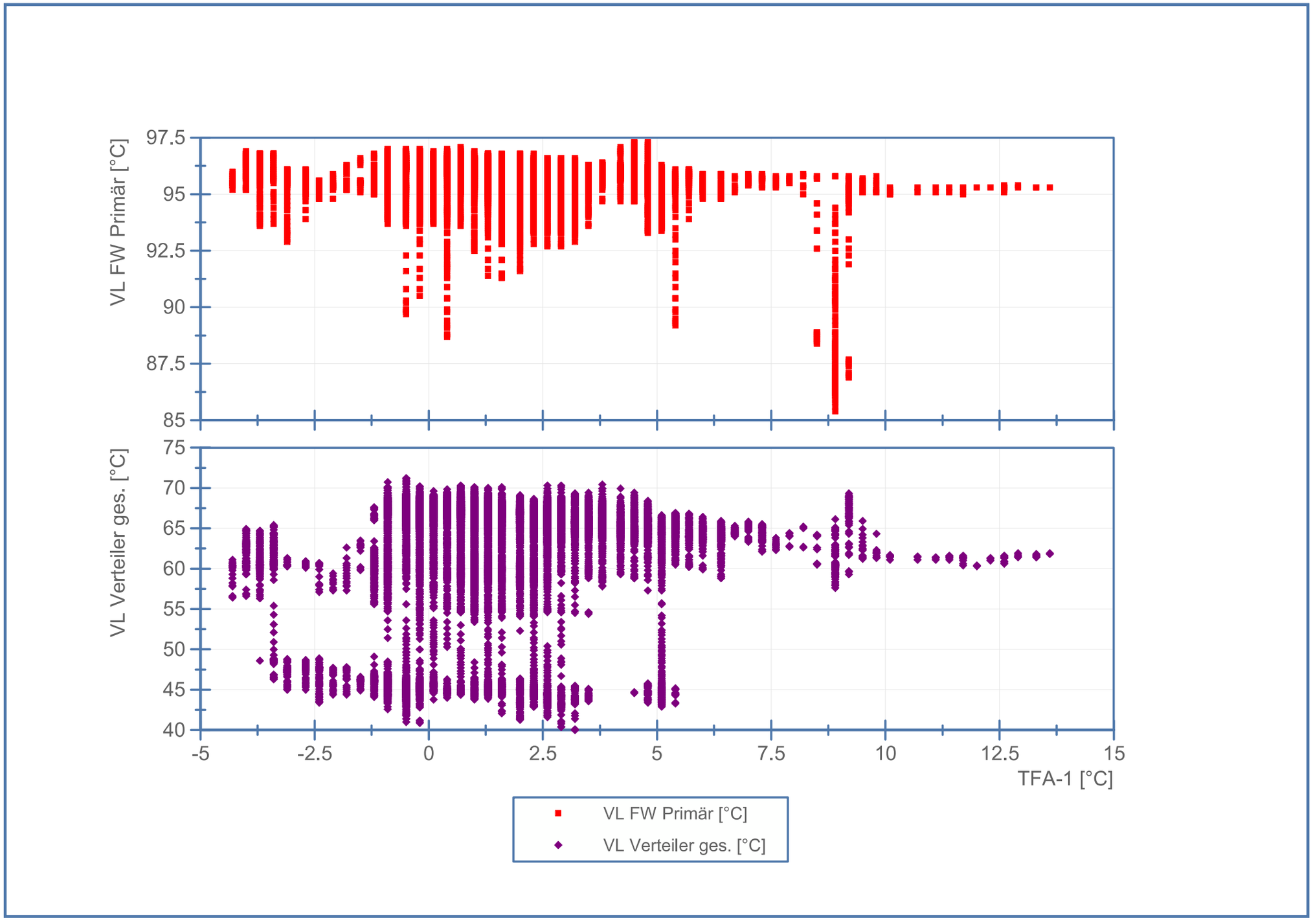
Anlage zu Pilotprojekt Kap. 4.2.1

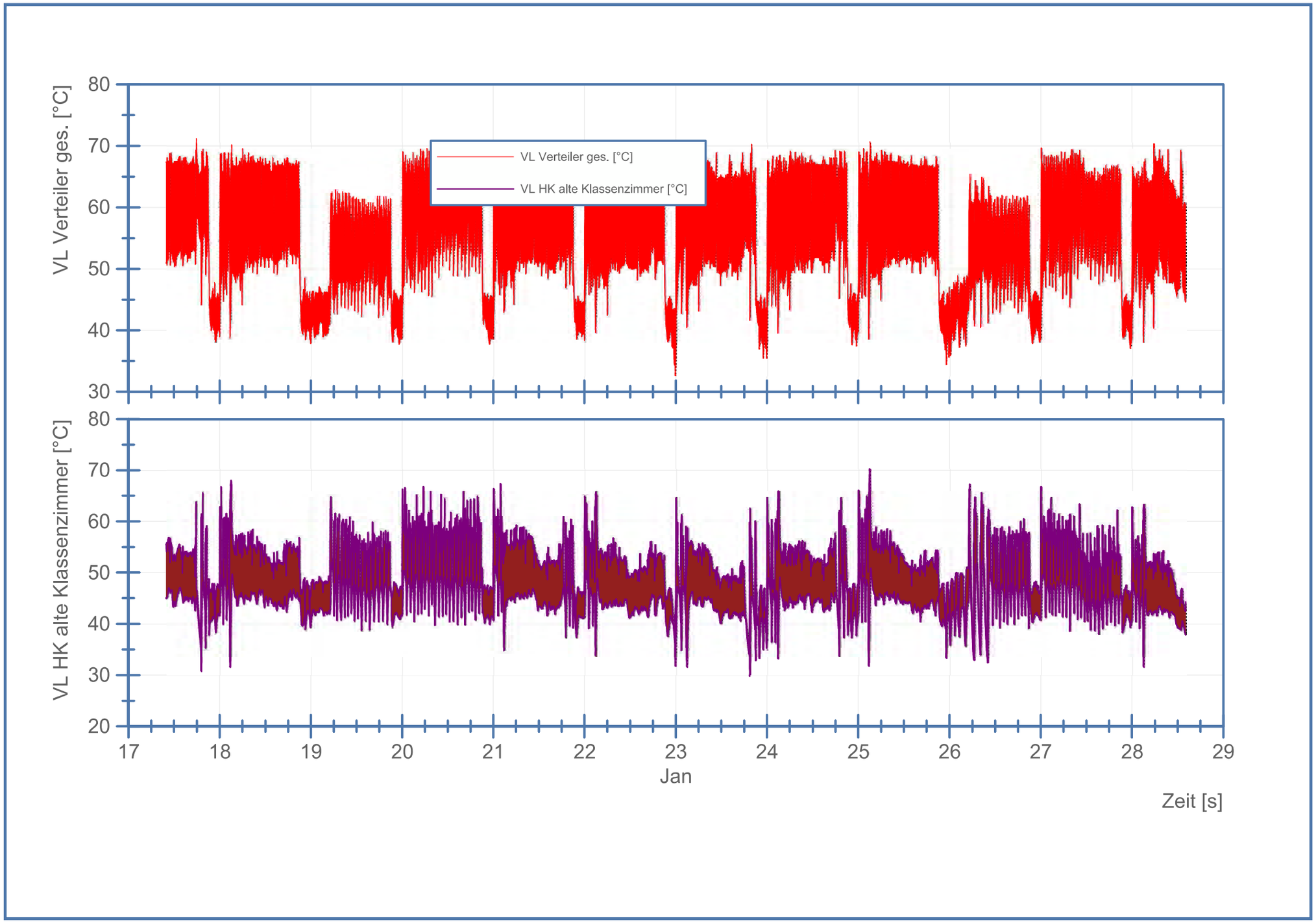
Diagrammexporte zu:

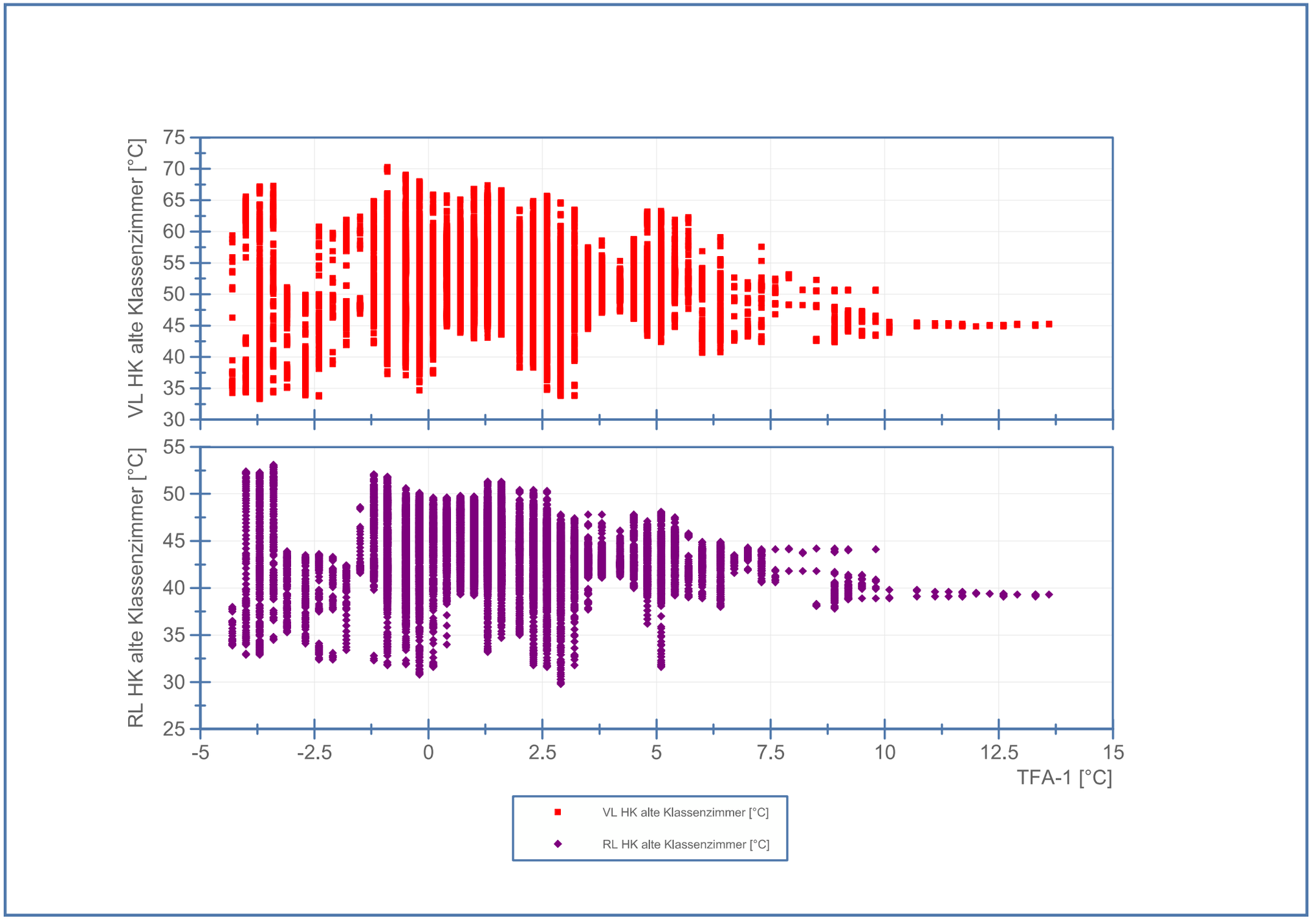
- Schulgebäude
- Sporthalle
- Naturwissenschaftsgebäude

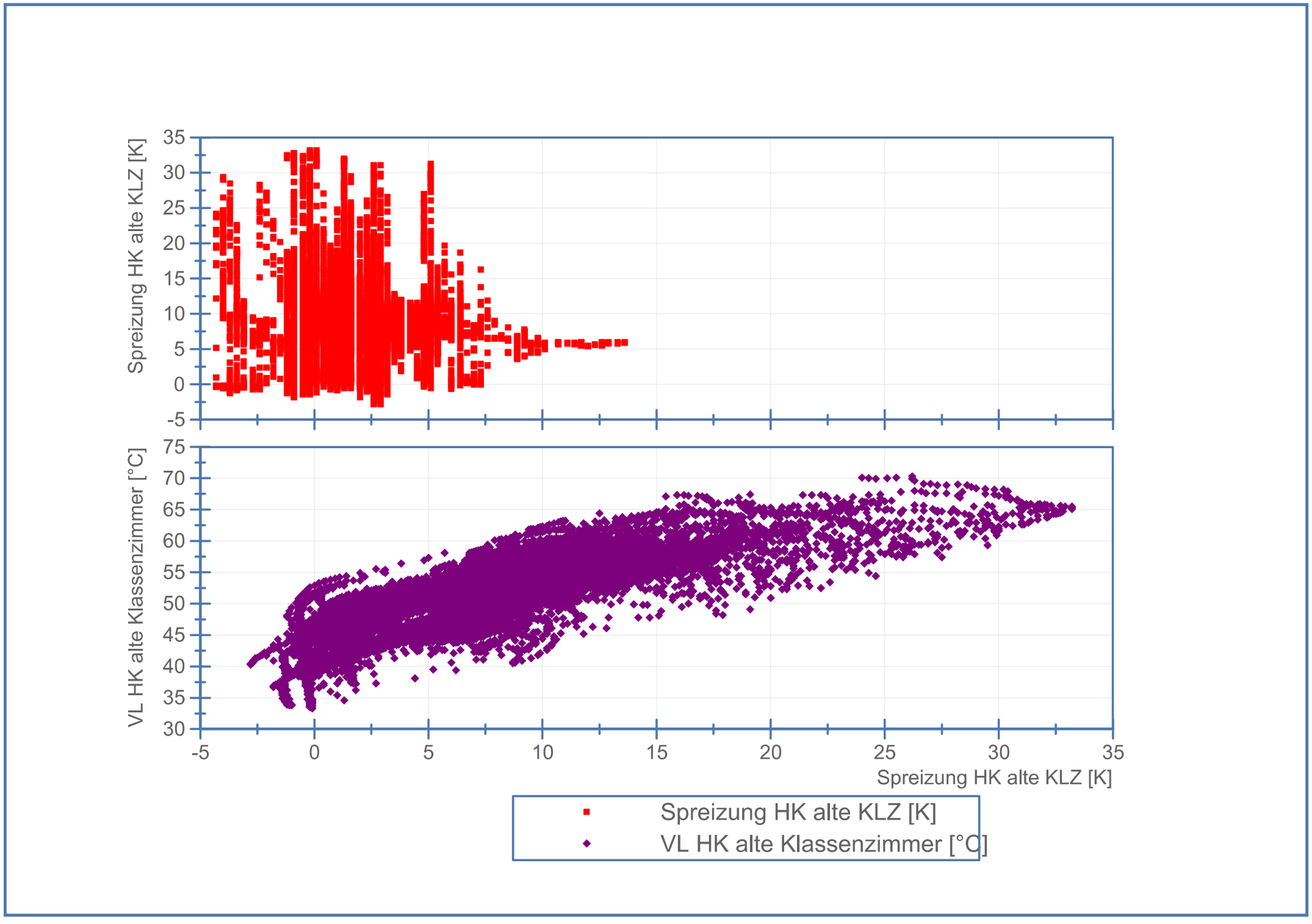
- Schulgebäude

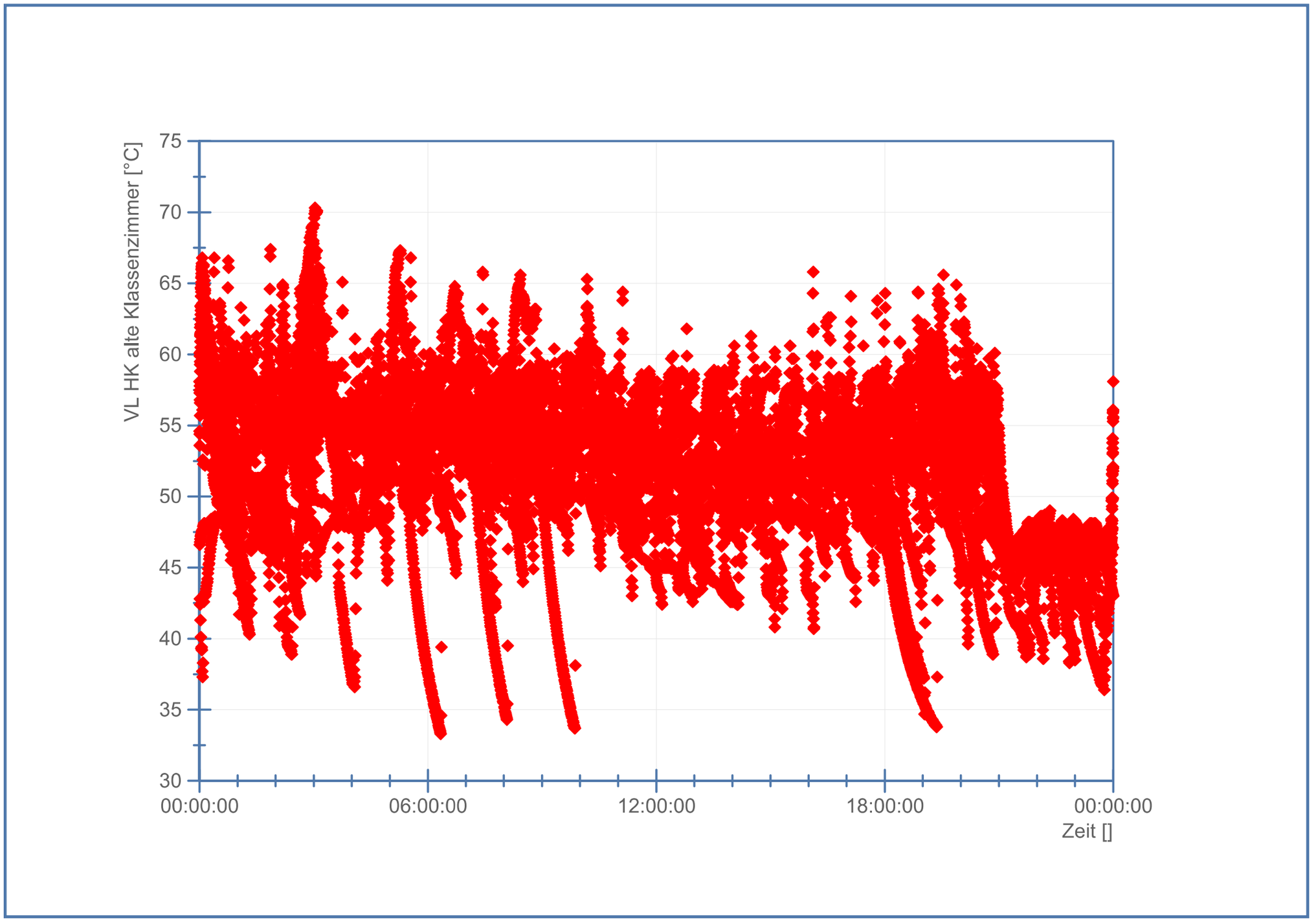

RL FW Primär [°C]
VL FW Primär [°C]
65
60
55
50
45
40
35
30
97.5
95
92.5
90
87.5
85
15
10
5
0
-5
TFA-1 [°C]
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
Jan
Zeit [s]
TFA-1 [°C]
VL FW Primär [°C]
RL FW Primär [°C]

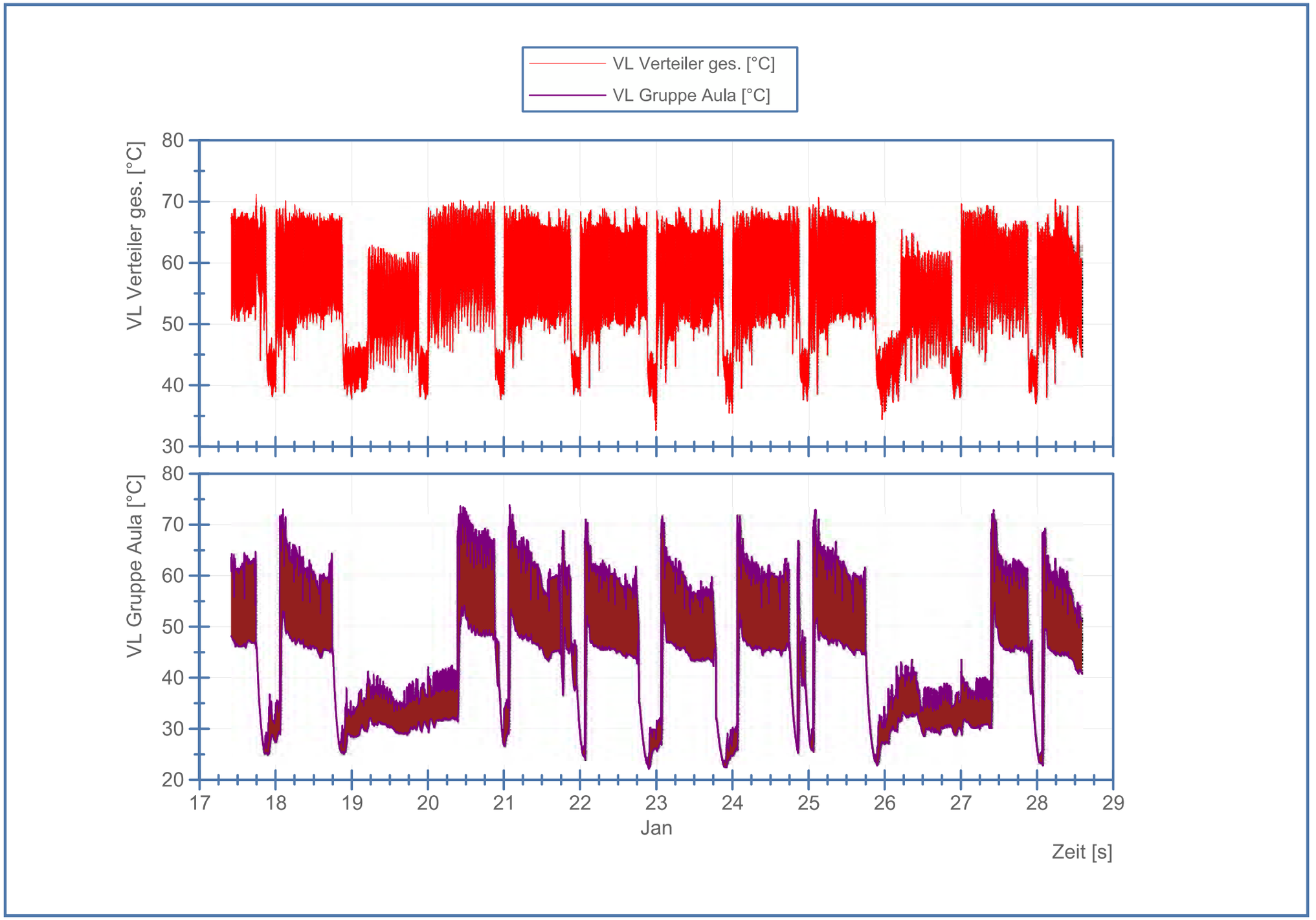

VL FW Primär [°C]
97.5
95
92.5
90
87.5
85
VL Verteiler ges. [°C]
75
70
65
60
55
50
45
40
-5
-2.5
0
2.5
5
7.5
10
12.5
15
TFA-1 [°C]
VL FW Primär [°C]
VL Verteiler ges. [°C]

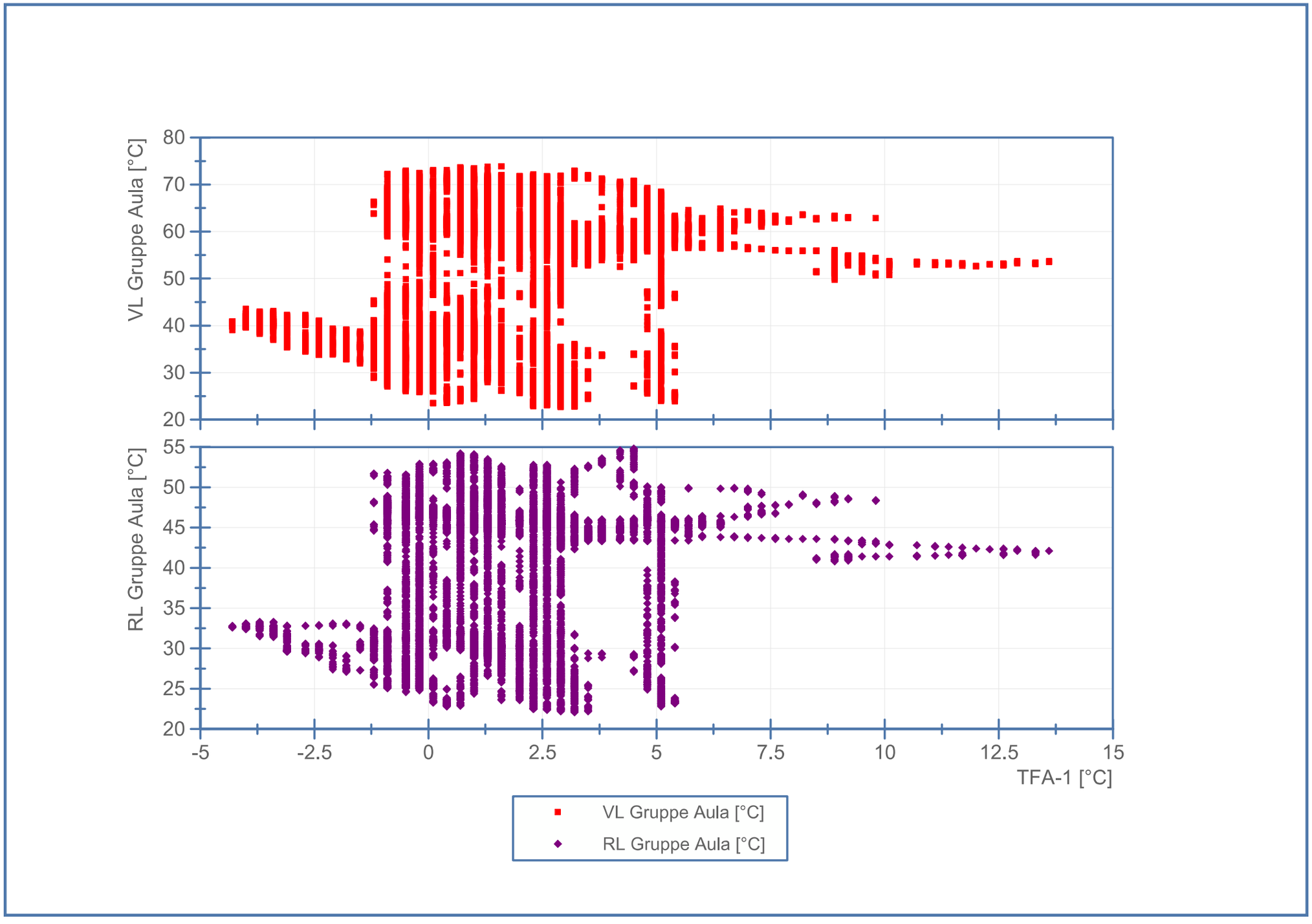

VL Verteiler ges. [°C]
80
70
60
50
40
30
VL Verteiler ges. [°C]
VL HK alte Klassenzimmer [°C]
VL HK alte Klassenzimmer [°C]
80
70
60
50
40
30
20
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
Jan
Zeit [s]

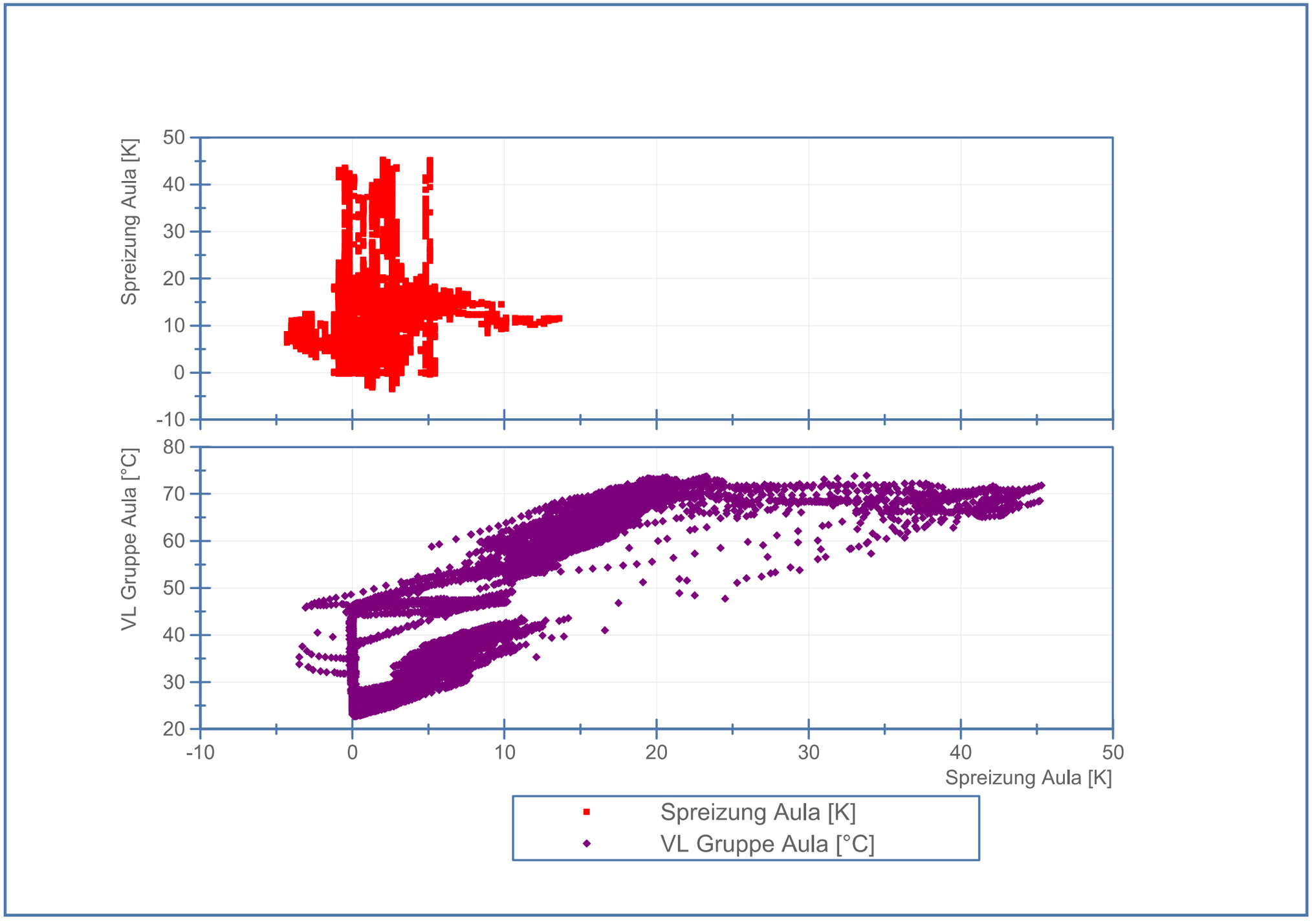

VL HK alte Klassenzimmer [°C]
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
RL HK alte Klassenzimmer [°C]
55
50
45
40
35
30
25
-5
-2.5
0
2.5
5
7.5
10
12.5
15
TFA-1 [°C]
VL HK alte Klassenzimmer [°C]
RL HK alte Klassenzimmer [°C]

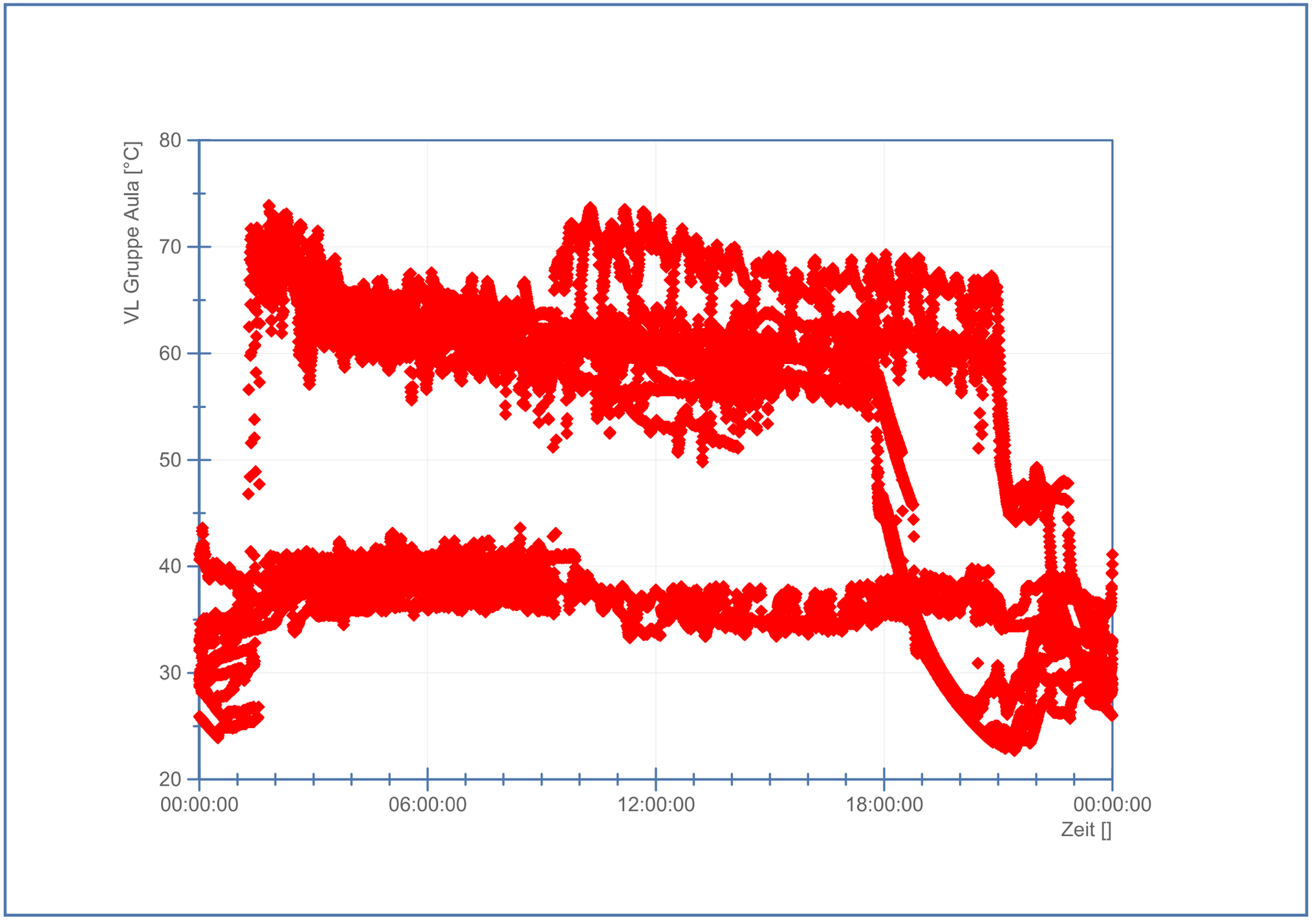

Spreizung HK alte KLZ [K]
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
VL HK alte Klassenzimmer [°C]
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
-5
0
5
10
15
20
25
30
35
Spreizung HK alte KLZ [K]
Spreizung HK alte KLZ [K]
VL HK alte Klassenzimmer [°C]

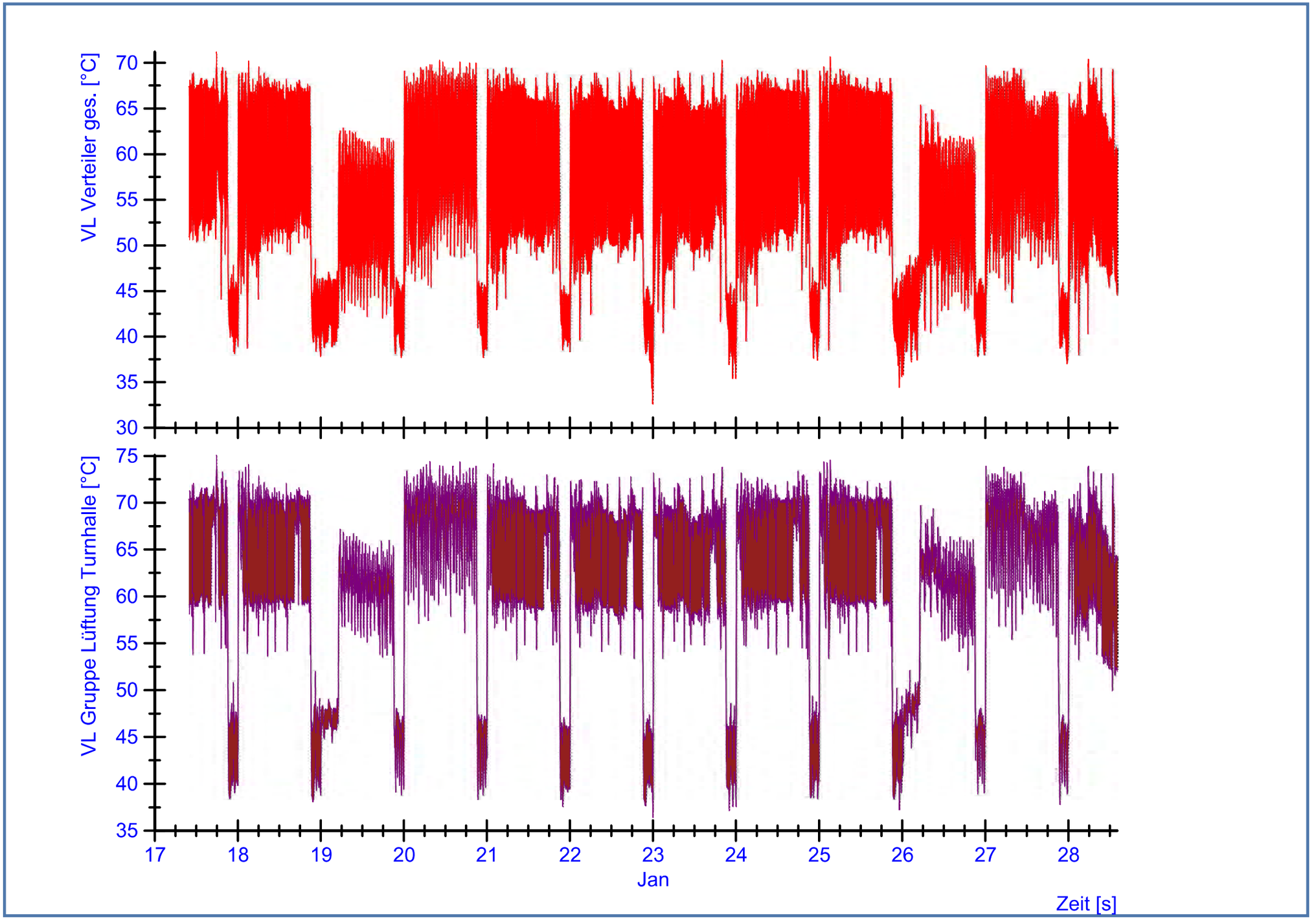

VL HK alte Klassenzimmer [°C]
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
00:00:00
06:00:00
12:00:00
18:00:00
00:00:00
Zeit []

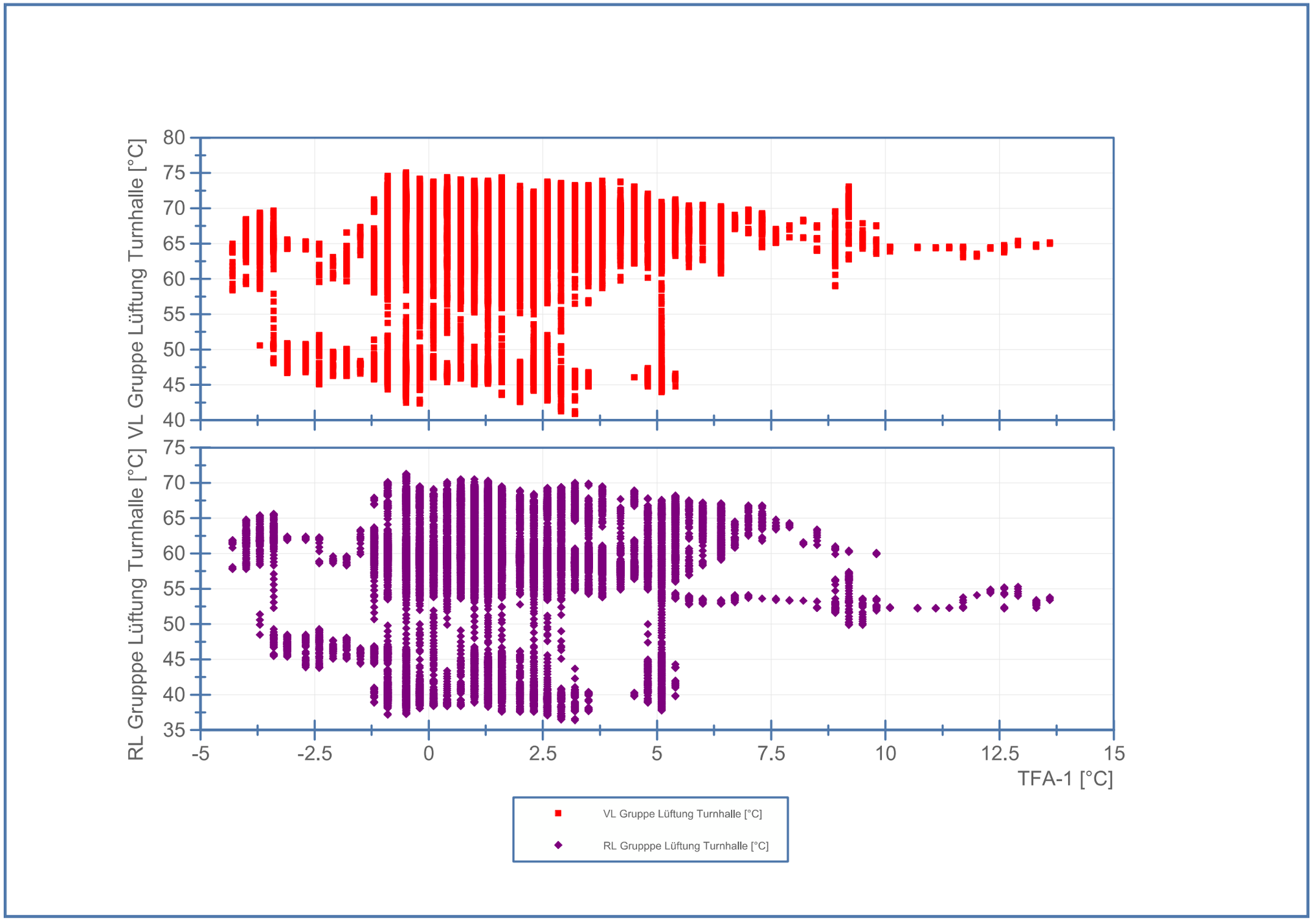

VL Verteiler ges. [°C]
VL Gruppe Aula [°C]
VL Verteiler ges. [°C]
80
70
60
50
40
30
VL Gruppe Aula [°C]
80
70
60
50
40
30
20
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
Jan
Zeit [s]

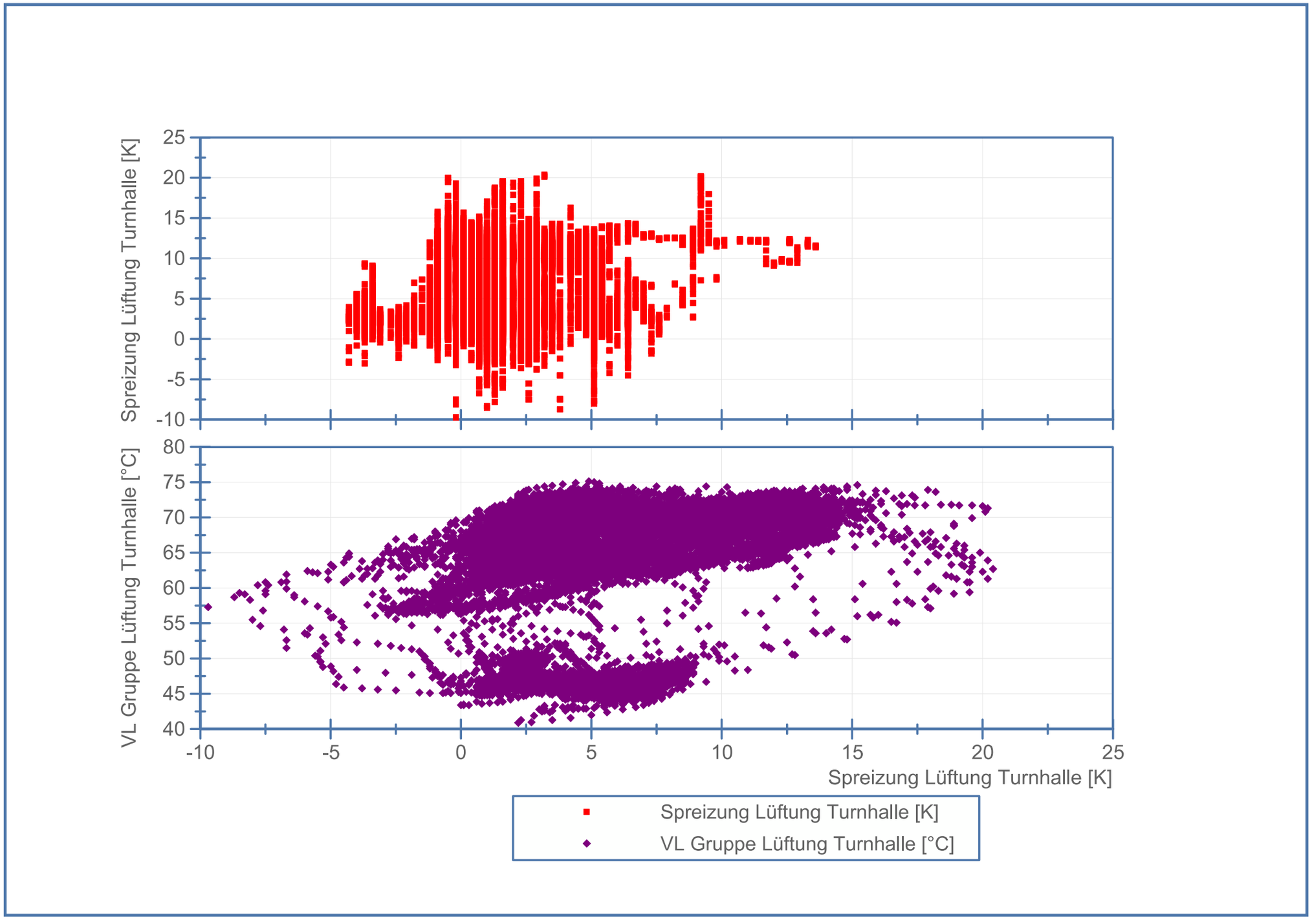

VL Gruppe Aula [°C]
80
70
60
50
40
30
20
RL Gruppe Aula [°C]
55
50
45
40
35
30
25
20
-5
-2.5
0
2.5
5
7.5
10
12.5
15
TFA-1 [°C]
VL Gruppe Aula [°C]
RL Gruppe Aula [°C]

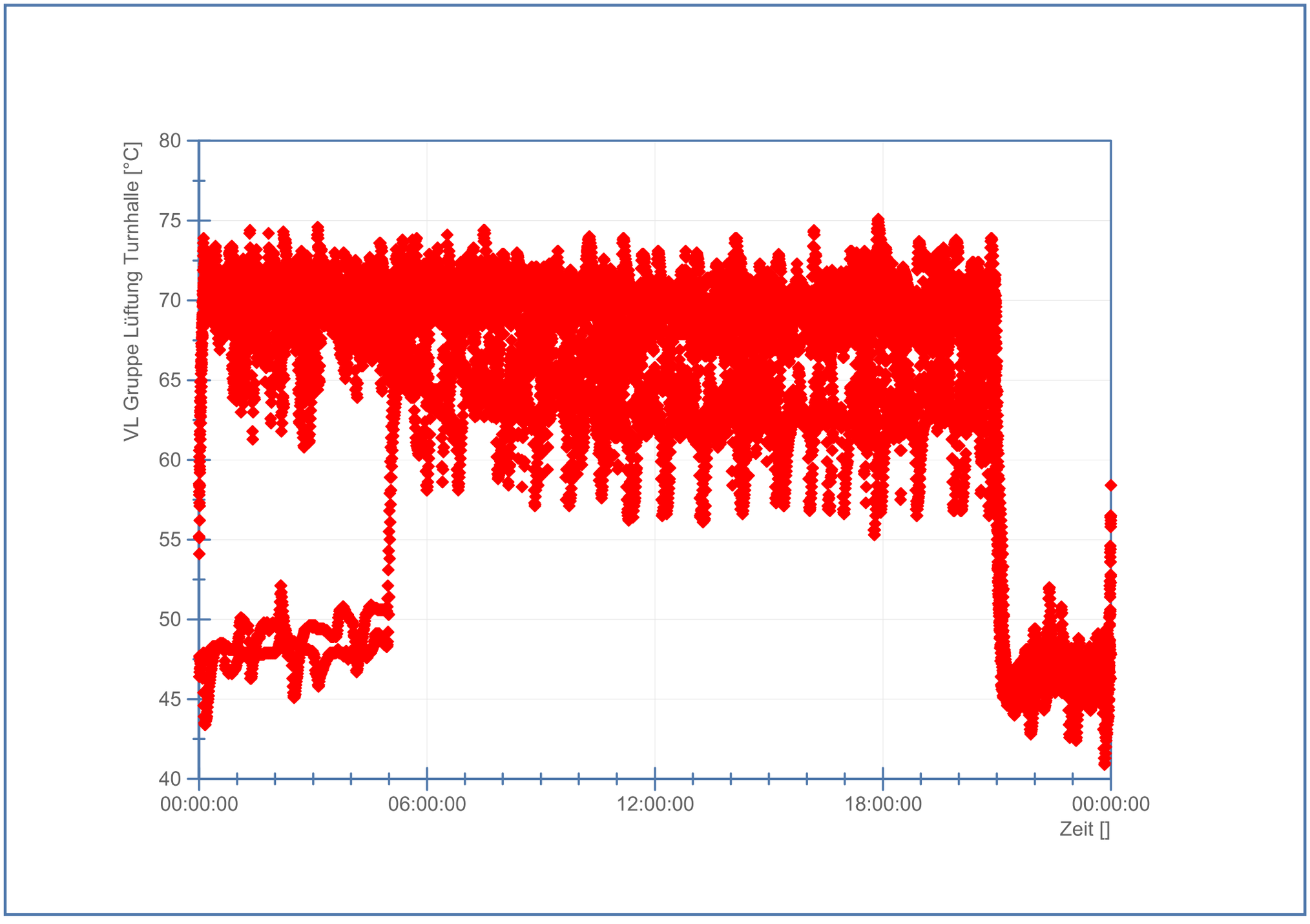

Spreizung Aula [K]
50
40
30
20
10
0
-10
VL Gruppe Aula [°C]
80
70
60
50
40
30
20
-10
0
10
20
30
40
50
Spreizung Aula [K]
Spreizung Aula [K]
VL Gruppe Aula [°C]

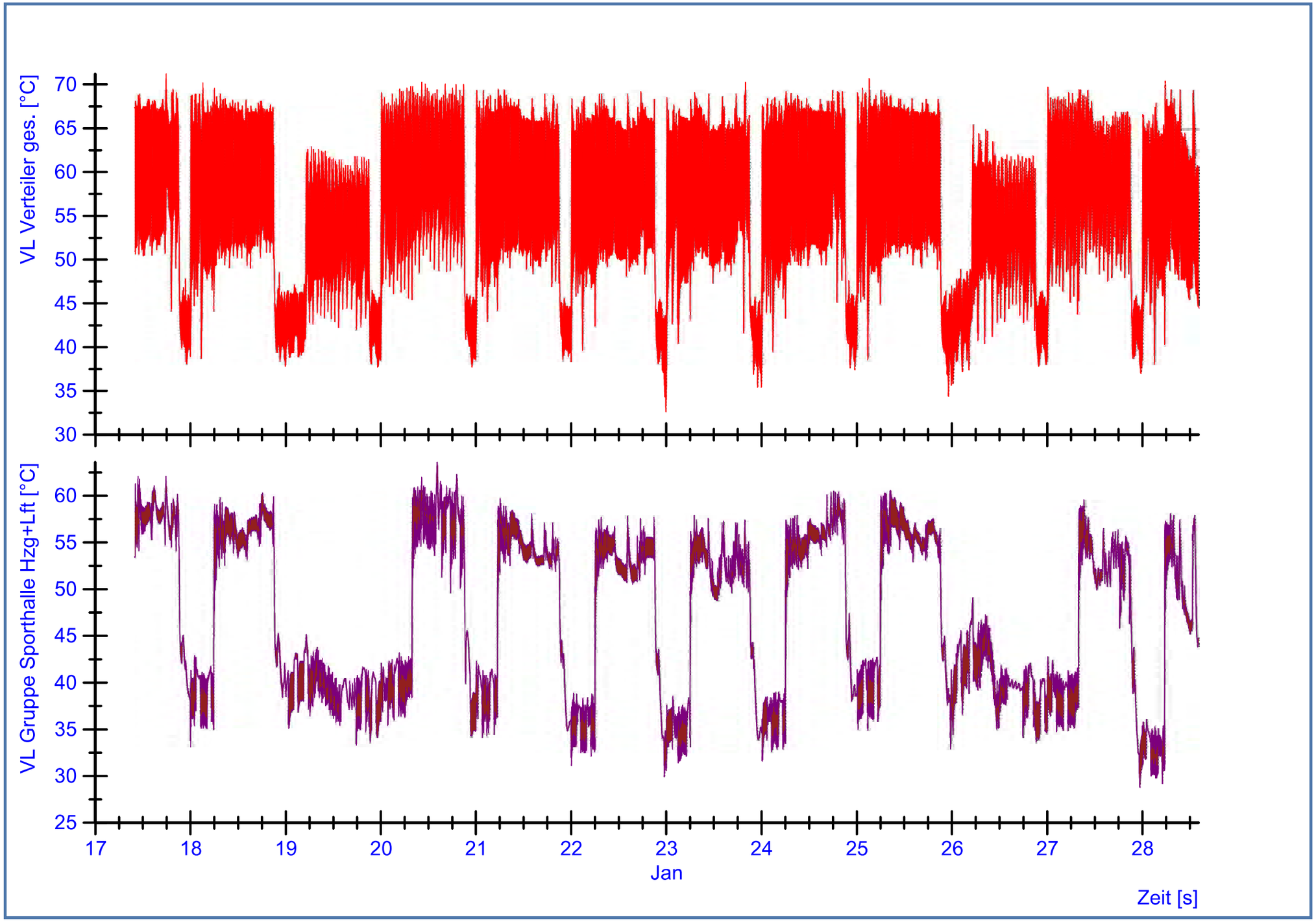

VL Gruppe Aula [°C]
80
70
60
50
40
30
20
00:00:00
06:00:00
12:00:00
18:00:00
00:00:00
Zeit []

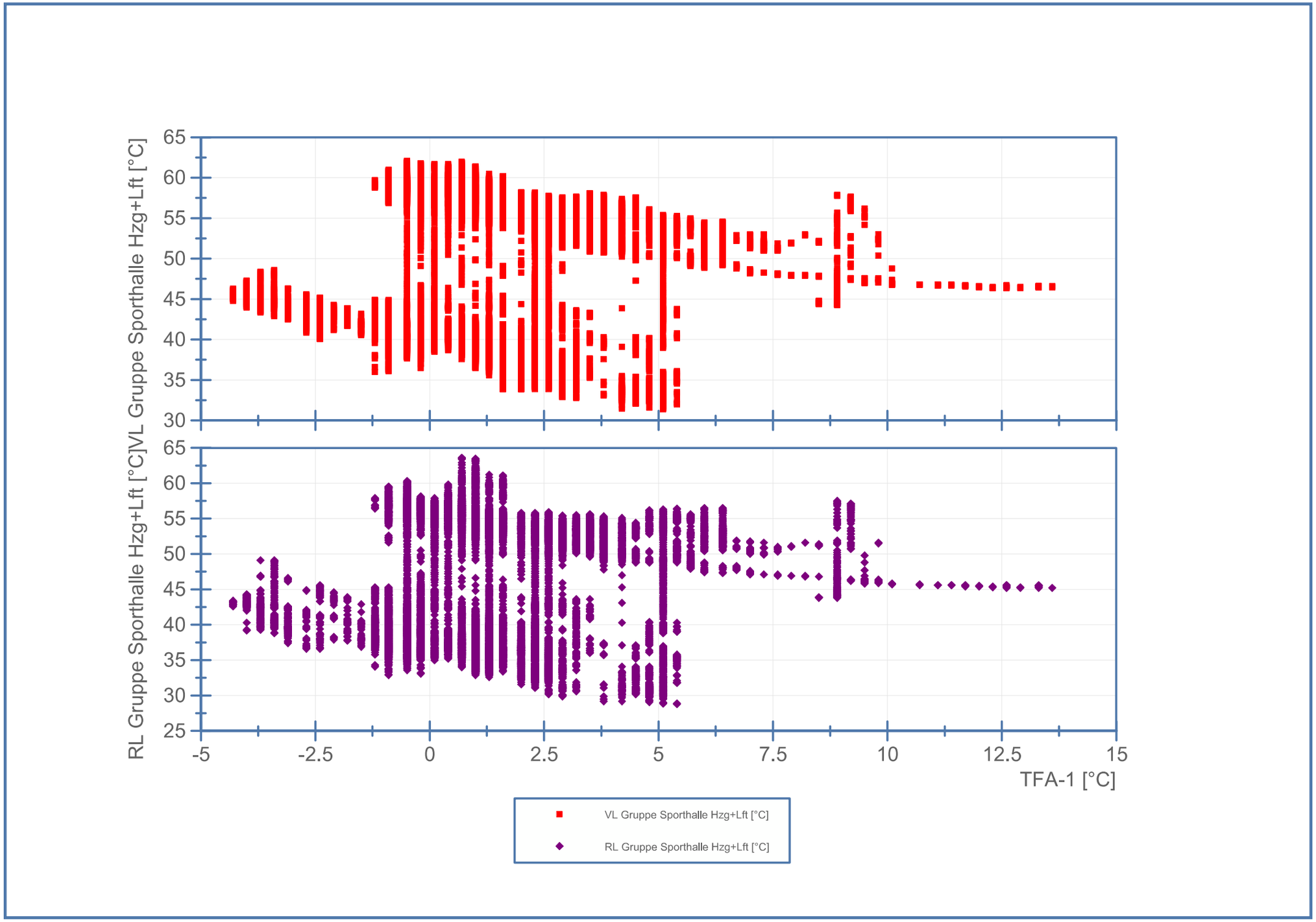

VL Verteiler ges. [°C]
70
65
60
55
50
45
40
35
30
VL Gruppe Lüftung Turnhalle [°C]
75
70
65
60
55
50
45
40
35
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
Jan
Zeit [s]

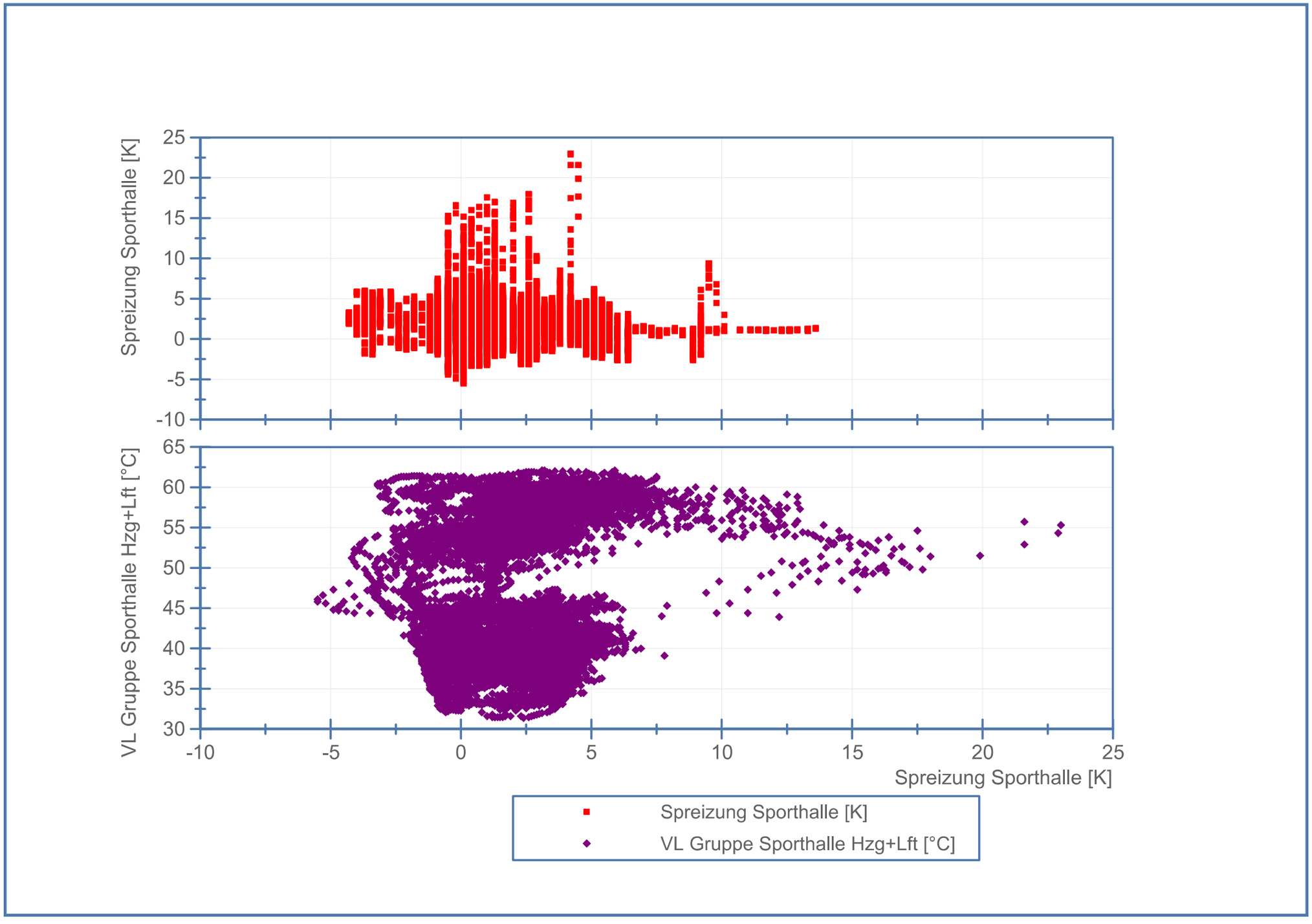

VL Gruppe Lüftung Turnhalle [°C]
80
75
70
65
60
55
50
45
40
RL Gruppe Lüftung Turnhalle [°C]
75
70
65
60
55
50
45
40
35
-5
-2.5
0
2.5
5
7.5
10
12.5
15
TFA-1 [°C]
VL Gruppe Lüftung Turnhalle [°C]
RL Grupppe Lüftung Turnhalle [°C]

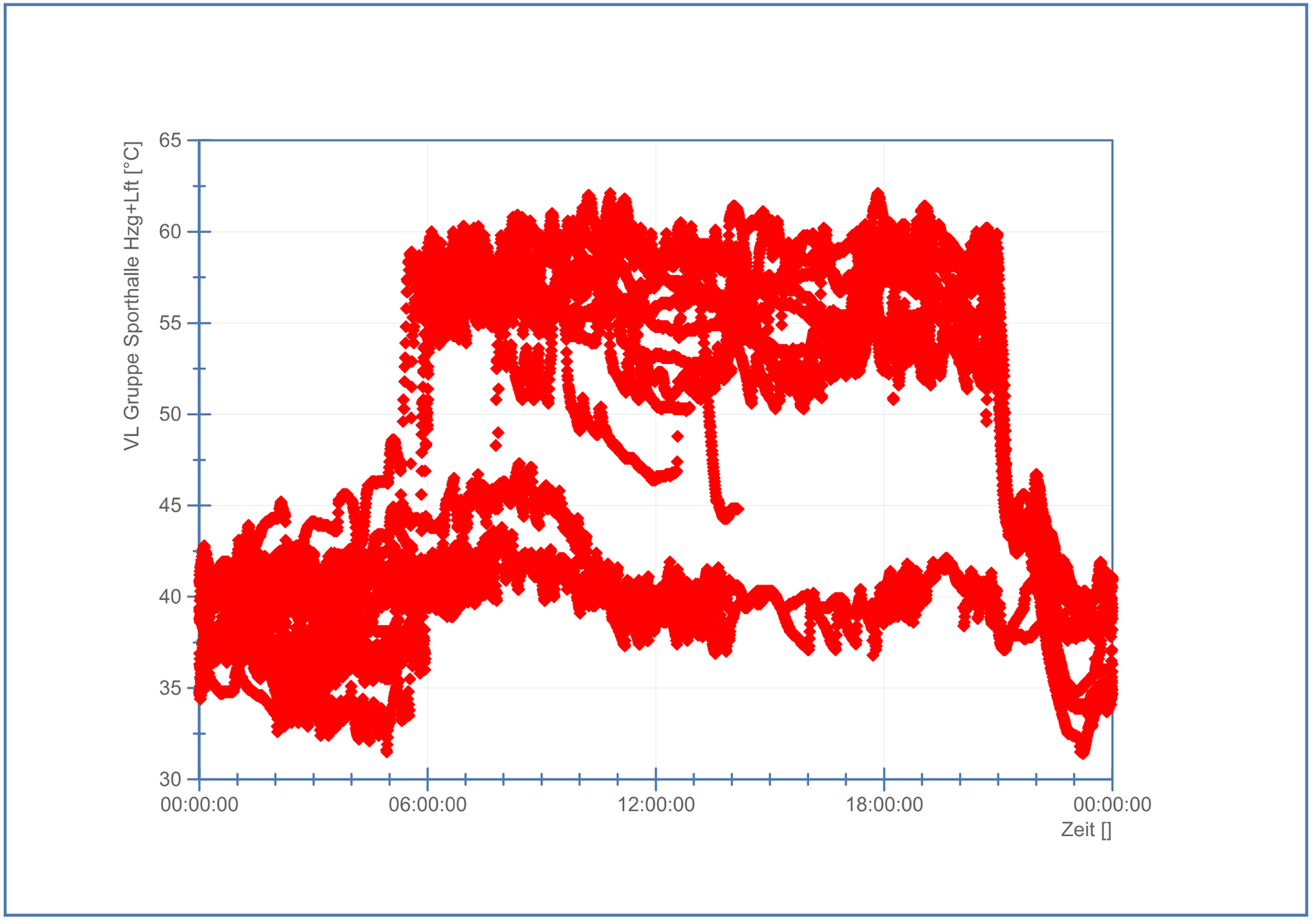

Spreizung Lüftung Turnhalle [K]
25
20
15
10
5
0
-5
-10
VL Gruppe Lüftung Turnhalle [°C]
80
75
70
65
60
55
50
45
40
-10
-5
0
5
10
15
20
25
Spreizung Lüftung Turnhalle [K]
Spreizung Lüftung Turnhalle [K]
VL Gruppe Lüftung Turnhalle [°C]

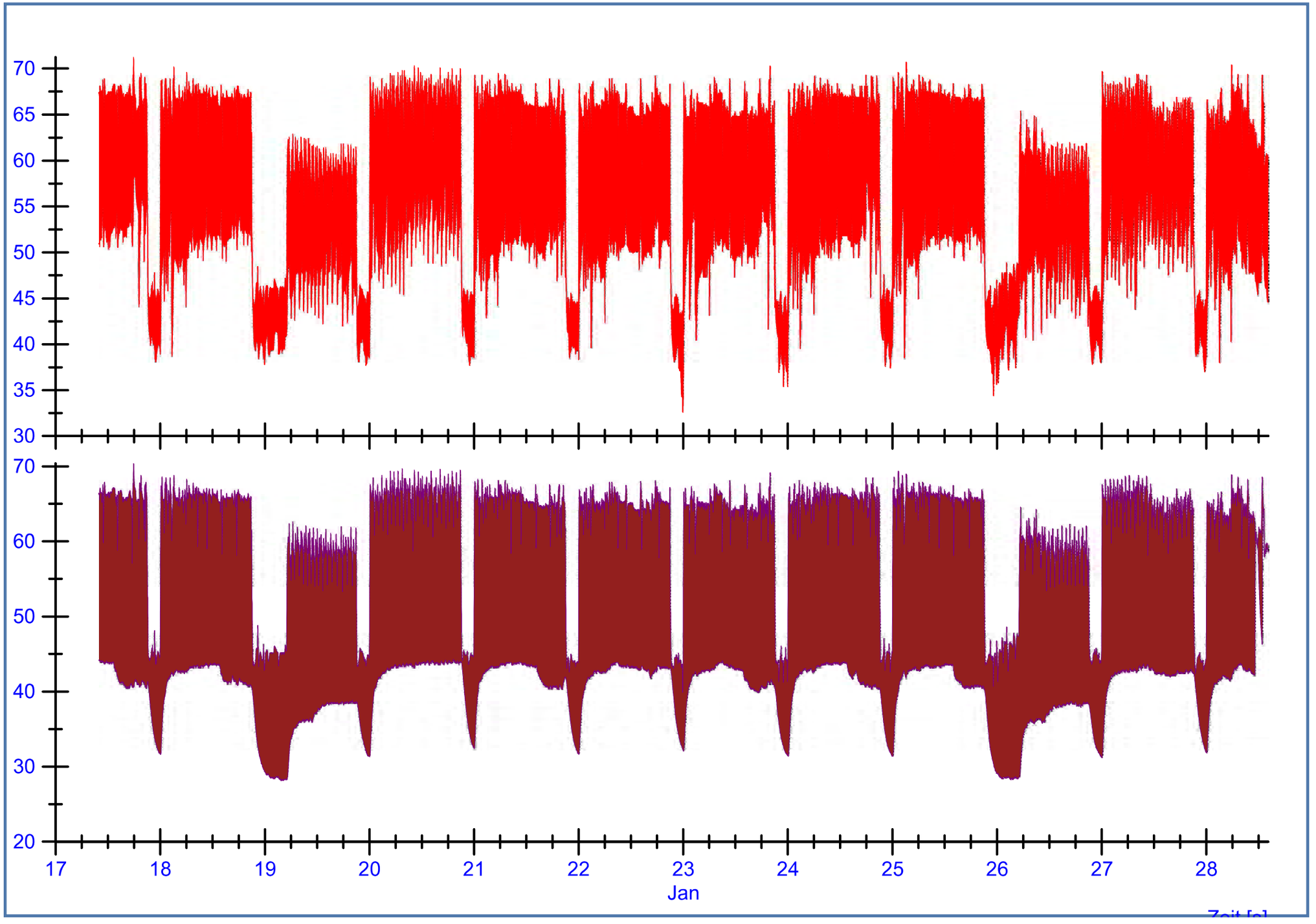

VL Gruppe Lüftung Turnhalle [°C]
80
75
70
65
60
55
50
45
40
00:00:00
06:00:00
12:00:00
18:00:00
00:00:00
Zeit []

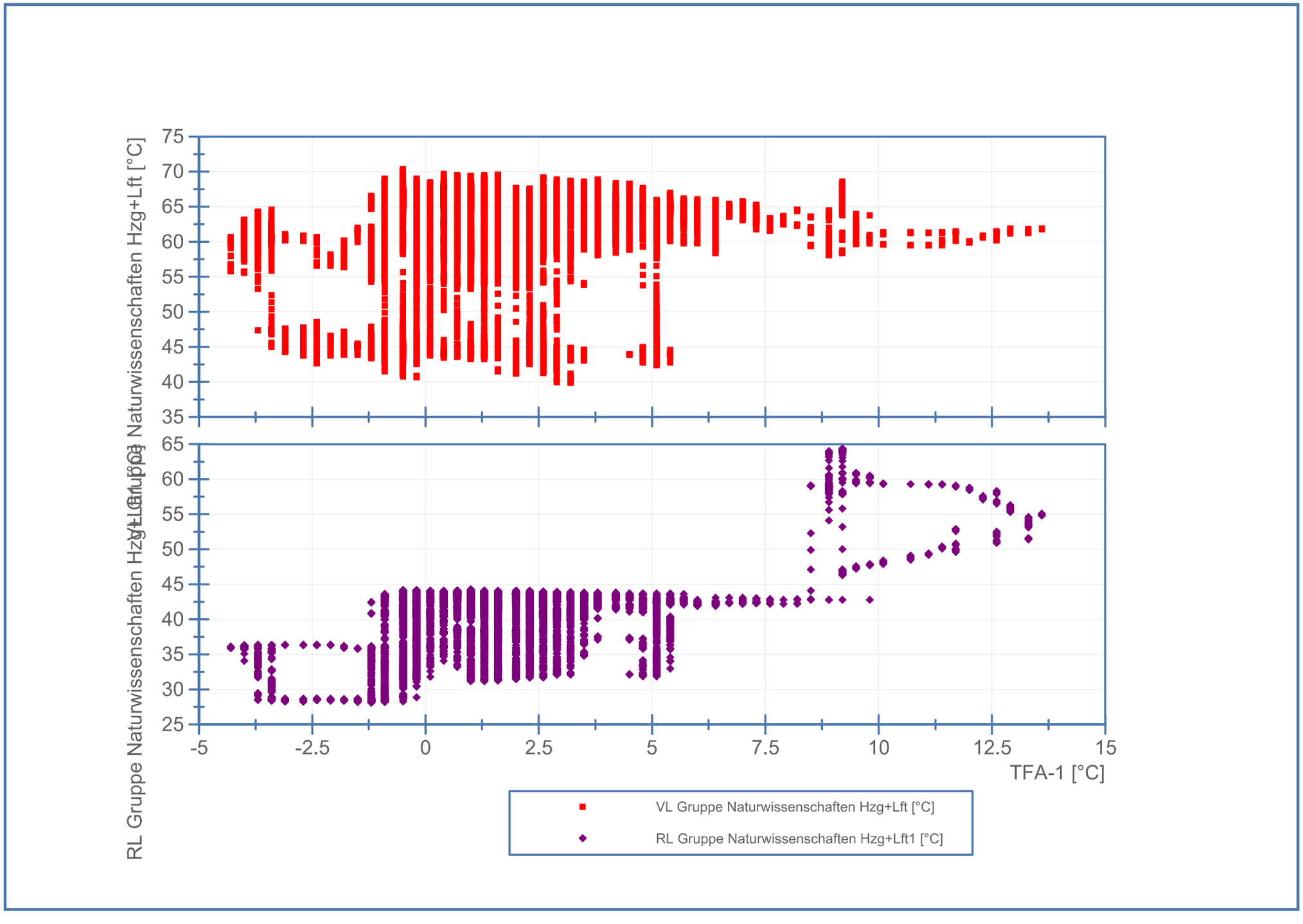

VL Verteiler ges. [°C]
70
65
60
55
50
45
40
35
30
VL Gruppe Sporthalle Hzg+Lft [°C]
60
55
50
45
40
35
30
25
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
Jan
Zeit [s]

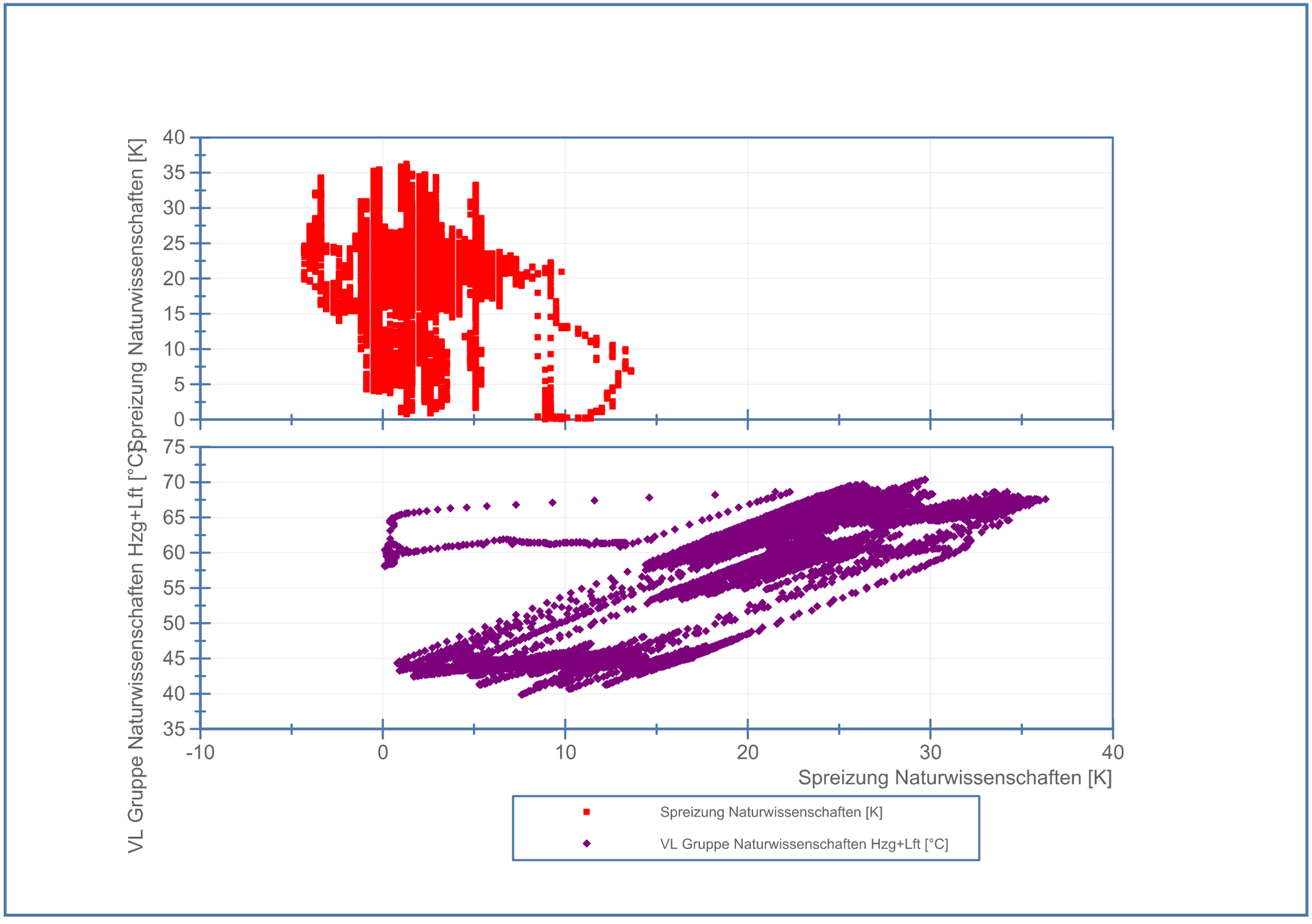

VL Gruppe Sporthalle Hzg+Lft [°C]
RL Gruppe Sporthalle Hzg+Lft [°C]
TFA-1 [°C]
65
60
55
50
45
40
35
30
25
-5
-2.5
0
2.5
5
7.5
10
12.5
15
VL Gruppe Sporthalle Hzg+Lft [°C]
RL Gruppe Sporthalle Hzg+Lft [°C]

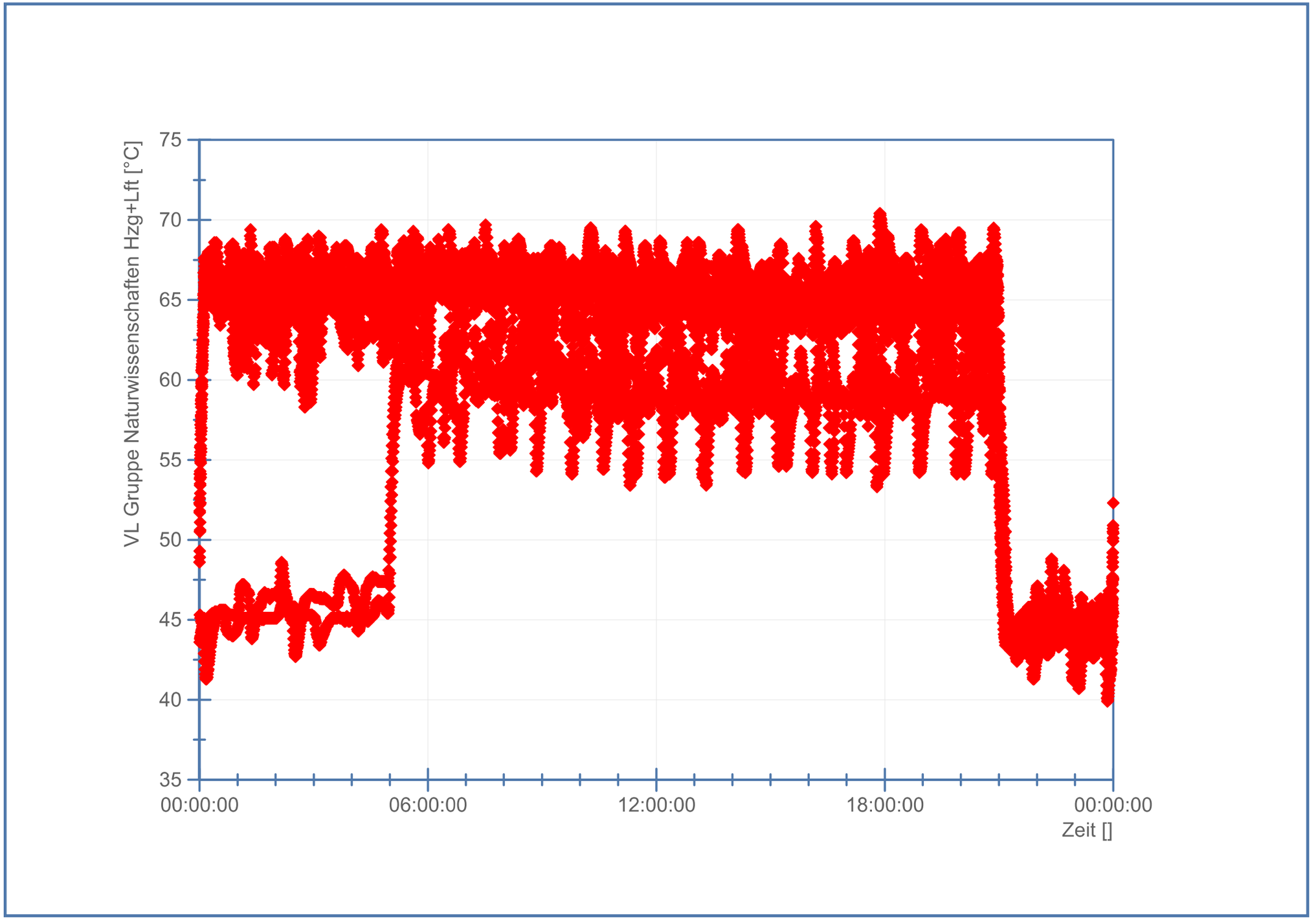

Spreizung Sporthalle [K]
25
20
15
10
5
0
-5
-10
VL Gruppe Sporthalle Hzg+Lft [°C]
65
60
55
50
45
40
35
30
-10
-5
0
5
10
15
20
25
Spreizung Sporthalle [K]
Spreizung Sporthalle [K]
VL Gruppe Sporthalle Hzg+Lft [°C]


VL Gruppe Sporthalle Hzg+Lft [°C]
65
60
55
50
45
40
35
30
00:00:00
06:00:00
12:00:00
18:00:00
00:00:00
Zeit []

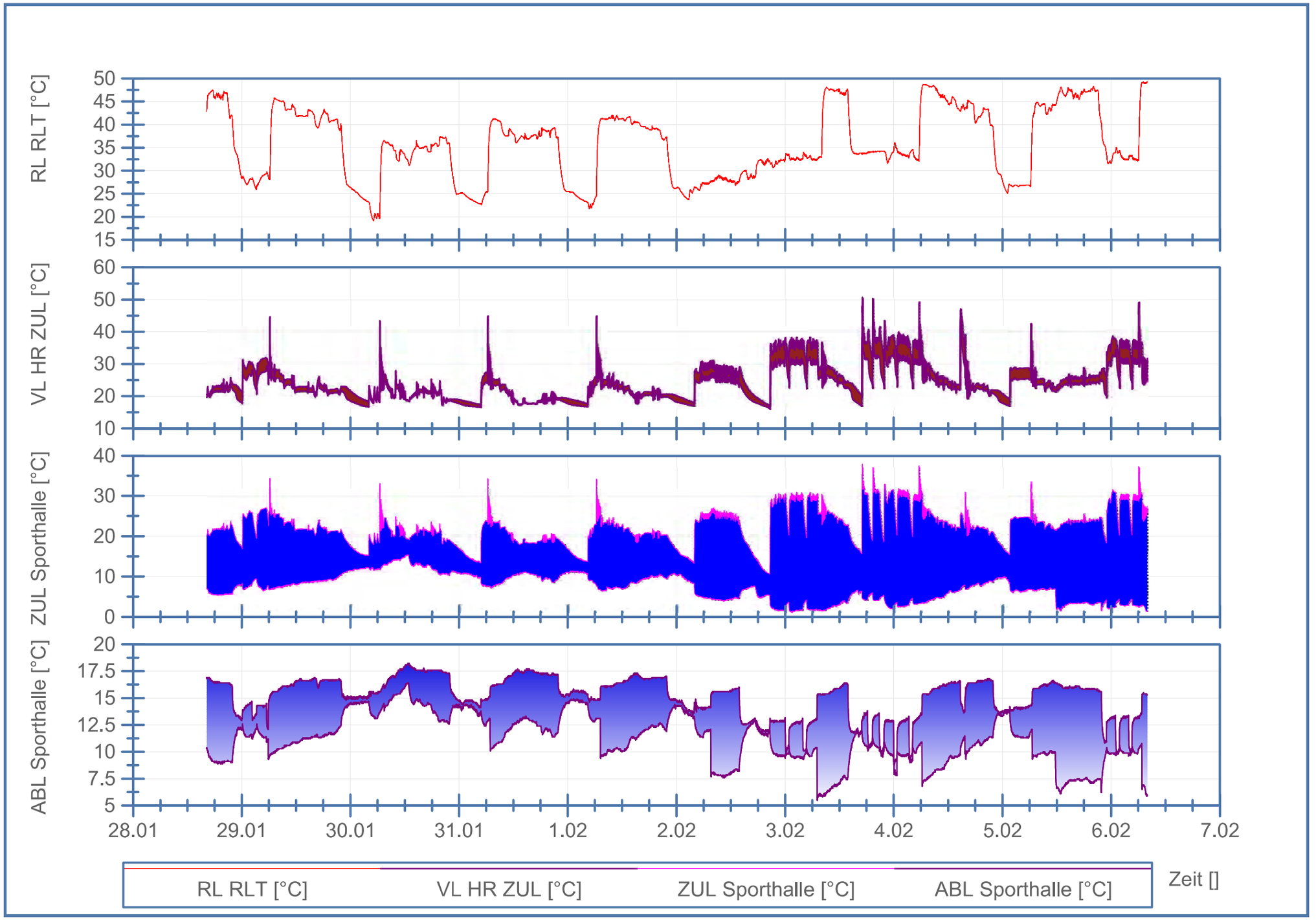

70
65
60
55
50
45
40
35
30
70
60
50
40
30
20
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
Jan

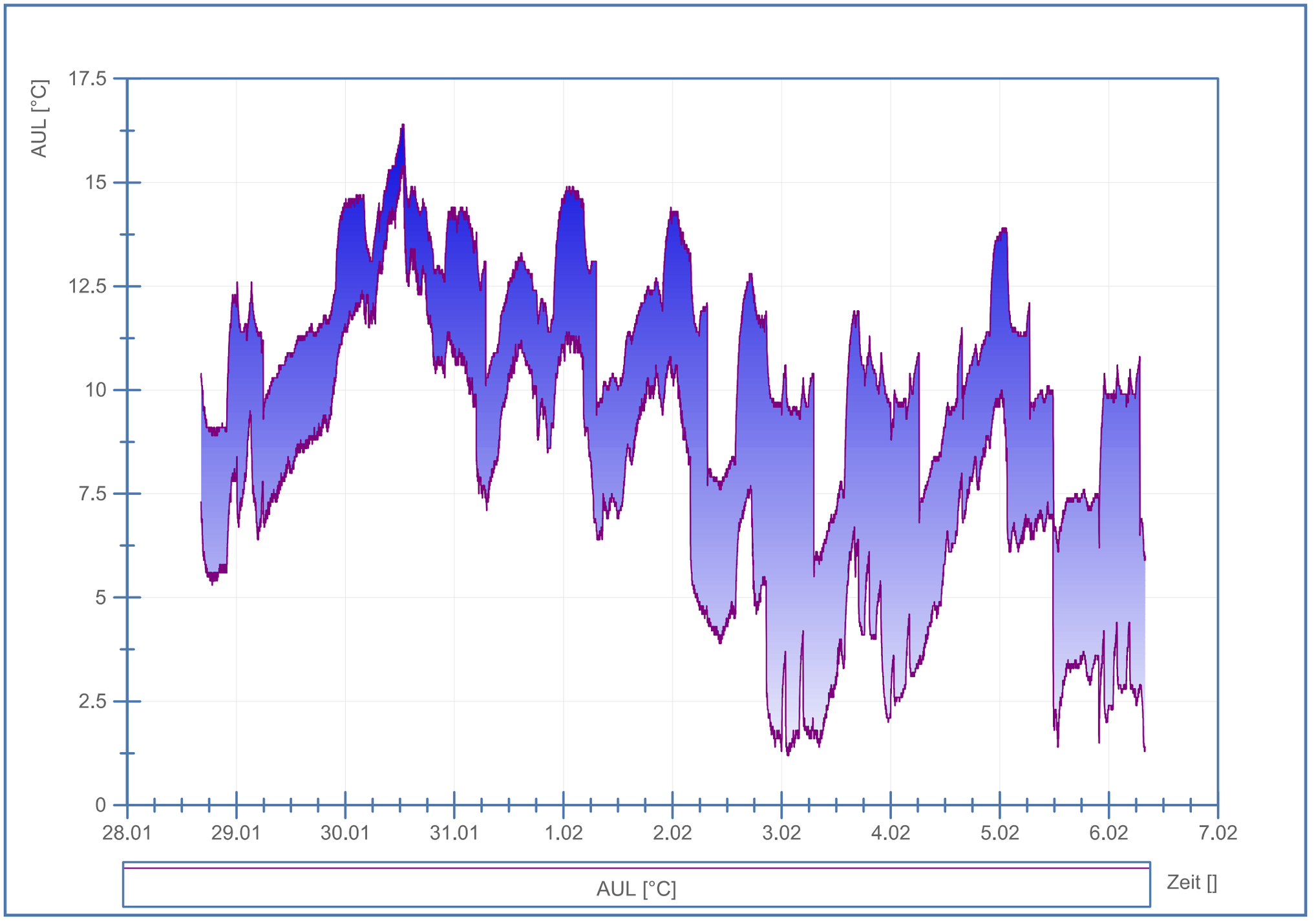

VL Gruppe Naturwissenschaften Hzg+Lft [°C]
75
70
65
60
55
50
45
40
35
RL Gruppe Naturwissenschaften Hzg+Lft1 [°C]
65
60
55
50
45
40
35
30
25
-5
-2.5
0
2.5
5
7.5
10
12.5
15
TFA-1 [°C]
VL Gruppe Naturwissenschaften Hzg+Lft [°C]
RL Gruppe Naturwissenschaften Hzg+Lft1 [°C]

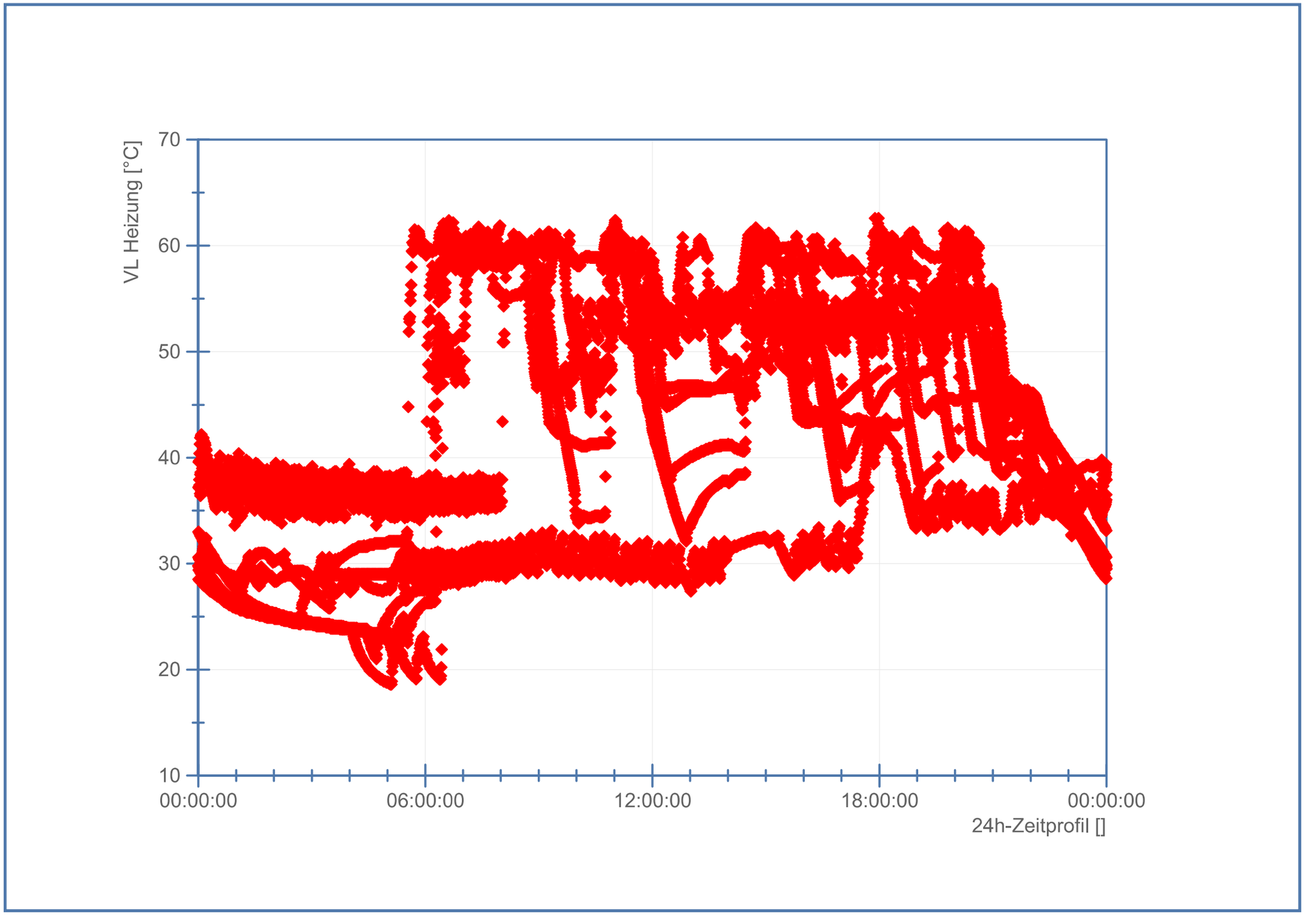

Spreizung Naturwissenschaften [K]
VL Gruppe Naturwissenschaften Hzg+Lft [°C]
40
35
30
25
20
15
10
5
0
75
70
65
60
55
50
45
40
35
-10
0
10
20
30
40
Spreizung Naturwissenschaften [K]
Spreizung Naturwissenschaften [K]
VL Gruppe Naturwissenschaften Hzg+Lft [°C]

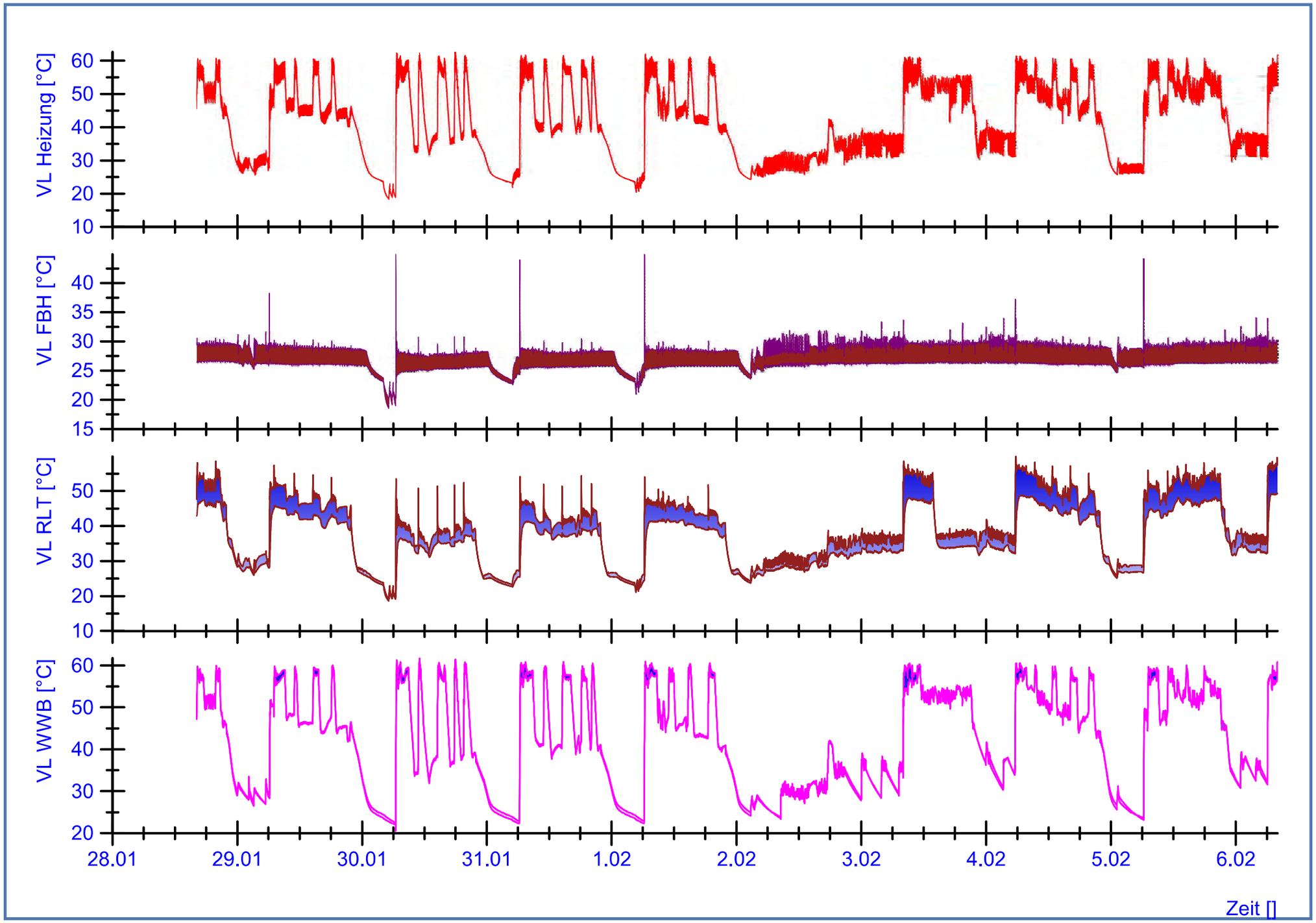

VL Gruppe Naturwissenschaften Hzg+Lft [°C]
75
70
65
60
55
50
45
40
35
00:00:00
06:00:00
12:00:00
18:00:00
00:00:00
Zeit []

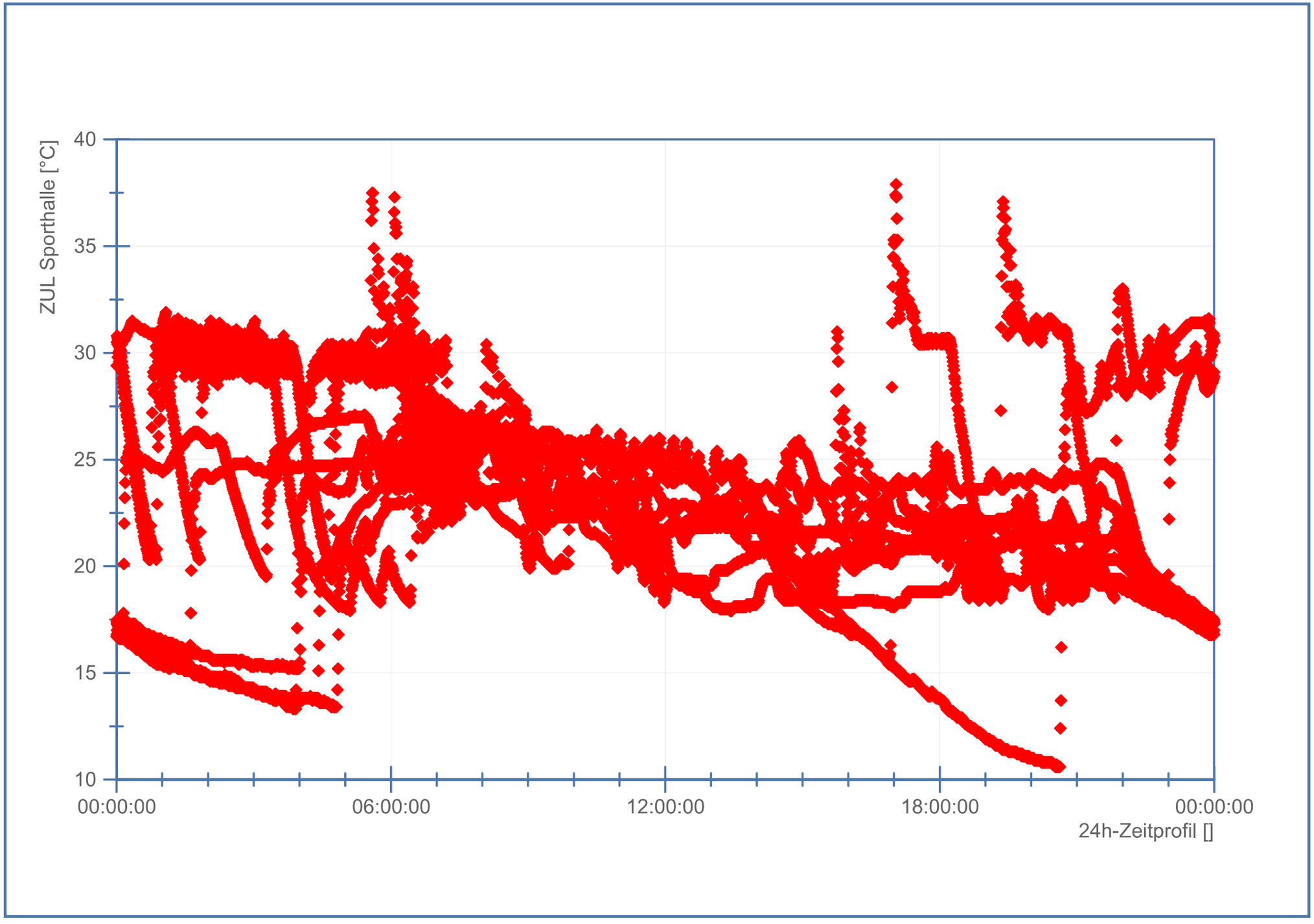
- Sporthalle

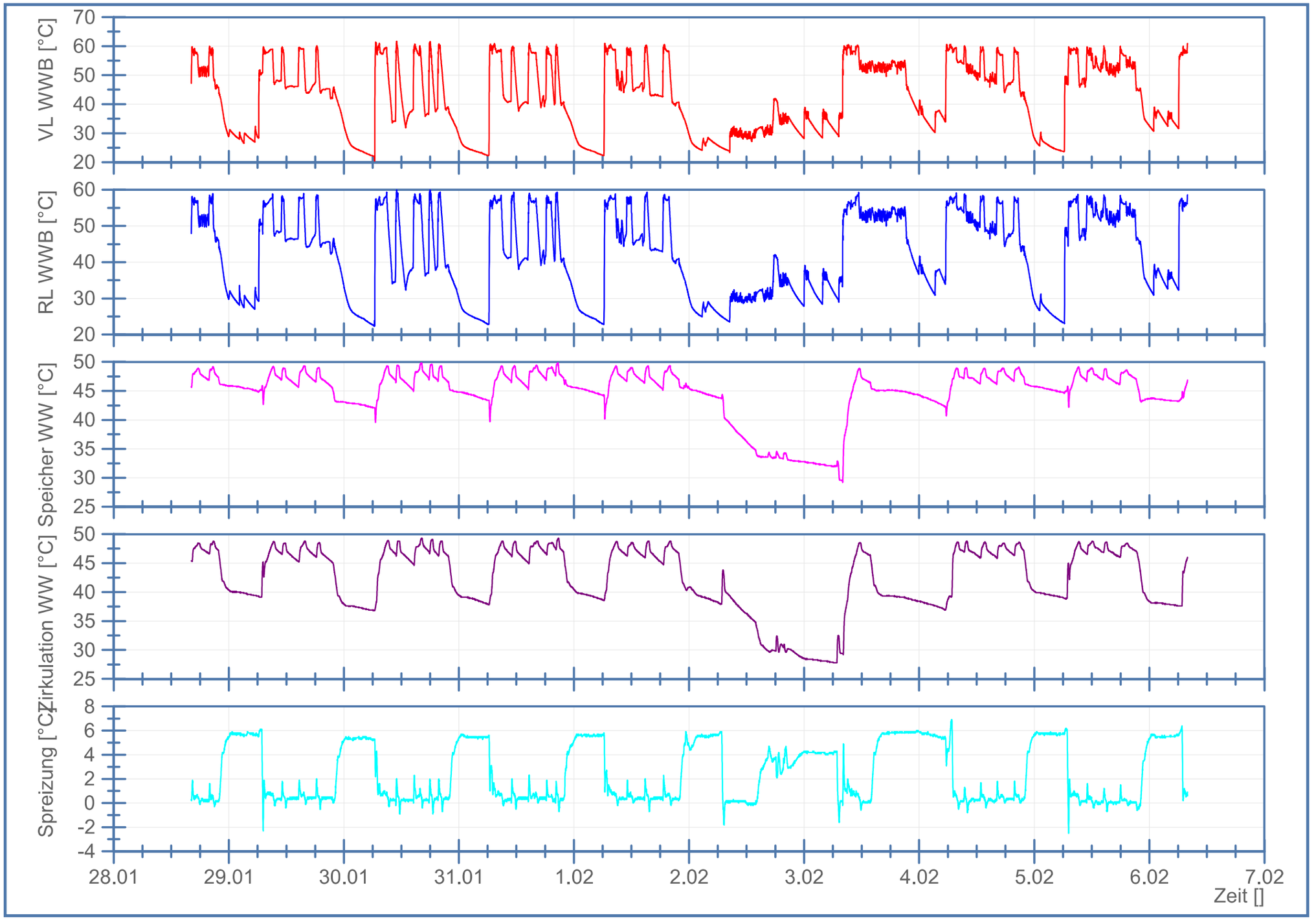

RL RLT [°C]
50
45
40
35
30
25
20
15
VL HR ZUL [°C]
60
50
40
30
20
10
ZUL Sporthalle [°C]
40
30
20
10
0
ABL Sporthalle [°C]
20
17.5
15
12.5
10
7.5
5
28.01
29.01
30.01
31.01
1.02
2.02
3.02
4.02
5.02
6.02
7.02
RL RLT [°C]
VL HR ZUL [°C]
ZUL Sporthalle [°C]
ABL Sporthalle [°C]
Zeit []

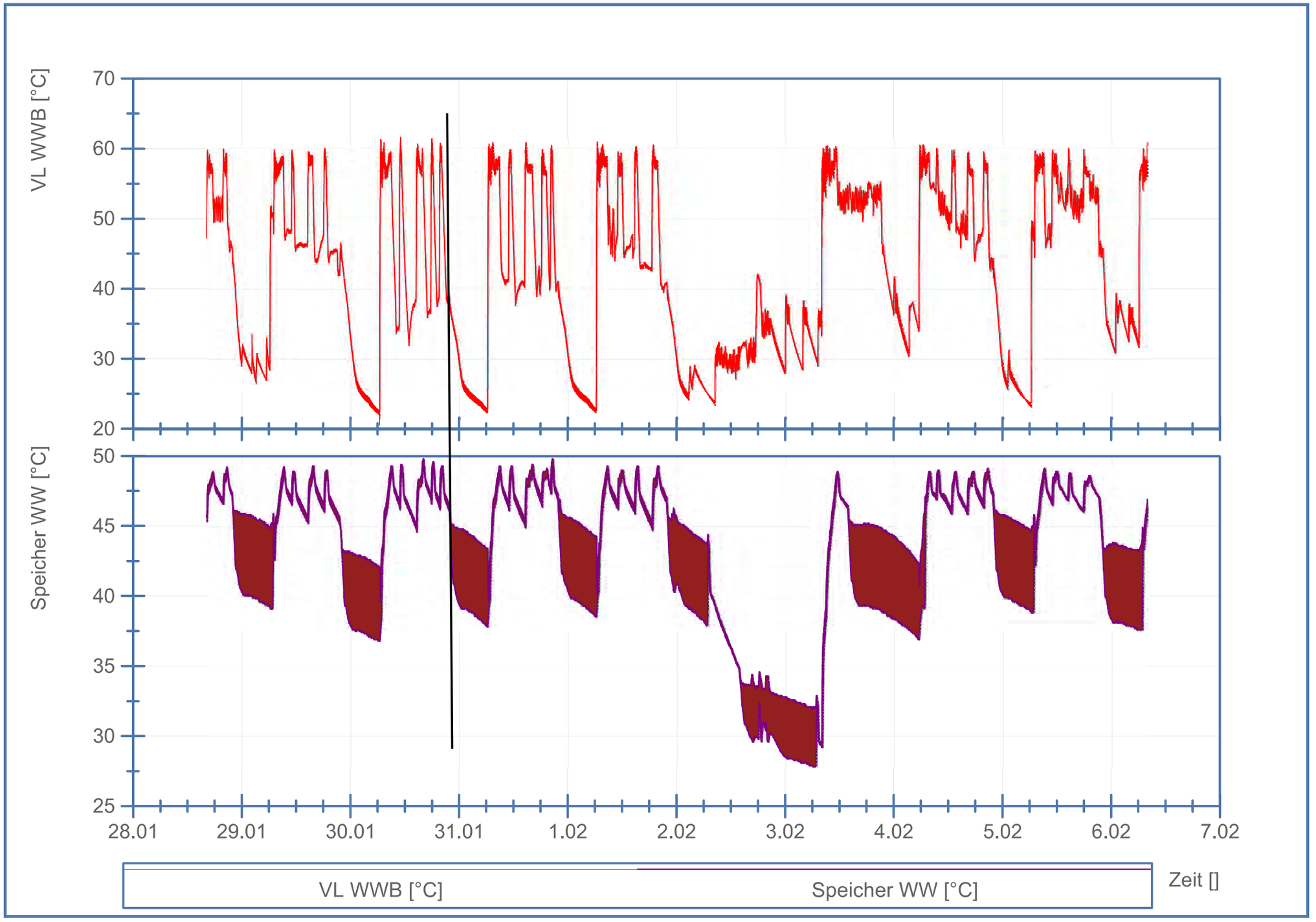

AUL [°C]
17.5
15
12.5
10
7.5
5
2.5
0
28.01
29.01
30.01
31.01
1.02
2.02
3.02
4.02
5.02
6.02
7.02
AUL [°C]
Zeit []

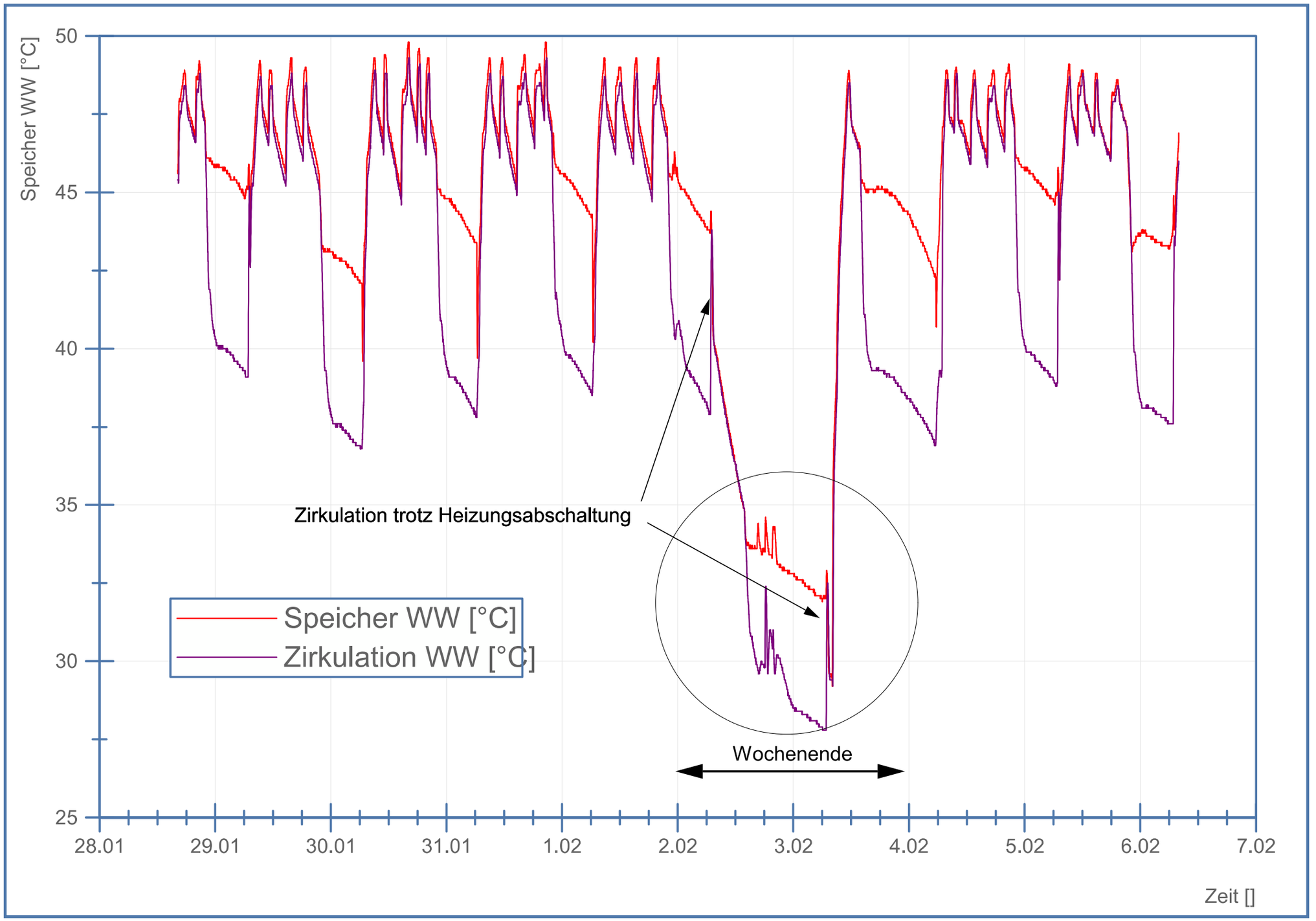

VL Heizung [°C]
70
60
50
40
30
20
10
00:00:00
06:00:00
12:00:00
18:00:00
00:00:00
24h-Zeitprofil []

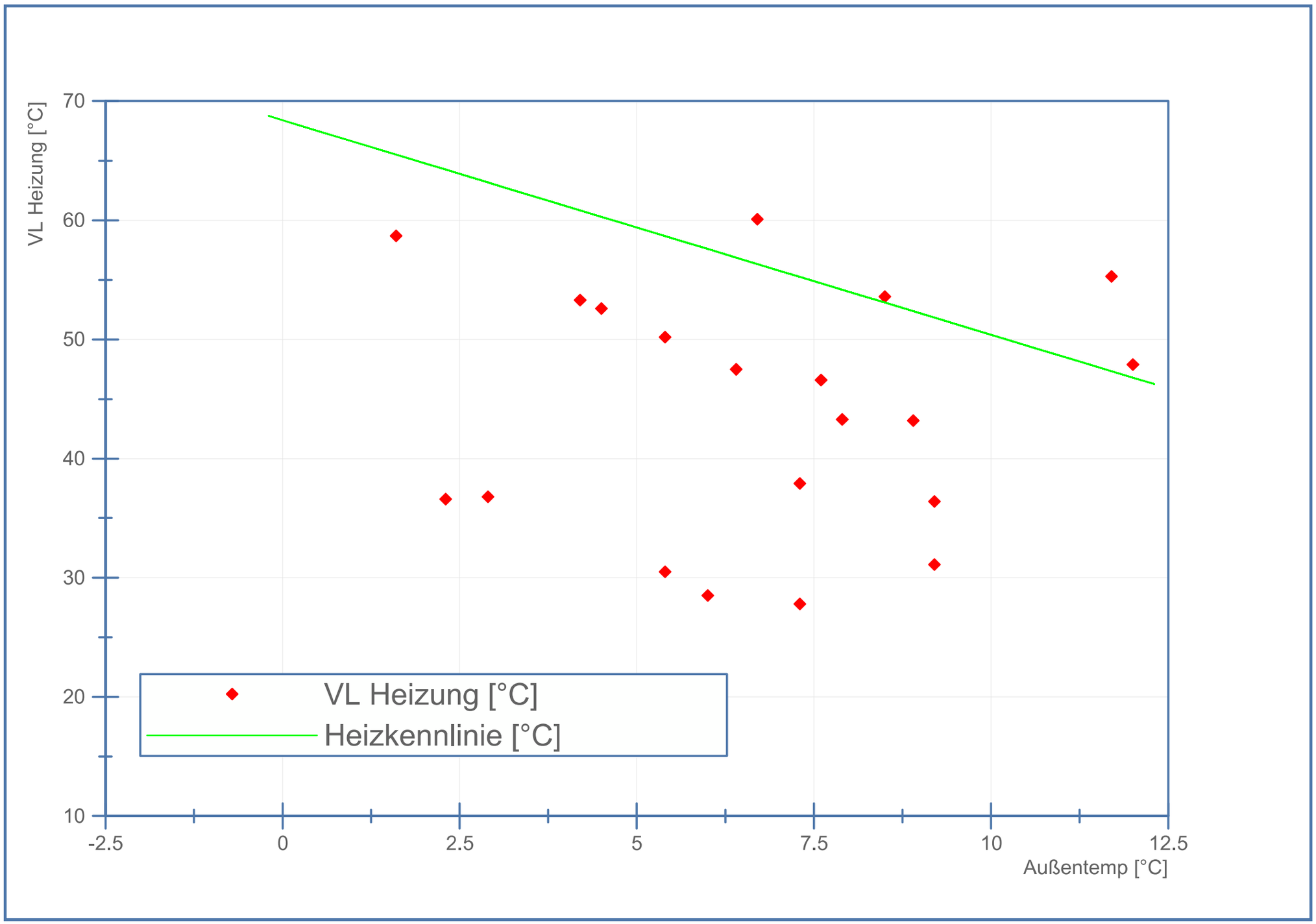

VL Heizung [°C]
60
50
40
30
20
10
VL FBH [°C]
40
35
30
25
20
15
VL RLT [°C]
50
40
30
20
10
VL WWB [°C]
60
50
40
30
20
28.01
29.01
30.01
31.01
1.02
2.02
3.02
4.02
5.02
6.02
Zeit []


ZUL Sporthalle [°C]
40
35
30
25
20
15
10
00:00:00
06:00:00
12:00:00
18:00:00
00:00:00
24h-Zeitprofil []

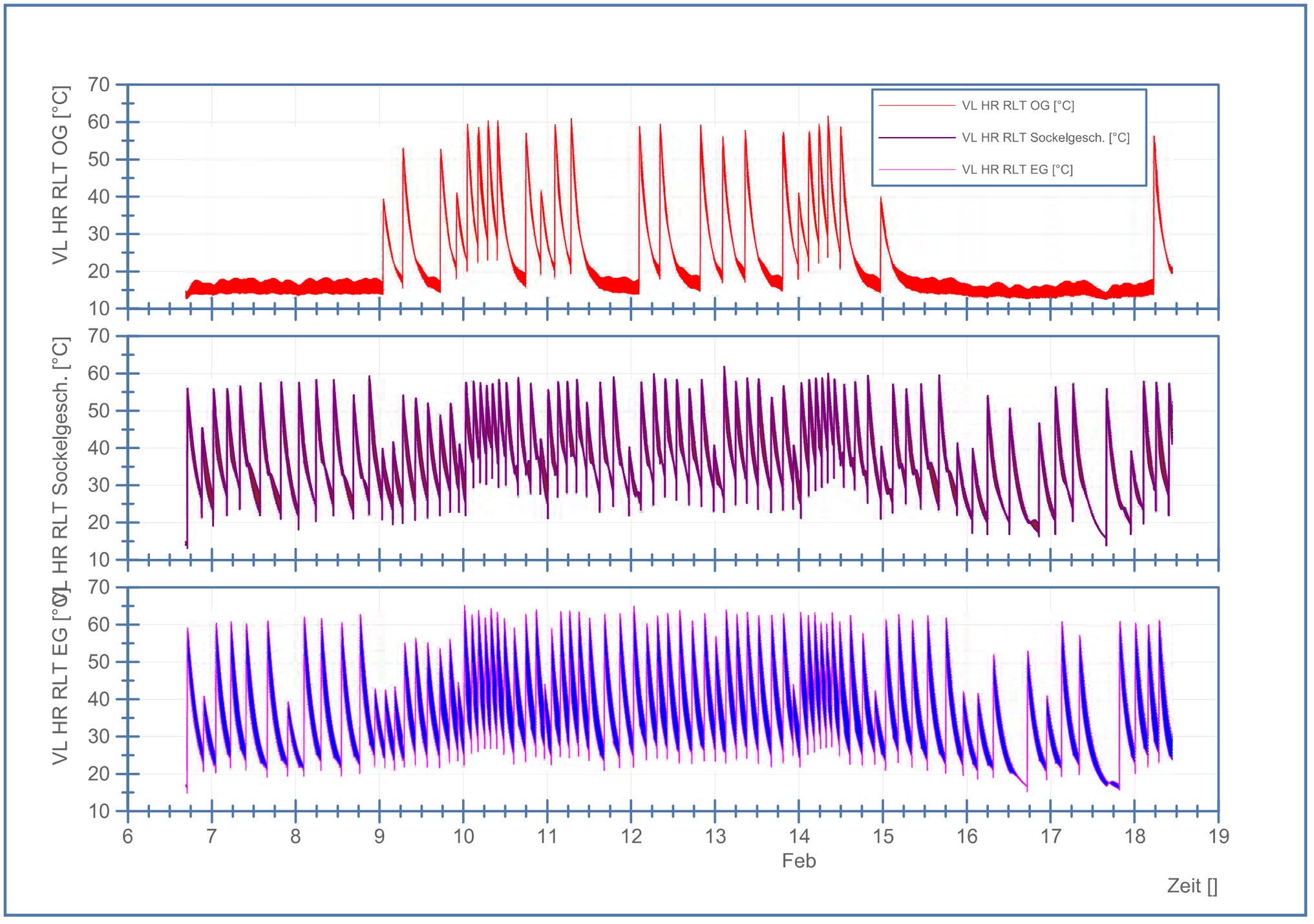

VL WWB [°C]
70
60
50
40
30
20
RL WWB [°C]
60
50
40
30
20
Speicher WW [°C]
50
45
40
35
30
25
Zirkulation WW [°C]
50
45
40
35
30
25
Spreizung [°C]
8
6
4
2
0
-2
-4
28.01
29.01
30.01
31.01
1.02
2.02
3.02
4.02
5.02
6.02
7.02
Zeit []

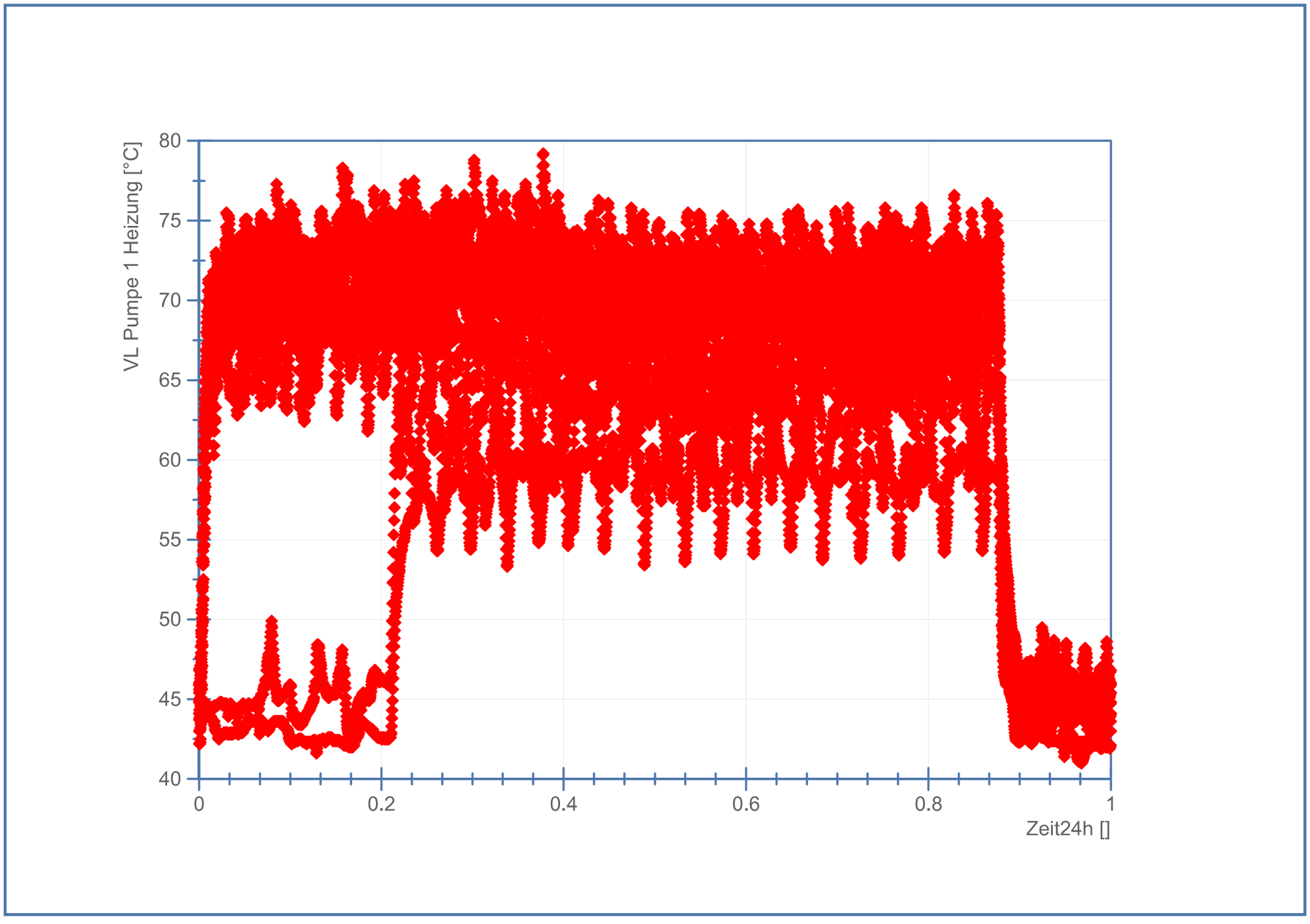

VL WWB [°C]
70
60
50
40
30
20
Speicher WW [°C]
50
45
40
35
30
25
28.01
29.01
30.01
31.01
1.02
2.02
3.02
4.02
5.02
6.02
7.02
VL WWB [°C]
Speicher WW [°C]
Zeit []

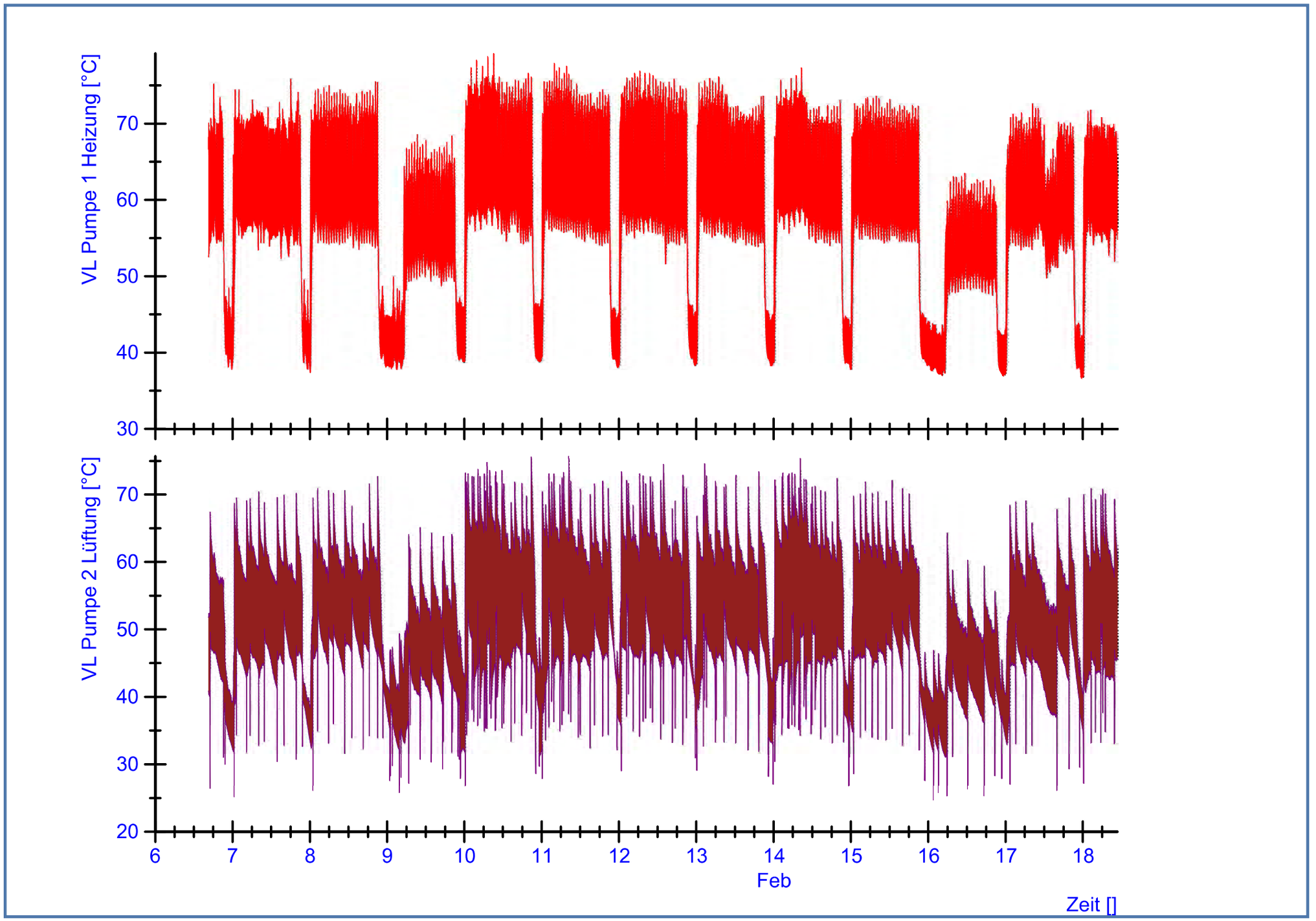

Speicher WW [°C]
50
45
40
35
30
25
28.01
29.01
30.01
31.01
1.02
2.02
3.02
4.02
5.02
6.02
7.02
Zeit []
Zirkulation trotz Heizungsabschaltung
Wochenende
Speicher WW [°C]
Zirkulation WW [°C]

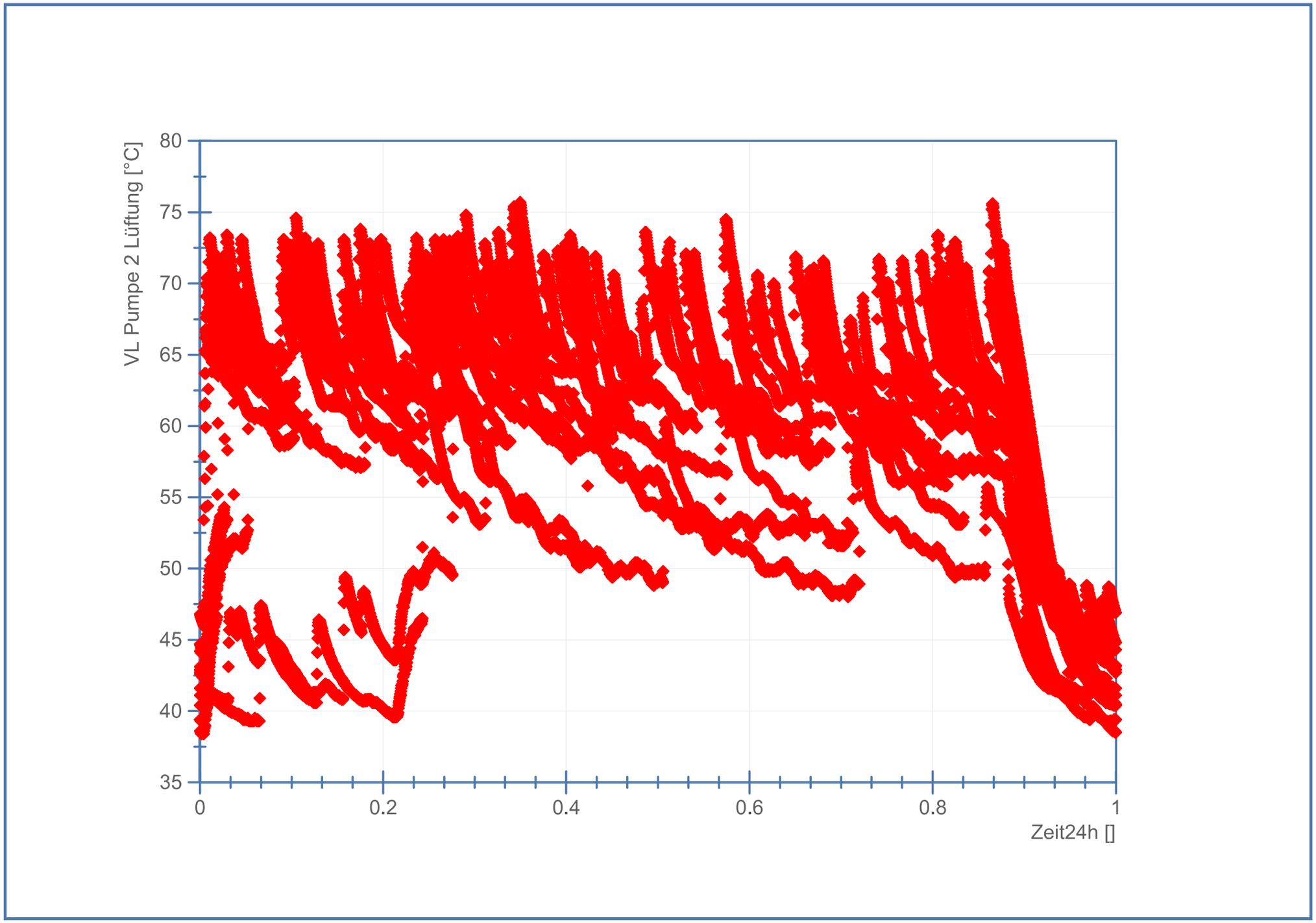

VL Heizung [°C]
70
60
50
40
30
20
10
-2.5
0
2.5
5
7.5
10
12.5
Außentemp [°C]
VL Heizung [°C]
Heizkennlinie [°C]

- Naturwissenschaftsgebäude


VL HR RLT OG [°C]
VL HR RLT Sockelgesch. [°C]
VL HR RLT EG [°C]
VL HR RLT OG [°C]
VL HR RLT Sockelgesch. [°C]
VL HR RLT EG [°C]
70
60
50
40
30
20
10
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
Feb
Zeit []


VL Pumpe 1 Heizung [°C]
80
75
70
65
60
55
50
45
40
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
Zeit24h []


VL Pumpe 1 Heizung [°C]
70
60
50
40
30
VL Pumpe 2 Lüftung [°C]
70
60
50
40
30
20
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
Feb
Zeit []


VL Pumpe 2 Lüftung [°C]
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
Zeit24h []

Anlage zu Pilotprojekt Kap. 4.2.2

- Anlage 1: Berechnungsblätter zur Wärmeeinsparung durch Absenkzeiten
- Anlage 2: Exemplarisches LCC-Berechnungsblatt Pumpen

Anlage 1: **Berechnungsblätter zur Wärmeeinsparung durch Absenkzeiten**

- Variante IST-Zustand

- Variante SOLL-Zustand

Projekt: [redacted] **Variante IST-Absenkung**

Eingangsgrößen Gebäude:

Heizlastwerte

Transmissionswärmeverlustkoeffizient	H_T	4900	W/K
flächenbezogene Heizlast	q_H	110	W/m²
Außentemperatur während der Absenkphase (Norm/Vereinbarung)	θ_e	-12	°C
Innentemperatur (Norm/Vereinbarung)	$\theta_{Int,i}$	20	°C
Heizgrenze	$\theta_{e,Ht,Gr}$	16	°C
A/V-Verhältnis	A/V	0,80	m⁻¹

Gebäudedaten

Netto-Gebäudefläche	A_{netto}	1438	m²
Brutto-Gebäudefläche	A_{brutto}	1700	m²
Netto-Gebäudevolumen	V_{netto}	4500	m³
Brutto-Gebäudevolumen	V_{brutto}	5500	m³
spez. Wärmespeicherfähigkeit	c_{wirk}	50	Wh/(K*m²)

Auswahl Bauweise		schwer
	Übernahme	
Vorschlagswert c_{wirk}	☑	50 Wh/(K*m²)
Eingabewert c_{wirk}	☐	25 Wh/(K*m²)

Parameter Absenkzeit

Zeit: Start Absenkung	$t_{Abs,Start}$	3:00	hh:mm
Zeit: Ende Absenkung	$t_{Abs,Ende}$	6:00	hh:mm
Dauer der Absenkung	t_{Abs}	3	h
Max. Innentemperaturabfall nach Absenkphase	$\Delta\theta_{RH}$	3	K
Außenluftwechsel während der Absenkzeit	n_{Abs}	0,1	1/h

Nachtabsenkung ☑ Wochenendabsenkung ☑

n = 0,1 h⁻¹ (geschlossene Fenster und Türen)

Berechnungswerte

Wärmeverlustkoeffizient	H_{Abs}	5053.00	W/K	$H_{Abs} = H_T + 0{,}34 \cdot V \cdot n_{Abs}$ (Berechnet mit V_{netto})
Eff. Wärmespeicherfähigkeit	C_{wirk}	275000	Wh/K	(Berechnet mit V_{brutto})
Gebäude- bzw. Raumzeitkonstante	τ	54,42	h	$\tau = \frac{C_{wirk}}{H_{Abs}}$
Berechneter Innentemperaturabfall nach Absenkphase bei θ_e	$\Delta\theta_{Abs}$	1,72	K	$\Delta\theta_{RH} = (\theta_{int,i} - \theta'_e) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_{Abs}}{\tau}}\right)$
Berechneter Innentemperaturabfall nach Absenkphase je Kelvin	$\Delta\theta_{RH,spez}$	0,05	K/K	
Berechneter Innentemperaturabfall nach Absenkphase je h und Kelvin	$\Delta\theta_{RH,spez,h}$	0,02	K/(K*h)	
Dauer der Absenkung ohne Heizleistung je Kelvin			h/K	$t_{Abs,bei\,spez} = -\text{Log}(f_{Abs}) * \tau$
Dauer der Absenkung ohne Heizleistung bei θ_e	$t_{Abs,frei}$	3,00	h	$t_{Abs,frei} = -\text{Log}(1 - \Delta\theta_{Abs} / (\theta_{Int,i} - \theta_e)) * \tau$
Restdauer Absenkung mit reduzierter Heizleistung bei θ_e	$t_{Abs,rest}$	0,00	h	
Reduktion Heizleistung gegenüber Auslegungsfall bei θ_e	f_{Abs}	94,64%		$f_{Abs} = 1 - \text{Min}(\Delta\theta_{RH};\Delta\theta_{Abs}) / (\theta_{Int,i} - \theta_e)$

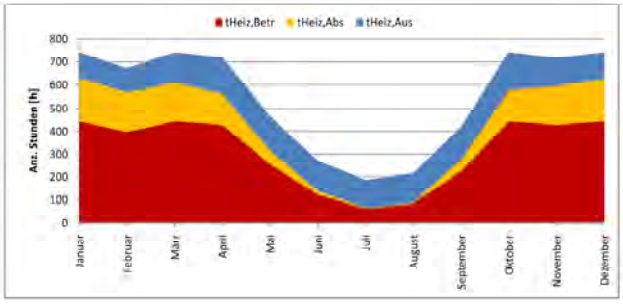
Werte nach DIN V 18599-2

numerischer Parameter der Zeitkontante	a	4,40		$a = a_0 + \frac{\tau}{\tau_0}$
	a_0	1,00		
	τ_0	16,00	h	
Ausnutzungsgrad	η	1,00	0,8149	$\eta = \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}}$ $\eta = \frac{a}{a+1}$
Wärmequellen-/Wärmesenkenverhältnis	γ	0,10	(Ann.)	

Absenkung:

	$f_{NA,Absenk}$	0,0131	Abschaltung	$f_{NA,Abschalt}$	0,0261
	$f_{WE,Absenk}$	0,1826		$f_{WE,Abschalt}$	0,2739
	$\theta_{i,h,NA,Abs}$	19,63 °C		$\theta_{i,h,NA,Absch}$	19,63 °C
	$\theta_{i,h,WE,Abs}$	17,00 °C		$\theta_{i,h,WE,Absch}$	17,00 °C
	$\Delta Q_{C,b,NA}$	206250 Wh			42,0918367 Kh
	$\Delta Q_{C,b,WE}$	825000 Wh			168,367347 Kh

Ergebnisse



Reduktion bewertet anhand der Gradtagszahl je Tageszeit und Monat	Betriebszeit		Wärmeleistung
	Januar	84,9%	108,1%
	Februar	84,5%	105,7%
	März	82,1%	98,3%
	April	78,0%	87,1%
	Mai	67,6%	67,2%
	Juni	51,2%	46,2%
	Juli	35,7%	32,7%
	August	40,8%	38,5%
	September	65,7%	64,0%
	Oktober	77,6%	86,2%
	November	82,7%	101,0%
	Dezember	84,4%	106,5%

Wiederaufheizleistung prozentual zur gesparten Leistung Absenkung	$Anteil_{RH}$	61,2%	Interne Wärmequellen	$Q_{H,int}$	18,48 W/m²
Einsparung Wärme gesamt ohne Wiederaufheizleistung		11,1%	Einsparung Heizbetrieb	$f_{Heiz,Betr}$	21,7%
Einsparung Wärme gesamt mit Wiederaufheizleistung		4,3%	Einsparung Heizbetrieb absolut	$t_{Heiz,Betr}$	1422 h/a

Projekt: | **Variante SOLL-Absenkung**

Eingangsgrößen Gebäude:

Heizlastwerte

Transmissionswärmeverlustkoeffizient	H_T	4900	W/K
flächenbezogene Heizlast	q_H	110	W/m²
Außentemperatur während der Absenkphase (Norm/Vereinbarung)	θ_e	-12	°C
Innentemperatur (Norm/Vereinbarung)	$\theta_{Int,i}$	20	°C
Heizgrenze	$\theta_{e,Ht,Gr}$	16	°C
A/V-Verhältnis	A/V	0.80	m⁻¹

Gebäudedaten

Netto-Gebäudefläche	A_{netto}	1438	m²
Brutto-Gebäudefläche	A_{brutto}	1700	m²
Netto-Gebäudevolumen	V_{netto}	4500	m³
Brutto-Gebäudevolumen	V_{brutto}	5500	m³
spez. Wärmespeicherfähigkeit	c_{wirk}	50	Wh/(K*m³)

Auswahl Bauweise		schwer	
	Übernahme		
Vorschlagswert c_{wirk}	☑	50	Wh/(K*m³)
Eingabewert c_{wirk}	☐	25	Wh/(K*m³)

Parameter Absenkzeit

Zeit: Start Absenkung	$t_{Abs,Start}$	18:00	hh:mm
Zeit: Ende Absenkung	$t_{Abs,Ende}$	6:00	hh:mm
Dauer der Absenkung	t_{Abs}	12	h
Max. Innentemperaturabfall nach Absenkphase	$\Delta\theta_{RH}$	3	K
Außenluftwechsel während der Absenkzeit	n_{Abs}	0.1	1/h

Nachtabsenkung ☑

Wochenendabsenkung ☑

n = 0,1 h⁻¹ (geschlossene Fenster und Türen)

Berechnungswerte

Wärmeverlustkoeffizient	H_{Abs}	5053.00	W/K	$H_{Abs} = H_T + 0{,}34 \cdot \dot{V} \cdot n_{Abs}$ (Berechnet mit V_{netto})
Eff. Wärmespeicherfähigkeit	C_{wirk}	275000	Wh/K	(Berechnet mit V_{brutto})
Gebäude- bzw. Raumzeitkonstante	τ	54.42	h	$\tau = \frac{C_{wirk}}{H_{Abs}}$
Berechneter Innentemperaturabfall nach Absenkphase bei θ_e	$\Delta\theta_{Abs}$	6.33	K	$\Delta\theta_{RH} = \left(\theta_{int,i} - \theta'_e\right) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_{Abs}}{\tau}}\right)$
Berechneter Innentemperaturabfall nach Absenkphase je Kelvin	$\Delta\theta_{RH,spez}$	0.20	K/K	
Berechneter Innentemperaturabfall nach Absenkphase je h und Kelvin	$\Delta\theta_{RH,spez,h}$	0.02	K/(K*h)	
Dauer der Absenkung ohne Heizleistung je Kelvin			h/K	$t_{Abs,hq,spez} = -\text{Log}(f_{Abs}) * \tau$
Dauer der Absenkung ohne Heizleistung bei θ_e	$t_{Abs,hq}$	5.36	h	$t_{Abs,hq} = -\text{Log}(1 - \Delta\theta_{Abs} / (\theta_{Int,i} - \theta_e)) * \tau$
Restdauer Absenkung mit reduzierter Heizleistung bei θ_e	$t_{Abs,red}$	6.64	h	
Reduktion Heizleistung gegenüber Auslegungsfall bei θ_e	f_{Abs}	90.63%		$f_{Abs} = 1 - \text{Min}(\Delta\theta_{RH};\Delta\theta_{Abs}) / (\theta_{Int,i} - \theta_e)$

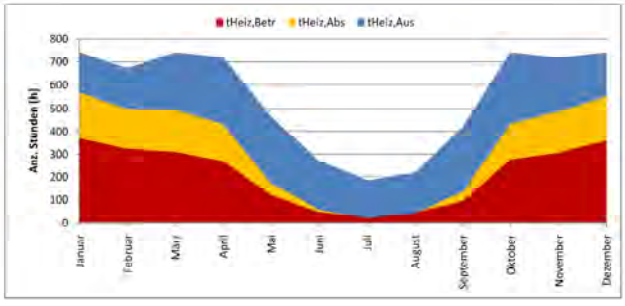
Werte nach DIN V 18599-2

numerischer Parameter der Zeitkontante	a	4.40		$a = a_0 + \frac{\tau}{\tau_0}$
	a_0	1.00		
	τ_0	16.00	h	
Ausnutzungsgrad	η	1.00	0.8149	$\eta = \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}}$ $\eta = \frac{a}{a+1}$
Wärmequellen-/Wärmesenkenverhältnis	γ	0.10	(Ann.)	

Absenkung:

	$f_{NA,Absenk}$	0.0523		Abschaltung	$f_{NA,Abschalt}$	0.1046	
	$f_{WE,Absenk}$	0.1826			$f_{WE,Abschalt}$	0.2739	
	$\theta_{i,h,NA,Abs}$	18.50	°C		$\theta_{i,h,NA,Absch}$	18.50	°C
	$\theta_{i,h,WE,Abs}$	17.00	°C		$\theta_{i,h,WE,Absch}$	17.00	°C
	$\Delta Q_{C,0,NA}$	825000	Wh			168.367347	Kh
	$\Delta Q_{C,0,WE}$	825000	Wh			168.367347	Kh

Ergebnisse



Reduktion bewertet anhand der Gradtagszahl je Tageszeit und Monat	Betriebszeit	Wärmeleistung
Januar	76.2%	112.1%
Februar	74.2%	108.6%
März	66.6%	95.6%
April	59.6%	73.8%
Mai	36.9%	41.3%
Juni	22.2%	19.3%
Juli	11.9%	11.4%
August	20.4%	19.9%
September	32.2%	35.4%
Oktober	58.1%	70.9%
November	67.6%	98.5%
Dezember	74.4%	109.2%

Wiederaufheizleistung prozentual zur gesparten Leistung Absenkung: $Anteil_{WH}$ 63.2%

Interne Wärmequellen: $Q_{H,int}$ 18.48 W/m²

Einsparung Wärme gesamt ohne Wiederaufheizleistung		24.3%		Einsparung Heizbetrieb	$f_{Heiz,Betr}$	46.5%	
Einsparung Wärme gesamt mit Wiederaufheizleistung		9.0%		Einsparung Heizbetrieb absolut	$t_{Heiz,Betr}$	3048	h/a

Auswertung Anlage 1:

Berechnung der Heizenergieeinsparung:

Gemäß Berechnungsblatt wird für den Absenkbetrieb Variante IST von 3:00 Uhr bis 6:00 Uhr eine Einsparung gegenüber dem Vollbetrieb von lediglich 4,3% ausgewiesen.

Bei Absenkbetrieb Variante SOLL von 18:00 bis 6:00 Uhr kann jedoch eine Einsparung von 9% gegenüber dem Vollbetrieb erzielt werden.

Daraus resultiert eine Einsparung von 4,7% durch den SOLL-Zustand gegenüber dem beobachteten IST-Zustand.

Bezogen auf den zur reinen Raumheizung ermittelten Jahresheizenergieverbrauch von rund 95.540 kWh/a ergibt sich eine Einsparung von 4.490 kWh/a. Dies ergibt mit den spezifischen Kosten von 0,0744 €/kWh (für 2011) eine Einsparung von rd. 334 €/a.

Ermittlung Einsparung Heizbetriebszeit und Umwälzpumpenbetriebszeit:

In den Berechnungsblättern sind bei den berechneten SOLL- und IST-Varianten auch die eingesparten Betriebsstunden der Heizungsanlage gegenüber dem Vollbetrieb ohne Absenkung angegeben. Werden diese Werte voneinander subtrahiert, ergibt sich eine Differenz von 1.755h/a.

Wird bezogen auf das Standard-Betriebsprofil der Umwälzpumpen von 6.000h/a eine prozentuale Einsparung des Jahresenergiebedarfs in Höhe von 525kWh/a berechnet, ergibt sich eine Stromeinsparung von ca. 153kWh/a (Pumpe alt). Daraus resultieren mit spezifischen Kosten von 21,89Ct/kWh (für 2011) Kosteneinsparung von rund 30€/a.

Anlage 2: Exemplarisches LCC-Berechnungsblatt Pumpen

LCC-Berechnung Umwälzpumpen auf Basis statistischem Durchschnitts-Betriebsprofil

bauperformance

Energiekostenvergleich

Belastungsprofil: Blauer Engel
Betriebsstundenanzahl (h/a): siehe Tabelle
Strompreistarif ([EUR]/kWh): 0,22
CO²-Faktor: 0,56

Bezeichnung	Pumpen alt	Pumpe neu	Q [m³/h]	H [m]	Energiebedarf (kWh/a)		Energiekosten (EUR/a)		Energieeinsparung			Betriebszeit	CO² - Einsparung	l0	Passstücke	Preis
					Pumpen alt	Pumpen neu	Pumpen alt	Pumpen neu	kWh/a	[EUR]/a	%	(h/a)	Kg/a	(mm)		Brutto
												6000				
Lüftung Pumpe 1	#1 KSB B3 VZ E/D	Stratos -D 32/1-8	0,9	4,5	969	216	213	48	753	166	78	6000	421	220	Rohrl. ändern	2.748 €
Lüftung Pumpe 2	#1 KSB B3 VZ E/D	Stratos -D 32/1-8	2,5	2,5	525	163	115	36	362	80	69	6000	203	220	Rohrl. ändern	2.748 €
Stat. Heizung	#1 KSB A3 VZ E/D	Stratos -D 32/1-8	2,5	2,5	525	163	115	36	362	80	69	6000	203	220	Rohrl. ändern	2.748 €
Summe:					2018 kWh/a	542 kWh/a	444 €	119 €					827 CO²			8.238 €

Entgegen der herstellerseitigen Einbauempfehlung einer Doppelpumpe (1:1-Austausch) wird der Einbau von Einzelpumpen mit gleicher Baulänge (220mm) empfohlen, da die Nutzung keine derart hohe Versorgungssicherheit erfordert.

Für diese werden folgende Kosten (UVP) in Ansatz gebracht:

Lüftung Pumpe 1+2:	WILO Statos 32 / 1-10 jew.	1.100,- €
Heizung	WILO Stratos 32 / 1-12	1.700,- €

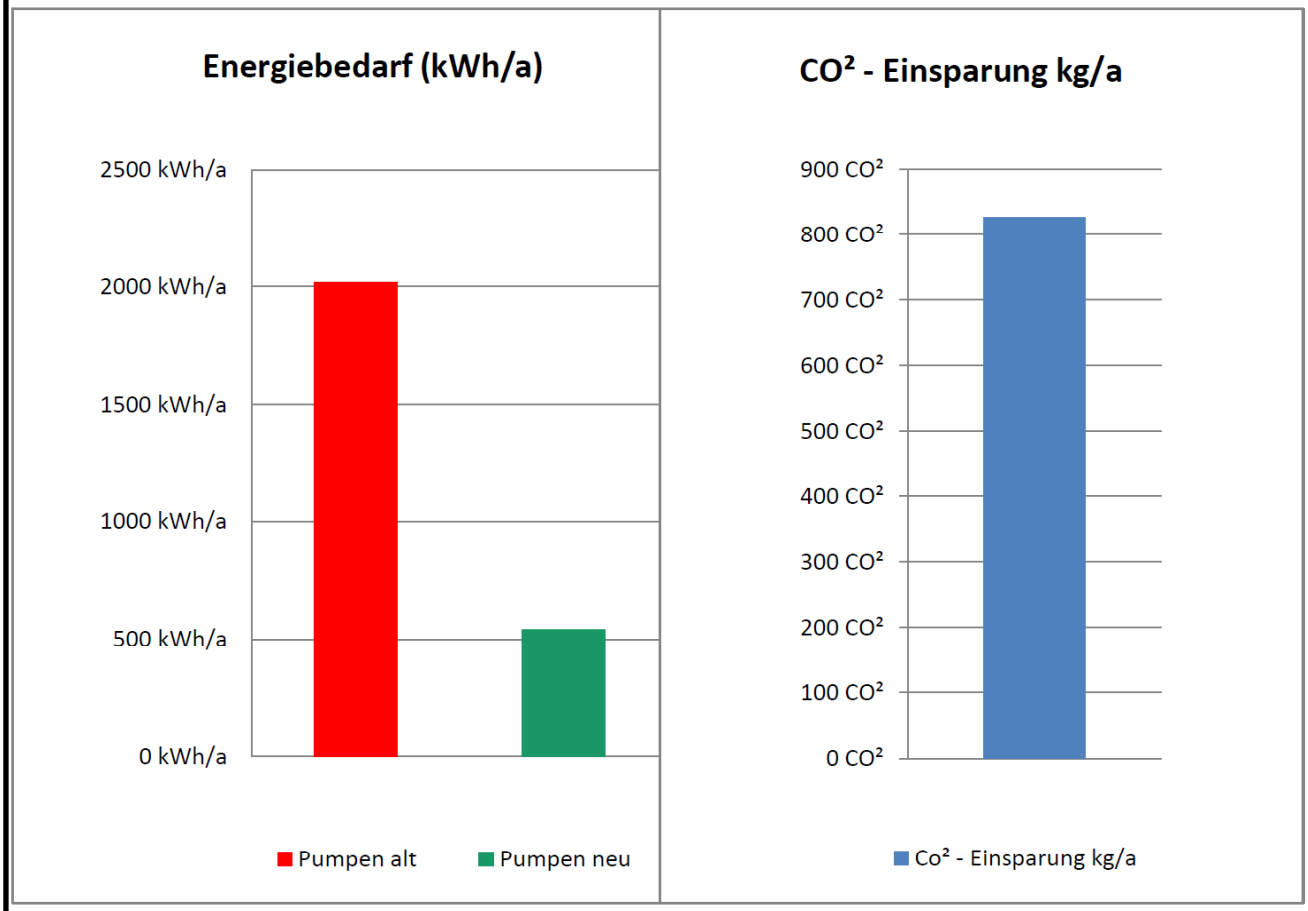
LCC-Berechnung auf Basis Standard-Bewertung

Angebots.Nr.: .....
Bauvorhaben: Kindergarten

Belastungsprofil: Blauer Engel
Strompreis: 0,220 €
Betriebszeit in Std.: 6000

	Alt	Neu
Energiebedarf:	2018 kWh/a	542 kWh/a
Energiekosten:	444 €	119 €

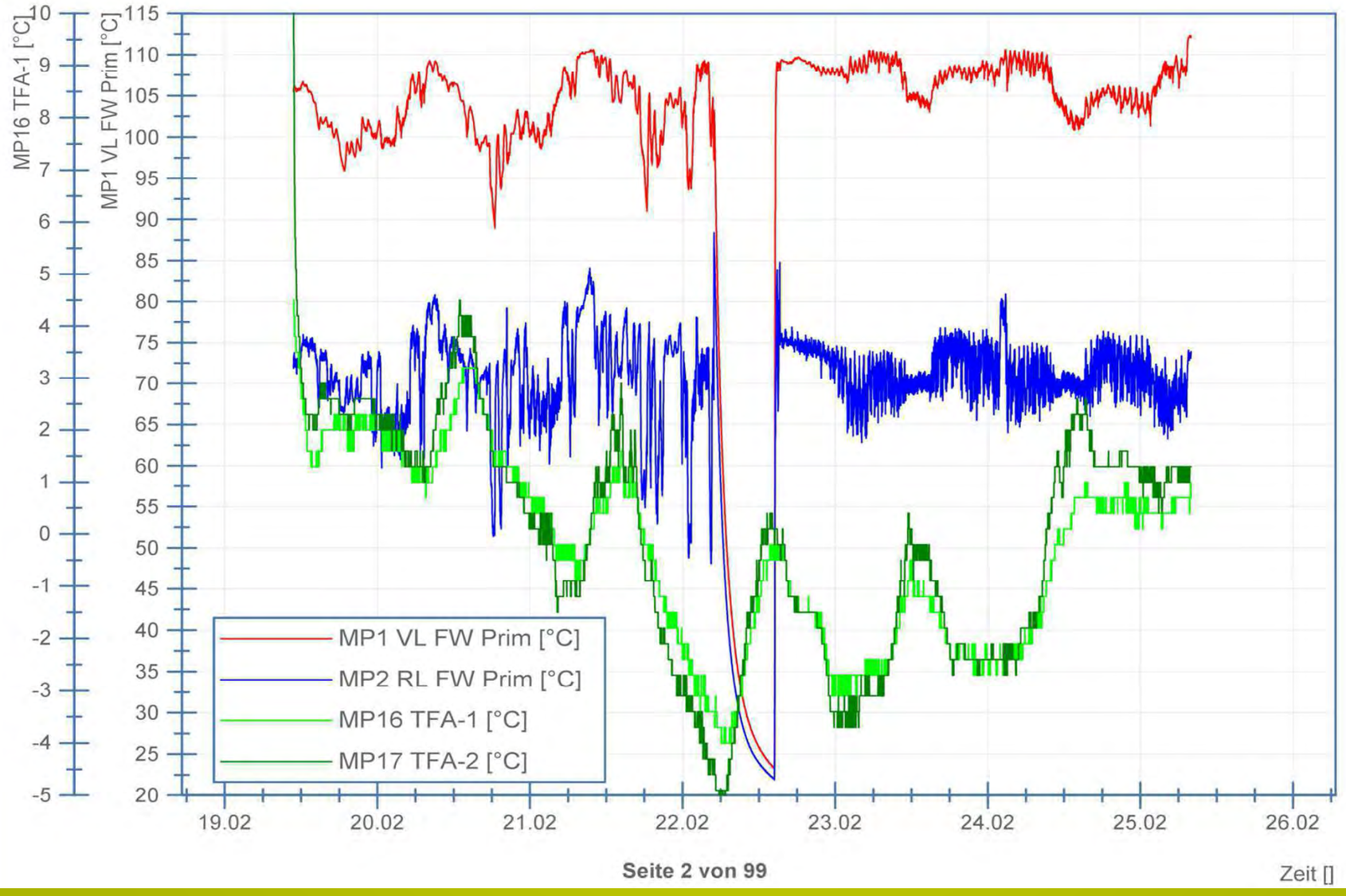
Einsparung	
kWh/a	**1477 kWh/a**
CO^2	**827 CO^2**

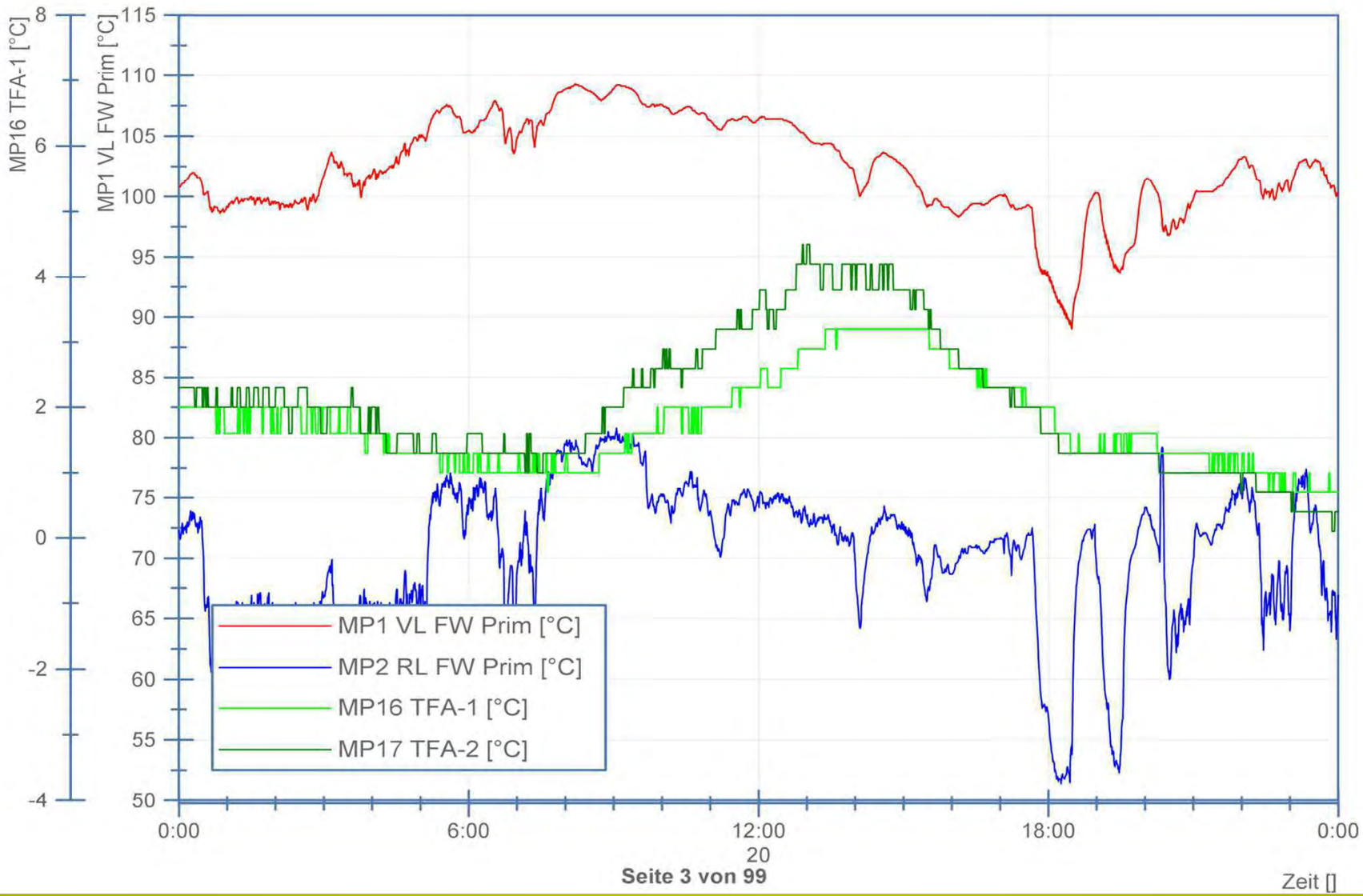


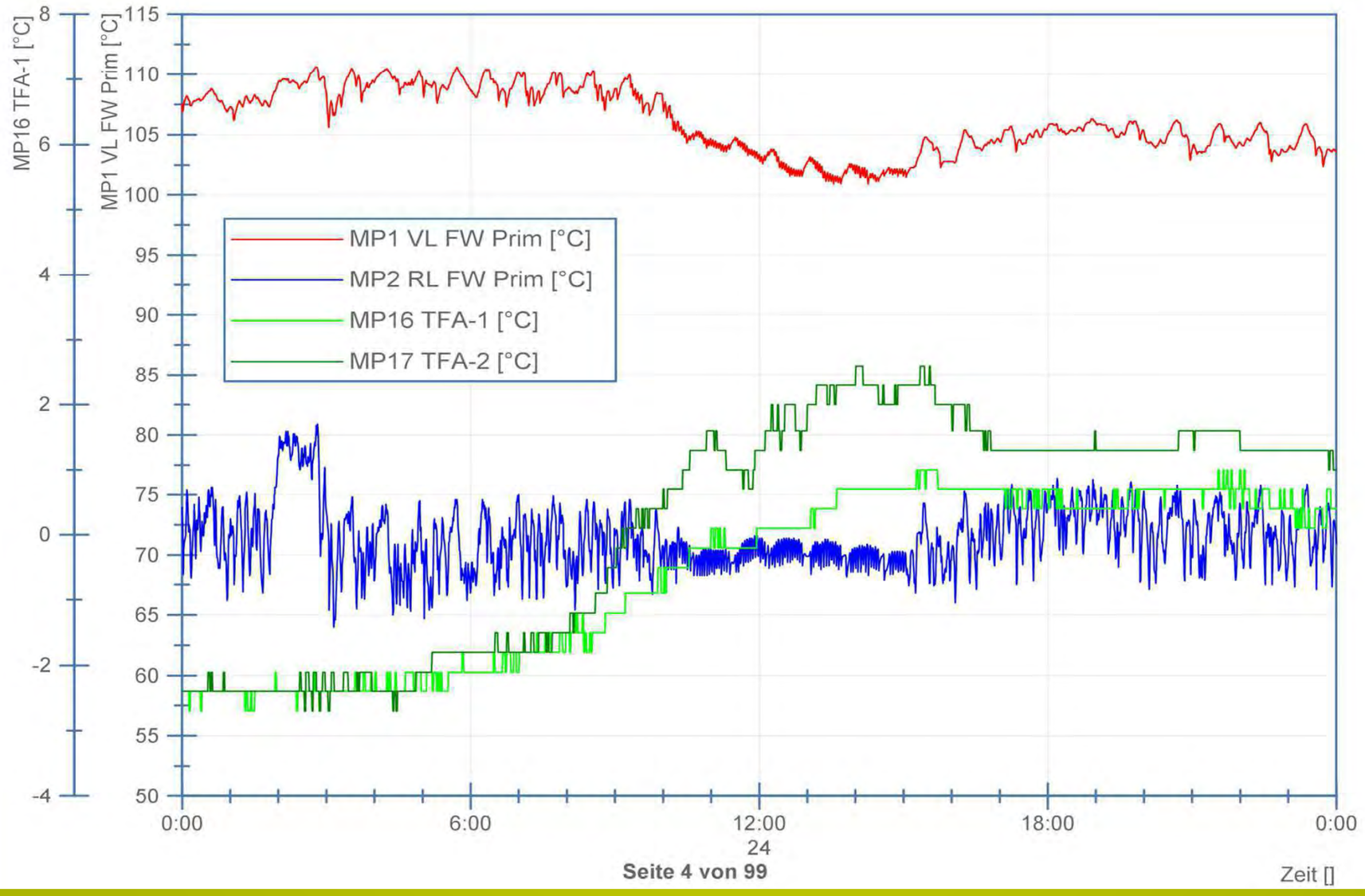
Anlage zu Pilotprojekt Kap. 4.2.3

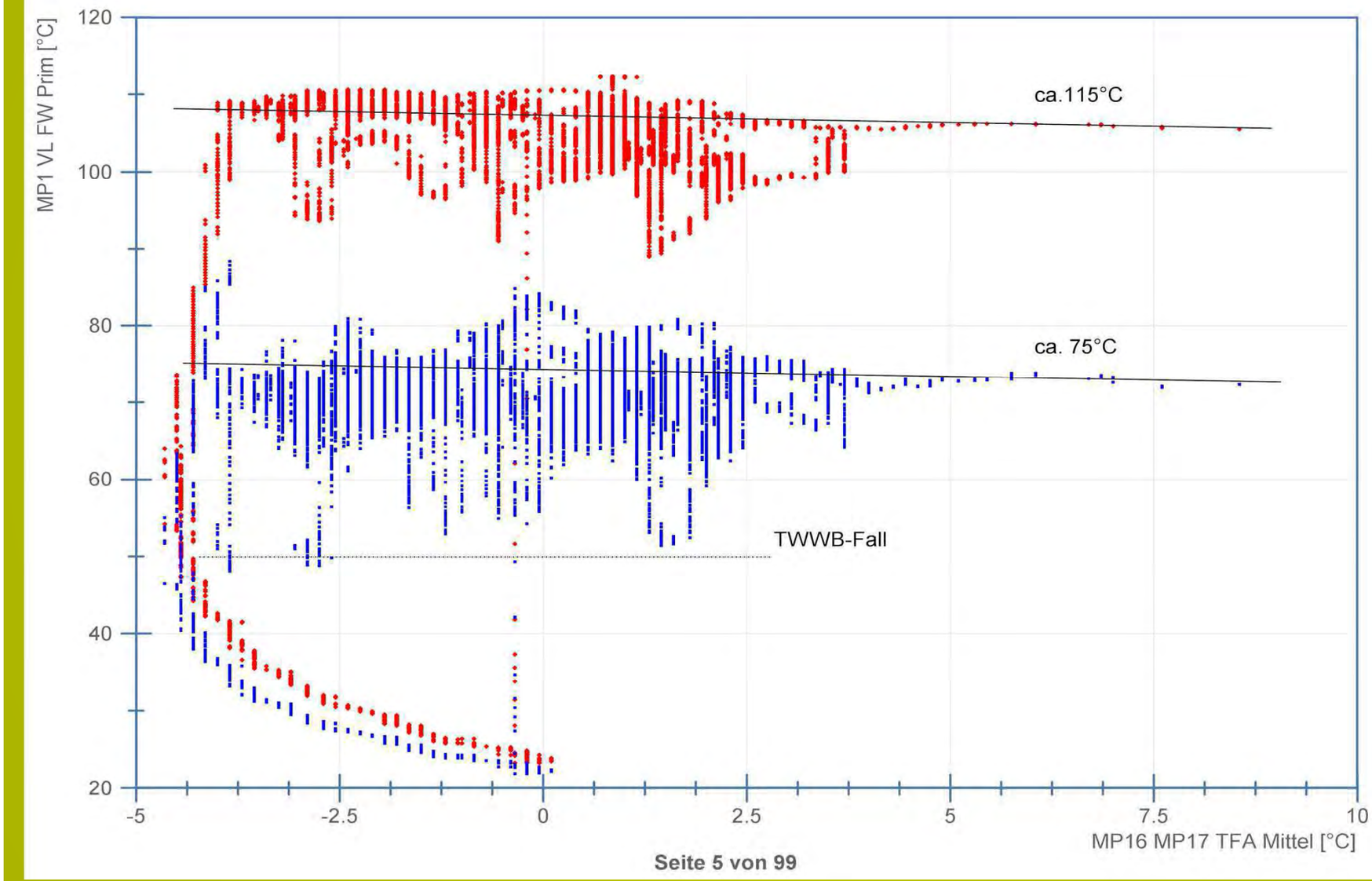
Diagrammexporte

Seitenname	Seite
Inhaltsverzeichnis	1
FW Prim	2
FW Prim 02-20	3
FW Prim 02-24	4
FW Prim AUL-Korrell	5
FW Spreizung AUL-Korrell	6
FW VL-RL-Spreizung 3D	7
FW VL-RL-Spreizung 2D	8
FW VL-RL 24h-Profil	9
FW-Prim-Sek-Kreise	10
FW-Prim-Sek-Kreise 02-20	11
FW-Prim-Sek-Kreise 02-24	12
FW-Heiz Spreizungen Klass	13
Heizung Sek	14
Heizung Sek 02-20	15
Heizung Sek 02-24	16
Heizung Sek AUL-Korrell	17
Heizung Sek Spreizung AUL-Korrell	18
Heizung Sek VL-RL-Spreizung 3D	19
Heizung Sek VL-RL-Spreizung 2D	20
Heizung Sek VL-RL 24h-Profil	21
Heizung Prim-Sek	22
Heizung Prim-Sek 02-20	23
Heizung Prim-Sek 02-24	24
Heizung Prim-Sek-Korrell	25
FBH	26
FBH 02-20	27
FBH 02-24	28
FBH AUL-Korrell	29
FBH Spreizung AUL-Korrell	30
FBH VL-RL-Spreizung 3D	31
FBH VL-RL-Spreizung 2D	32
FBH VL-RL 24h-Profil	33
FBH Sek-Kreis	34
FBH Sek-Kreis-Korrell	35
Stat HK	36
Stat HK 02-20	37
Stat HK 02-24	38
Stat HK AUL-Korrell	39
Stat HK Spreizung AUL-Korrell	40
Stat HK VL-RL-Spreizung 3D	41
Stat HK VL-RL-Spreizung 2D	42
Stat HK VL-RL 24h-Profil	43
Stat HK Sek-Kreis	44
Stat HK Sek-Kreis 02-20	45
Stat HK Sek-Kreis 02-24	46
Stat HK Sek-Kreis-Korrell	47
PWT WW VL-RL-Spreizung 3D	48
PWT WW VL-RL-Spreizung 2D	49
PWT WW VL-RL 24h-Profil	50
PWT WW Sek-Kreis	51
PWT WW Sek-Kreis 02-20	52
PWT WW Sek-Kreis 02-24	53
PWT WW Sek-Kreis-Korrell	54
WW Speicher	55
WW Speicher AUL-Korrell	56
WW Speicher Spreizung AUL-Korrell	57
WW Speicher VL-RL-Spreizung 3D	58
WW Speicher VL-RL-Spreizung 2D	59
WW Speicher VL-RL 24h-Profil	60
WW Speicher Sek-Ter	61
WW Speicher Sek-Ter 02-20	62
WW Speicher Sek-Ter 02-24	63
WW Speicher Sek-Ter-Korrell	64
TWW Sp VL-Zirk	65
TWW Sp VL-Zirk 02-20	66
TWW Sp VL-Zirk 02-24	67
TWW Sp VL-RL 3D	68
TWW Sp VL-Zirk-Spreizung 3D	69
TWW Sp VL-Zirk-Spreizung 2D	70
TWW Sp VL-Zirk 24h-Profil	71
TWW Sp-VL WW-VL Zirk	72
TWW Sp-VL WW-VL Zirk 02-20	73
TWW Sp-VL WW-VL Zirk 02-24	74
TWW Spreizung-Zirk	75
Raumtemp	76
Raumtemp 02-20	77
Raumtemp 02-24	78
Raumtemp AUL-Korrell	79
Raumtemp 24h-Profil MP18	80
Raumtemp Klass MP18	81
Raumtemp 24h-Profil MP19	82
Raumtemp Klass MP19	83
Raumtemp 24h-Profil MP20	84
Raumtemp Klass MP20	85
Raumtemp-feuchte 3D MP20	86
Raumtemp 24h-Profil MP21	87
Raumtemp Klass MP21	88
Raumtemp-feuchte 3D MP21	89
Raumfeuchte	90
Raumfeuchte 02-20	91
Raumfeuchte 02-24	92
Raumfeuchte AUL-Korrell	93
Raumfeuchte Raumtemp-Korrell	94
Raumfeuchte 24h-Profil MP20	95
Raumfeuchte Klass MP20	96
Raumfeuchte 24h-Profil MP21	97
Raumfeuchte Klass MP21	98
Taupunkt MP20 MP21	99

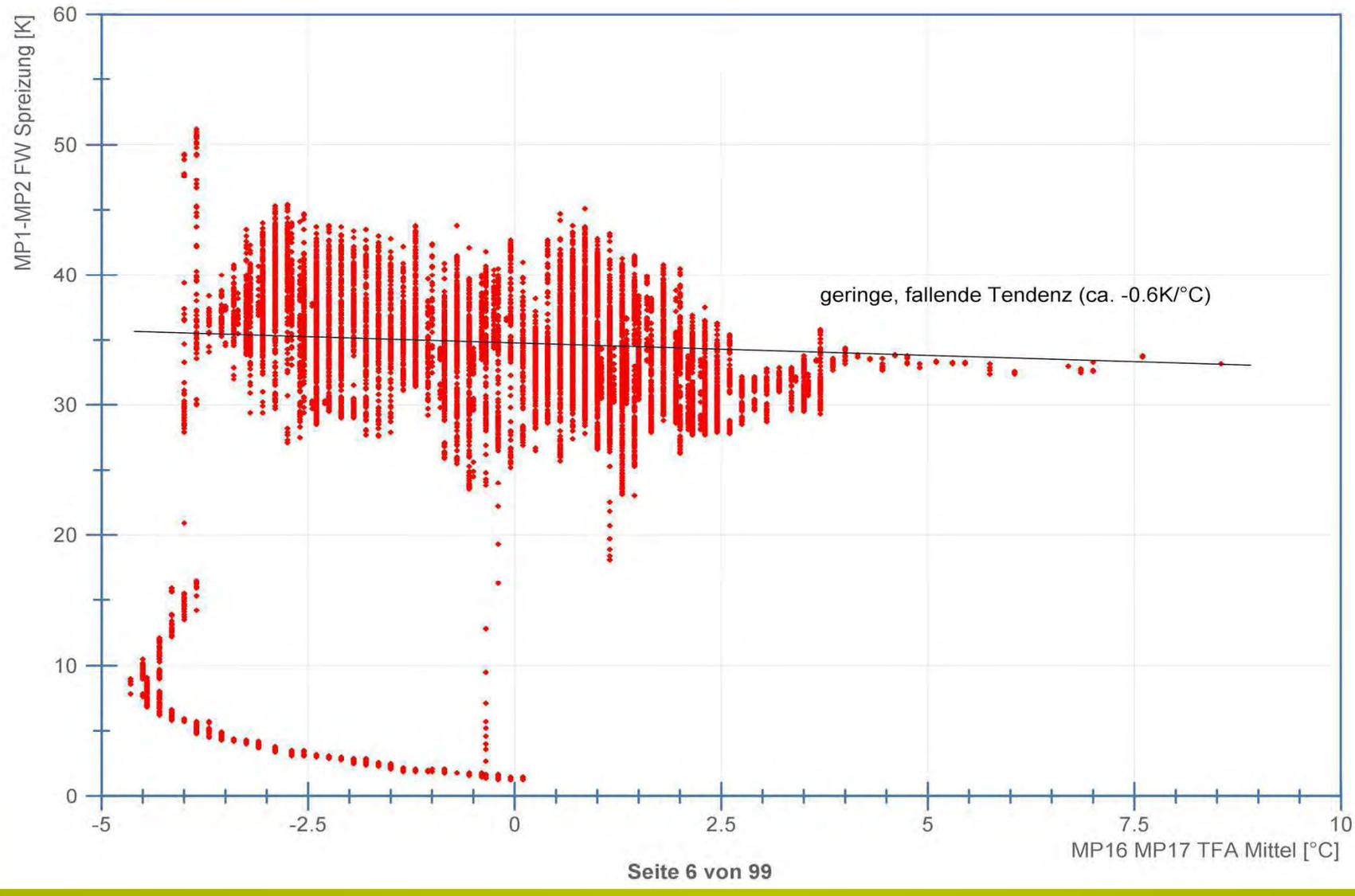

MP16 TFA-1 [°C]
MP1 VL FW Prim [°C]
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
-5
115
110
105
100
95
90
85
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
19.02
20.02
21.02
22.02
23.02
24.02
25.02
26.02
MP1 VL FW Prim [°C]
MP2 RL FW Prim [°C]
MP16 TFA-1 [°C]
MP17 TFA-2 [°C]
Seite 2 von 99
Zeit []

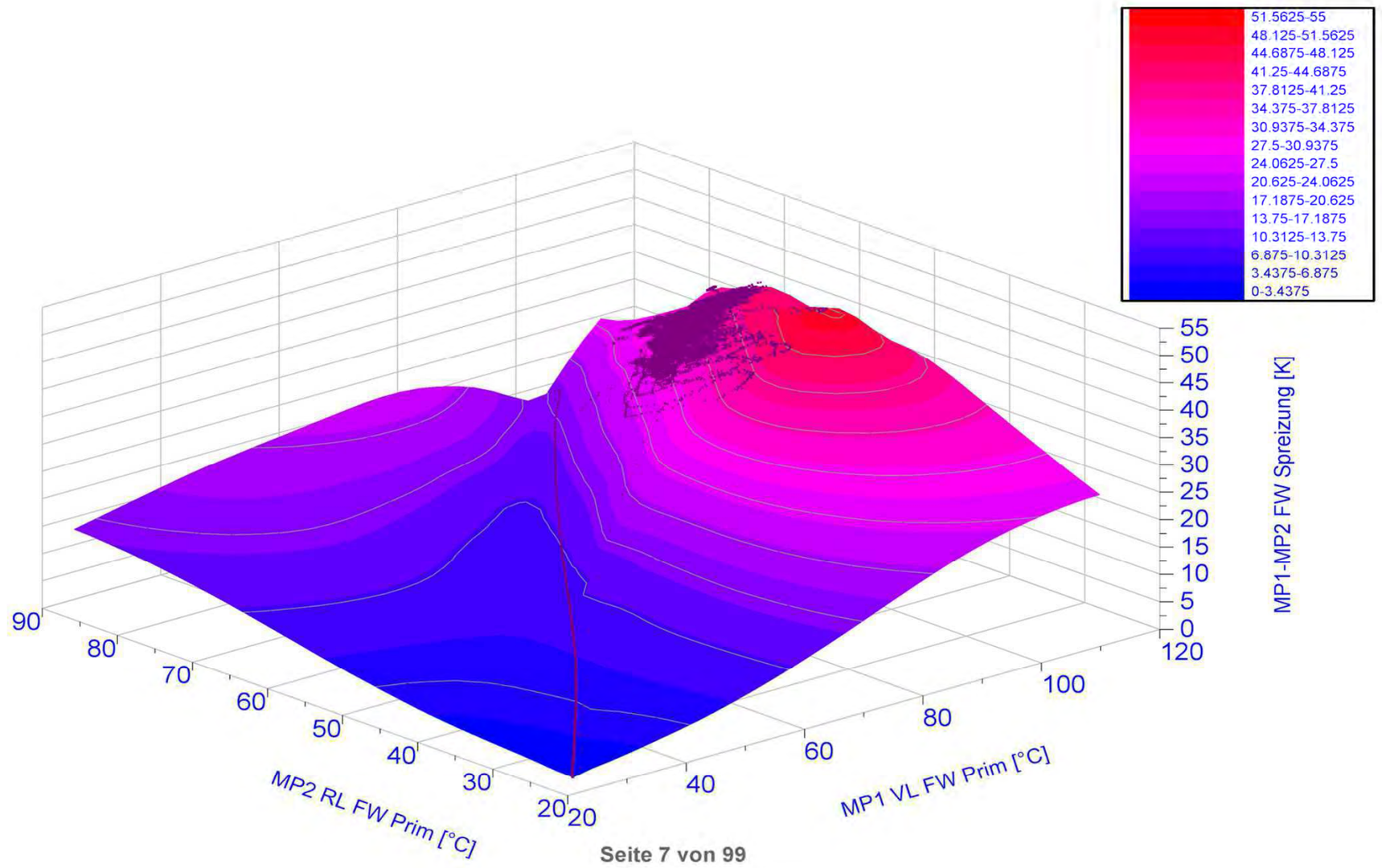

MP16 TFA-1 [°C]
MP1 VL FW Prim [°C]
8
6
4
2
0
-2
-4
115
110
105
100
95
90
85
80
75
70
65
60
55
50
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
20
Zeit []
MP1 VL FW Prim [°C]
MP2 RL FW Prim [°C]
MP16 TFA-1 [°C]
MP17 TFA-2 [°C]

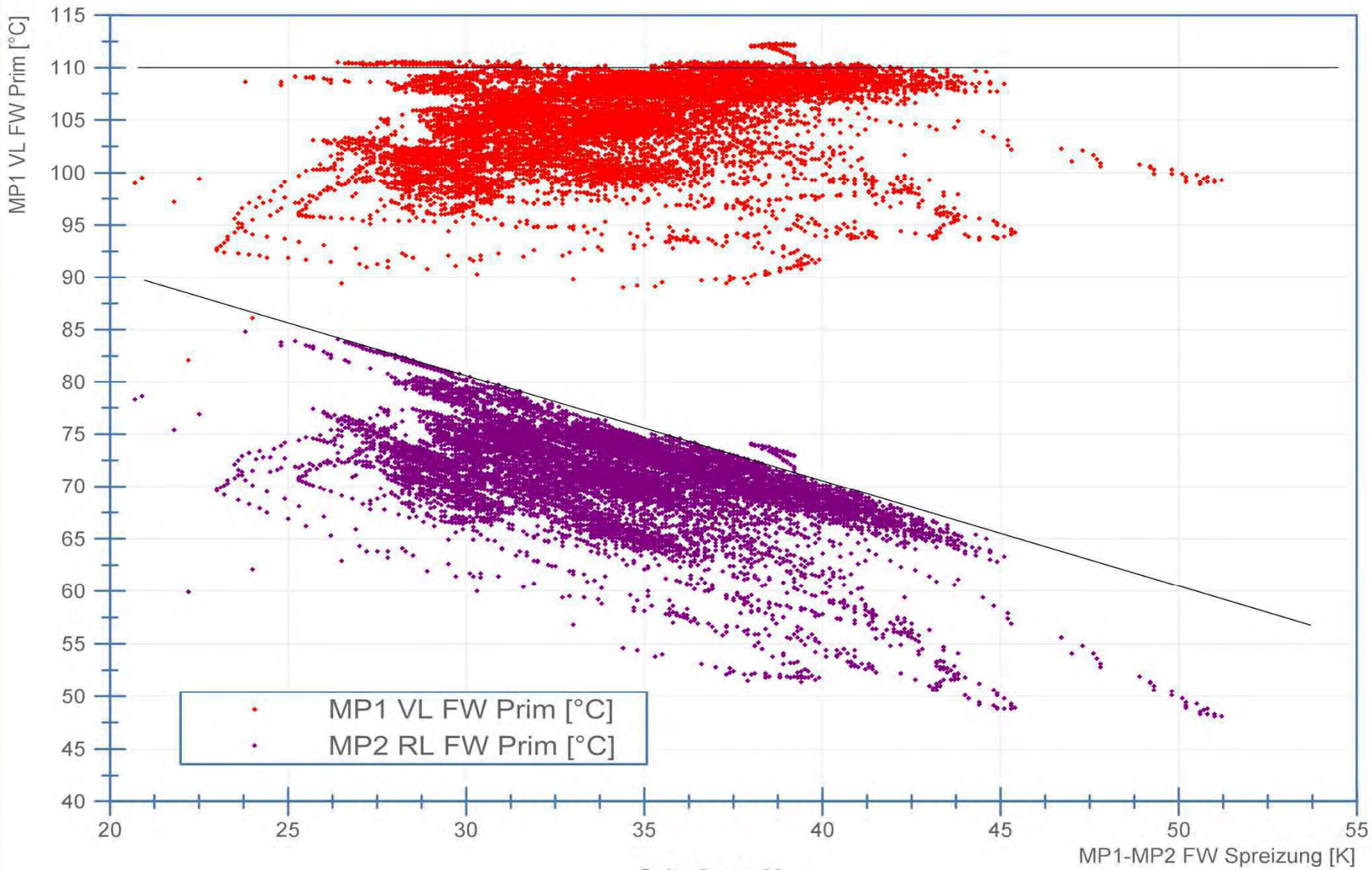

MP16 TFA-1 [°C]
MP1 VL FW Prim [°C]
8
6
4
2
0
-2
-4
115
110
105
100
95
90
85
80
75
70
65
60
55
50
MP1 VL FW Prim [°C]
MP2 RL FW Prim [°C]
MP16 TFA-1 [°C]
MP17 TFA-2 [°C]
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
24
Zeit []

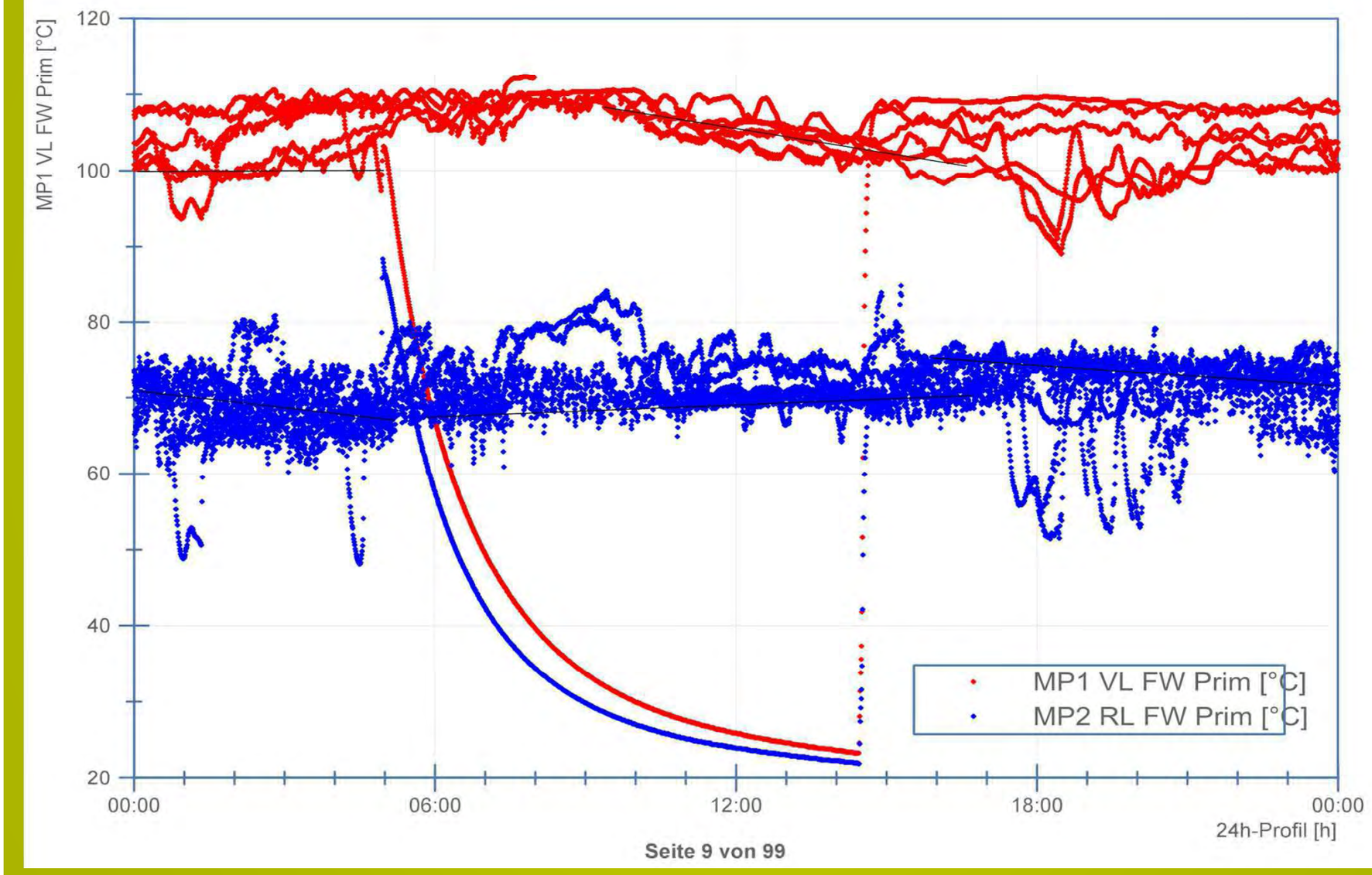


Seite 5 von 99

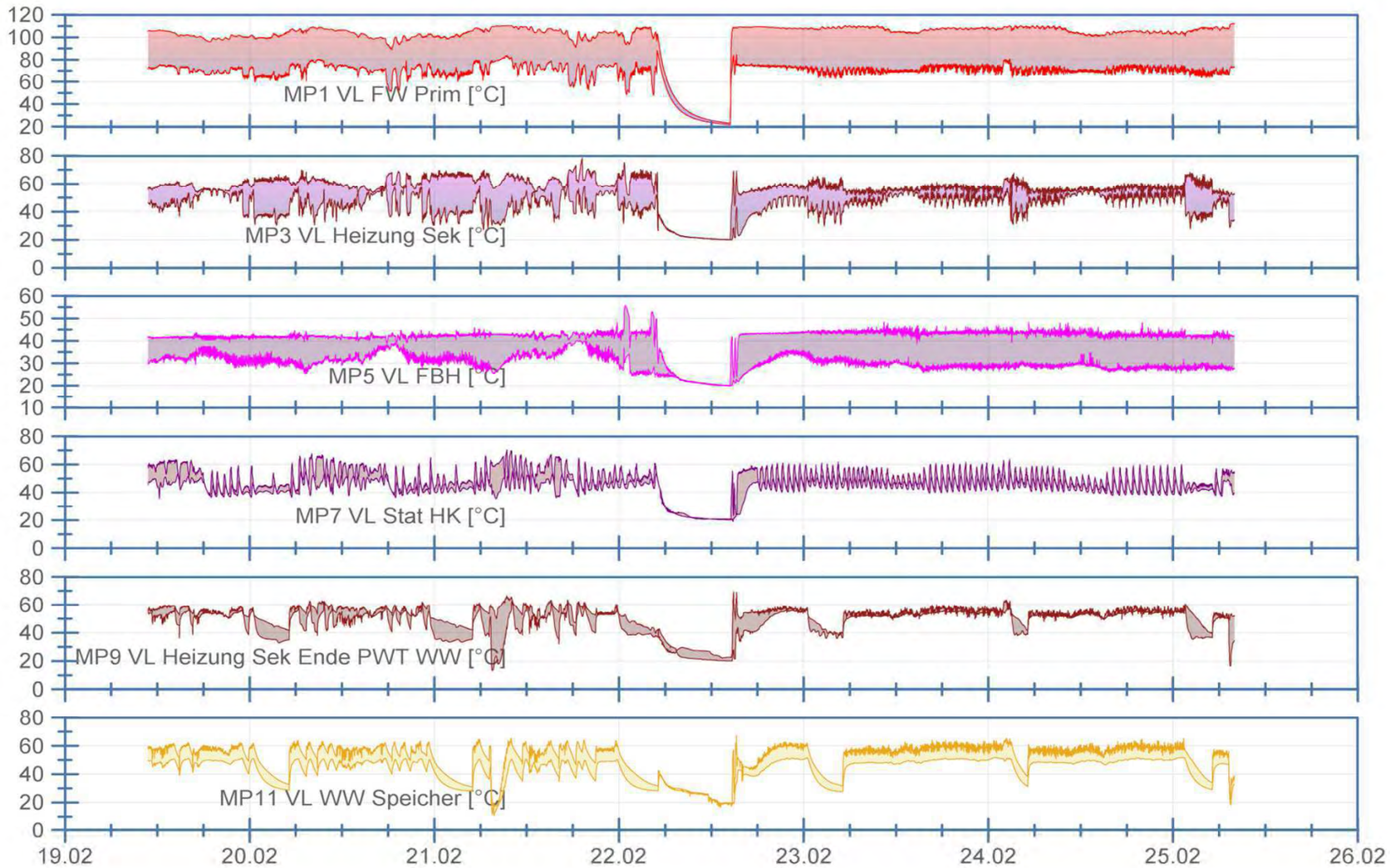

MP1-MP2 FW Spreizung [K]
60
50
40
30
20
10
0
-5
-2.5
0
2.5
5
7.5
10
MP16 MP17 TFA Mittel [°C]
geringe, fallende Tendenz (ca. -0.6K/°C)

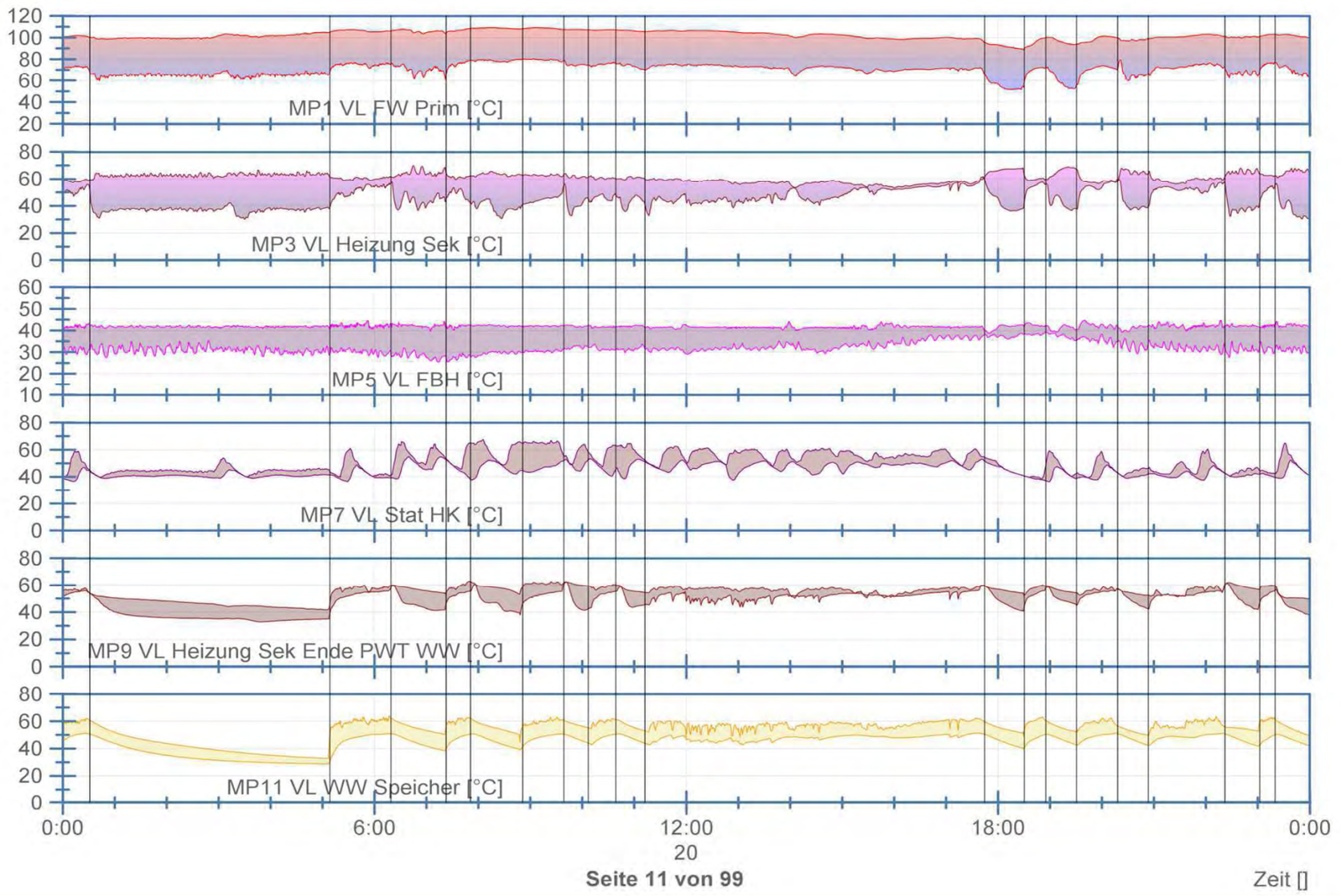

51.5625-55
48.125-51.5625
44.6875-48.125
41.25-44.6875
37.8125-41.25
34.375-37.8125
30.9375-34.375
27.5-30.9375
24.0625-27.5
20.625-24.0625
17.1875-20.625
13.75-17.1875
10.3125-13.75
6.875-10.3125
3.4375-6.875
0-3.4375
MP1-MP2 FW Spreizung [K]
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
MP2 RL FW Prim [°C]
90
80
70
60
50
40
30
20
MP1 VL FW Prim [°C]
120
100
80
60
40
20

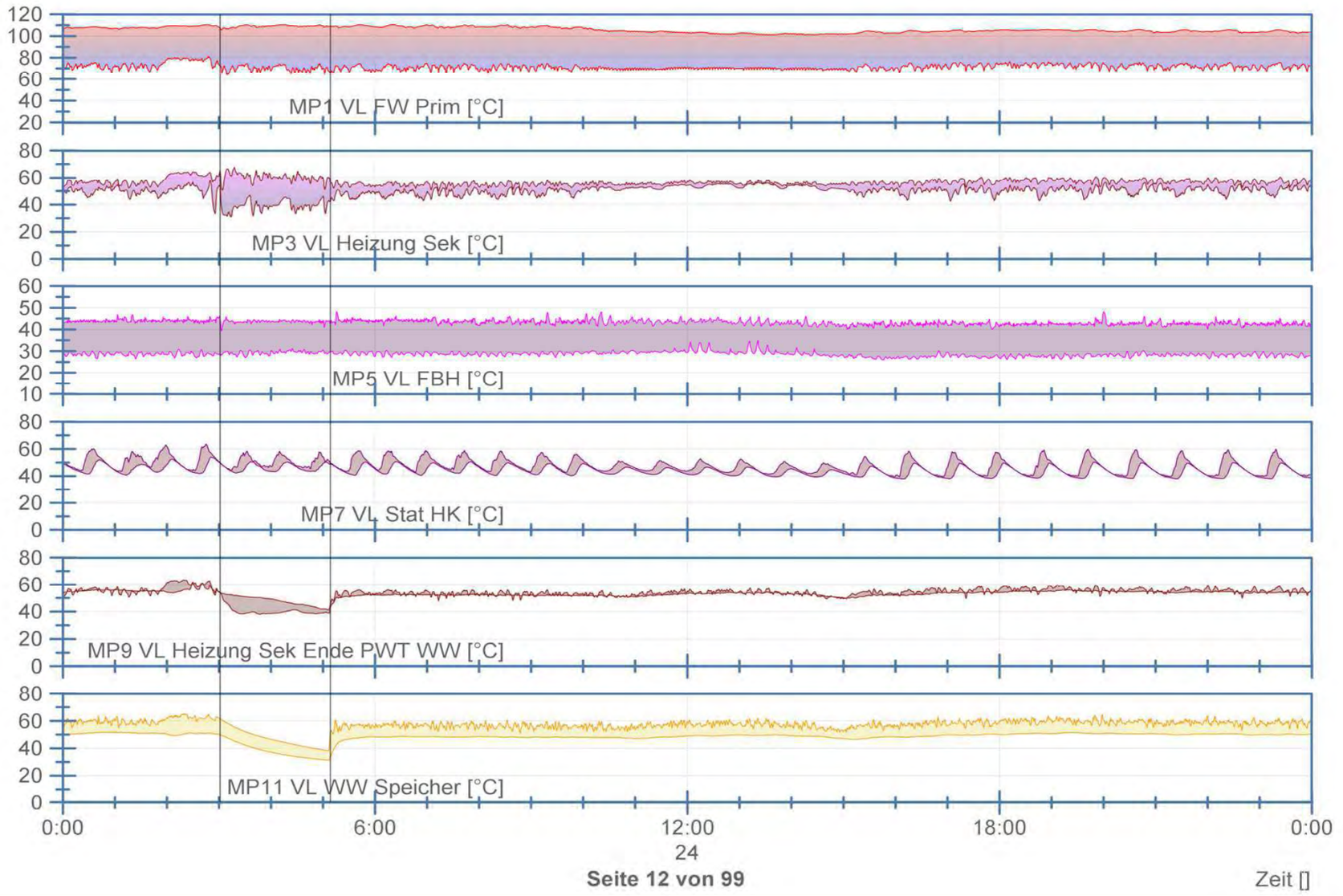

MP1 VL FW Prim [°C]
115
110
105
100
95
90
85
80
75
70
65
60
55
50
45
40
20
25
30
35
40
45
50
55
MP1-MP2 FW Spreizung [K]
MP1 VL FW Prim [°C]
MP2 RL FW Prim [°C]

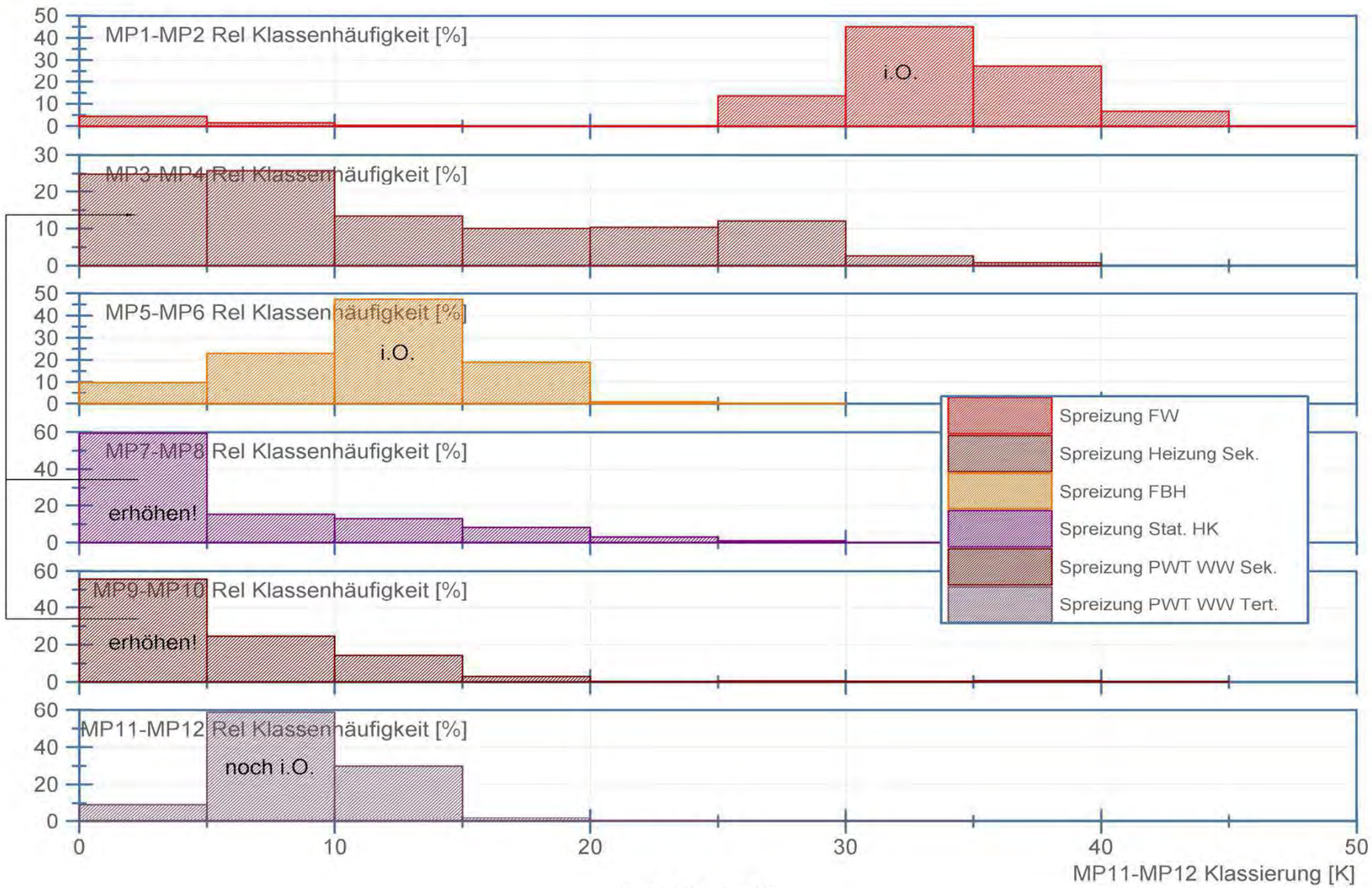


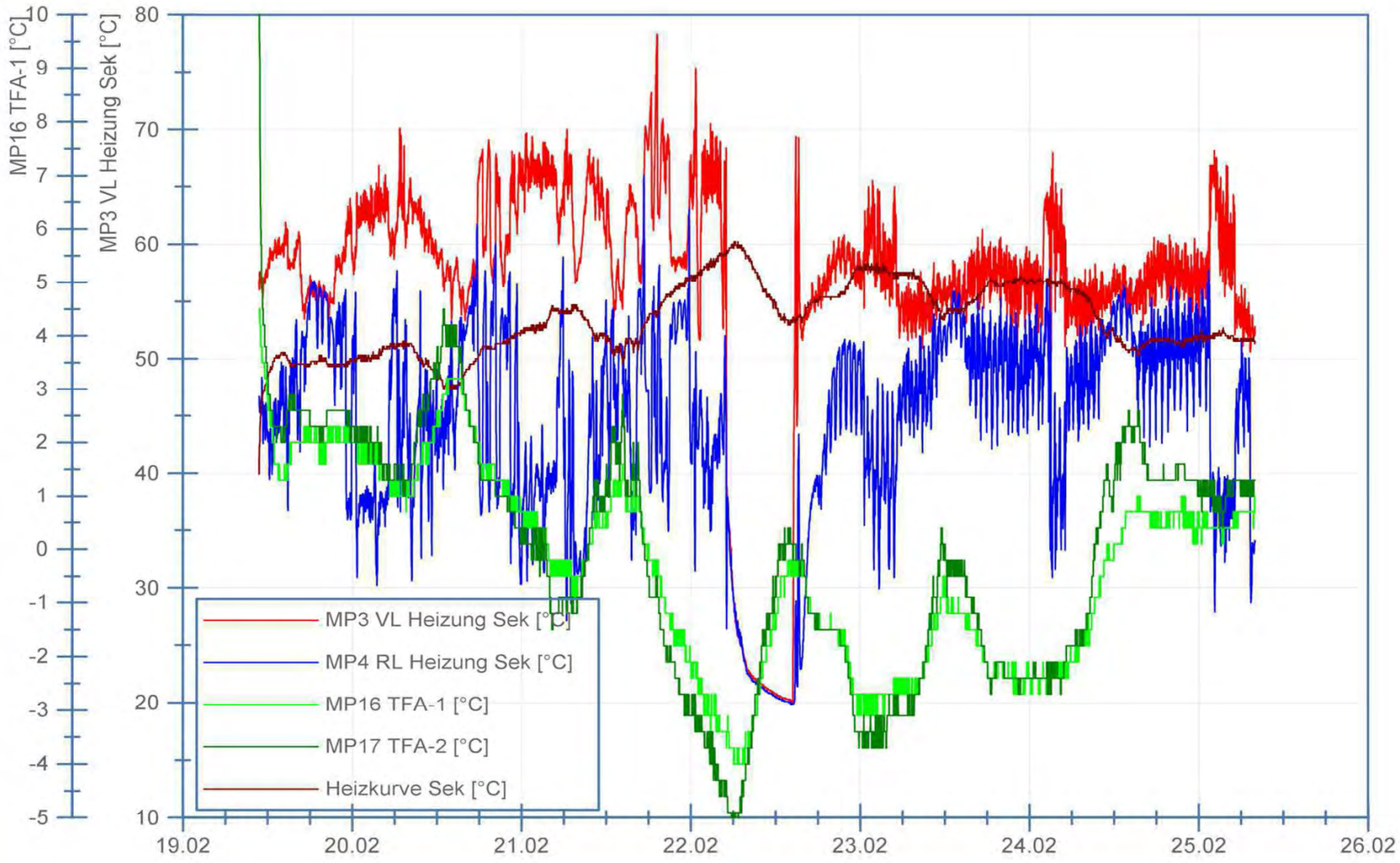
Seite 9 von 99

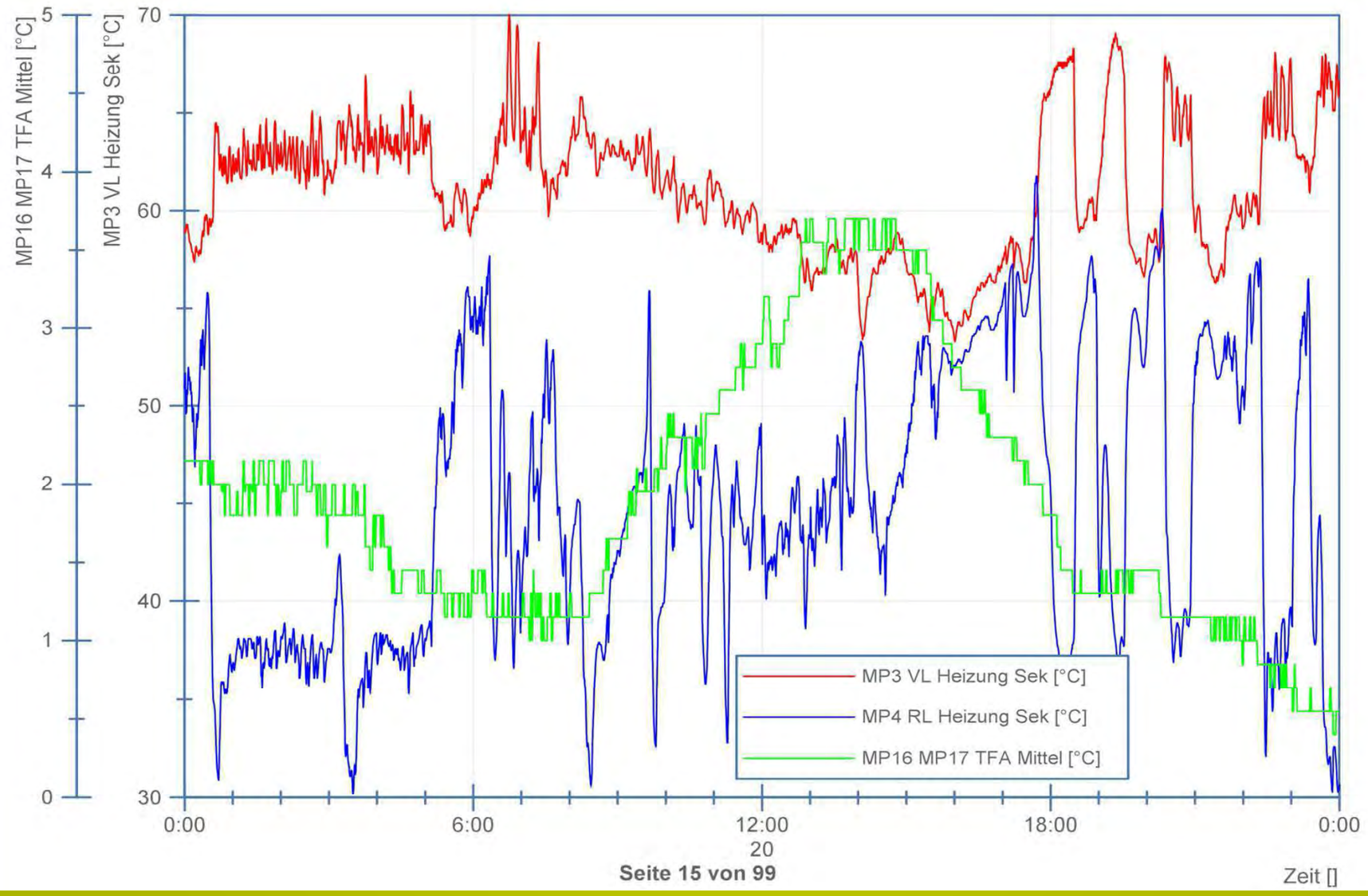

120
100
80
60
40
20
MP1 VL FW Prim [°C]
80
60
40
20
0
MP3 VL Heizung Sek [°C]
60
50
40
30
20
10
MP5 VL FBH [°C]
80
60
40
20
0
MP7 VL Stat HK [°C]
80
60
40
20
0
MP9 VL Heizung Sek Ende PWT WW [°C]
80
60
40
20
0
MP11 VL WW Speicher [°C]
19.02
20.02
21.02
22.02
23.02
24.02
25.02
26.02
Seite 10 von 99
Zeit []

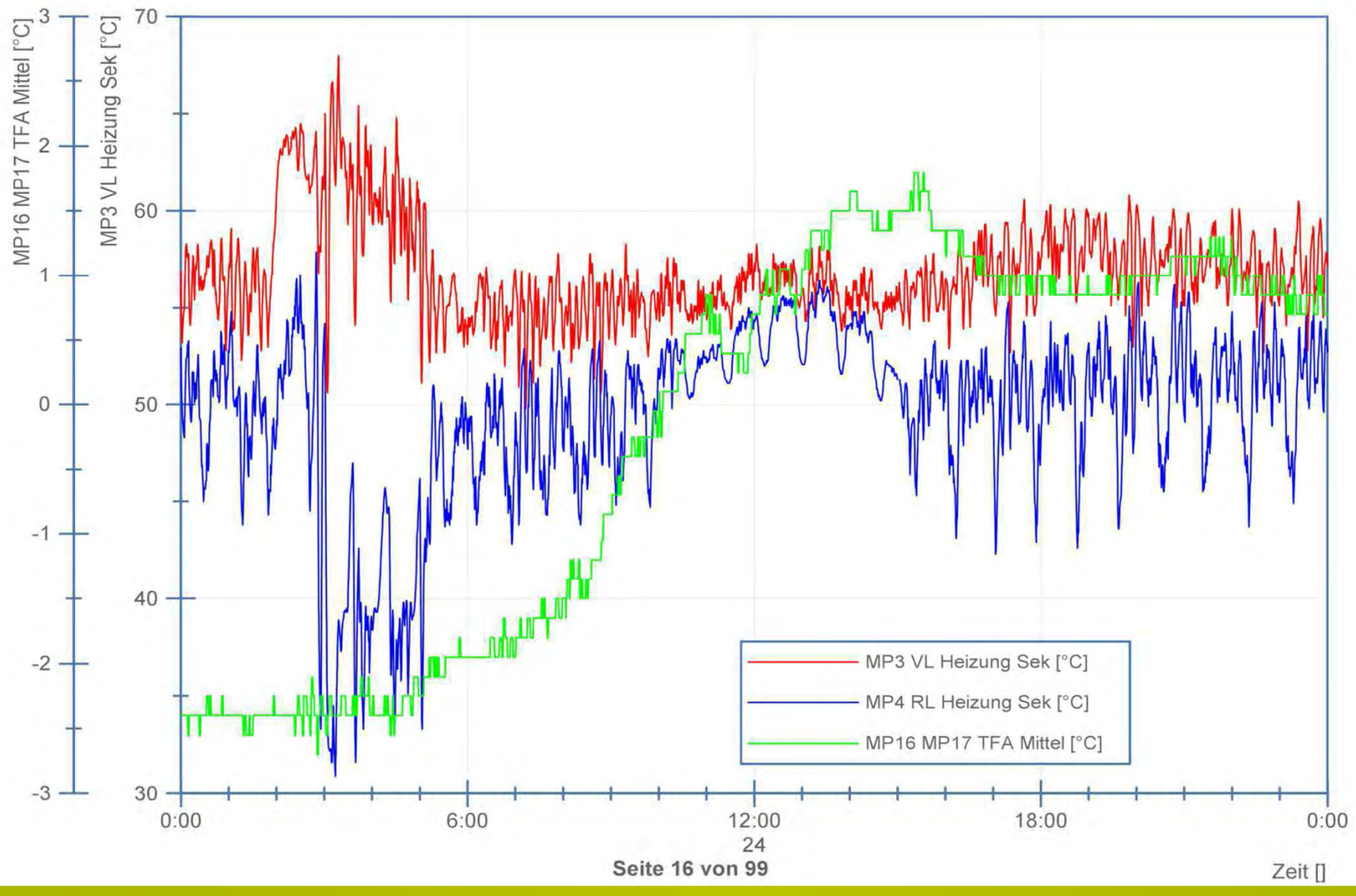

120
100
80
60
40
20
MP1 VL FW Prim [°C]
80
60
40
20
0
MP3 VL Heizung Sek [°C]
60
50
40
30
20
10
MP5 VL FBH [°C]
80
60
40
20
0
MP7 VL Stat HK [°C]
80
60
40
20
0
MP9 VL Heizung Sek Ende PWT WW [°C]
80
60
40
20
0
MP11 VL WW Speicher [°C]
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
20
Seite 11 von 99
Zeit []

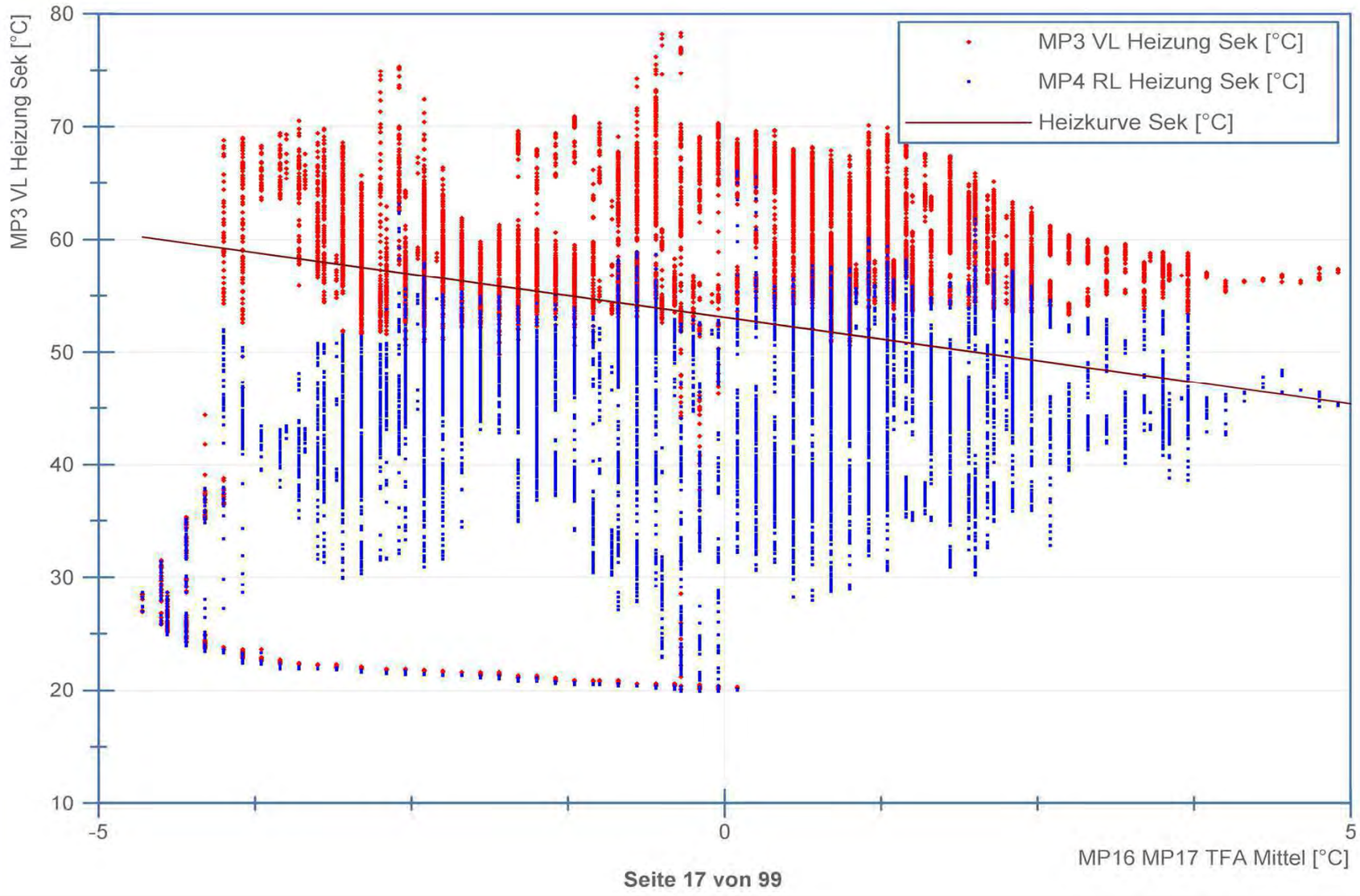

MP1 VL FW Prim [°C]
MP3 VL Heizung Sek [°C]
MP5 VL FBH [°C]
MP7 VL Stat HK [°C]
MP9 VL Heizung Sek Ende PWT WW [°C]
MP11 VL WW Speicher [°C]
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
24
Seite 12 von 99
Zeit []


MP1-MP2 Rel Klassenhäufigkeit [%]
i.O.
MP3-MP4 Rel Klassenhäufigkeit [%]
MP5-MP6 Rel Klassenhäufigkeit [%]
i.O.
MP7-MP8 Rel Klassenhäufigkeit [%]
erhöhen!
MP9-MP10 Rel Klassenhäufigkeit [%]
erhöhen!
MP11-MP12 Rel Klassenhäufigkeit [%]
noch i.O.
Spreizung FW
Spreizung Heizung Sek.
Spreizung FBH
Spreizung Stat. HK
Spreizung PWT WW Sek.
Spreizung PWT WW Tert.
MP11-MP12 Klassierung [K]

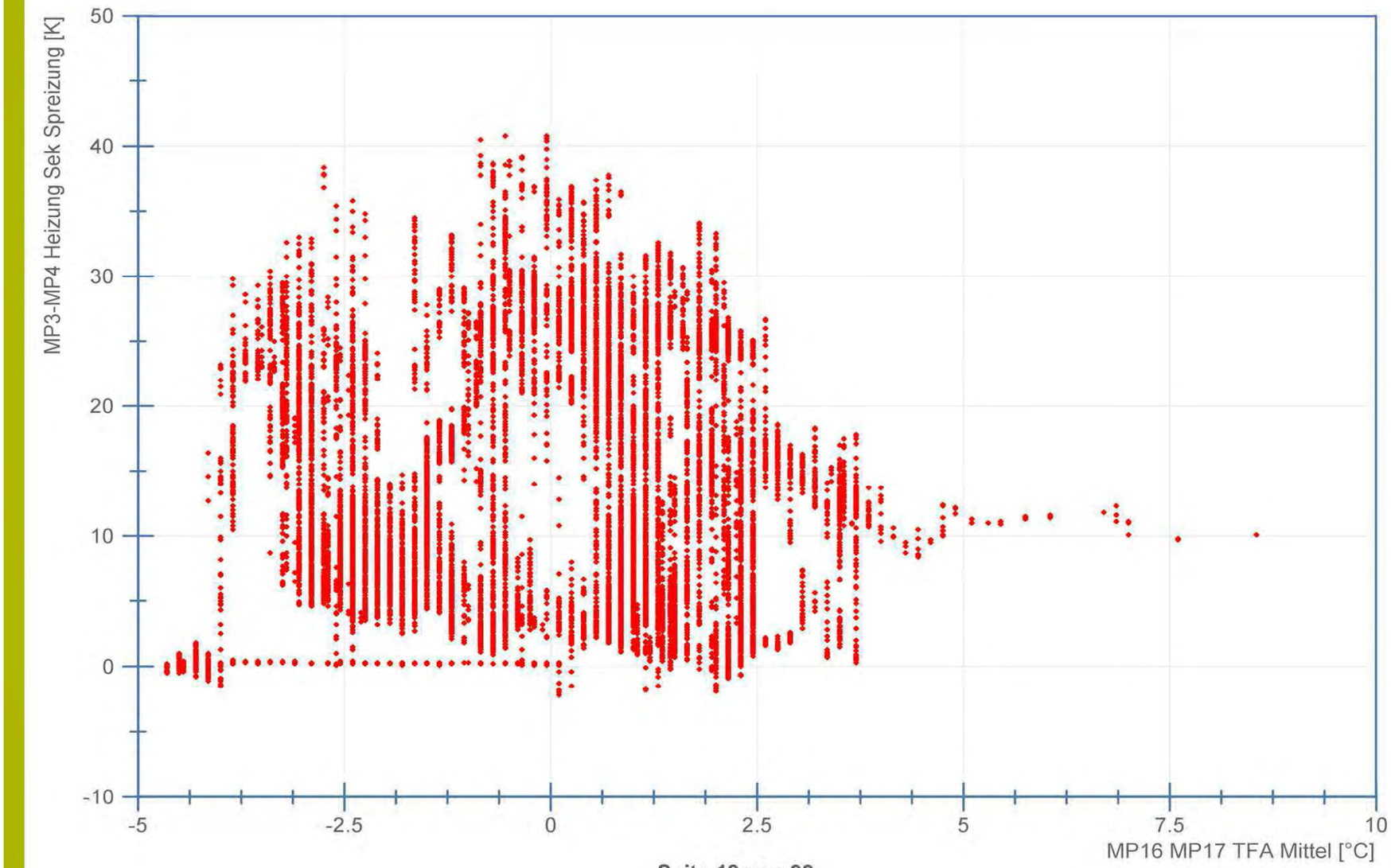

MP16 TFA-1 [°C]
MP3 VL Heizung Sek [°C]
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
-5
80
70
60
50
40
30
20
10
19.02
20.02
21.02
22.02
23.02
24.02
25.02
26.02
MP3 VL Heizung Sek [°C]
MP4 RL Heizung Sek [°C]
MP16 TFA-1 [°C]
MP17 TFA-2 [°C]
Heizkurve Sek [°C]
Zeit []

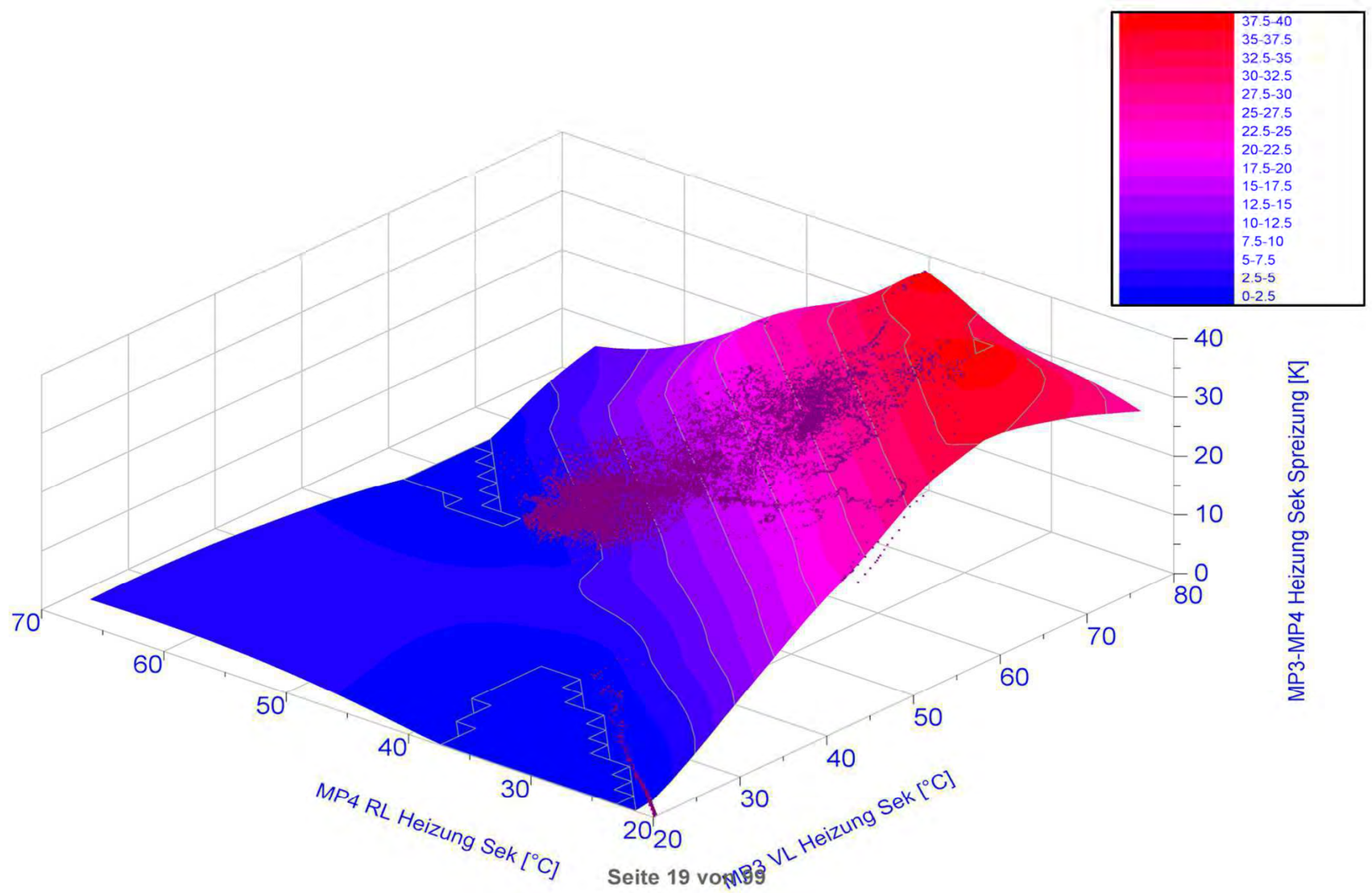

MP16 MP17 TFA Mittel [°C]
MP3 VL Heizung Sek [°C]
5
4
3
2
1
0
70
60
50
40
30
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
20
Zeit []
MP3 VL Heizung Sek [°C]
MP4 RL Heizung Sek [°C]
MP16 MP17 TFA Mittel [°C]

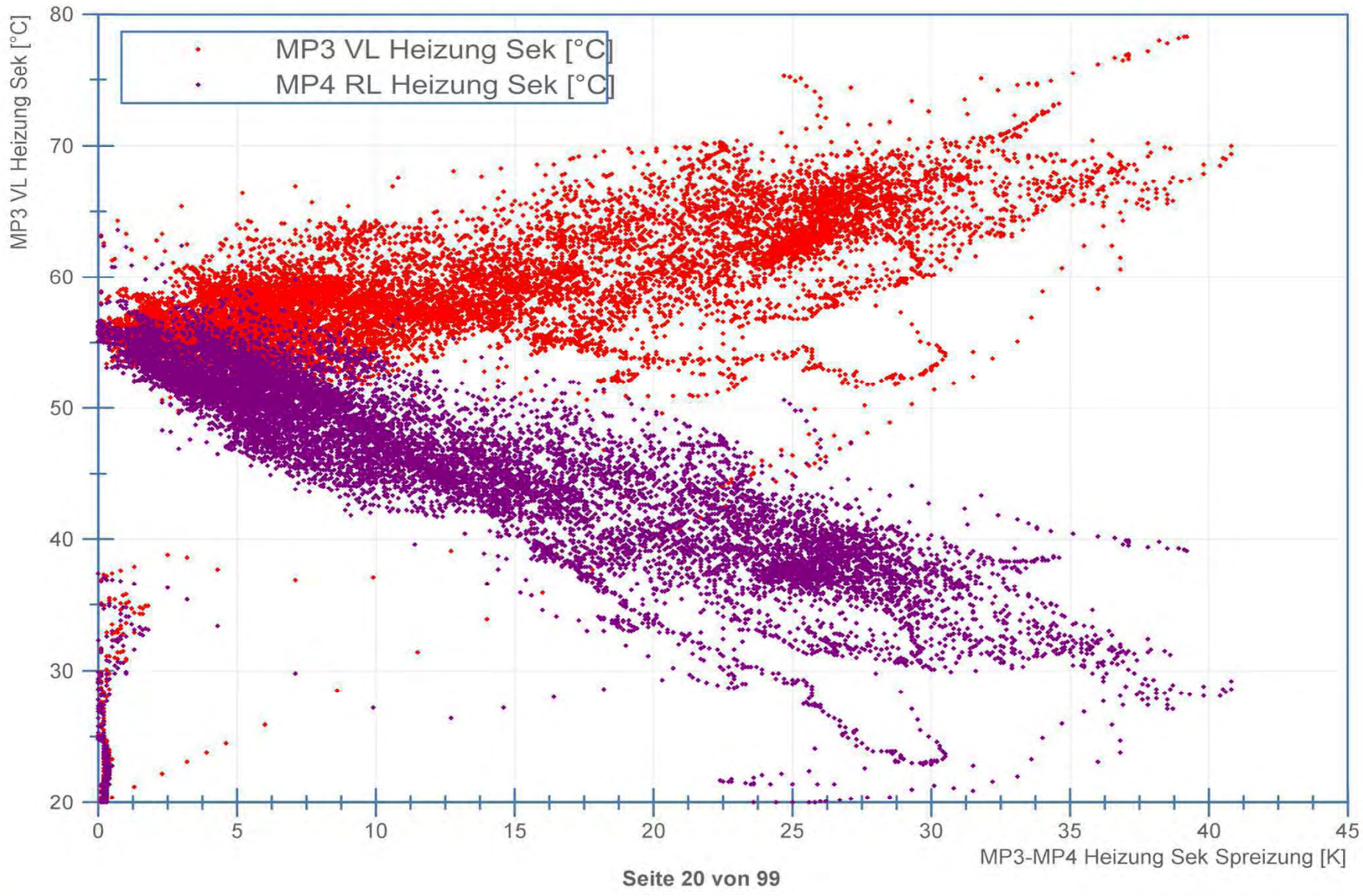

MP16 MP17 TFA Mittel [°C]
MP3 VL Heizung Sek [°C]
3
2
1
0
-1
-2
-3
70
60
50
40
30
0:00
6:00
12:00
24
18:00
0:00
Zeit []
MP3 VL Heizung Sek [°C]
MP4 RL Heizung Sek [°C]
MP16 MP17 TFA Mittel [°C]



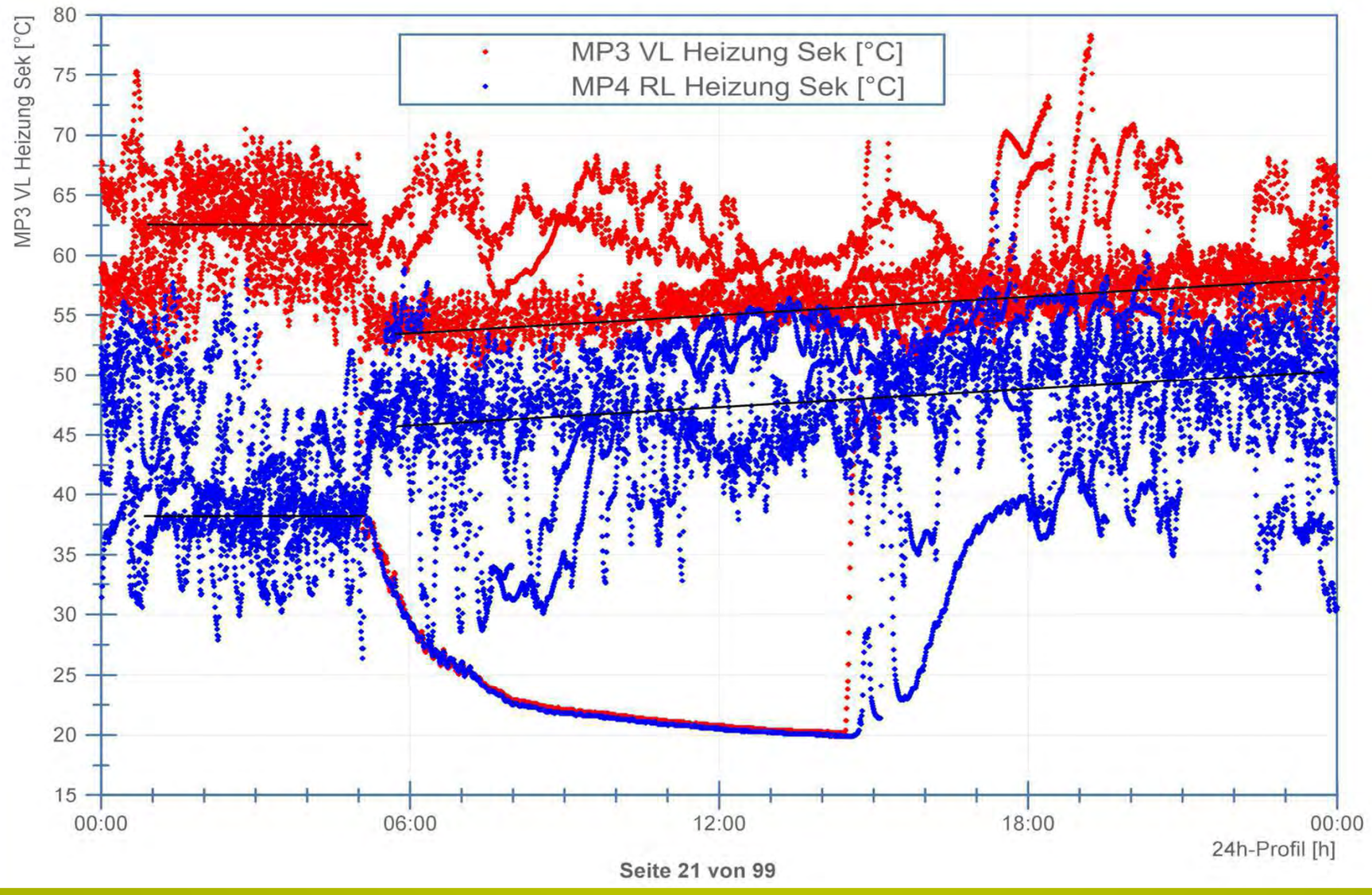
Seite 17 von 99


MP3-MP4 Heizung Sek Spreizung [K]
50
40
30
20
10
0
-10
-5
-2.5
0
2.5
5
7.5
10
MP16 MP17 TFA Mittel [°C]

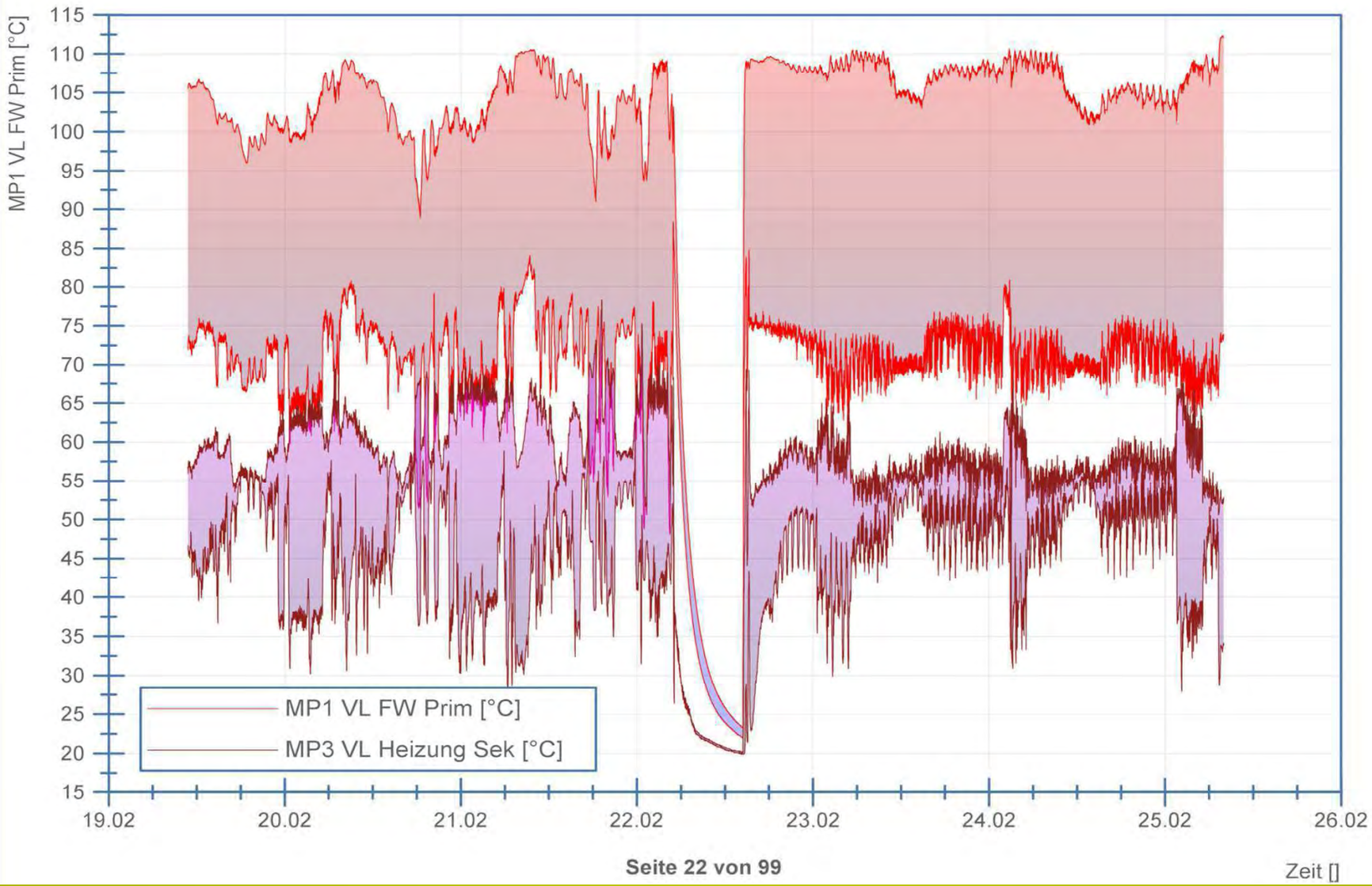

37.5-40
35-37.5
32.5-35
30-32.5
27.5-30
25-27.5
22.5-25
20-22.5
17.5-20
15-17.5
12.5-15
10-12.5
7.5-10
5-7.5
2.5-5
0-2.5
40
30
20
10
0
MP3-MP4 Heizung Sek Spreizung [K]
70
60
50
40
30
20
MP4 RL Heizung Sek [°C]
20
30
40
50
60
70
80
MP3 VL Heizung Sek [°C]

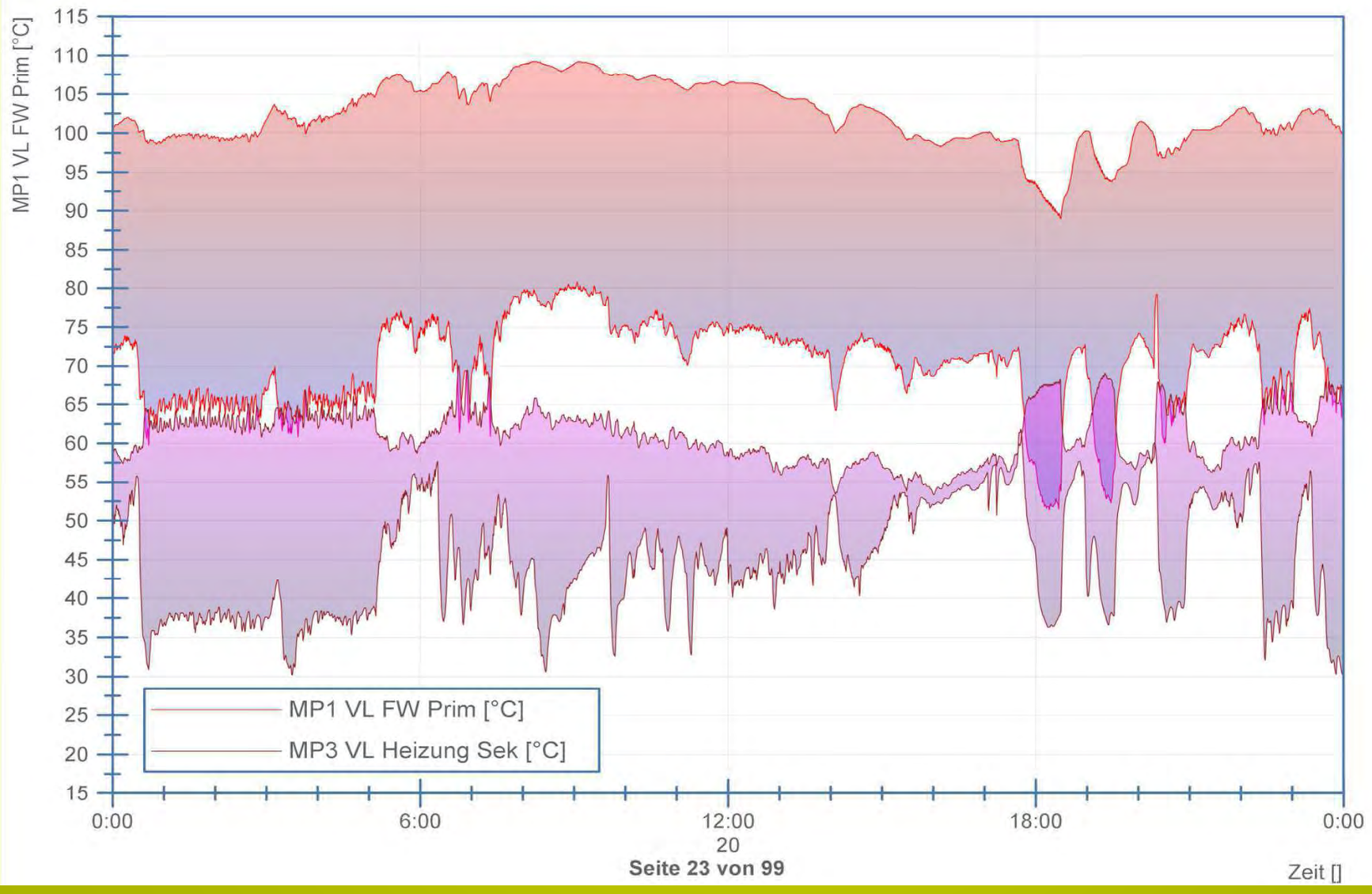


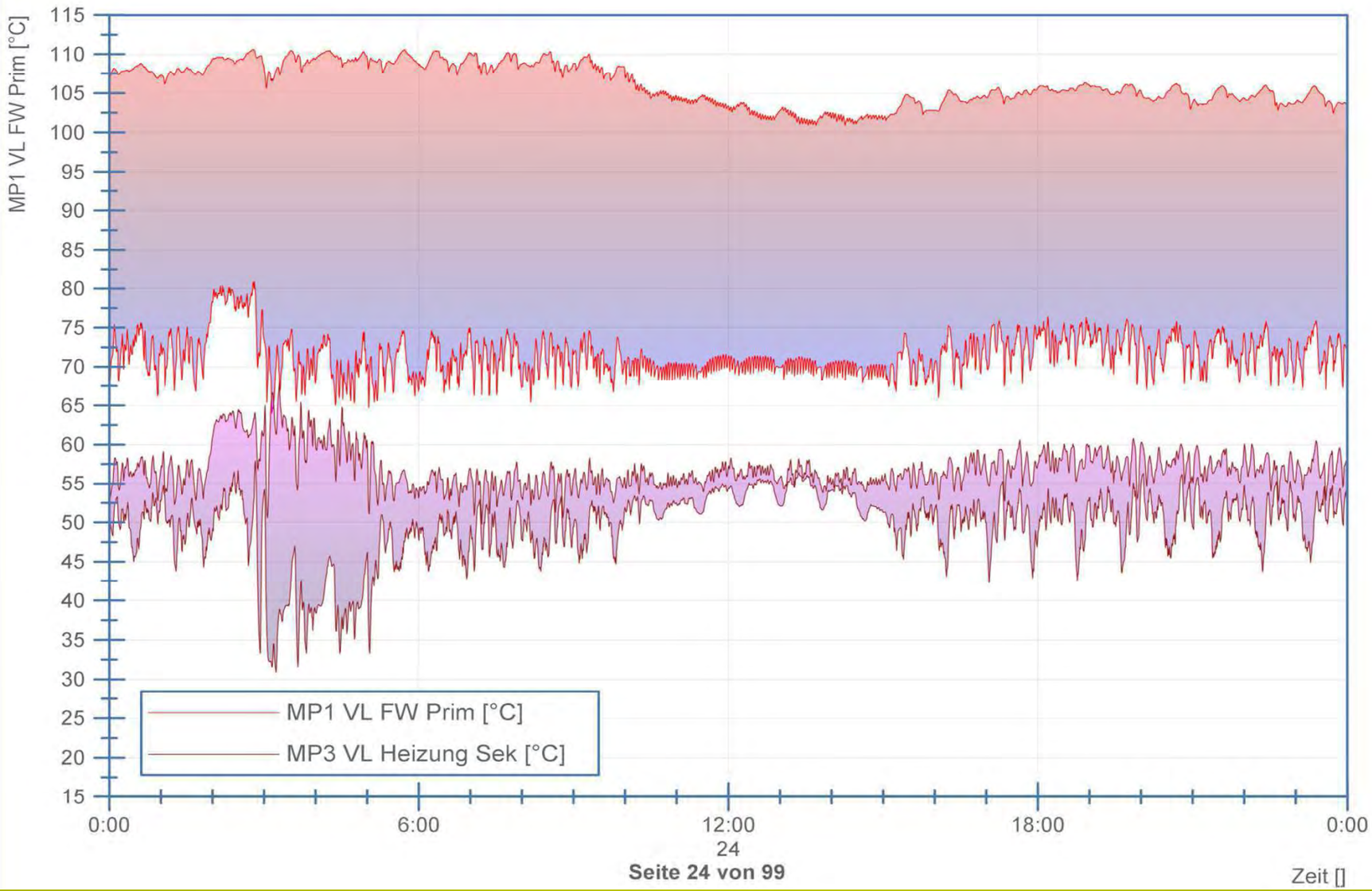
Seite 20 von 99

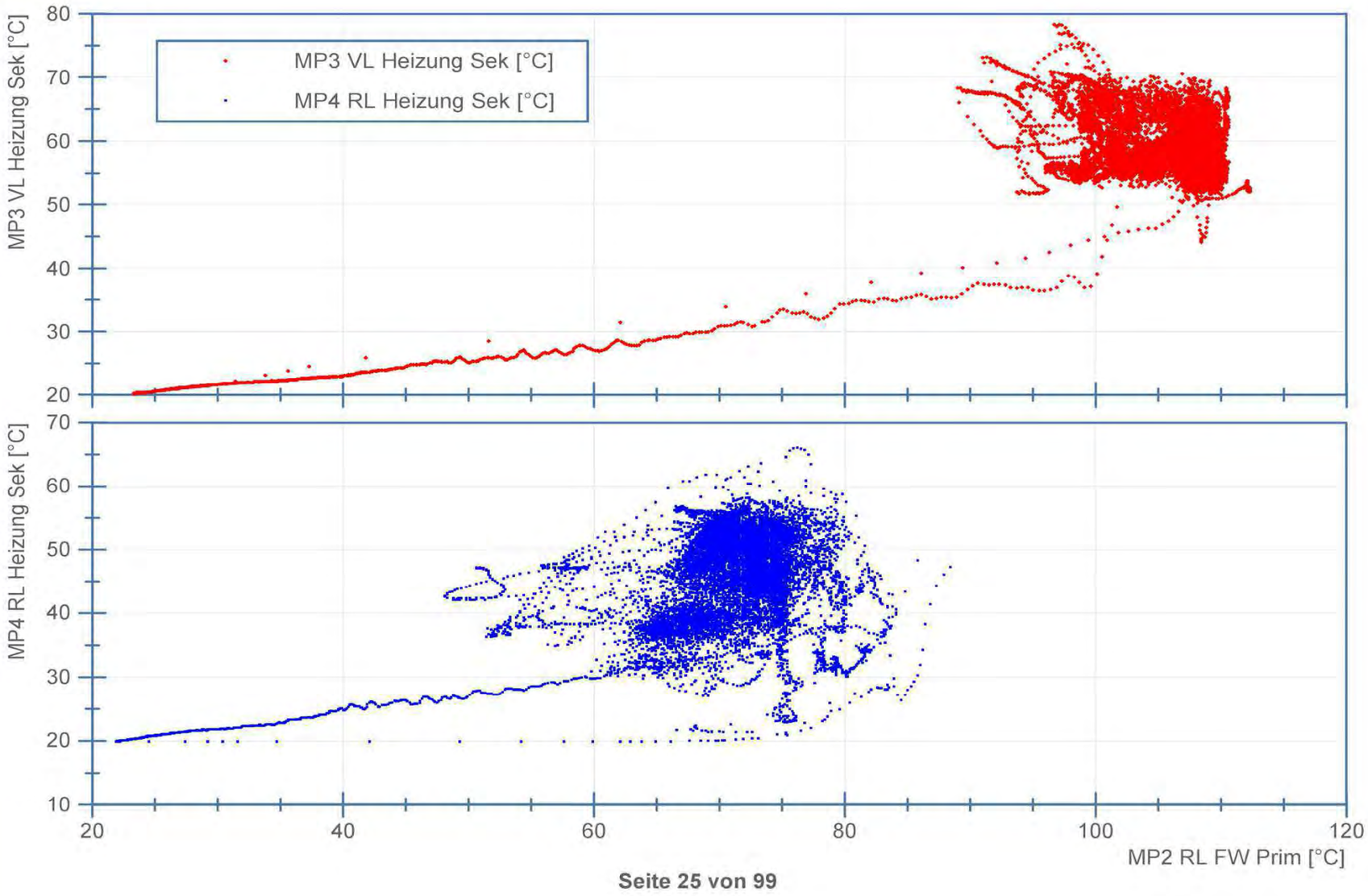


Seite 21 von 99

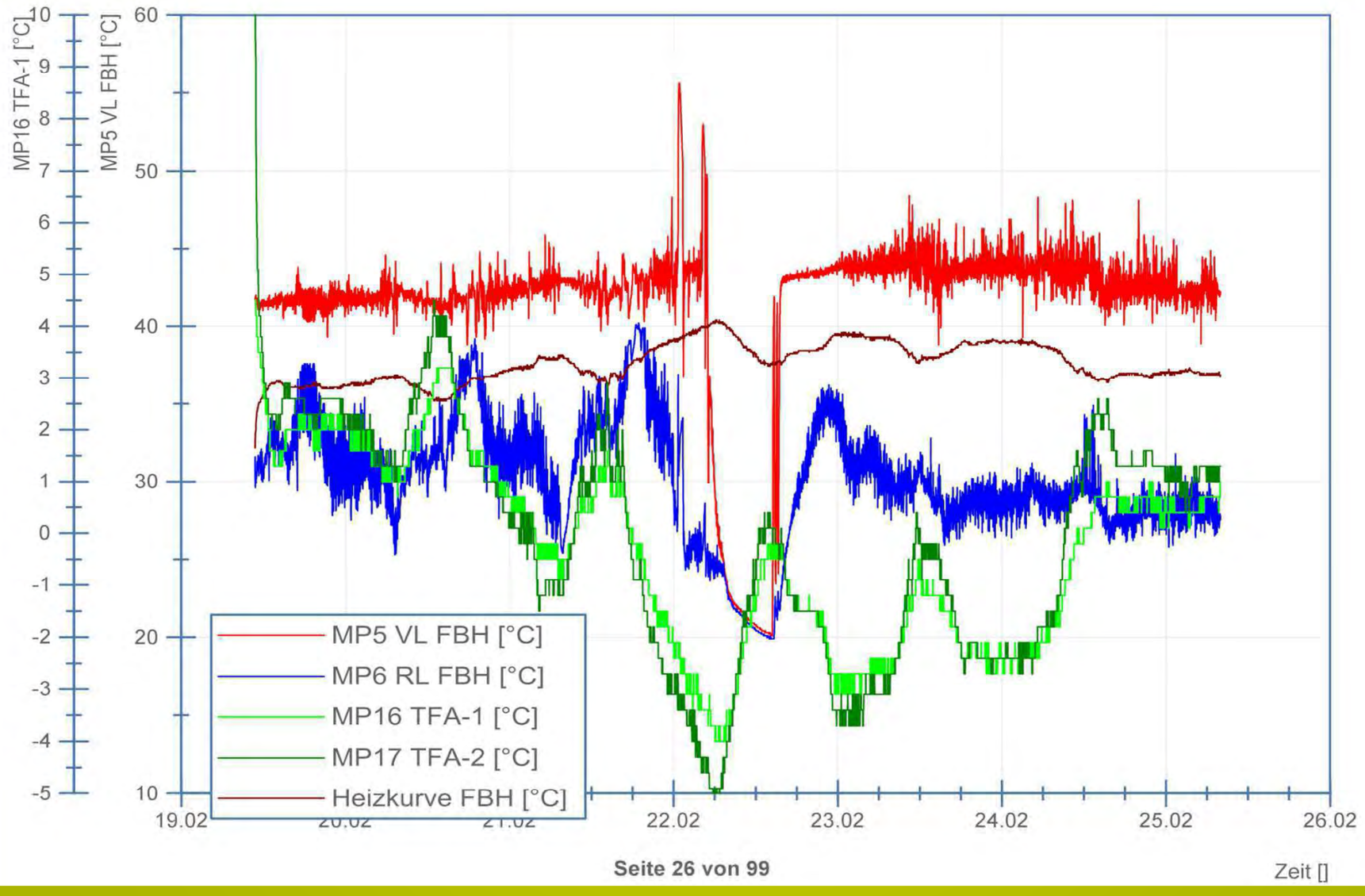

MP1 VL FW Prim [°C]
115
110
105
100
95
90
85
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
19.02
20.02
21.02
22.02
23.02
24.02
25.02
26.02
MP1 VL FW Prim [°C]
MP3 VL Heizung Sek [°C]
Zeit []

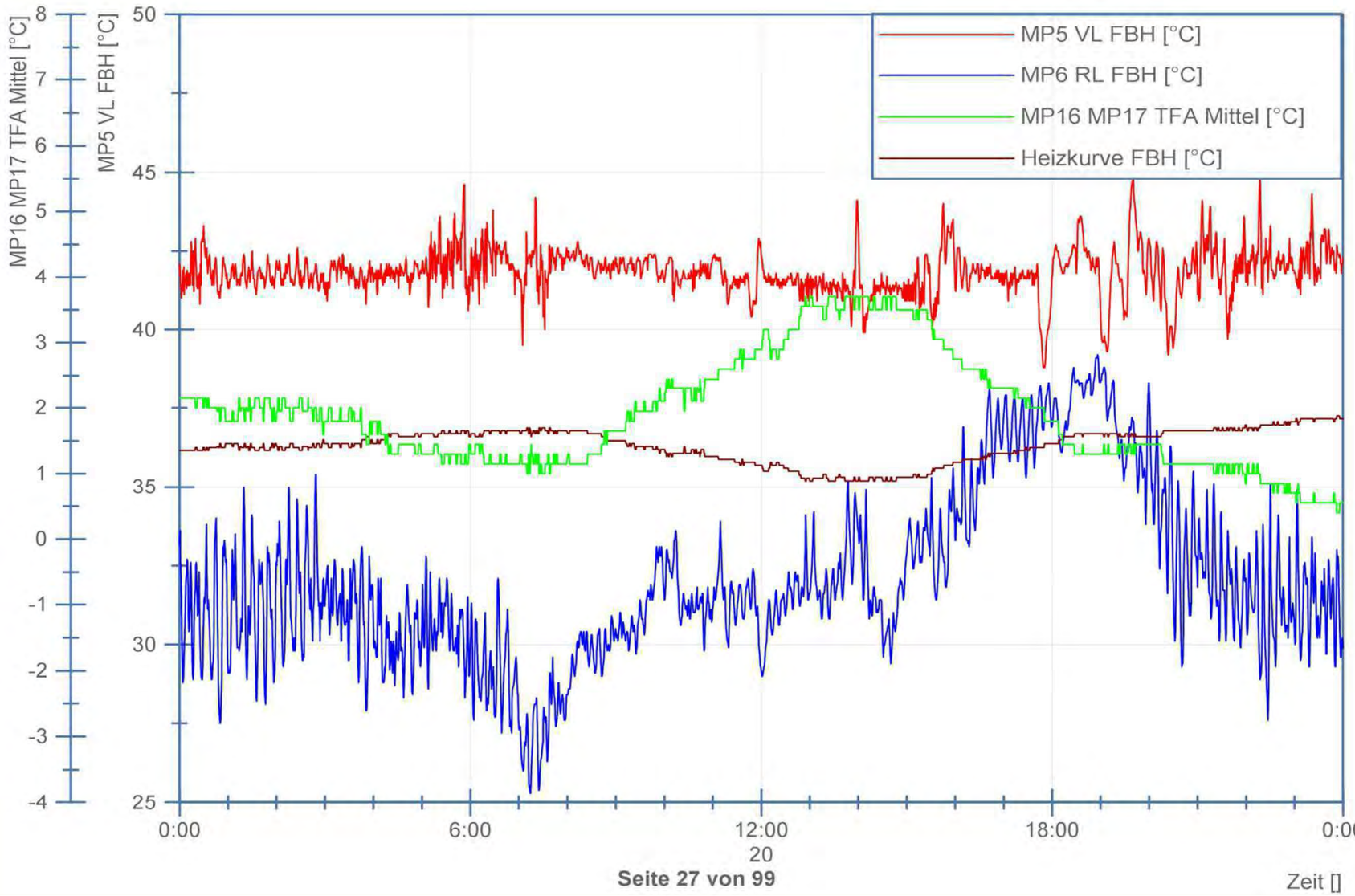

MP1 VL FW Prim [°C]
115
110
105
100
95
90
85
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
0:00
6:00
12:00
20
18:00
0:00
Zeit []
MP1 VL FW Prim [°C]
MP3 VL Heizung Sek [°C]

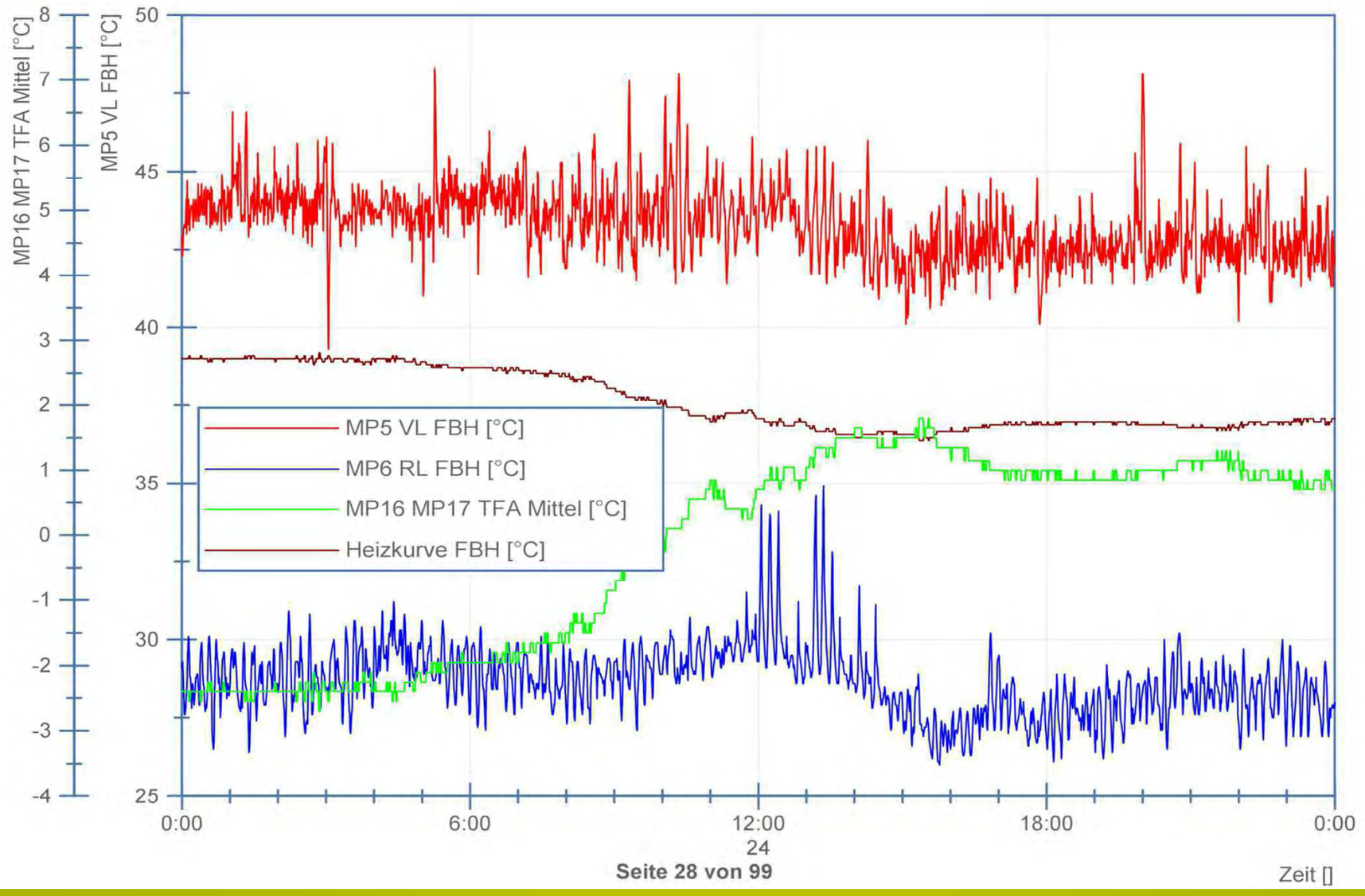

MP1 VL FW Prim [°C]
115
110
105
100
95
90
85
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
24
MP1 VL FW Prim [°C]
MP3 VL Heizung Sek [°C]
Zeit []

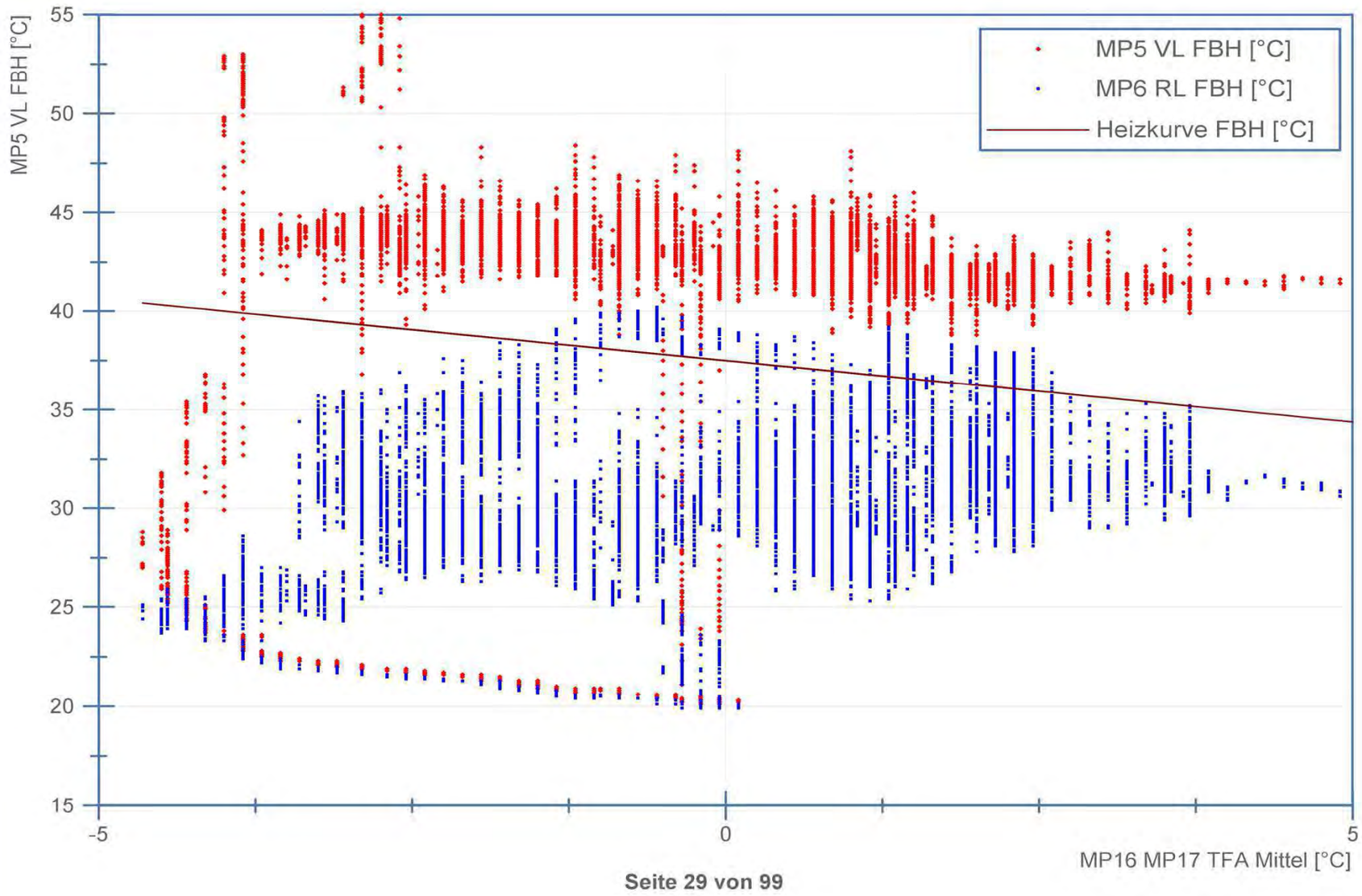


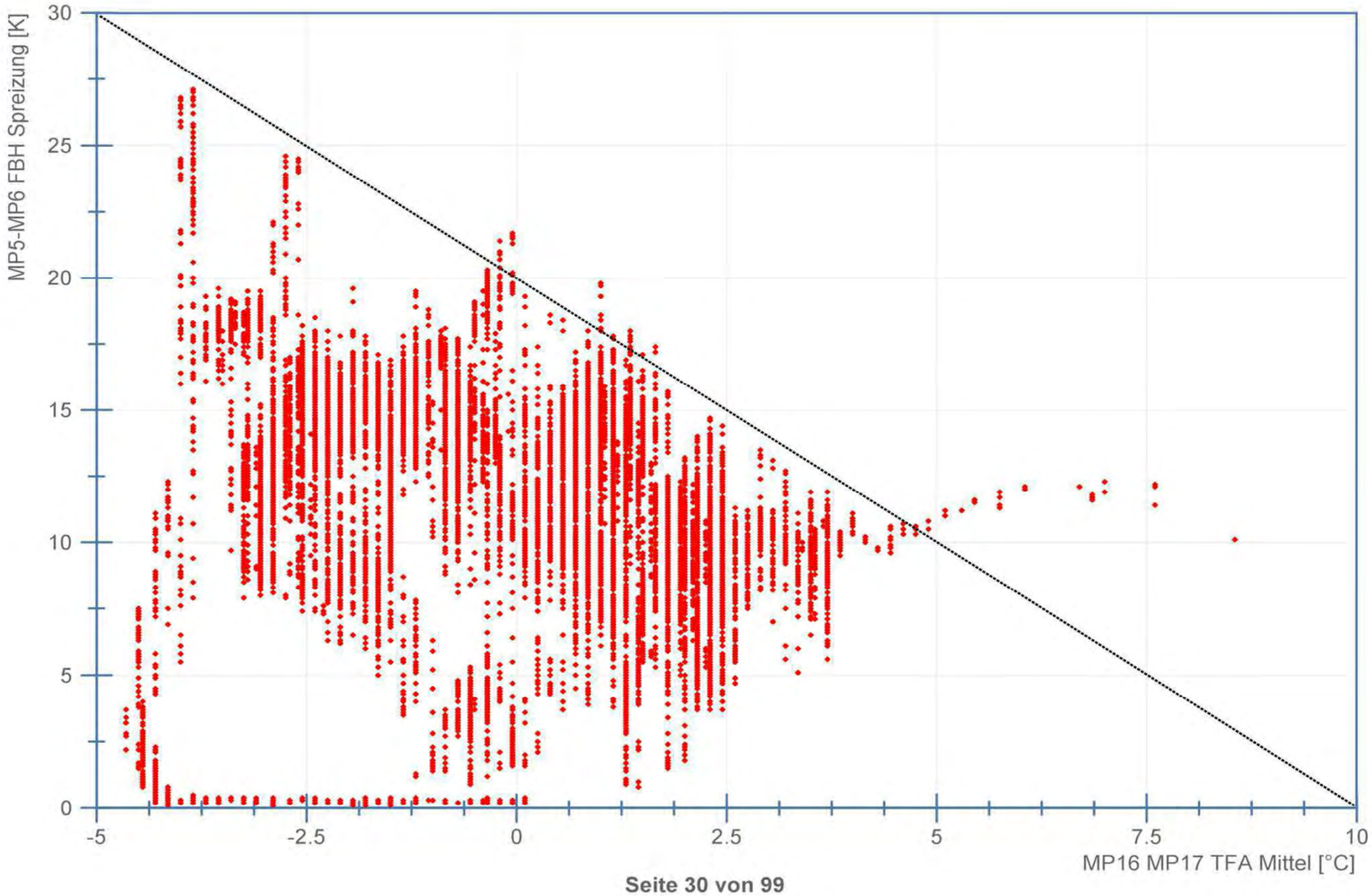
Seite 25 von 99

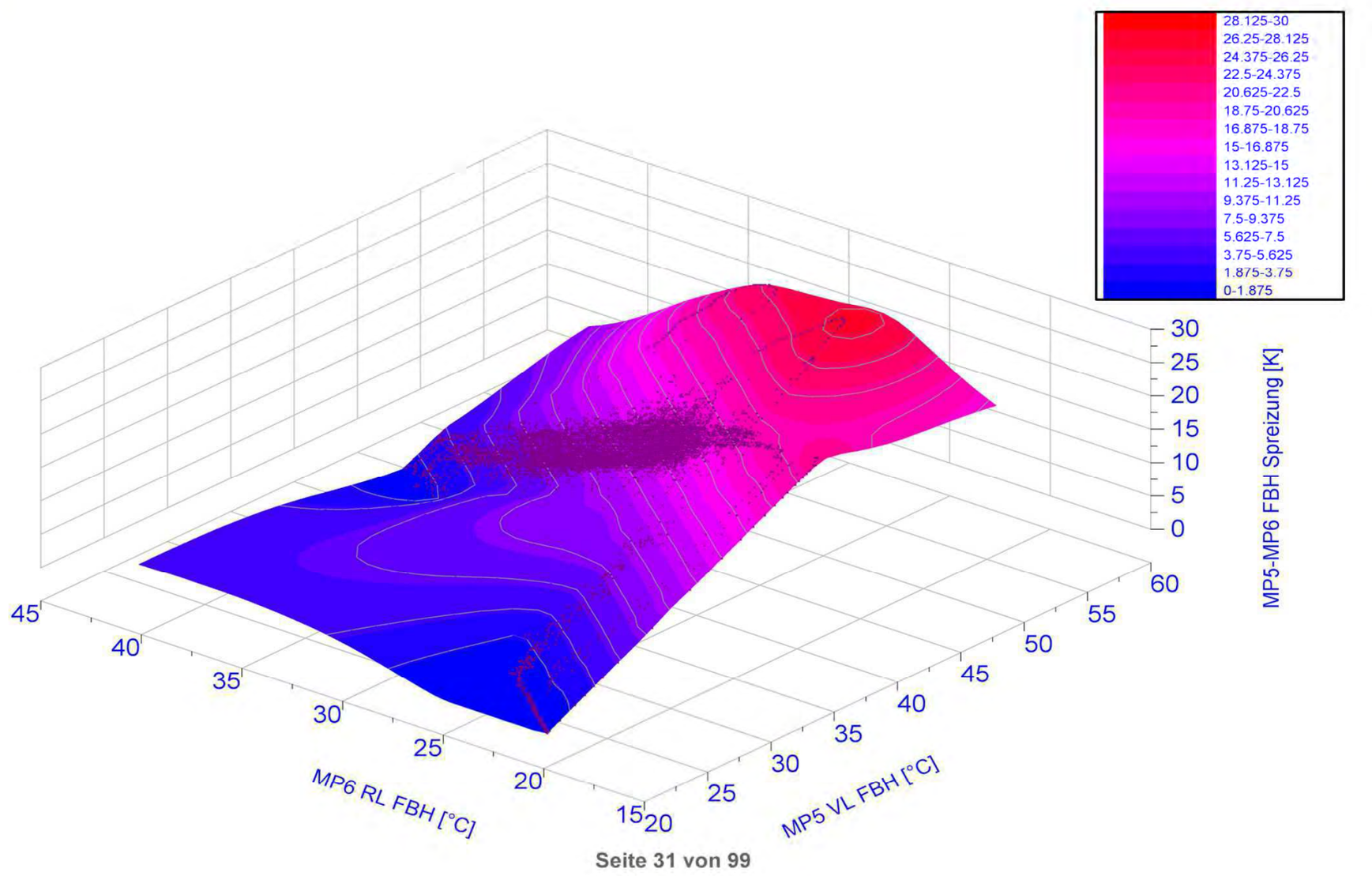

MP16 TFA-1 [°C]
MP5 VL FBH [°C]
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
-5
60
50
40
30
20
10
19.02
20.02
21.02
22.02
23.02
24.02
25.02
26.02
MP5 VL FBH [°C]
MP6 RL FBH [°C]
MP16 TFA-1 [°C]
MP17 TFA-2 [°C]
Heizkurve FBH [°C]
Zeit []

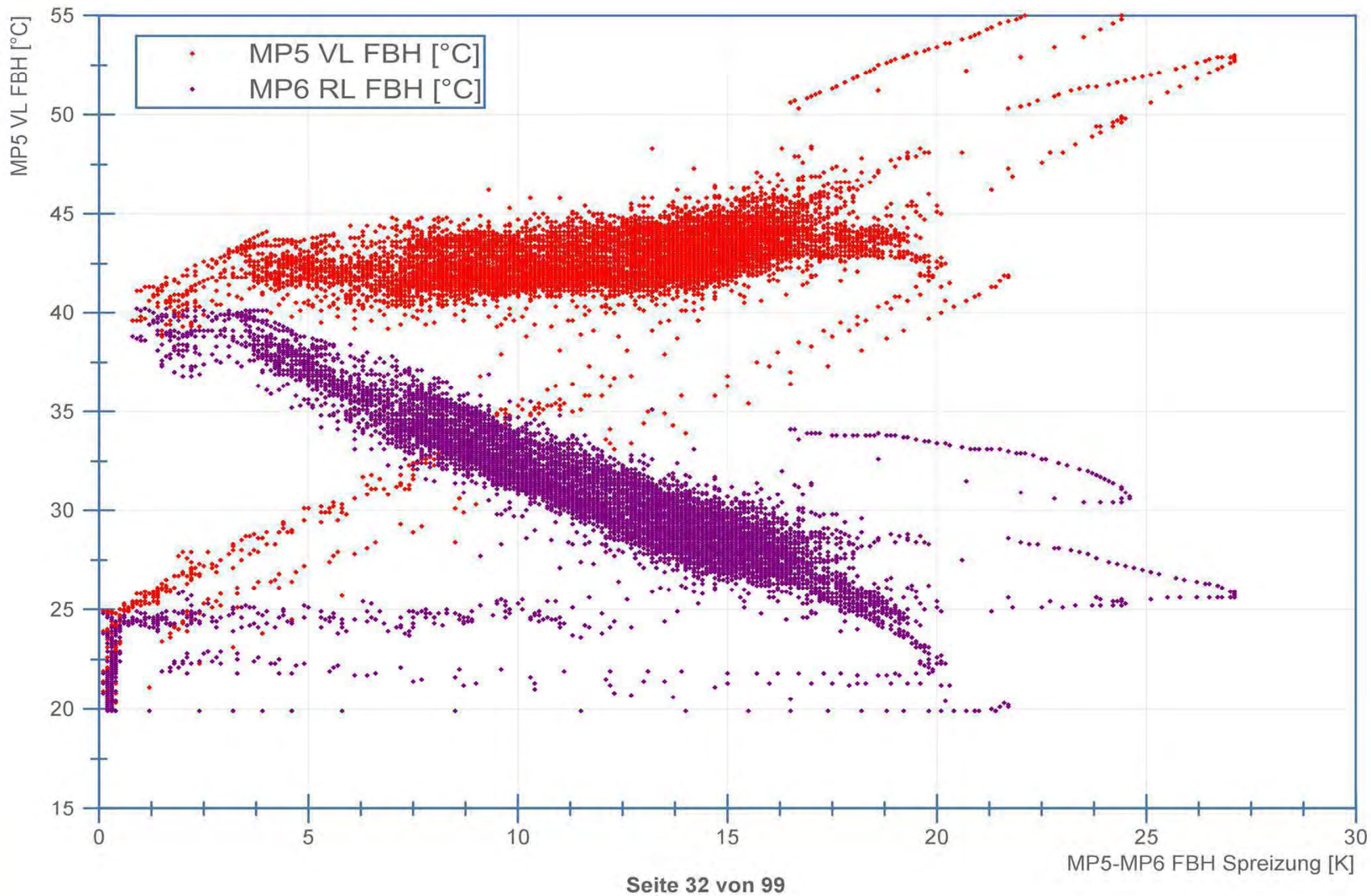

MP16 MP17 TFA Mittel [°C]
MP5 VL FBH [°C]
MP5 VL FBH [°C]
MP6 RL FBH [°C]
MP16 MP17 TFA Mittel [°C]
Heizkurve FBH [°C]
8
7
6
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
50
45
40
35
30
25
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
20
Zeit []


MP16 MP17 TFA Mittel [°C]
MP5 VL FBH [°C]
8
7
6
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
50
45
40
35
30
25
MP5 VL FBH [°C]
MP6 RL FBH [°C]
MP16 MP17 TFA Mittel [°C]
Heizkurve FBH [°C]
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
24
Zeit []

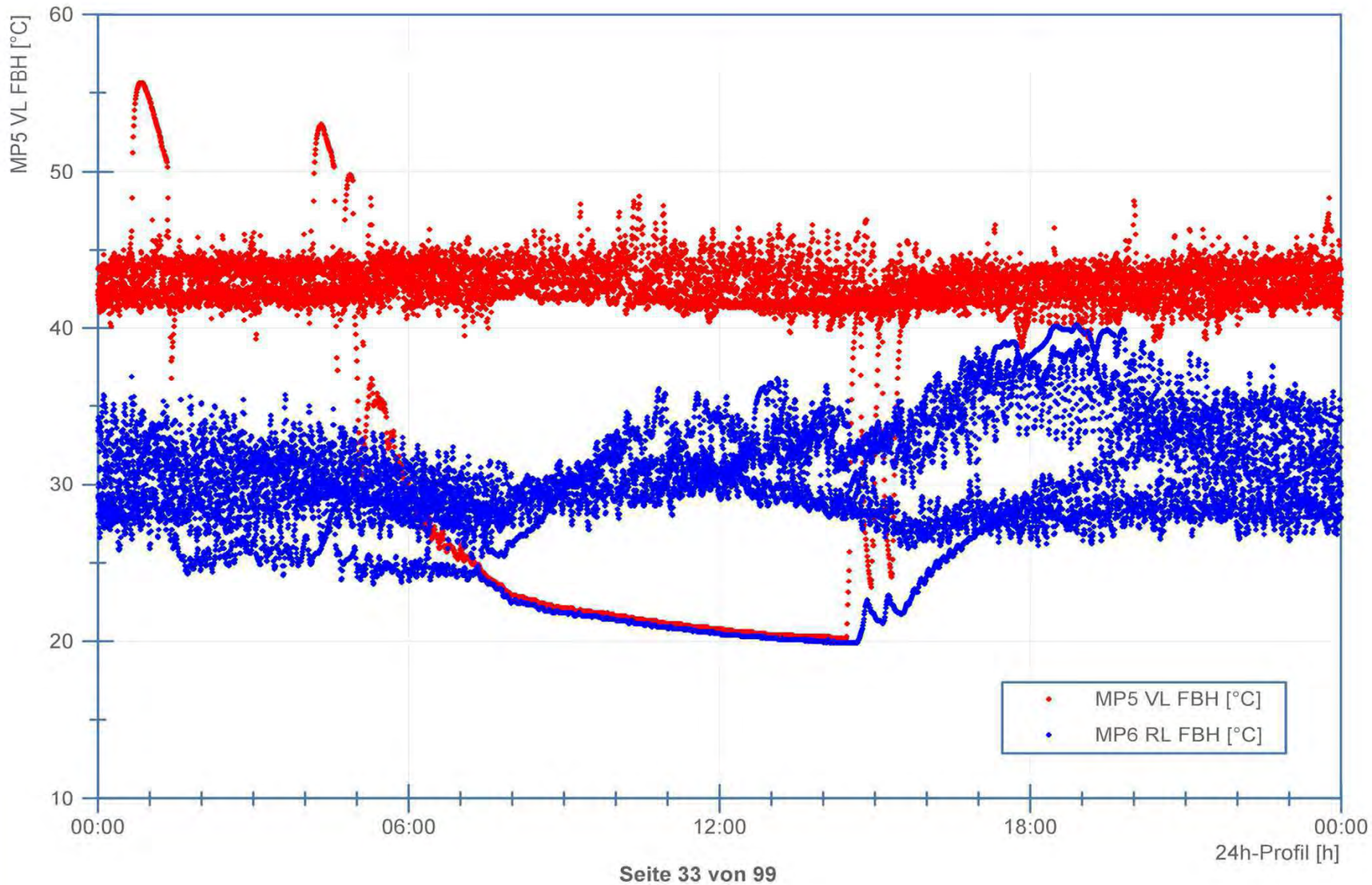

MP5 VL FBH [°C]
55
50
45
40
35
30
25
20
15
-5
0
5
MP16 MP17 TFA Mittel [°C]
MP5 VL FBH [°C]
MP6 RL FBH [°C]
Heizkurve FBH [°C]


MP5-MP6 FBH Spreizung [K]
30
25
20
15
10
5
0
-5
-2.5
0
2.5
5
7.5
10
MP16 MP17 TFA Mittel [°C]

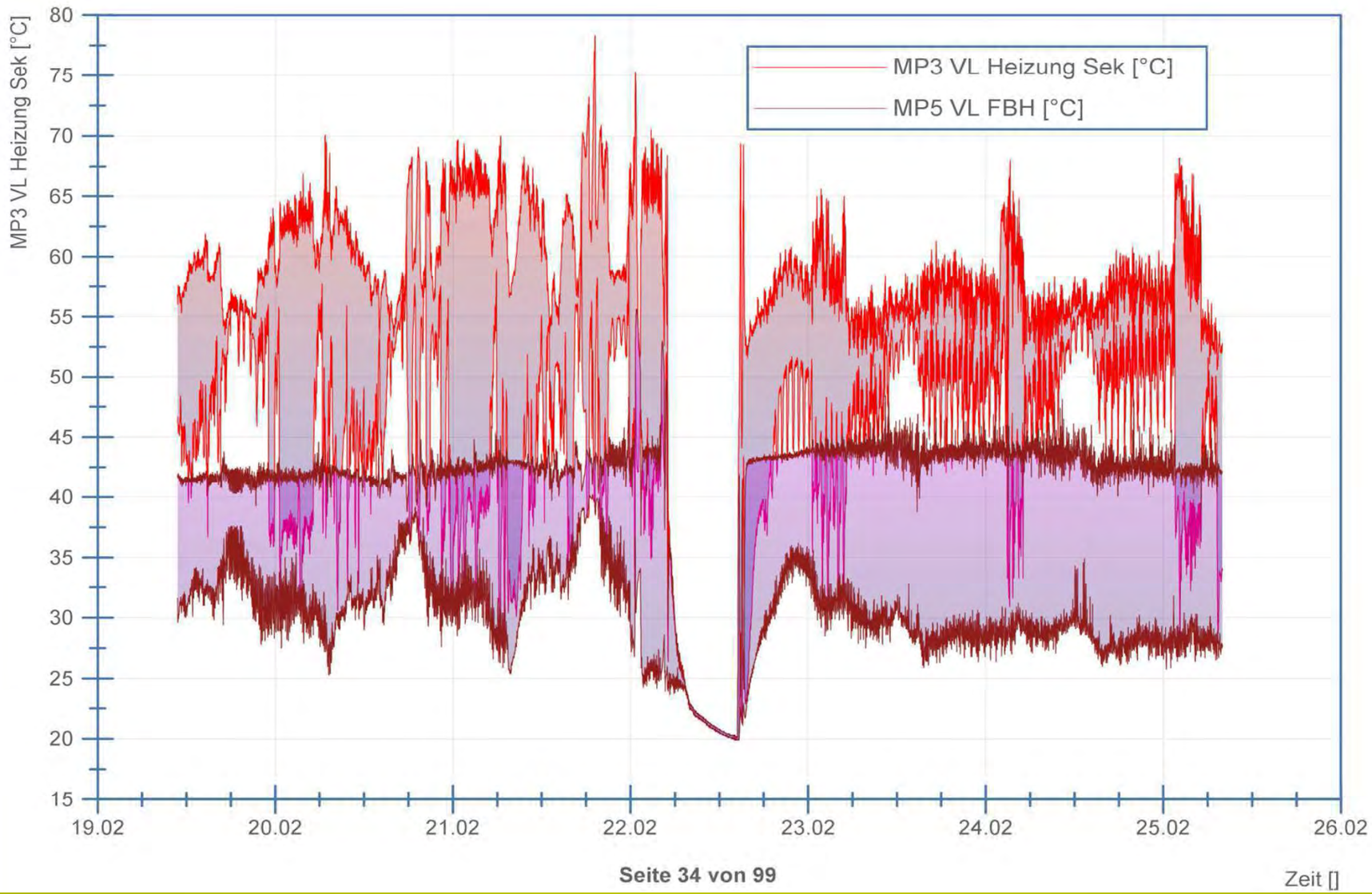

28.125-30
26.25-28.125
24.375-26.25
22.5-24.375
20.625-22.5
18.75-20.625
16.875-18.75
15-16.875
13.125-15
11.25-13.125
9.375-11.25
7.5-9.375
5.625-7.5
3.75-5.625
1.875-3.75
0-1.875
MP5-MP6 FBH Spreizung [K]
30
25
20
15
10
5
0
MP6 RL FBH [°C]
45
40
35
30
25
20
15
MP5 VL FBH [°C]
20
25
30
35
40
45
50
55
60

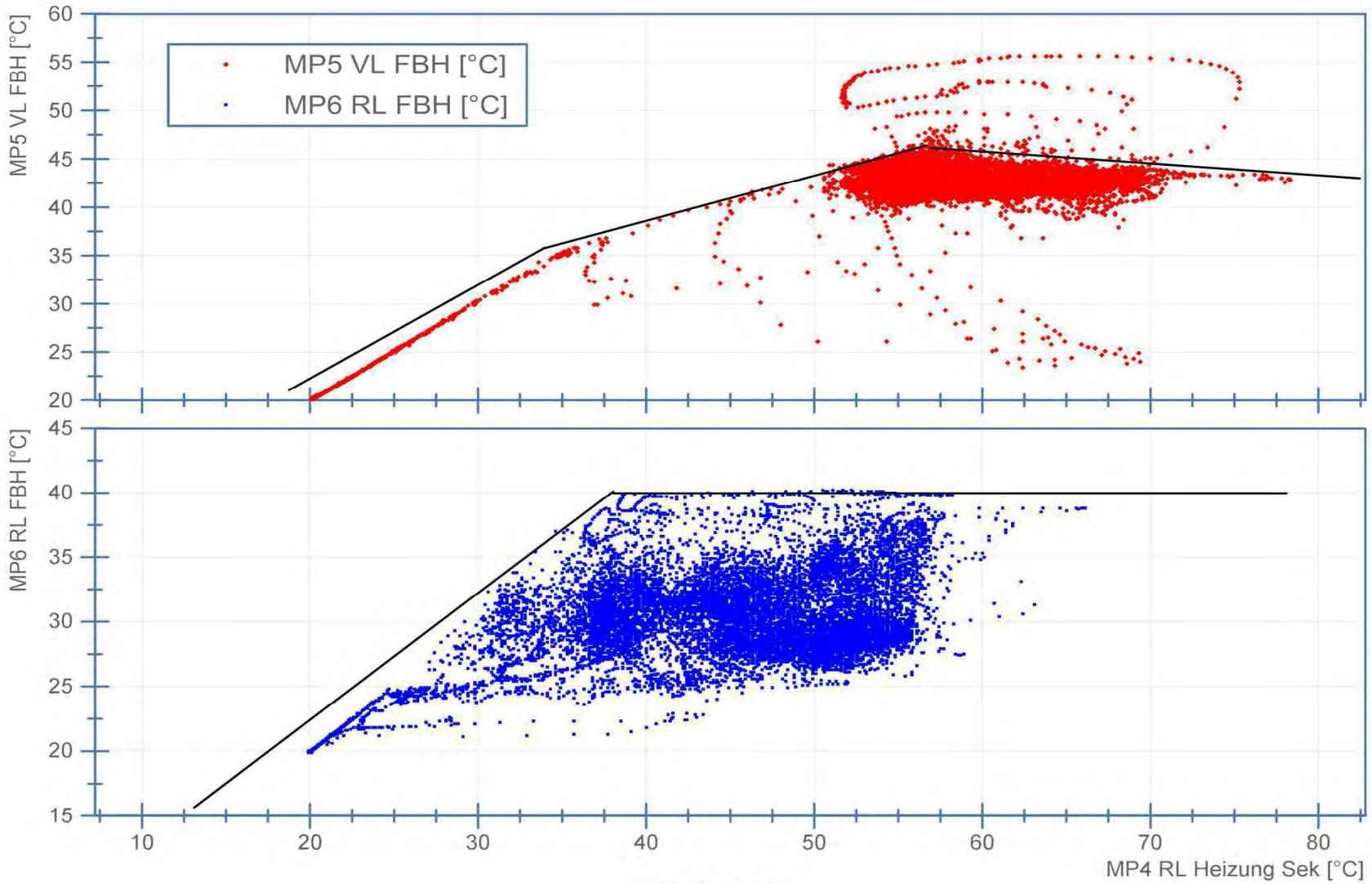


Seite 32 von 99

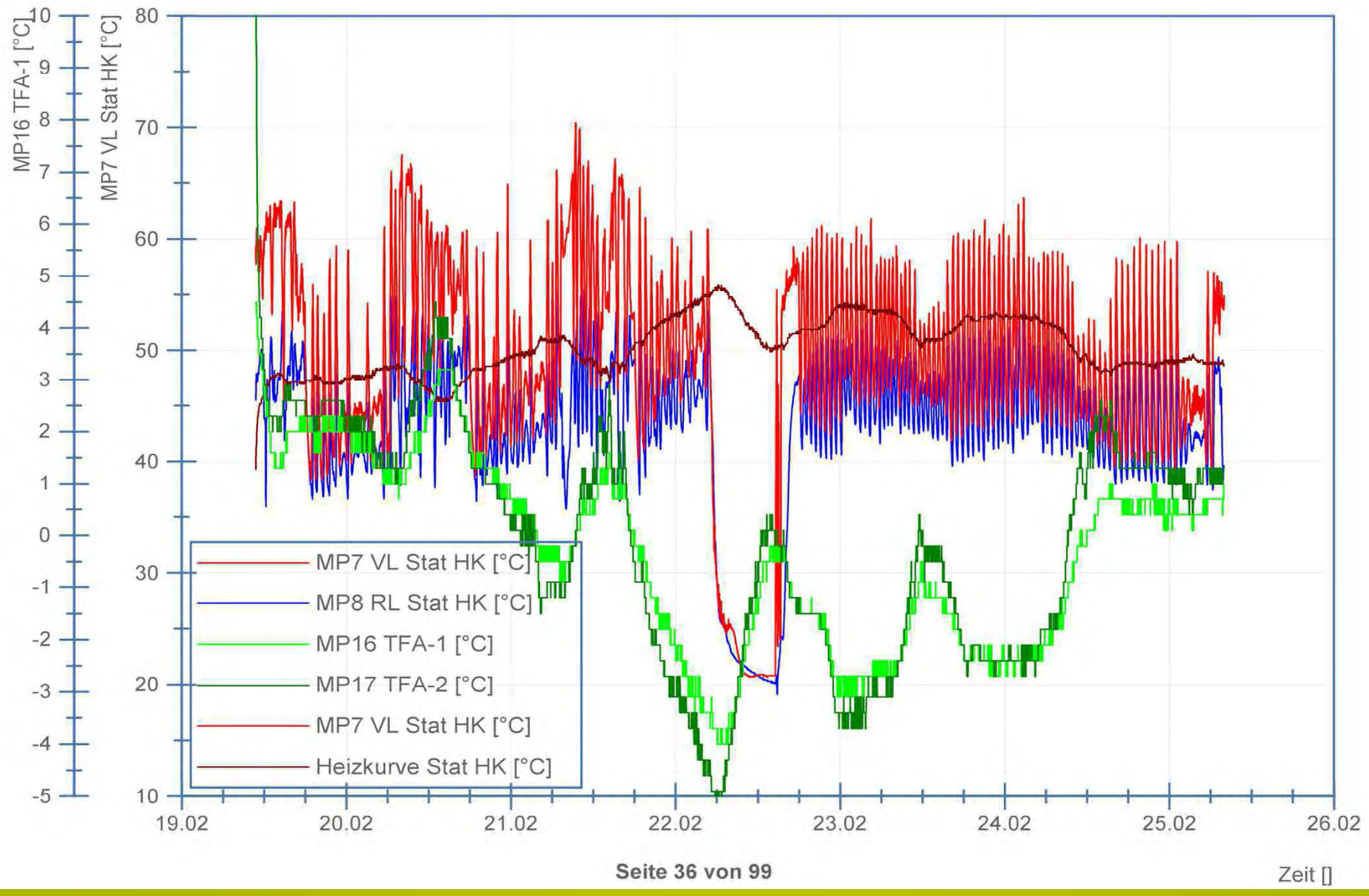


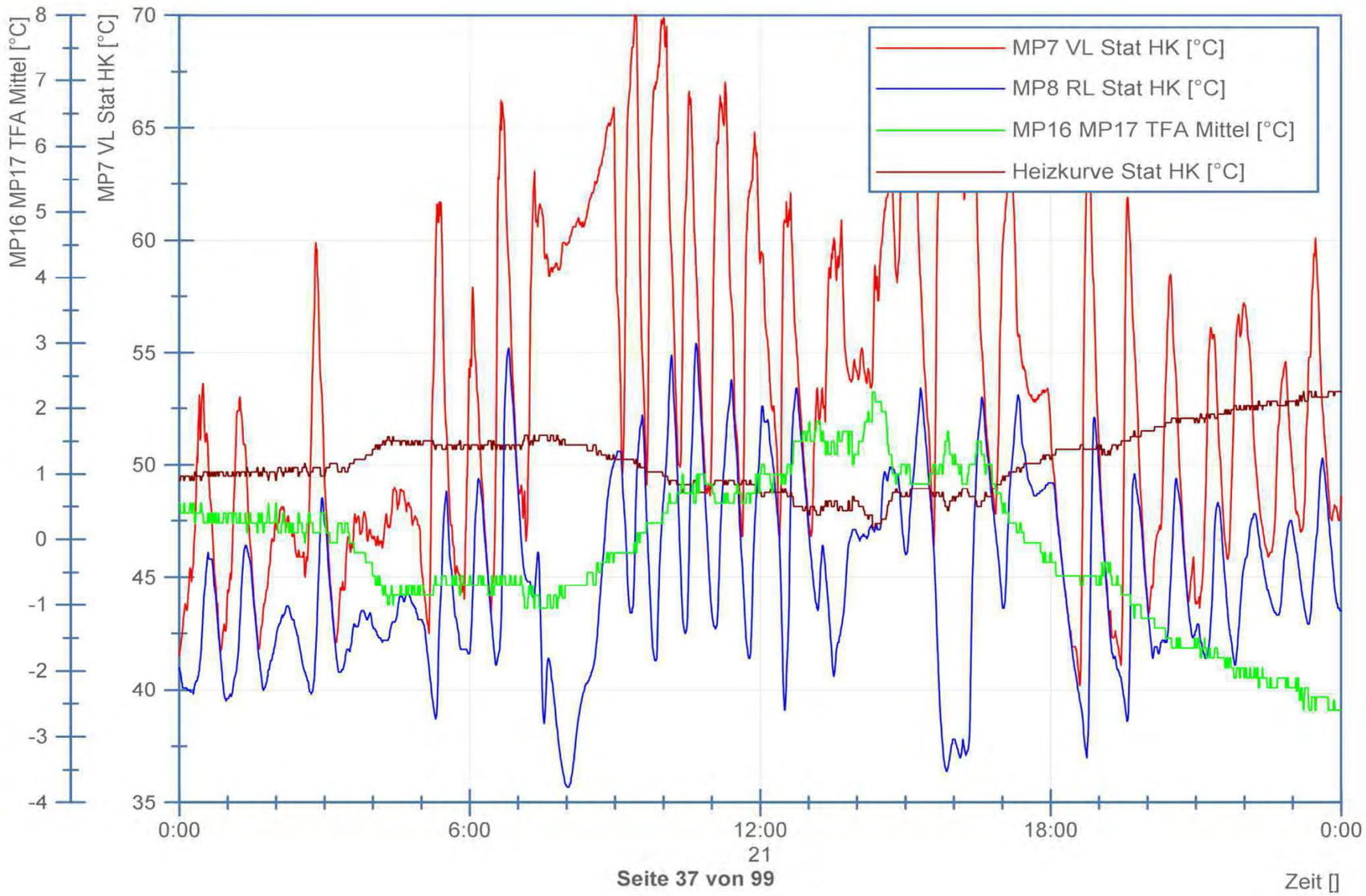
Seite 33 von 99

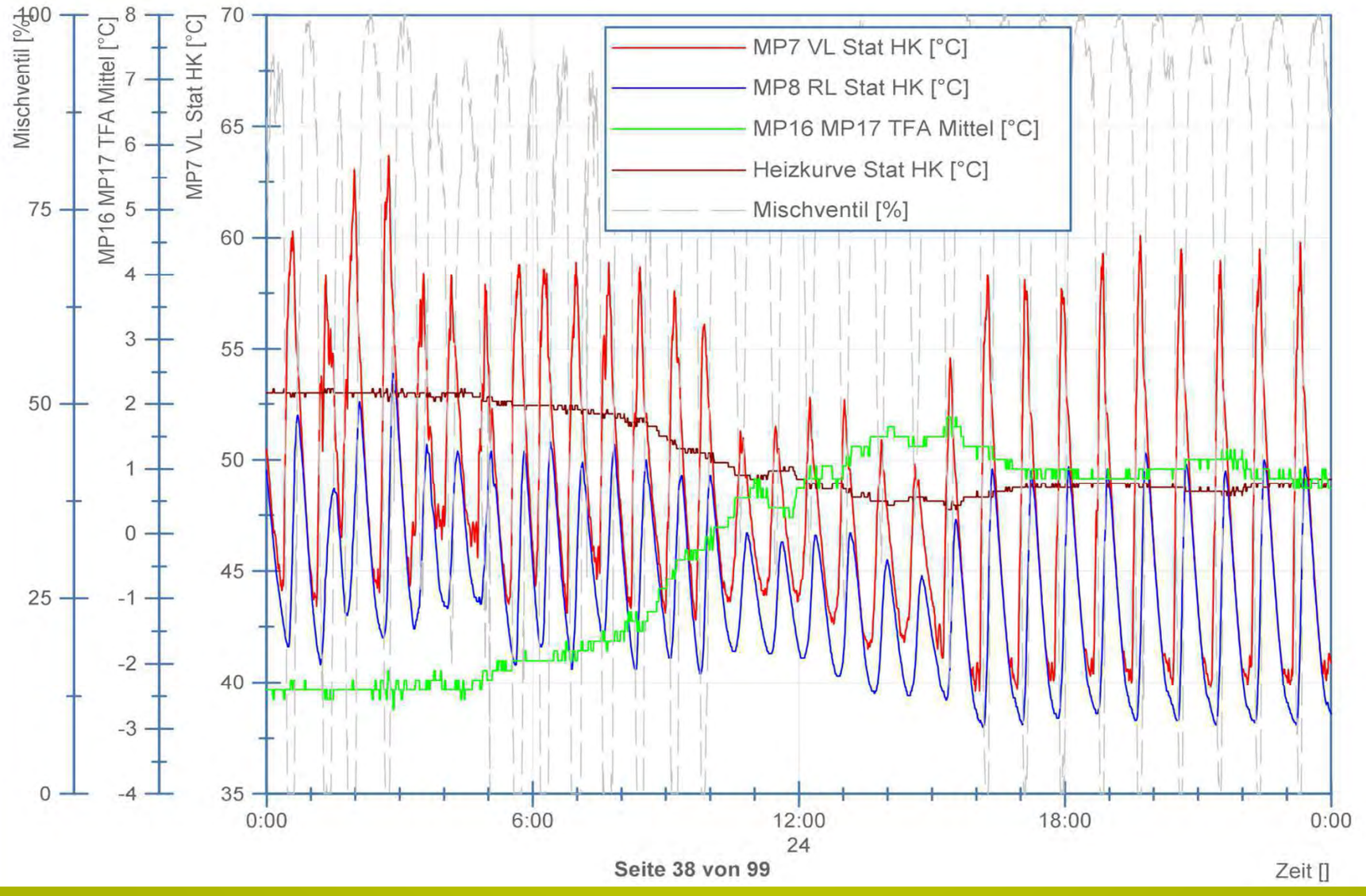

MP3 VL Heizung Sek [°C]
MP5 VL FBH [°C]
MP3 VL Heizung Sek [°C]
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
19.02
20.02
21.02
22.02
23.02
24.02
25.02
26.02
Zeit []

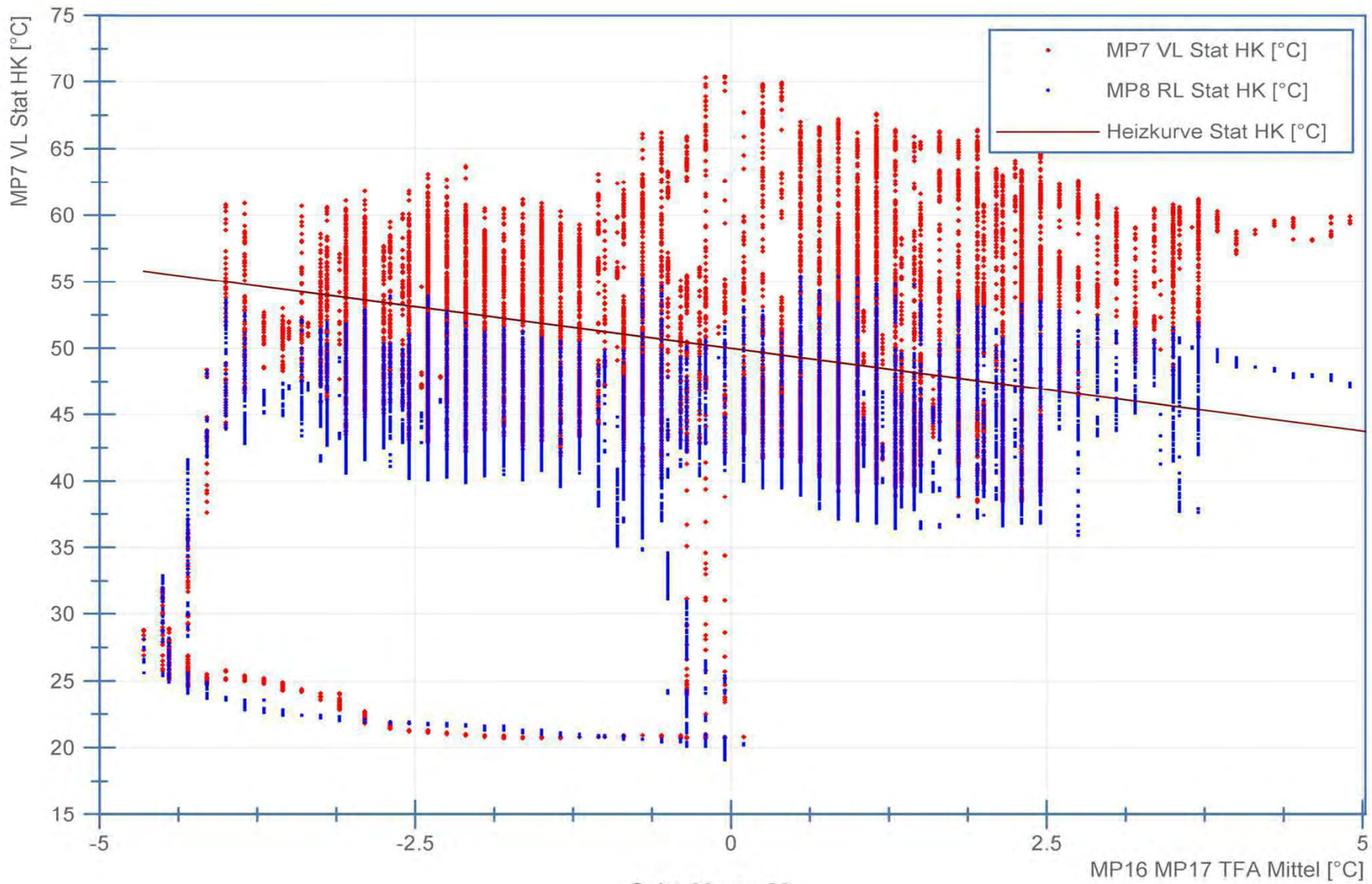


Seite 35 von 99

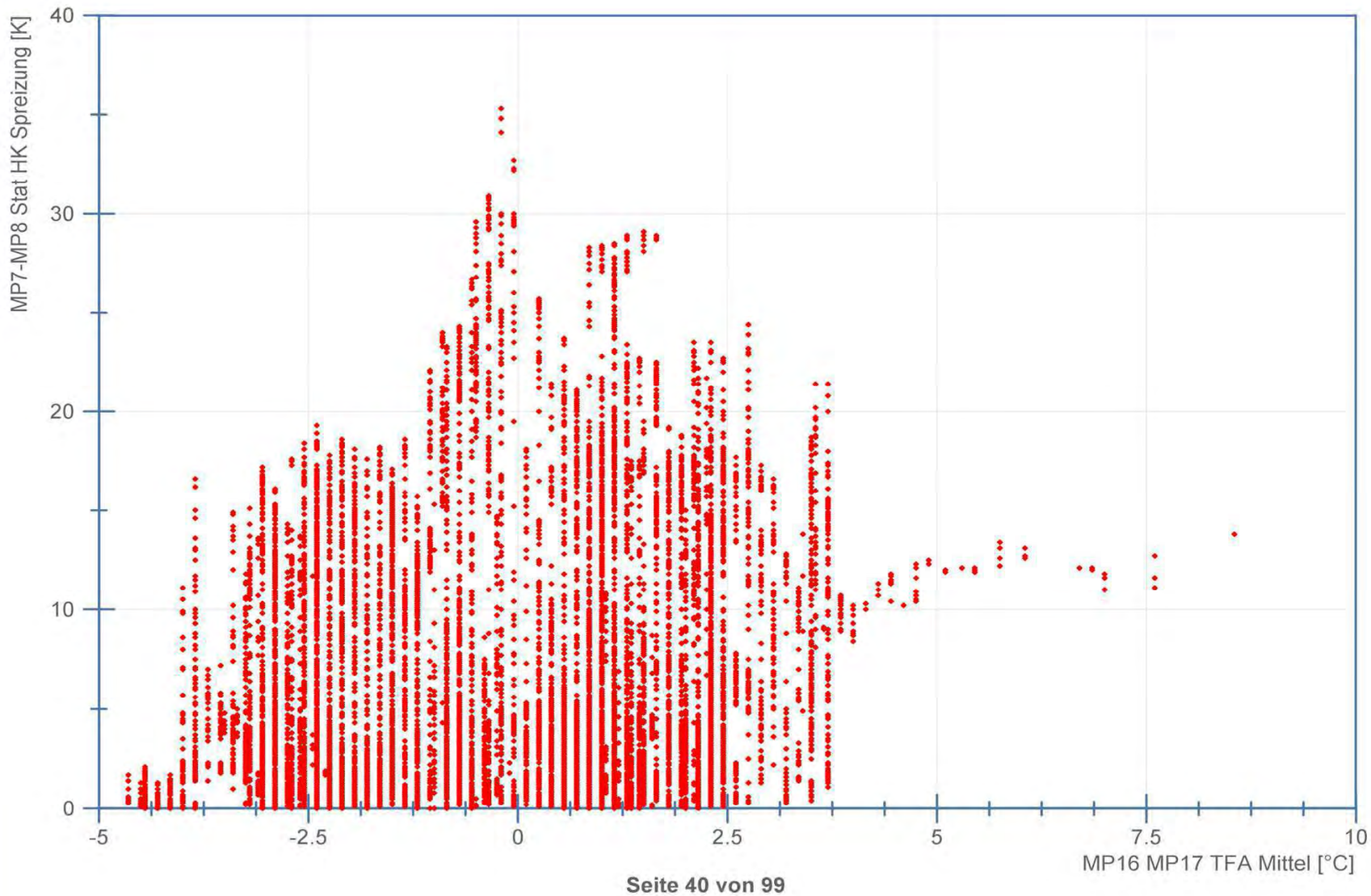

MP16 TFA-1 [°C]
MP7 VL Stat HK [°C]
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
-5
80
70
60
50
40
30
20
10
19.02
20.02
21.02
22.02
23.02
24.02
25.02
26.02
MP7 VL Stat HK [°C]
MP8 RL Stat HK [°C]
MP16 TFA-1 [°C]
MP17 TFA-2 [°C]
MP7 VL Stat HK [°C]
Heizkurve Stat HK [°C]
Seite 36 von 99
Zeit []

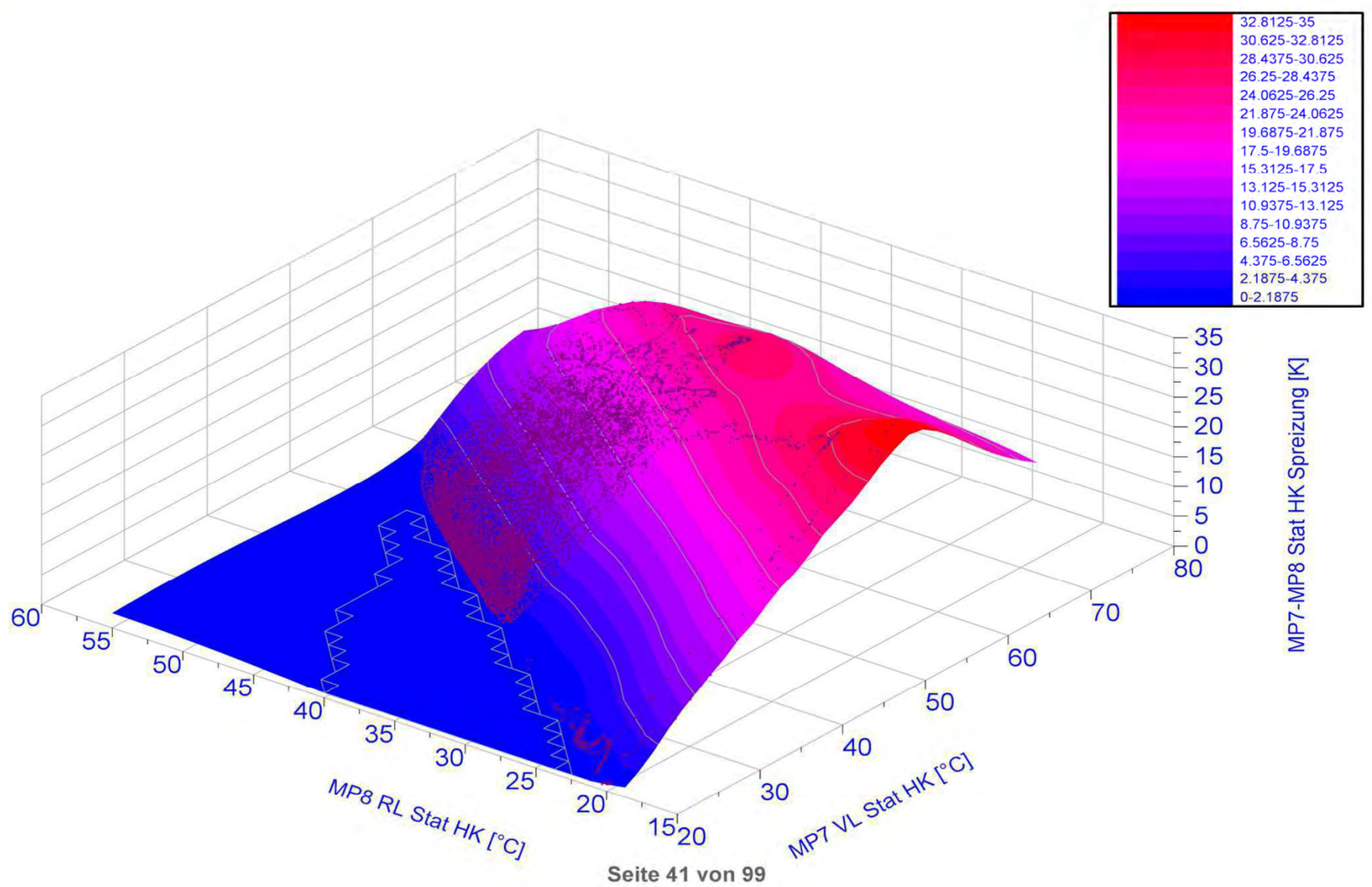

MP16 MP17 TFA Mittel [°C]
MP7 VL Stat HK [°C]
MP7 VL Stat HK [°C]
MP8 RL Stat HK [°C]
MP16 MP17 TFA Mittel [°C]
Heizkurve Stat HK [°C]
8
7
6
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
70
65
60
55
50
45
40
35
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
21
Seite 37 von 99
Zeit []

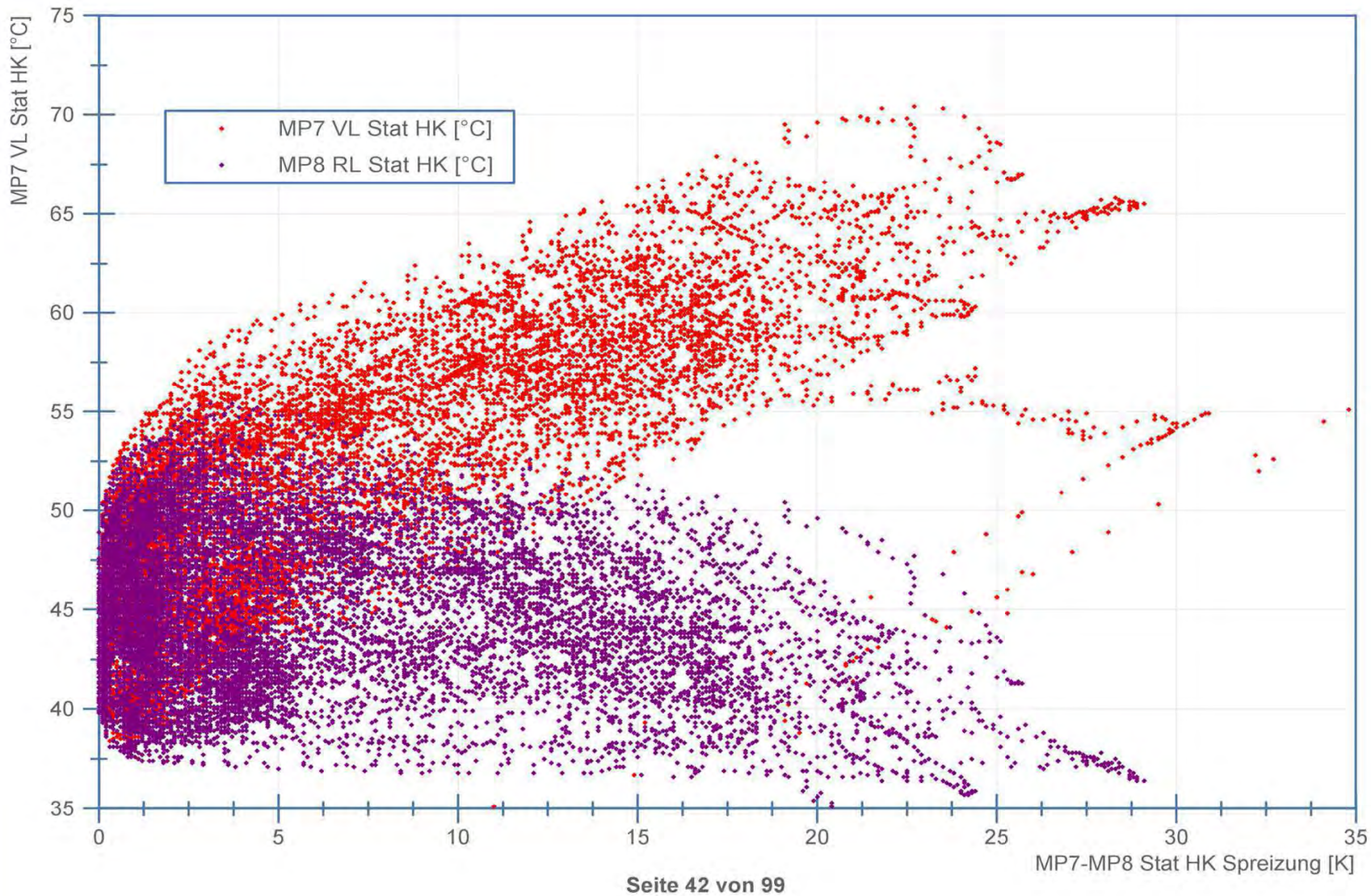

Mischventil [%]
MP16 MP17 TFA Mittel [°C]
MP7 VL Stat HK [°C]
MP7 VL Stat HK [°C]
MP8 RL Stat HK [°C]
MP16 MP17 TFA Mittel [°C]
Heizkurve Stat HK [°C]
Mischventil [%]
100
75
50
25
0
8
7
6
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
70
65
60
55
50
45
40
35
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
24
Zeit []



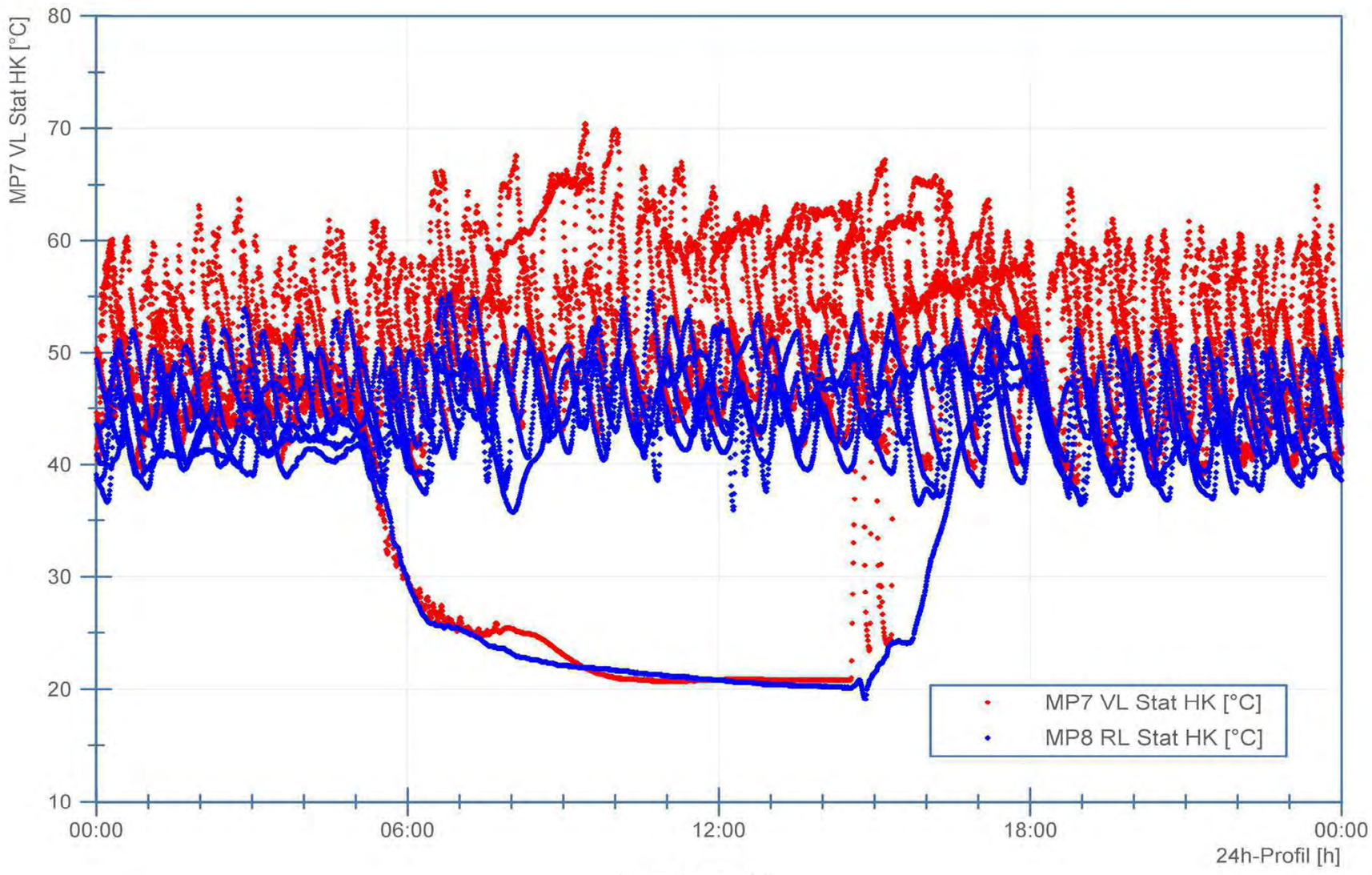
Seite 39 von 99


MP7-MP8 Stat HK Spreizung [K]
40
30
20
10
0
-5
-2.5
0
2.5
5
7.5
10
MP16 MP17 TFA Mittel [°C]

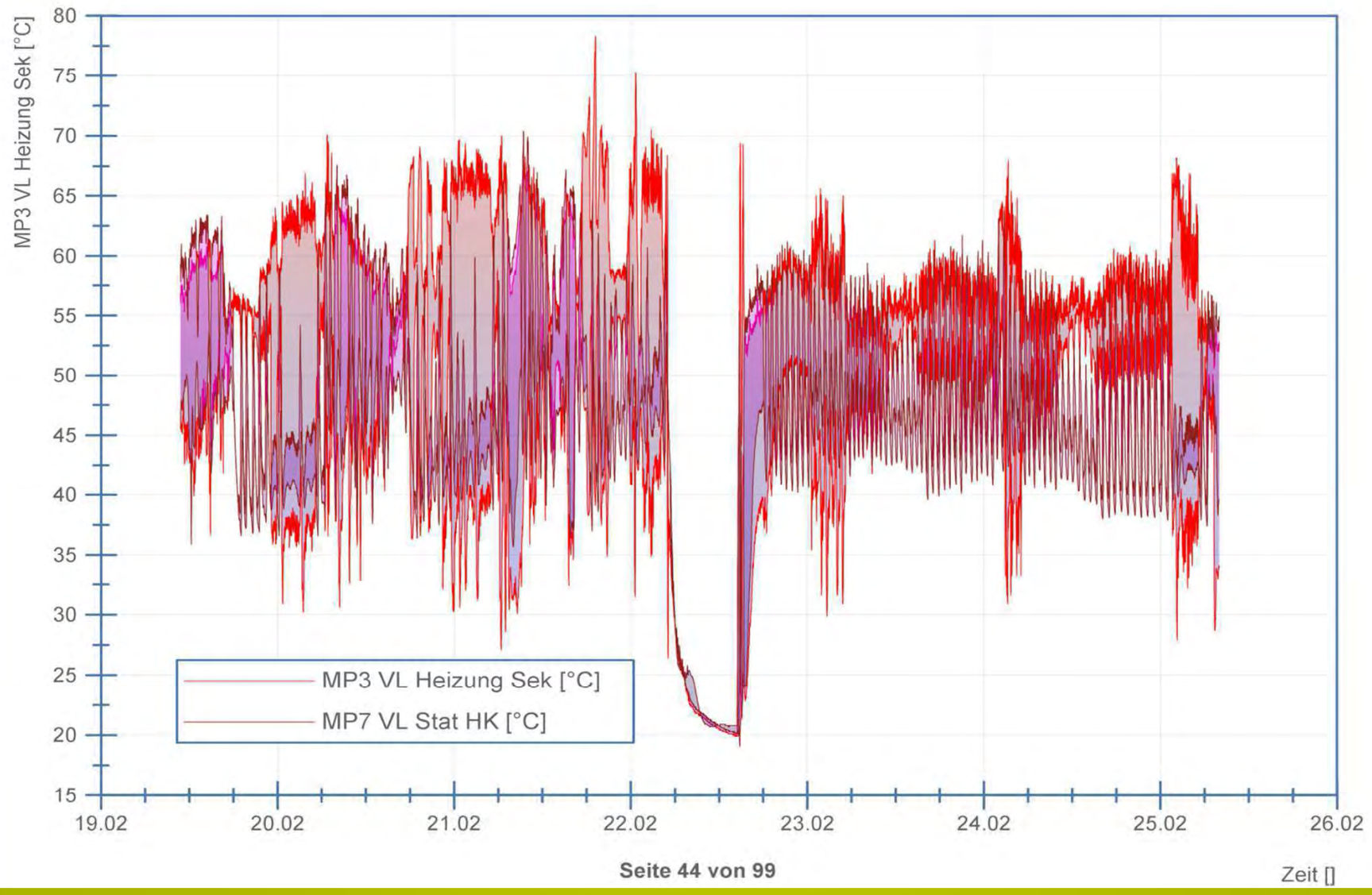

32.8125-35
30.625-32.8125
28.4375-30.625
26.25-28.4375
24.0625-26.25
21.875-24.0625
19.6875-21.875
17.5-19.6875
15.3125-17.5
13.125-15.3125
10.9375-13.125
8.75-10.9375
6.5625-8.75
4.375-6.5625
2.1875-4.375
0-2.1875
MP7-MP8 Stat HK Spreizung [K]
35
30
25
20
15
10
5
0
MP8 RL Stat HK [°C]
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
MP7 VL Stat HK [°C]
20
30
40
50
60
70
80

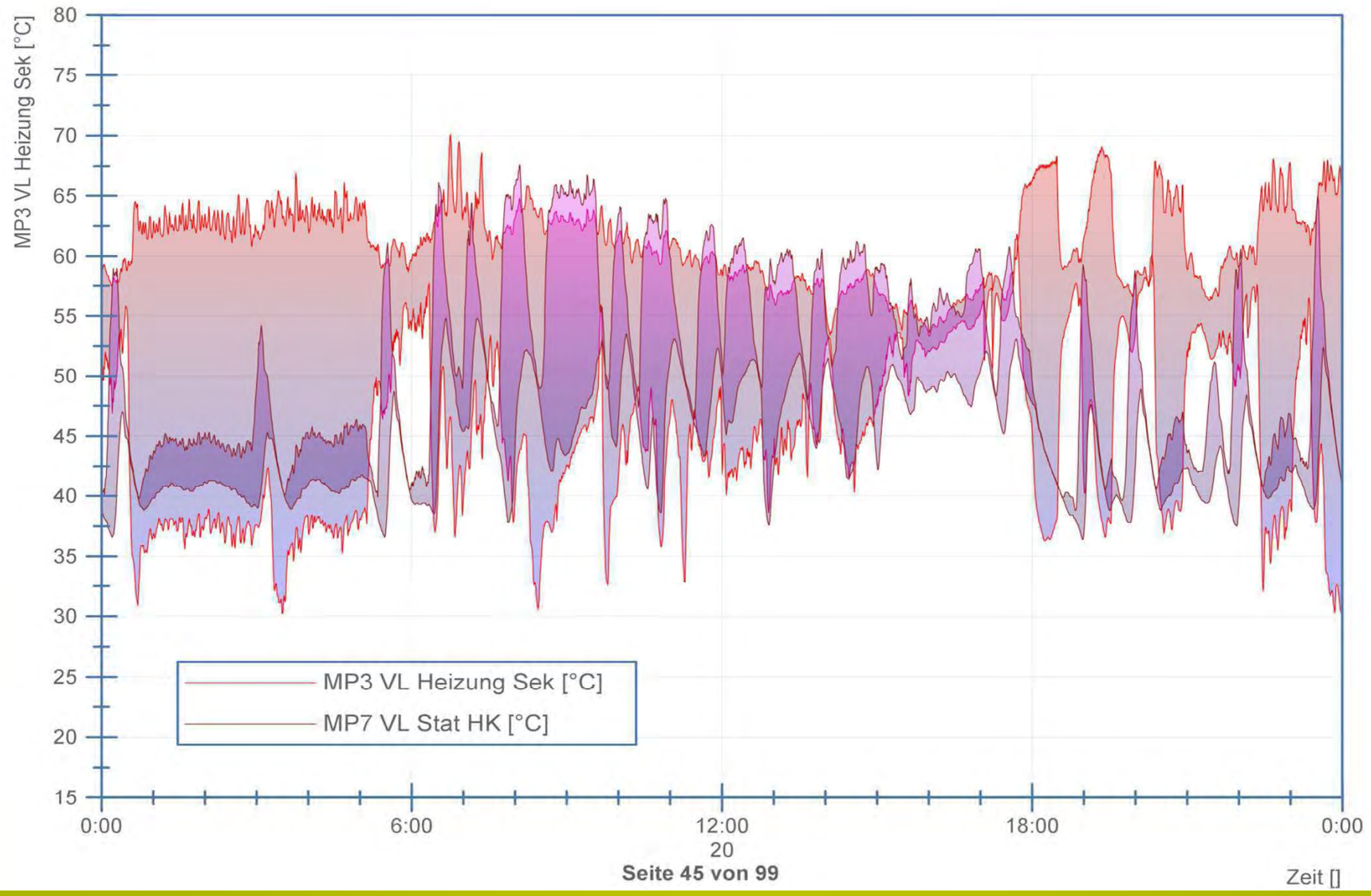


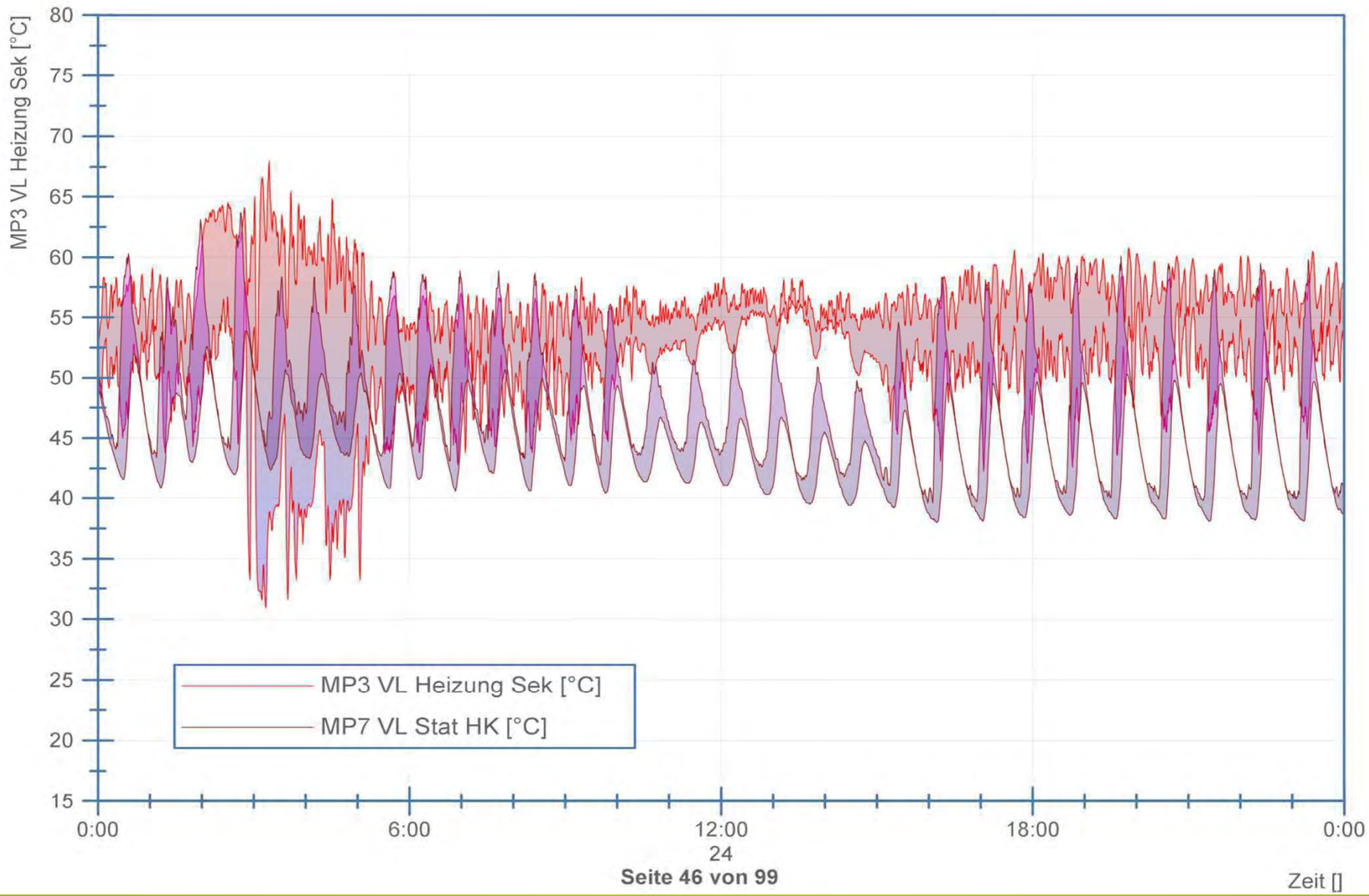
Seite 42 von 99

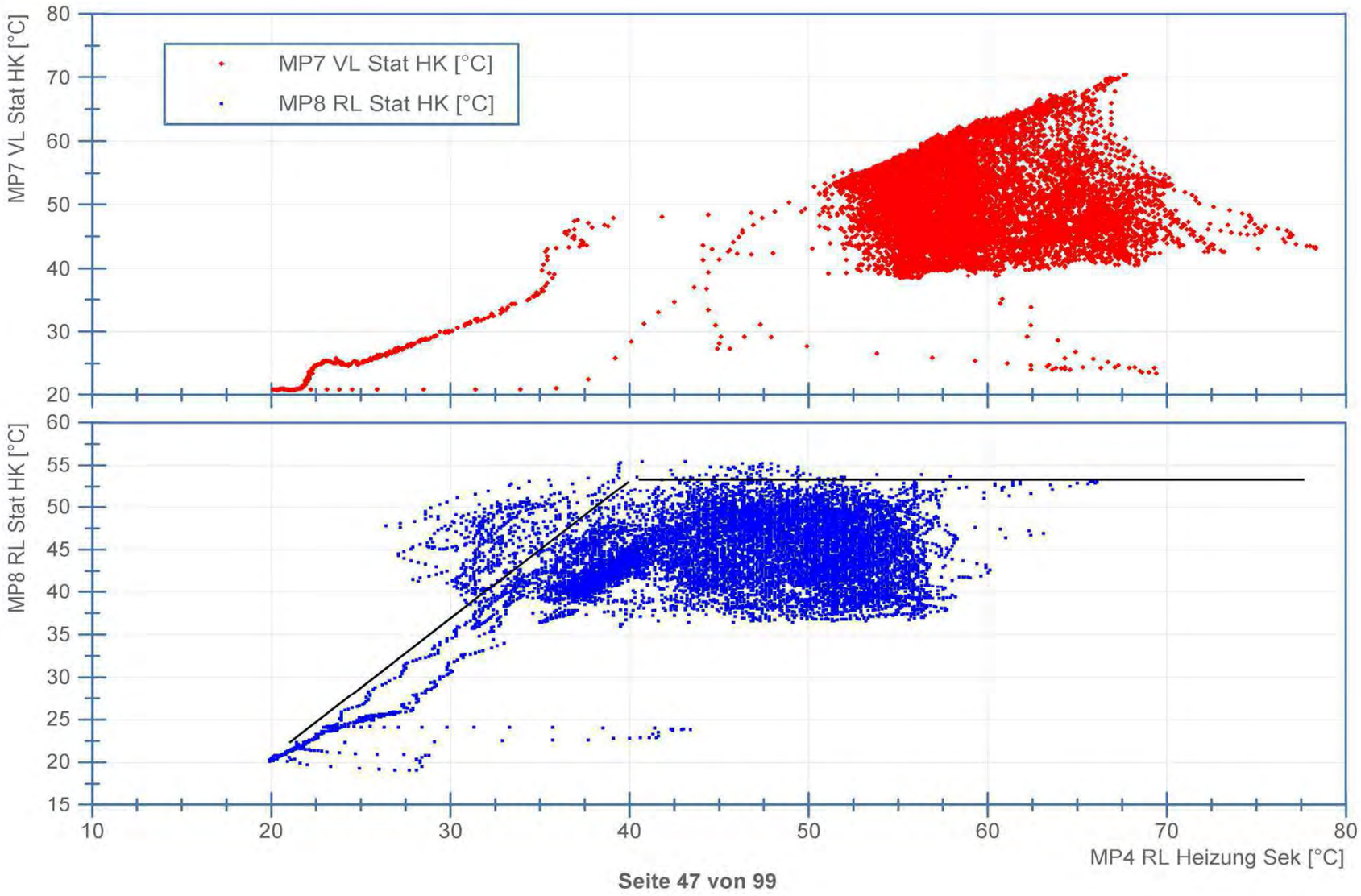


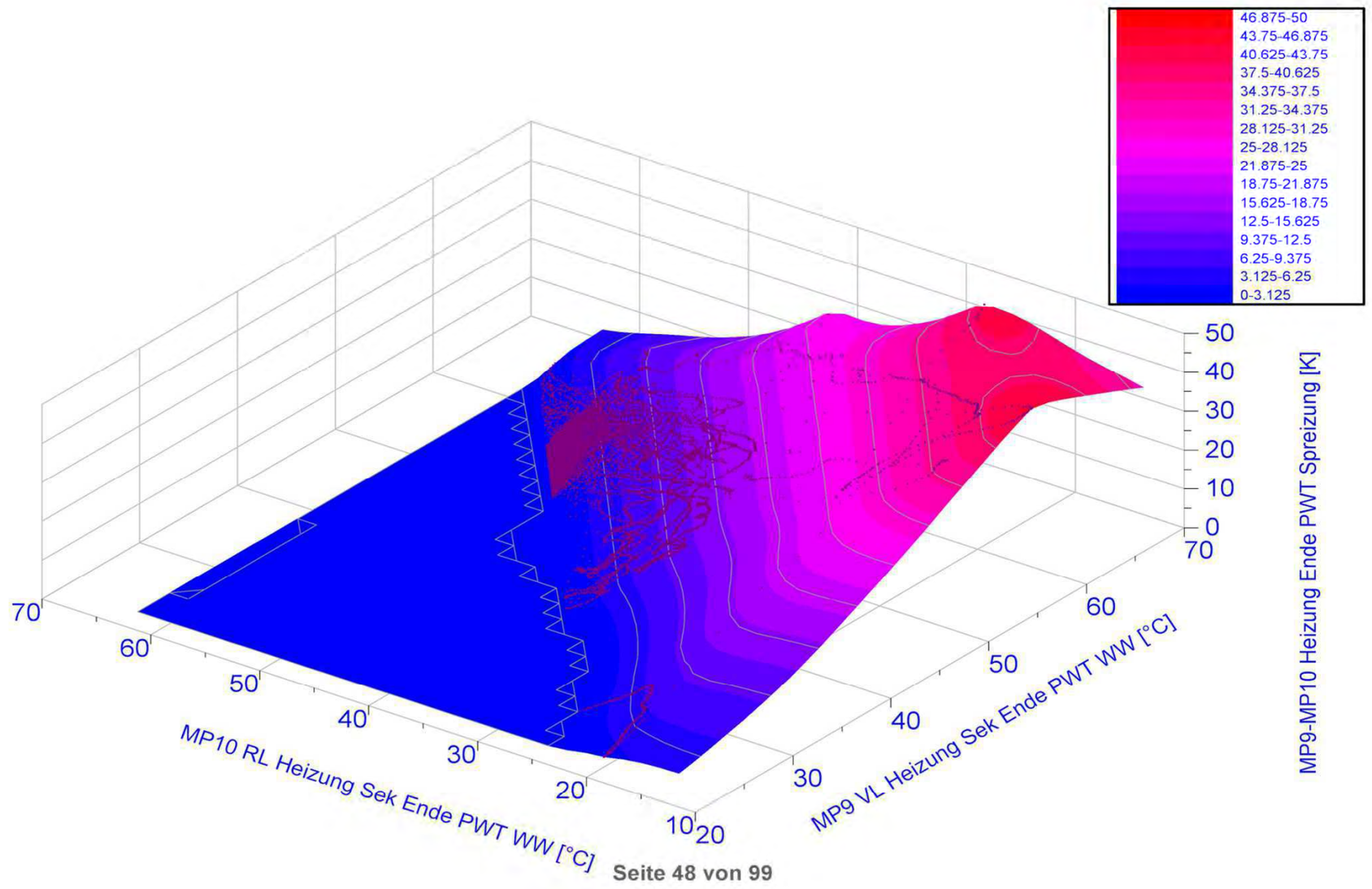
Seite 43 von 99

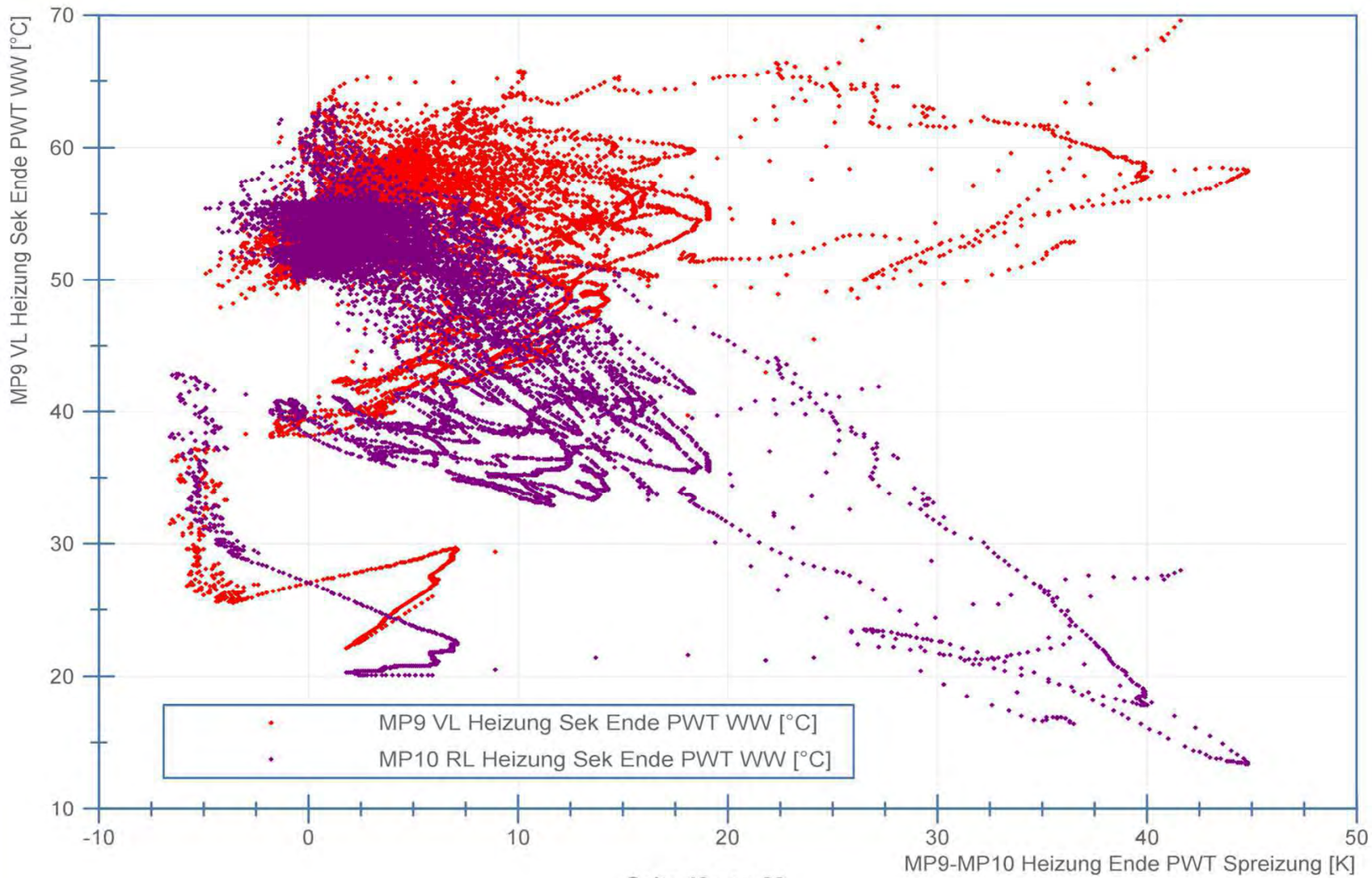

MP3 VL Heizung Sek [°C]
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
19.02
20.02
21.02
22.02
23.02
24.02
25.02
26.02
MP3 VL Heizung Sek [°C]
MP7 VL Stat HK [°C]
Zeit []

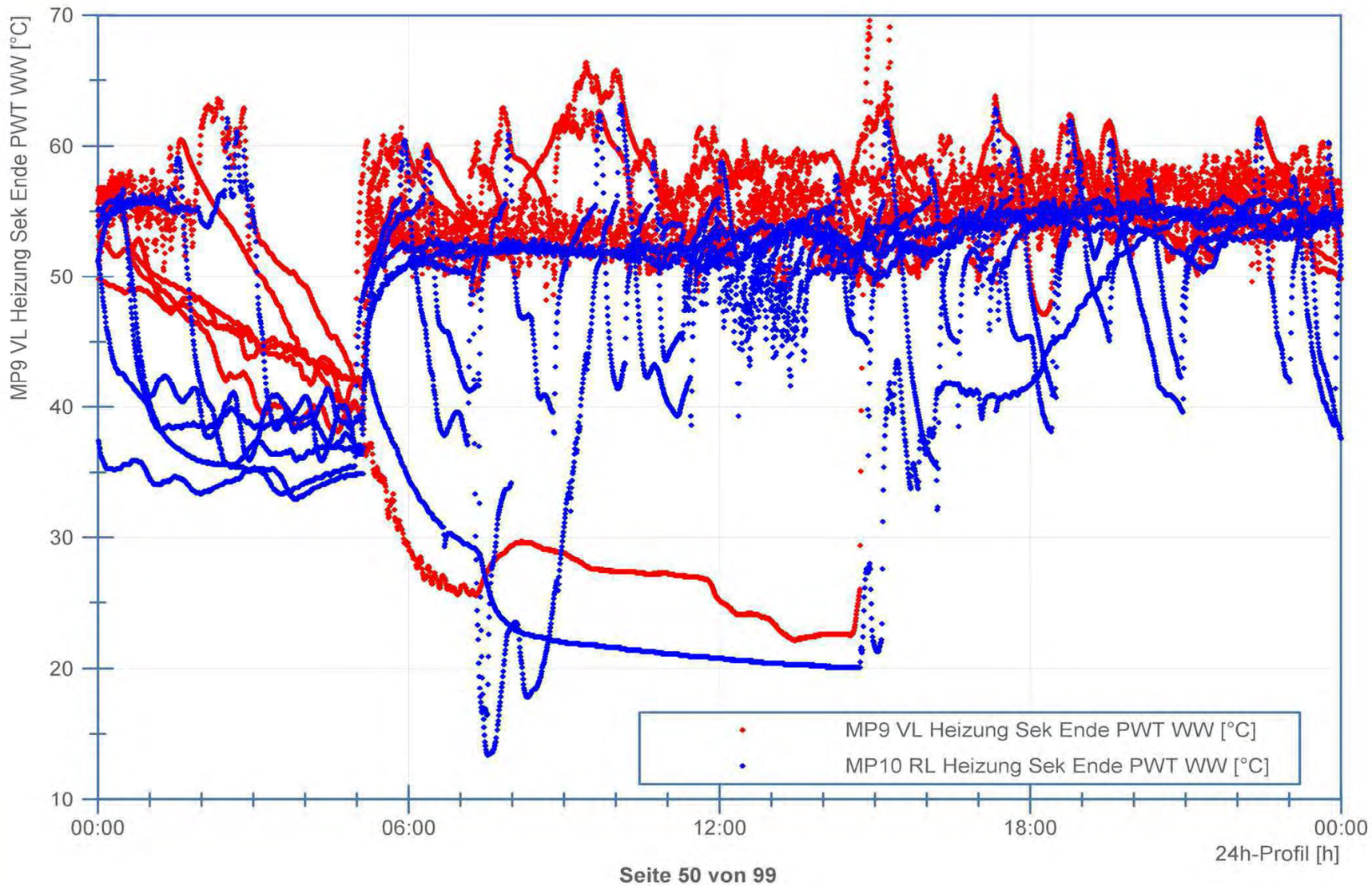

MP3 VL Heizung Sek [°C]
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
20
Zeit []
MP3 VL Heizung Sek [°C]
MP7 VL Stat HK [°C]

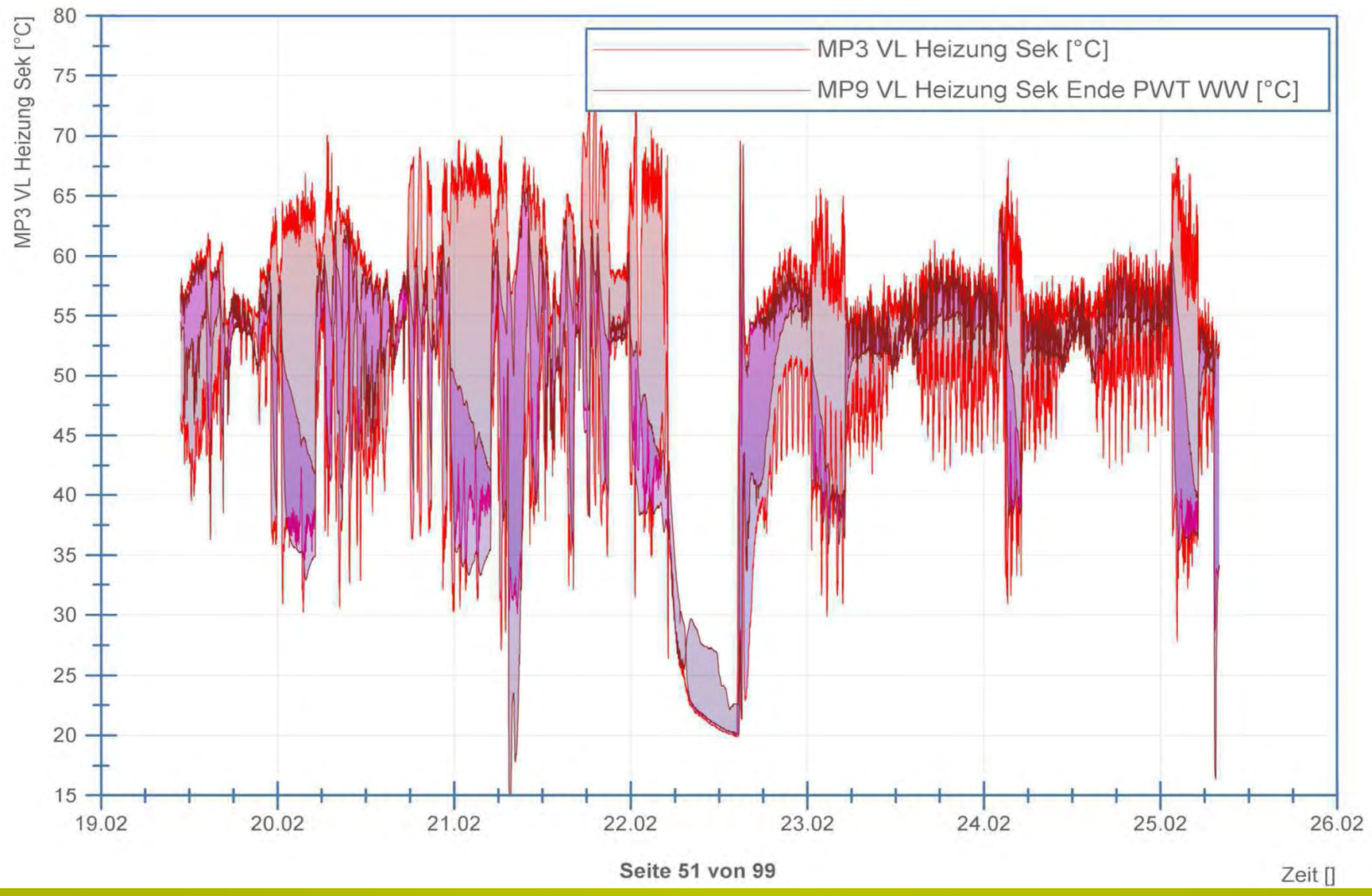

MP3 VL Heizung Sek [°C]
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
24
Zeit []
MP3 VL Heizung Sek [°C]
MP7 VL Stat HK [°C]

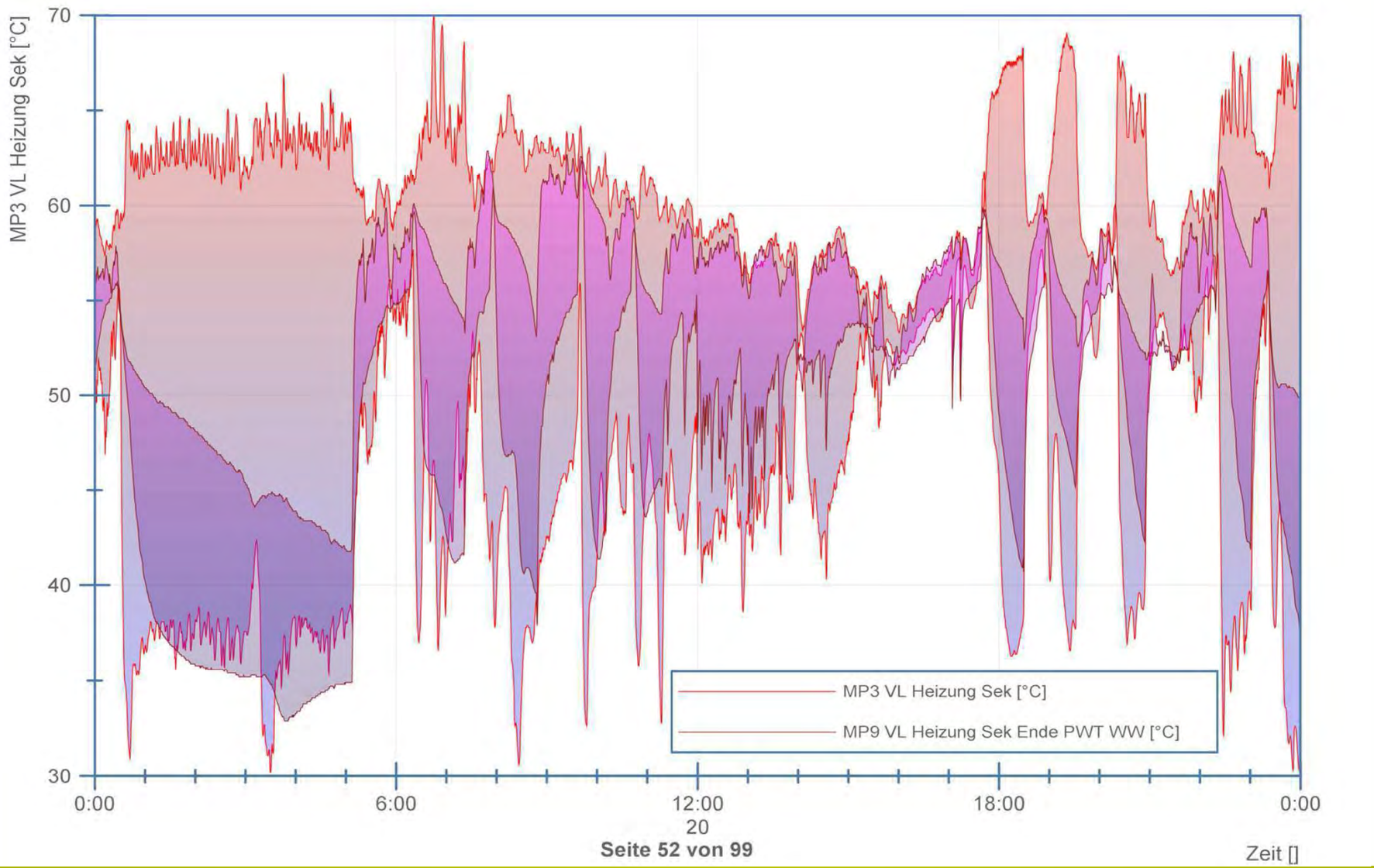

MP7 VL Stat HK [°C]
MP8 RL Stat HK [°C]
MP7 VL Stat HK [°C]
80
70
60
50
40
30
20
MP8 RL Stat HK [°C]
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
20
30
40
50
60
70
80
MP4 RL Heizung Sek [°C]

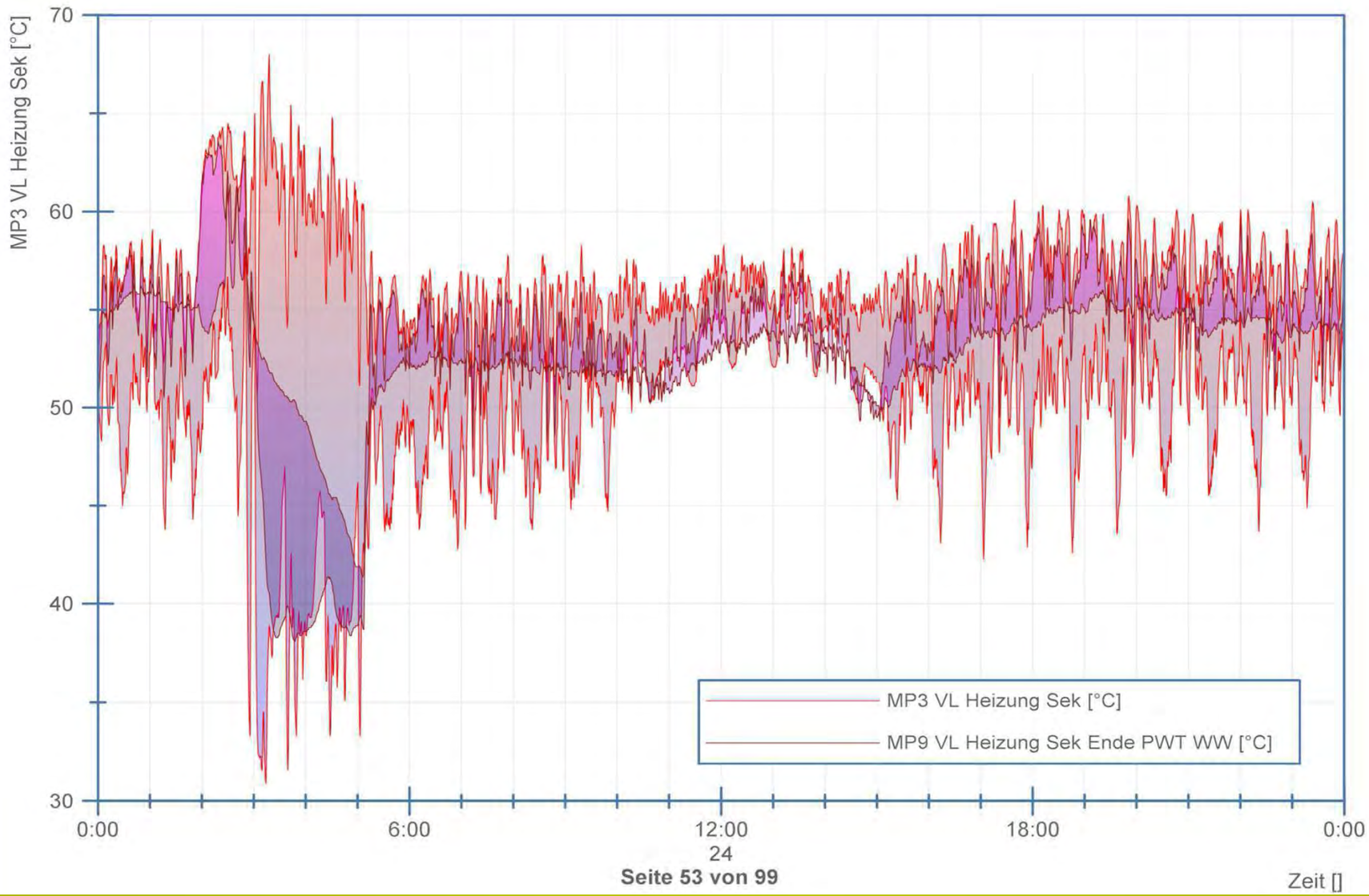

46.875-50
43.75-46.875
40.625-43.75
37.5-40.625
34.375-37.5
31.25-34.375
28.125-31.25
25-28.125
21.875-25
18.75-21.875
15.625-18.75
12.5-15.625
9.375-12.5
6.25-9.375
3.125-6.25
0-3.125
MP10 RL Heizung Sek Ende PWT WW [°C]
70
60
50
40
30
20
10
MP9 VL Heizung Sek Ende PWT WW [°C]
20
30
40
50
60
70
MP9-MP10 Heizung Ende PWT Spreizung [K]
0
10
20
30
40
50

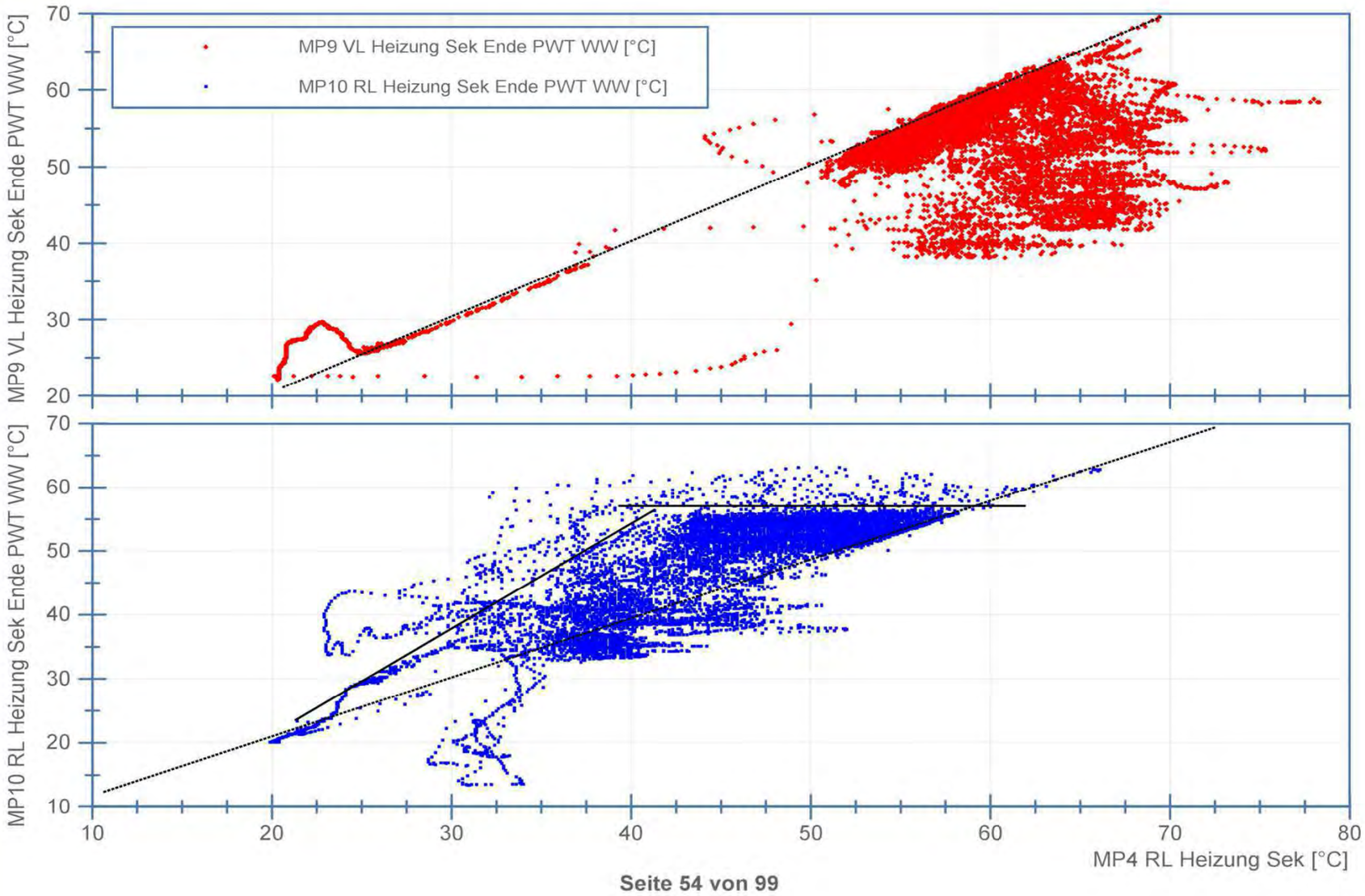

MP9 VL Heizung Sek Ende PWT WW [°C]
70
60
50
40
30
20
10
-10
0
10
20
30
40
50
MP9-MP10 Heizung Ende PWT Spreizung [K]
MP9 VL Heizung Sek Ende PWT WW [°C]
MP10 RL Heizung Sek Ende PWT WW [°C]

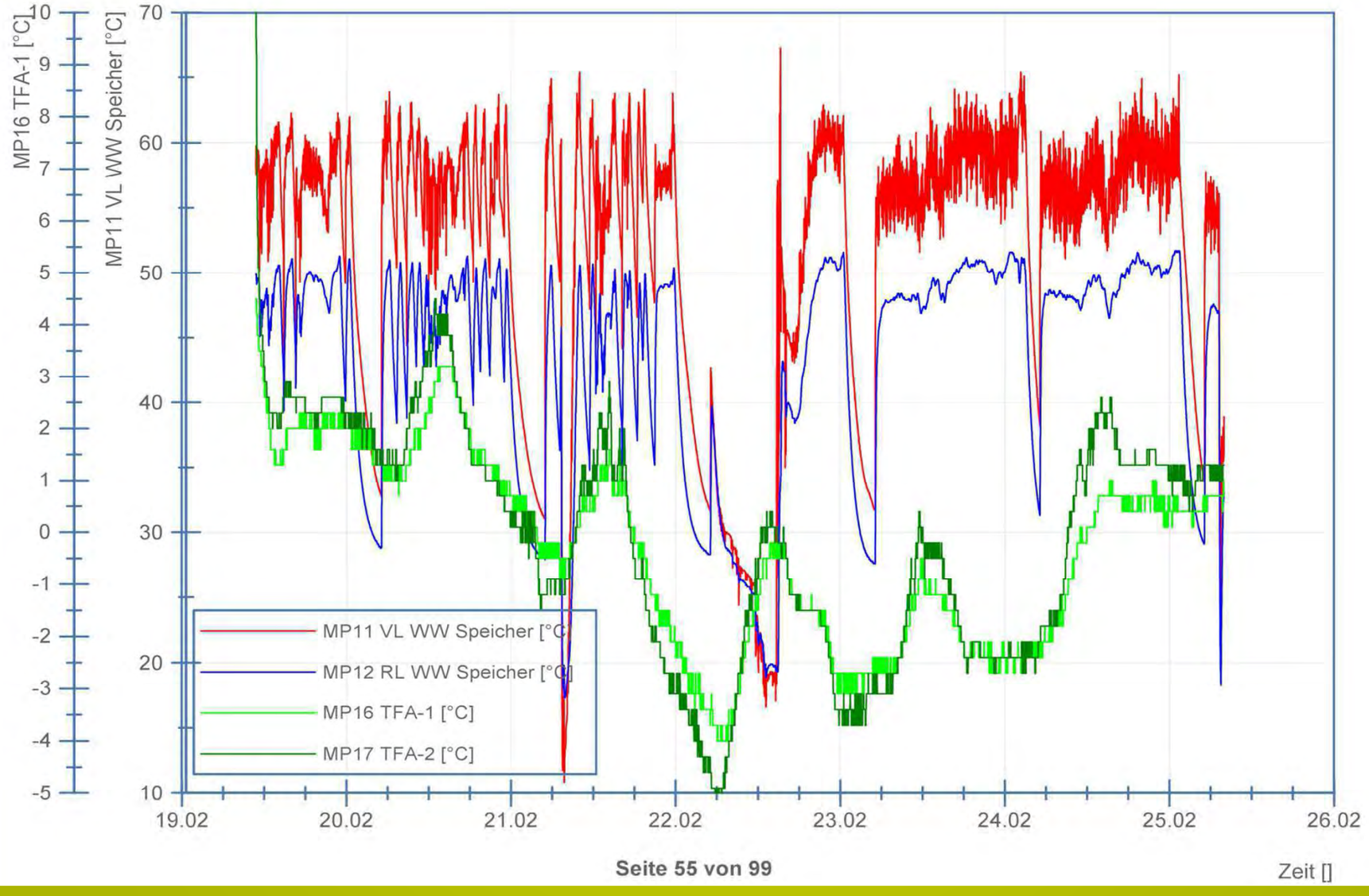

MP9 VL Heizung Sek Ende PWT WW [°C]
70
60
50
40
30
20
10
00:00
06:00
12:00
18:00
00:00
24h-Profil [h]
MP9 VL Heizung Sek Ende PWT WW [°C]
MP10 RL Heizung Sek Ende PWT WW [°C]

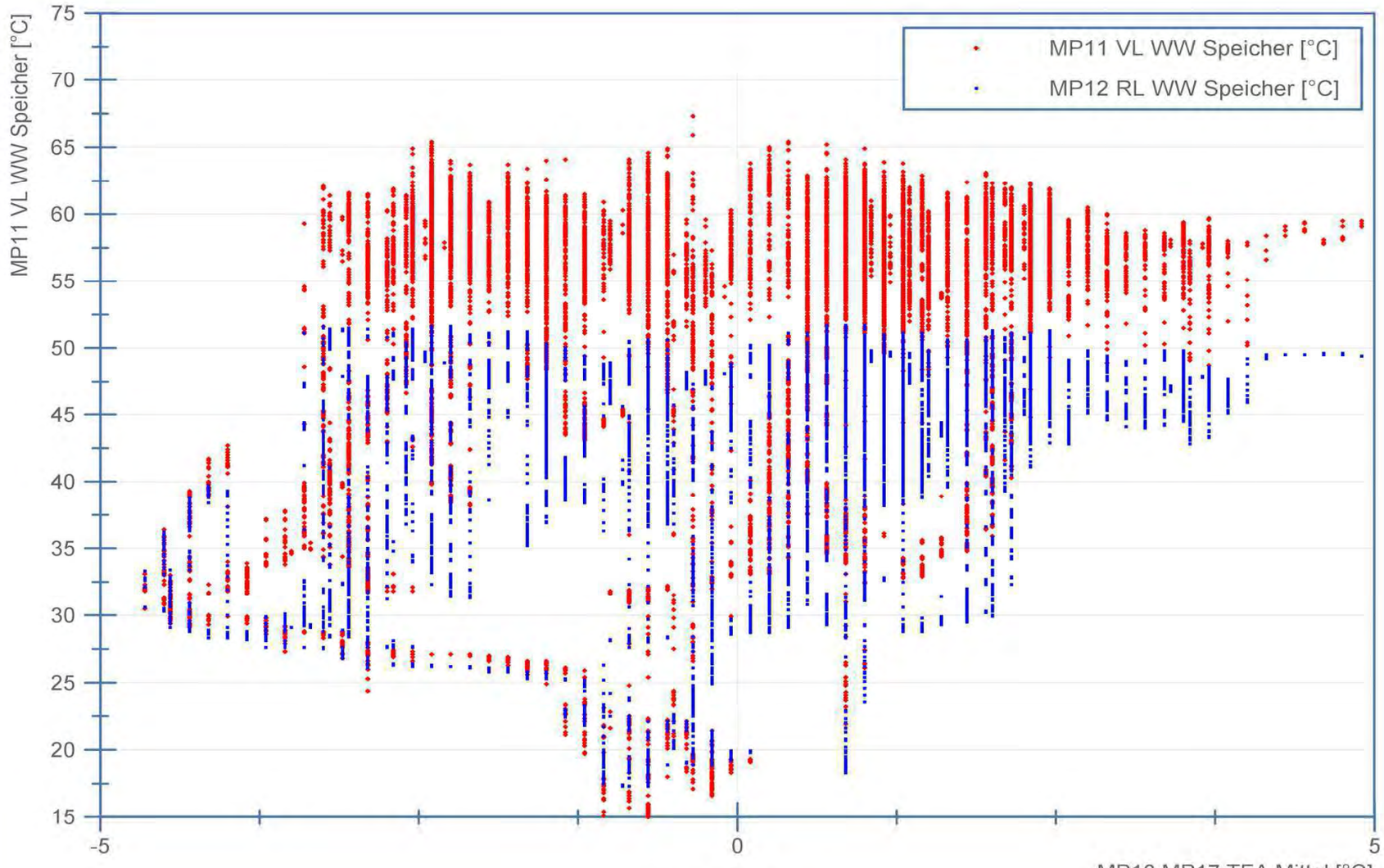

MP3 VL Heizung Sek [°C]
MP9 VL Heizung Sek Ende PWT WW [°C]
MP3 VL Heizung Sek [°C]
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
19.02
20.02
21.02
22.02
23.02
24.02
25.02
26.02
Zeit []

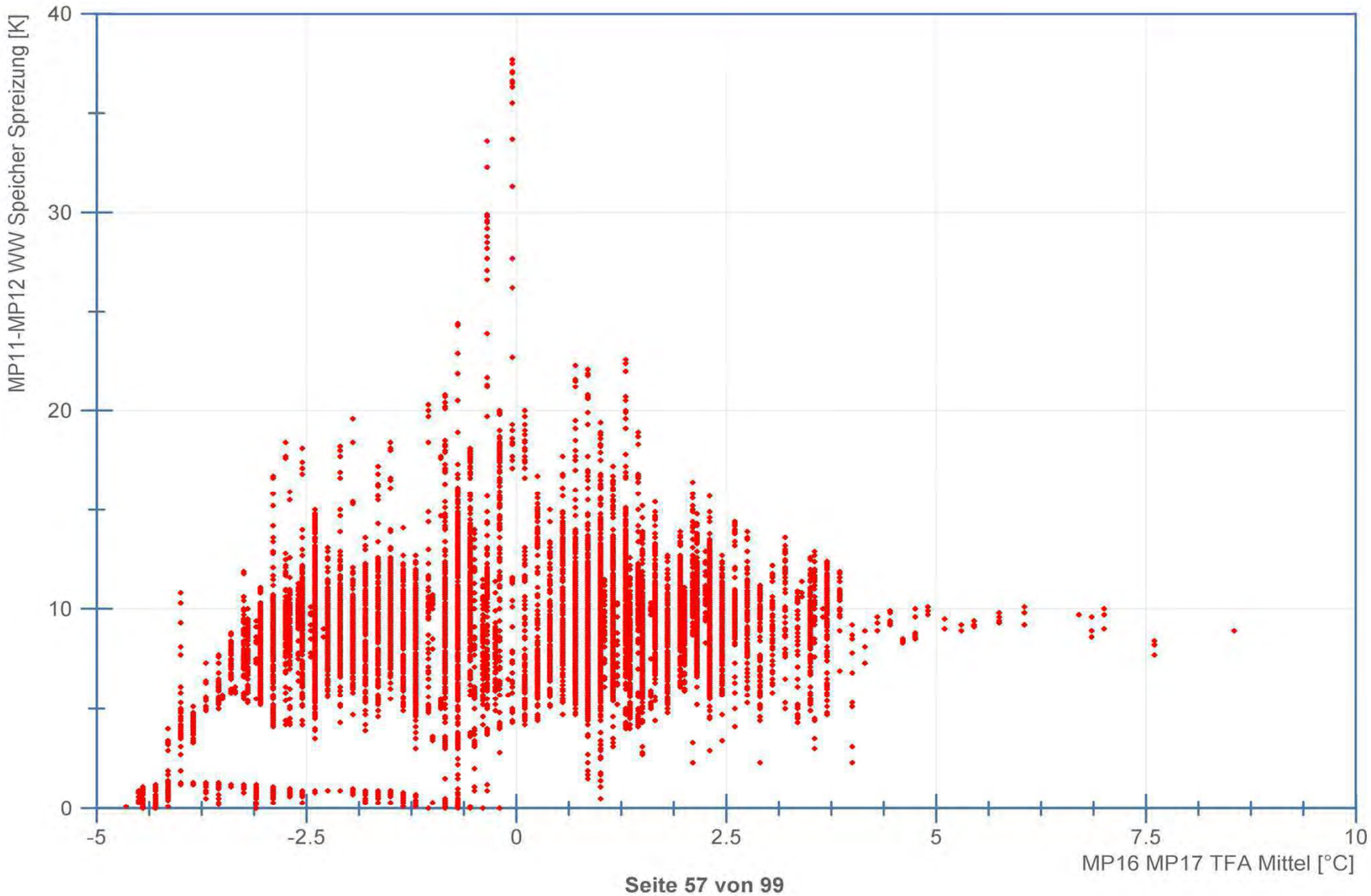

MP3 VL Heizung Sek [°C]
70
60
50
40
30
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
20
Zeit []
MP3 VL Heizung Sek [°C]
MP9 VL Heizung Sek Ende PWT WW [°C]


MP3 VL Heizung Sek [°C]
70
60
50
40
30
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
24
Zeit []
MP3 VL Heizung Sek [°C]
MP9 VL Heizung Sek Ende PWT WW [°C]

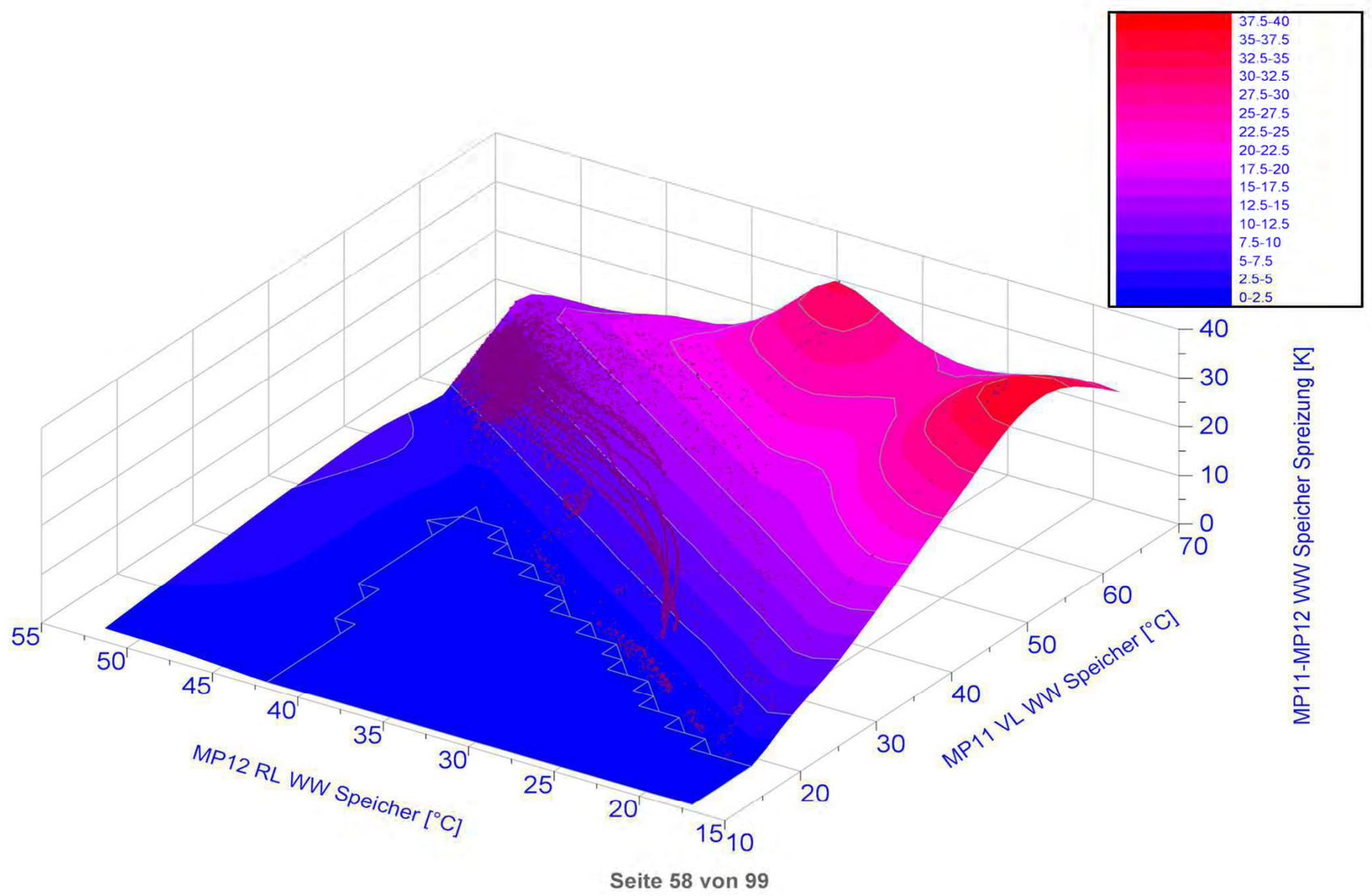

MP9 VL Heizung Sek Ende PWT WW [°C]
MP10 RL Heizung Sek Ende PWT WW [°C]
MP9 VL Heizung Sek Ende PWT WW [°C]
70
60
50
40
30
20
MP10 RL Heizung Sek Ende PWT WW [°C]
70
60
50
40
30
20
10
10
20
30
40
50
60
70
80
MP4 RL Heizung Sek [°C]

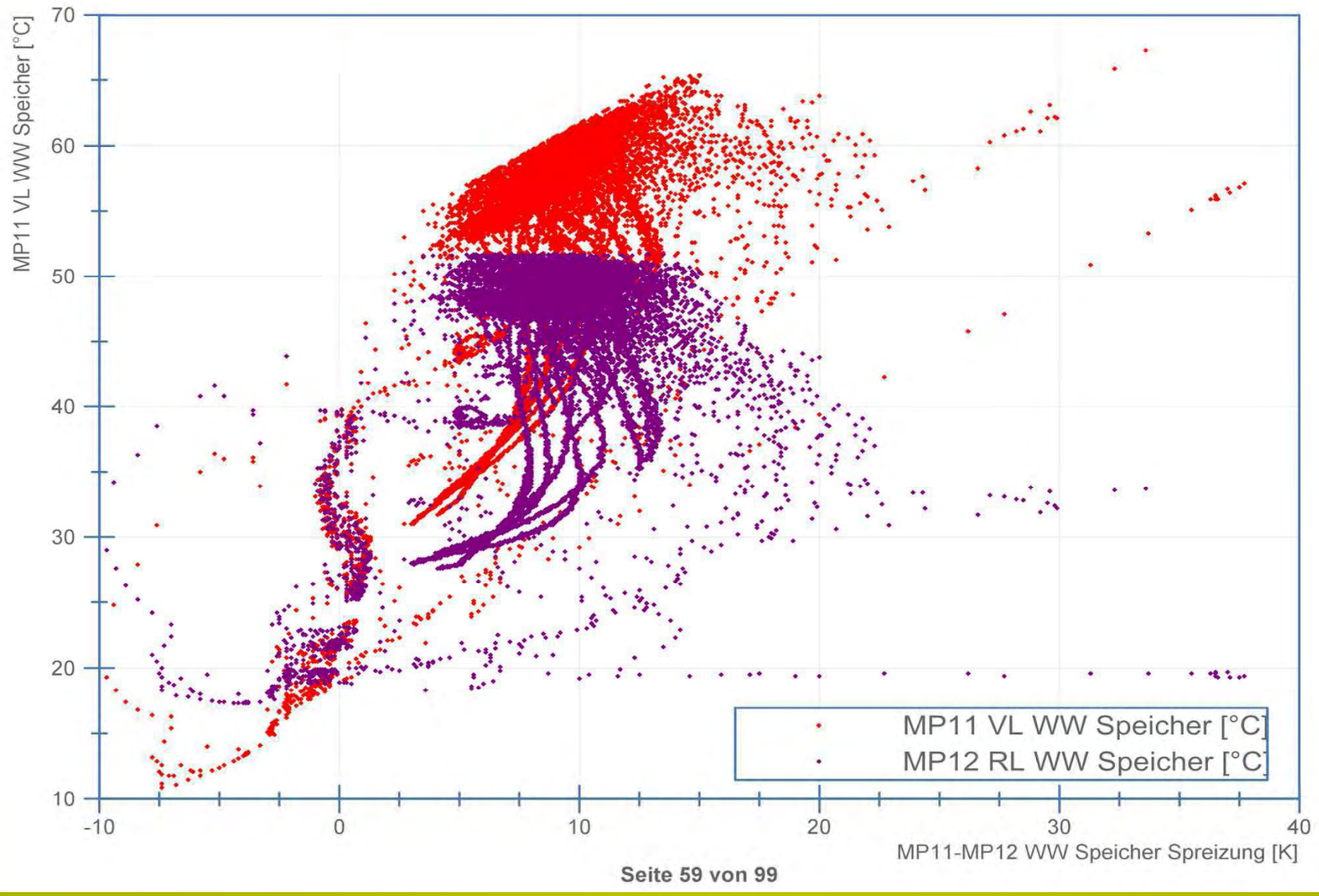

MP16 TFA-1 [°C]
MP11 VL WW Speicher [°C]
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
-5
70
60
50
40
30
20
10
19.02
20.02
21.02
22.02
23.02
24.02
25.02
26.02
MP11 VL WW Speicher [°C]
MP12 RL WW Speicher [°C]
MP16 TFA-1 [°C]
MP17 TFA-2 [°C]
Zeit []


MP11 VL WW Speicher [°C]
MP12 RL WW Speicher [°C]
MP11 VL WW Speicher [°C]
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
-5
0
5
MP16 MP17 TFA Mittel [°C]

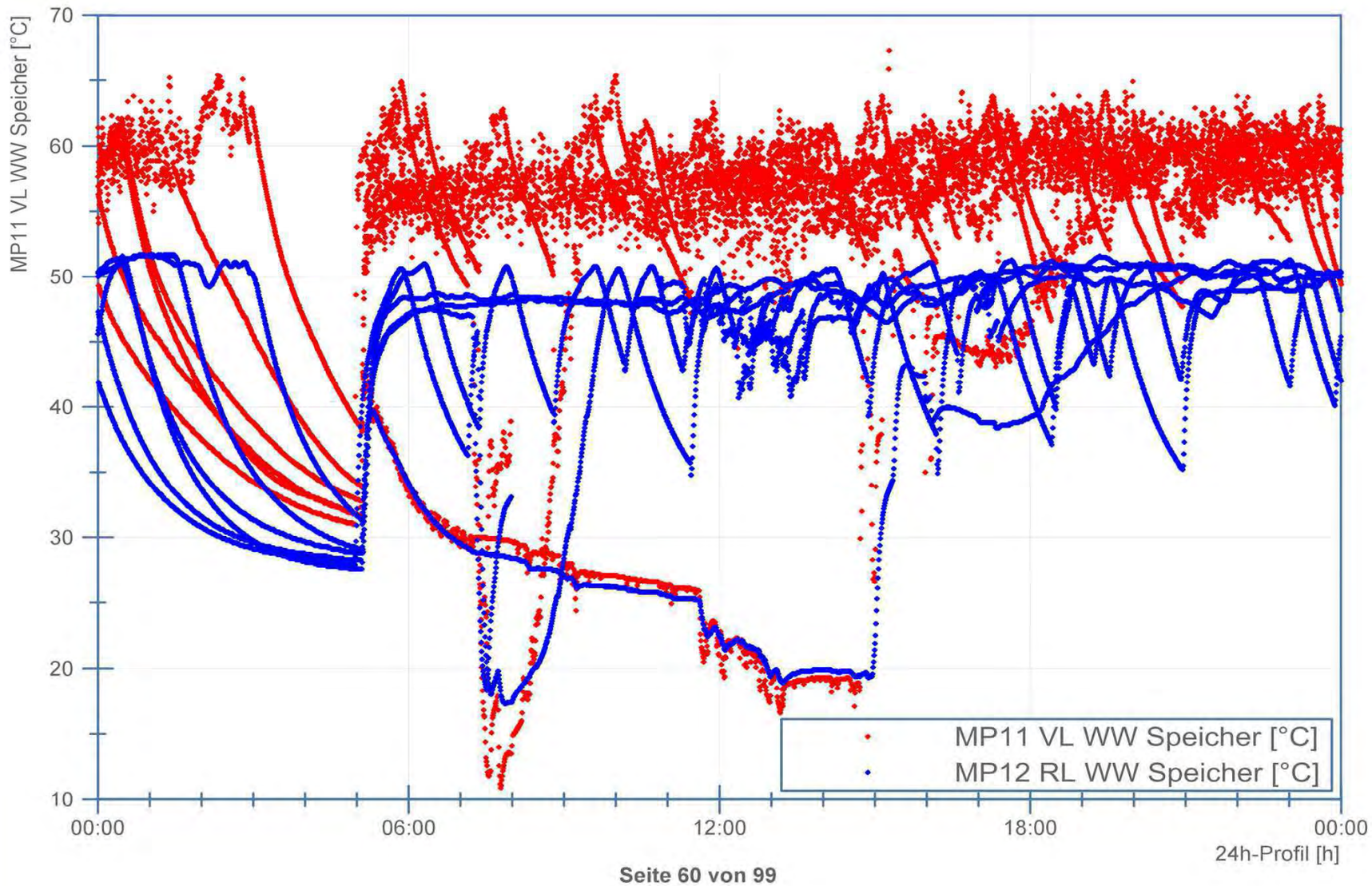


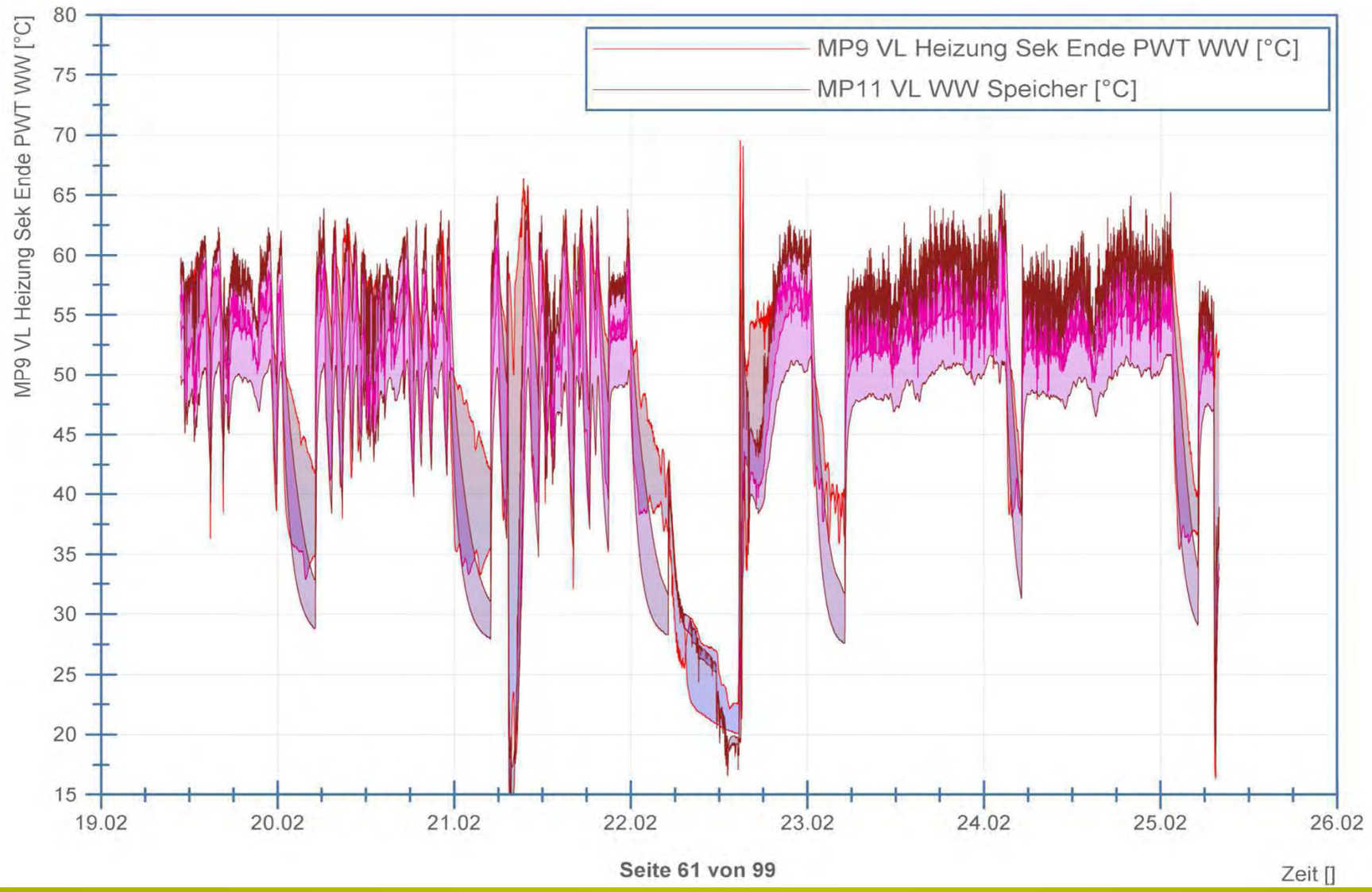
Seite 57 von 99

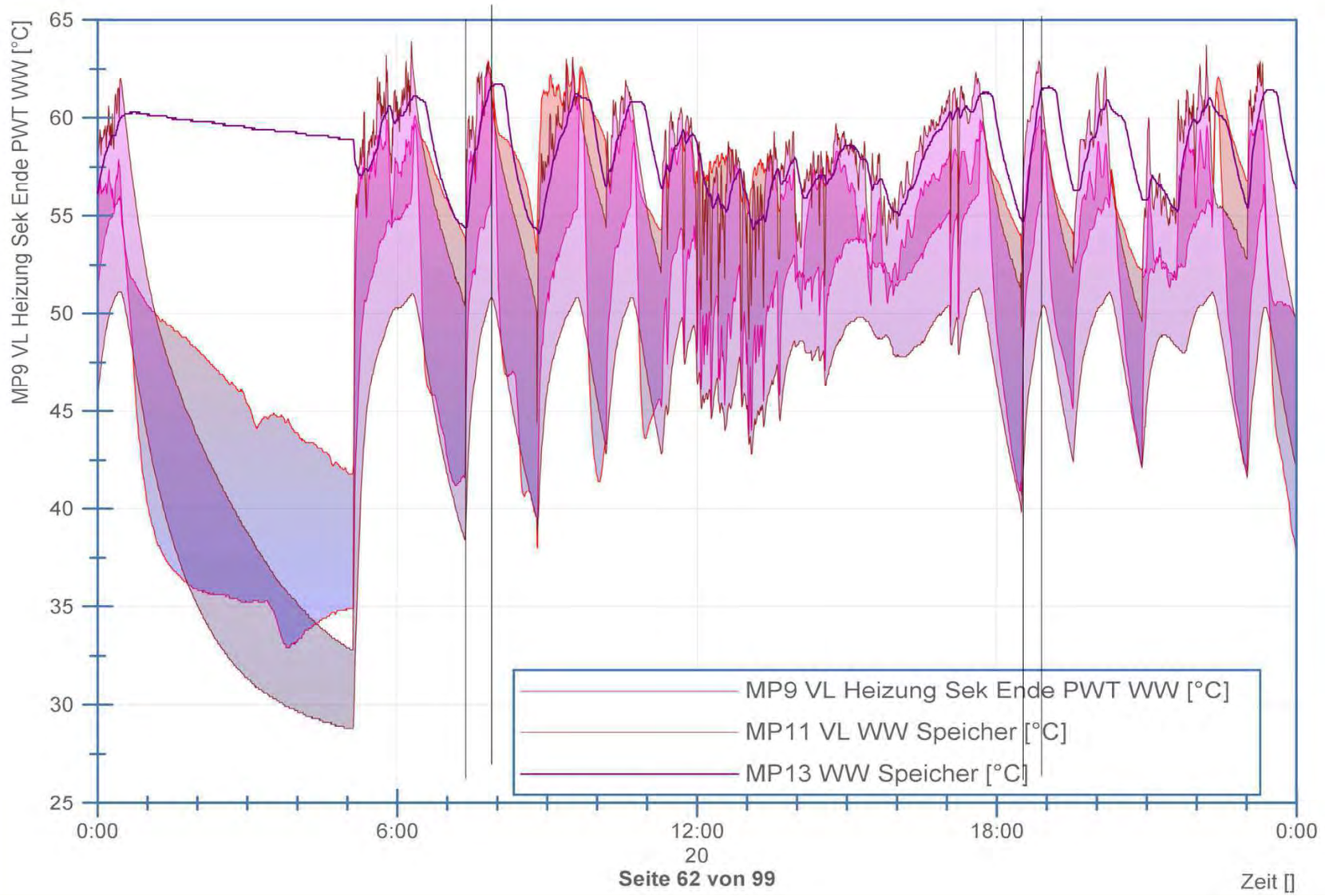

37.5-40
35-37.5
32.5-35
30-32.5
27.5-30
25-27.5
22.5-25
20-22.5
17.5-20
15-17.5
12.5-15
10-12.5
7.5-10
5-7.5
2.5-5
0-2.5
MP12 RL WW Speicher [°C]
55
50
45
40
35
30
25
20
15
MP11 VL WW Speicher [°C]
10
20
30
40
50
60
70
MP11-MP12 WW Speicher Spreizung [K]
0
10
20
30
40

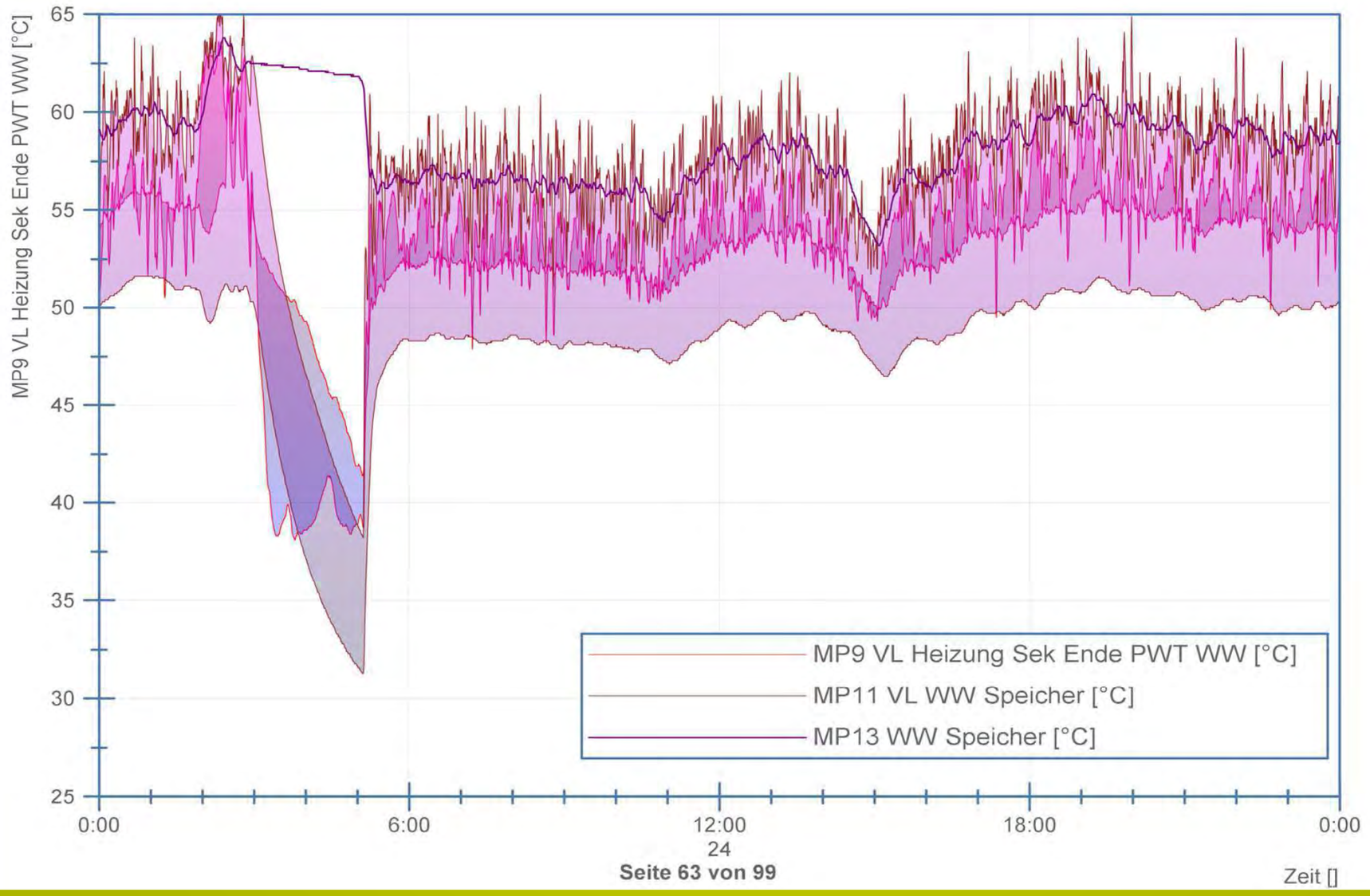


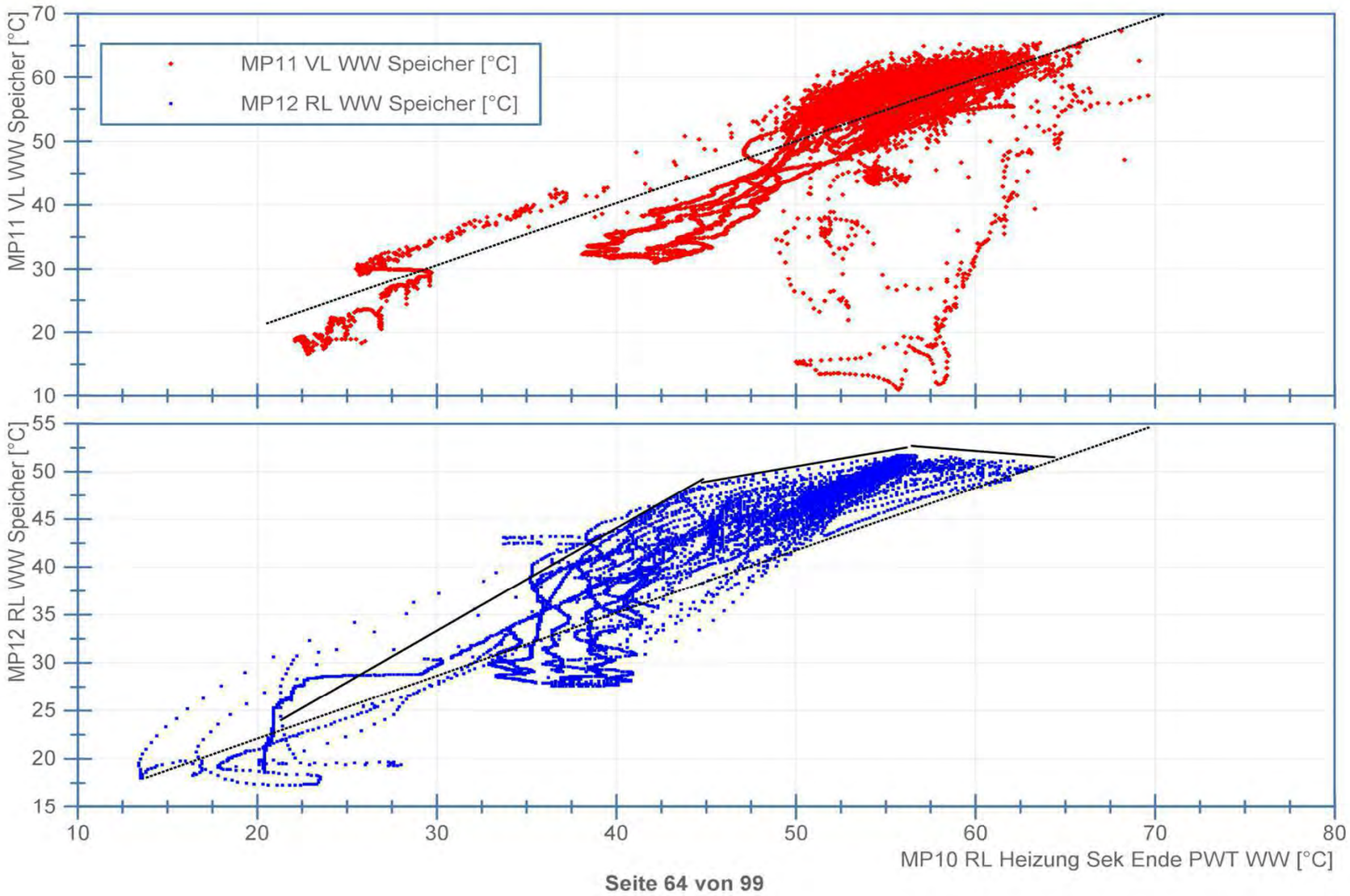
Seite 59 von 99


MP11 VL WW Speicher [°C]
70
60
50
40
30
20
10
00:00
06:00
12:00
18:00
00:00
24h-Profil [h]
MP11 VL WW Speicher [°C]
MP12 RL WW Speicher [°C]

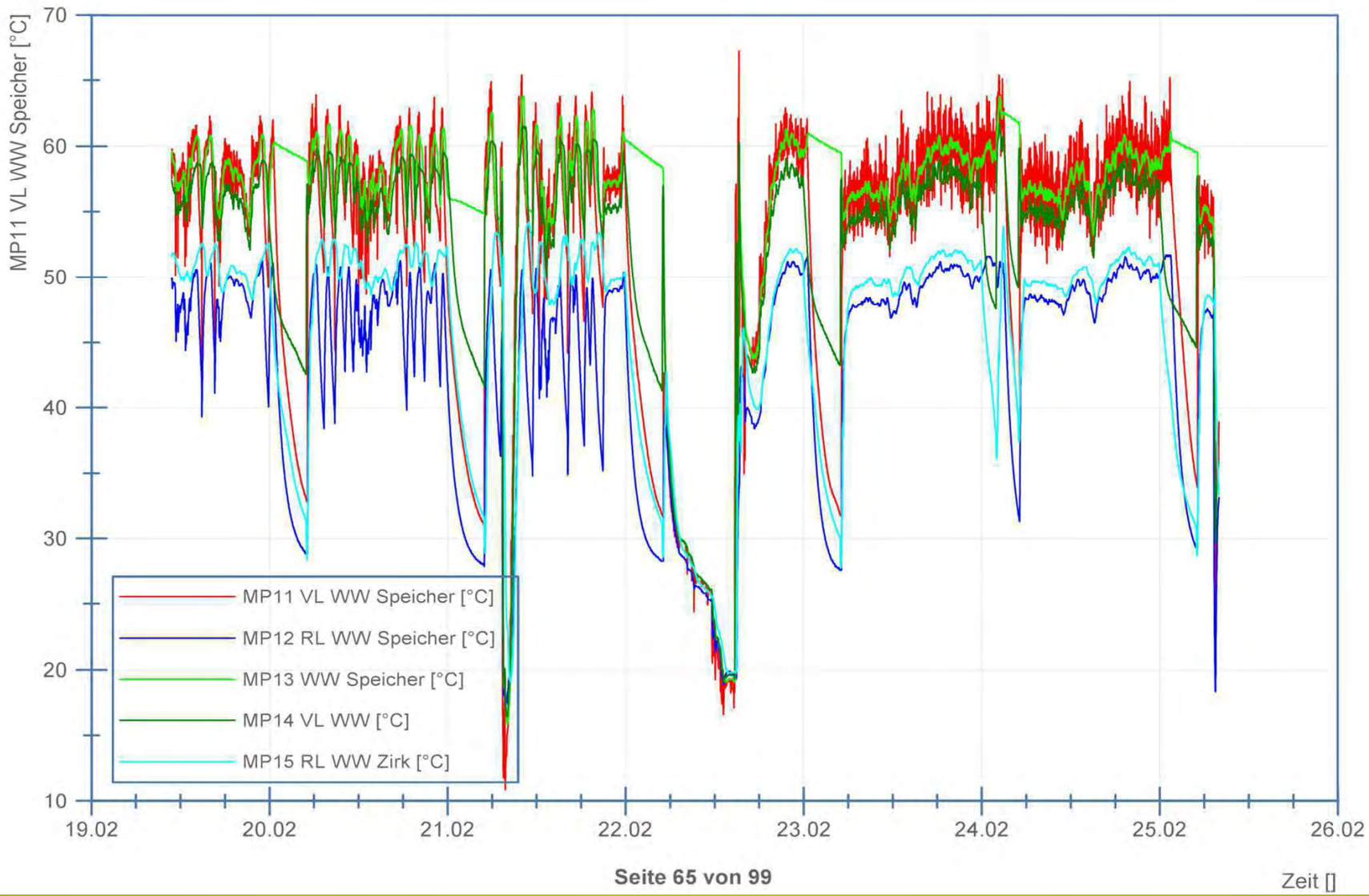

MP9 VL Heizung Sek Ende PWT WW [°C]
MP11 VL WW Speicher [°C]
MP9 VL Heizung Sek Ende PWT WW [°C]
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
19.02
20.02
21.02
22.02
23.02
24.02
25.02
26.02
Zeit []

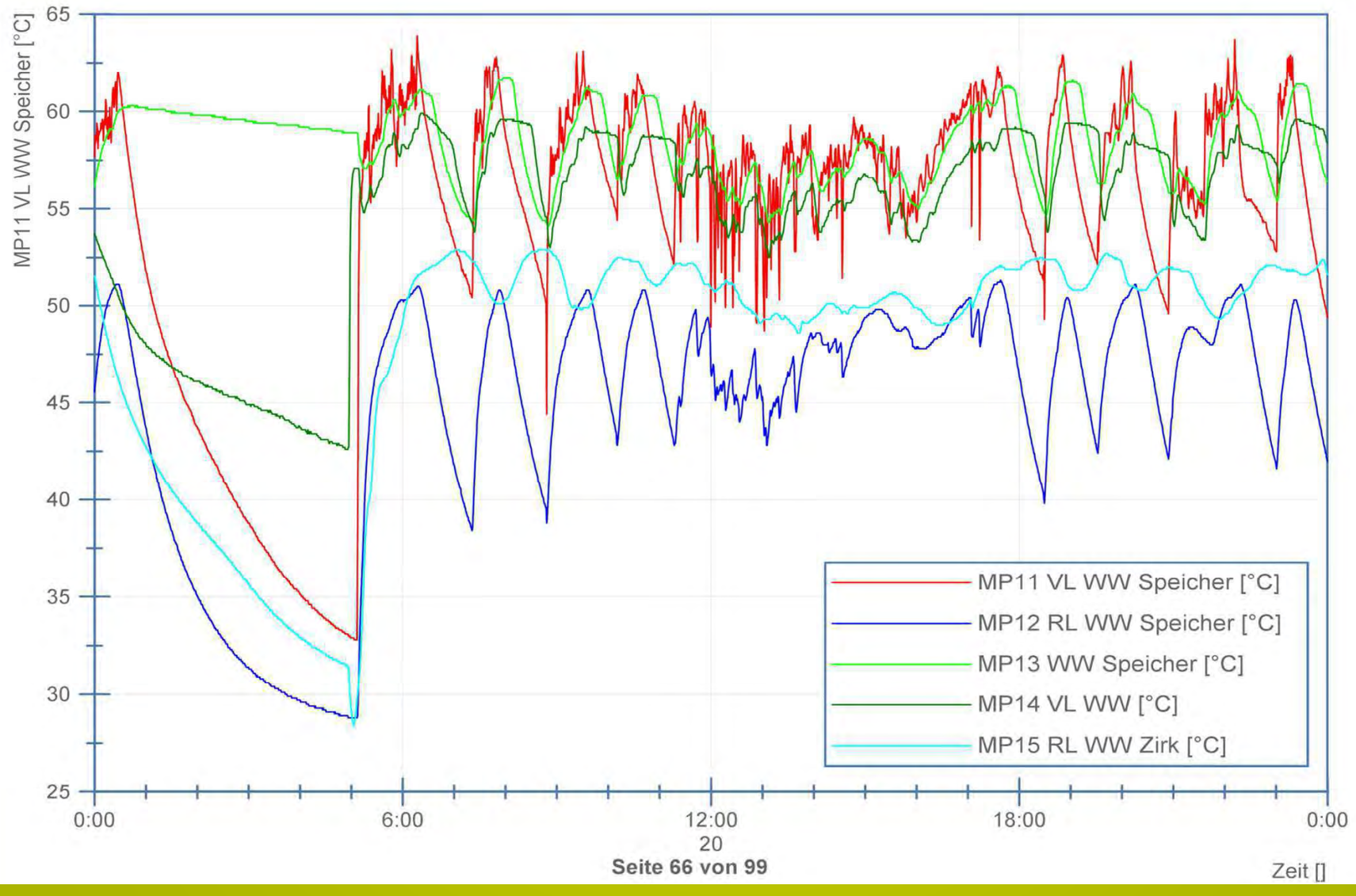

MP9 VL Heizung Sek Ende PWT WW [°C]
65
60
55
50
45
40
35
30
25
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
20
Zeit []
MP9 VL Heizung Sek Ende PWT WW [°C]
MP11 VL WW Speicher [°C]
MP13 WW Speicher [°C]

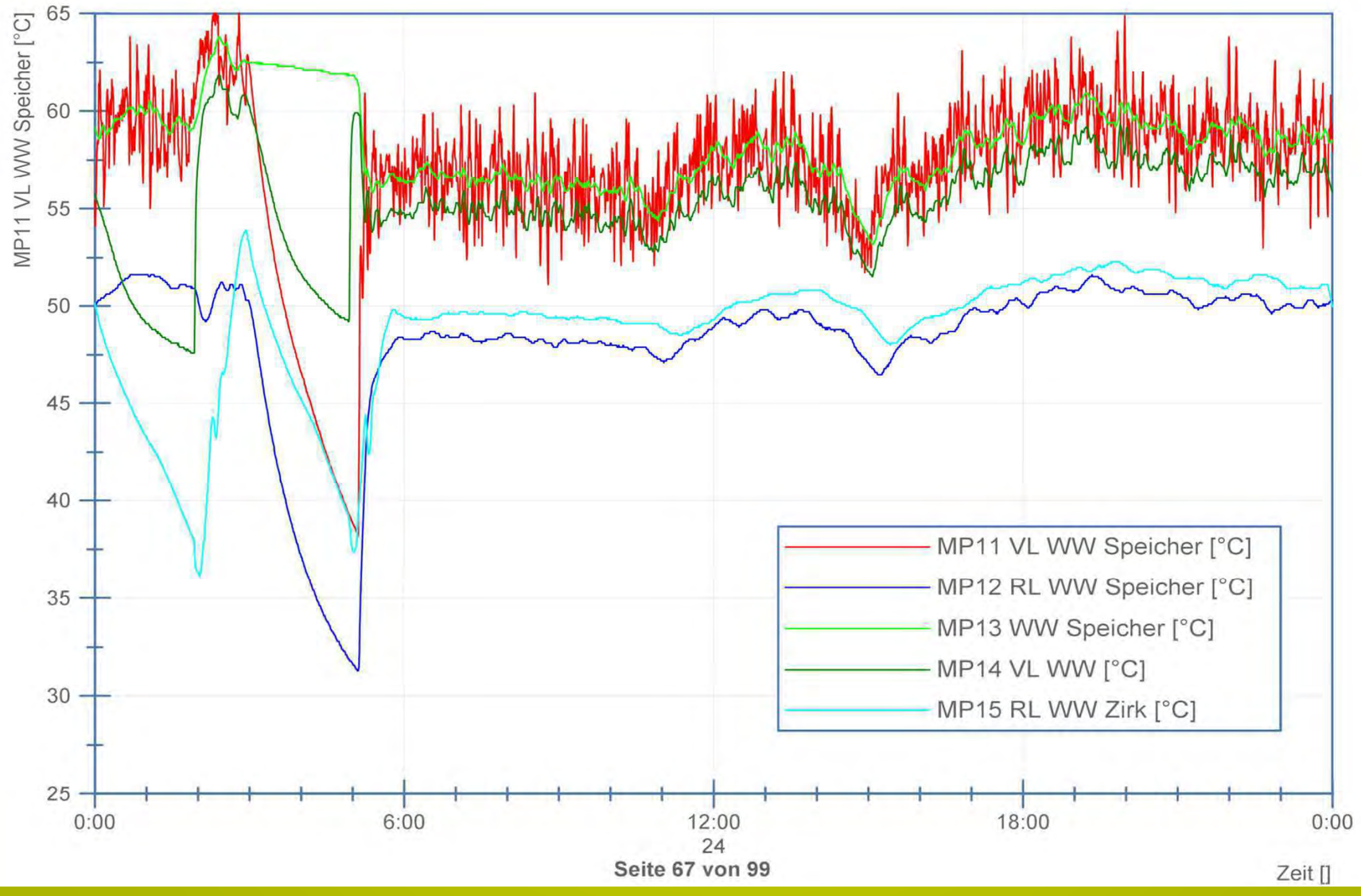

MP9 VL Heizung Sek Ende PWT WW [°C]
65
60
55
50
45
40
35
30
25
0:00
6:00
12:00
24
18:00
0:00
Zeit []
MP9 VL Heizung Sek Ende PWT WW [°C]
MP11 VL WW Speicher [°C]
MP13 WW Speicher [°C]

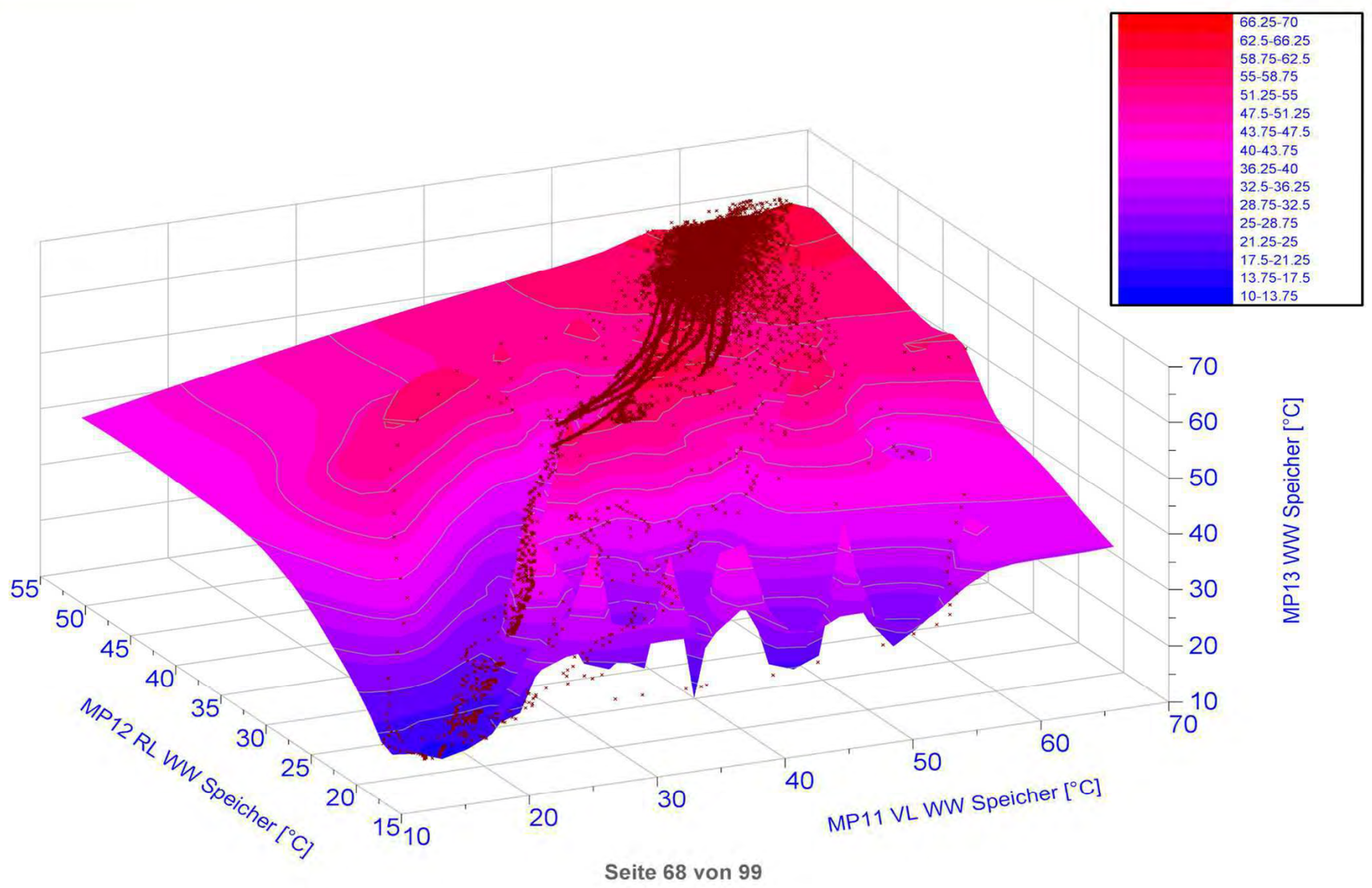


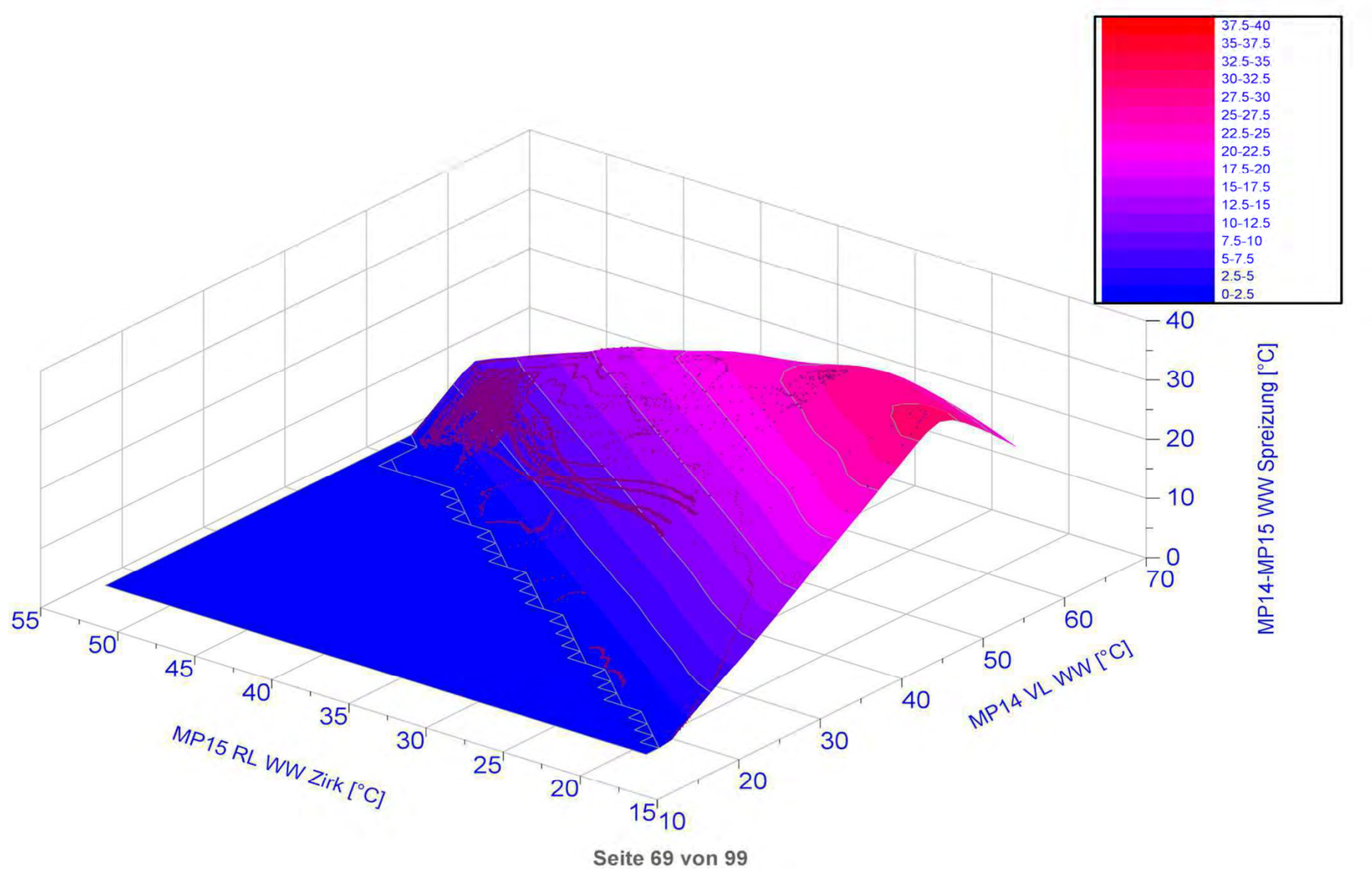
Seite 64 von 99

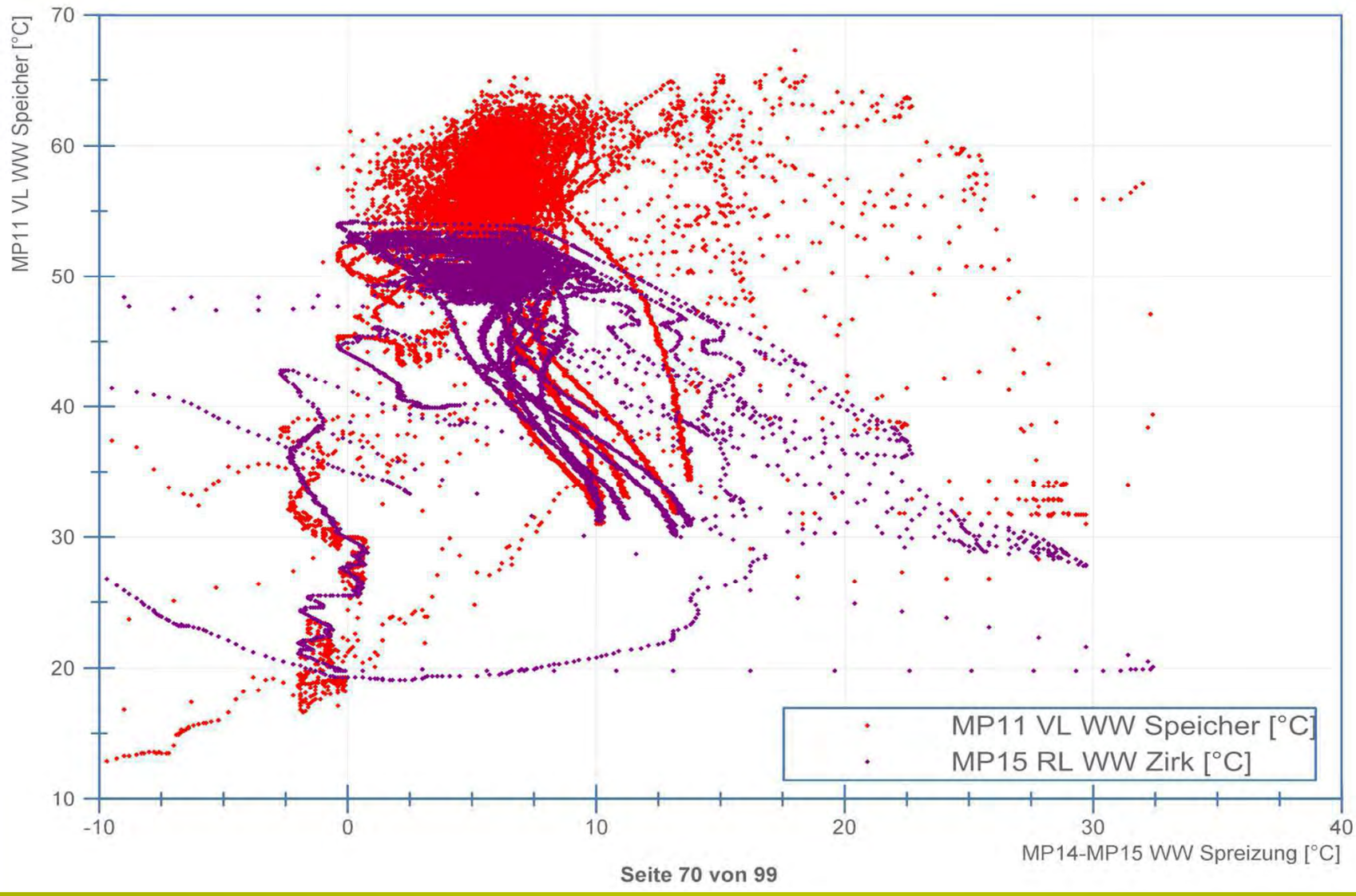

MP11 VL WW Speicher [°C]
70
60
50
40
30
20
10
19.02
20.02
21.02
22.02
23.02
24.02
25.02
26.02
Zeit []
MP11 VL WW Speicher [°C]
MP12 RL WW Speicher [°C]
MP13 WW Speicher [°C]
MP14 VL WW [°C]
MP15 RL WW Zirk [°C]

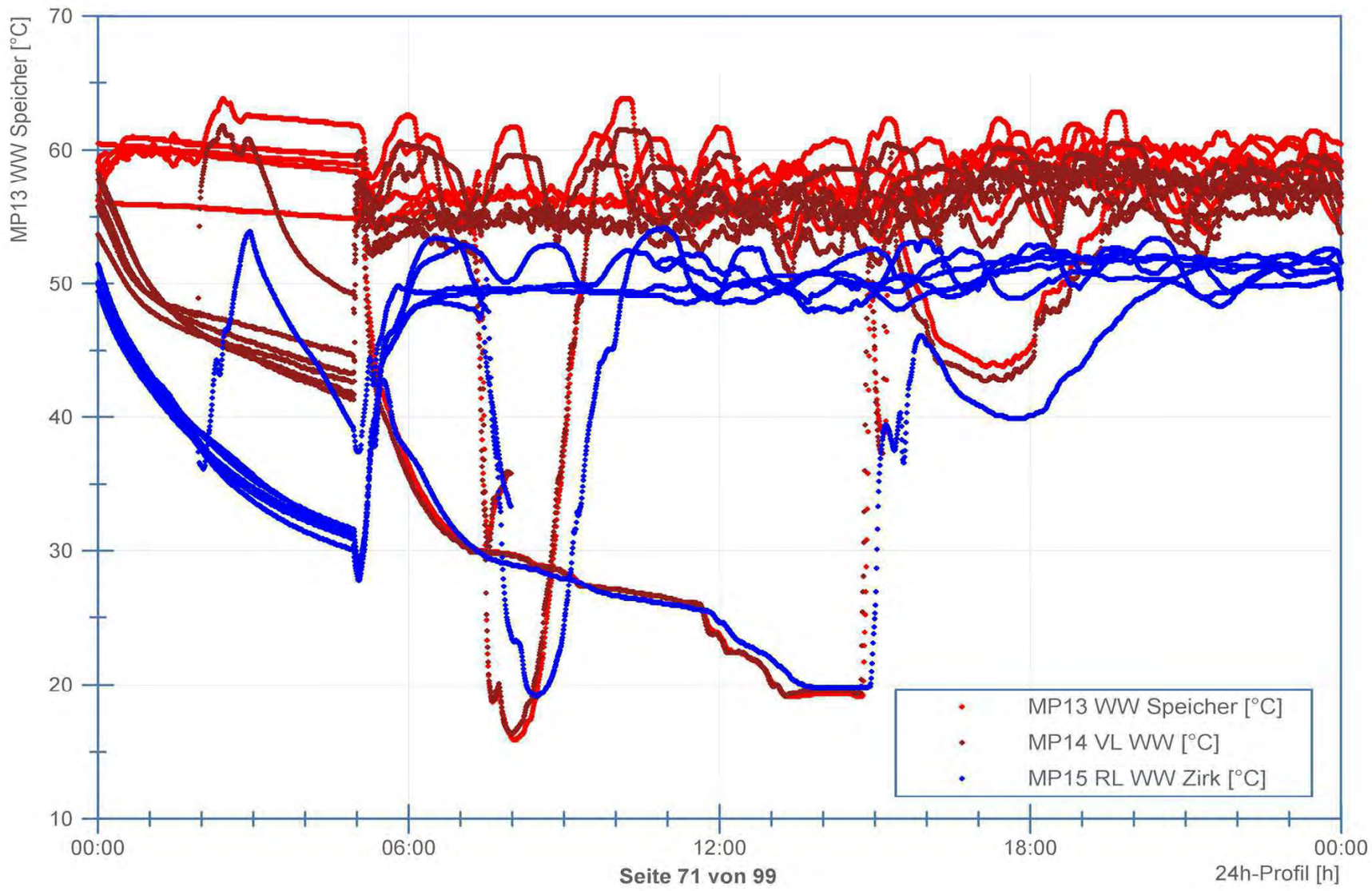

MP11 VL WW Speicher [°C]
65
60
55
50
45
40
35
30
25
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
20
Zeit []
MP11 VL WW Speicher [°C]
MP12 RL WW Speicher [°C]
MP13 WW Speicher [°C]
MP14 VL WW [°C]
MP15 RL WW Zirk [°C]


MP11 VL WW Speicher [°C]
65
60
55
50
45
40
35
30
25
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
24
Zeit []
MP11 VL WW Speicher [°C]
MP12 RL WW Speicher [°C]
MP13 WW Speicher [°C]
MP14 VL WW [°C]
MP15 RL WW Zirk [°C]

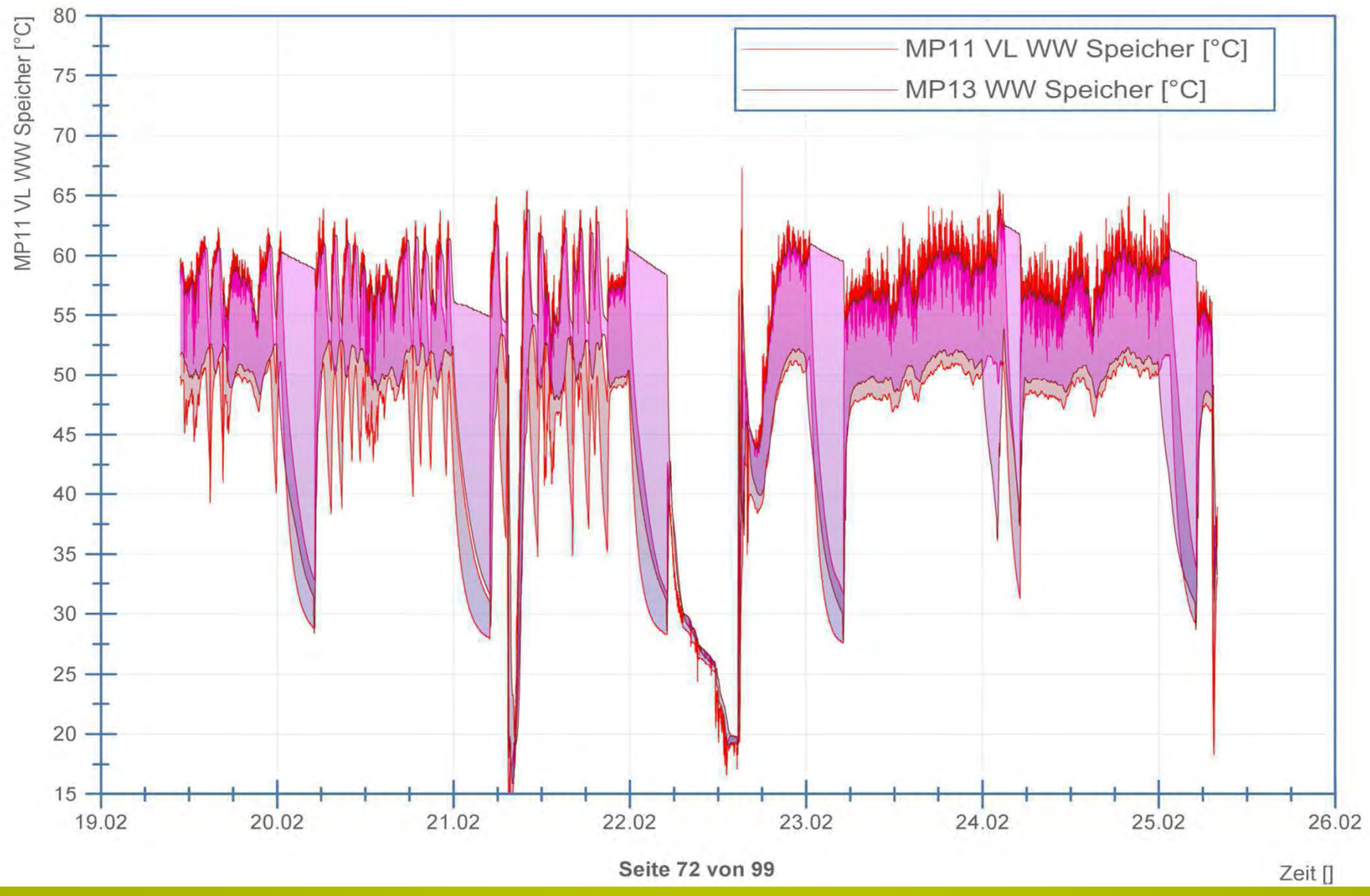

66.25-70
62.5-66.25
58.75-62.5
55-58.75
51.25-55
47.5-51.25
43.75-47.5
40-43.75
36.25-40
32.5-36.25
28.75-32.5
25-28.75
21.25-25
17.5-21.25
13.75-17.5
10-13.75
MP12 RL WW Speicher [°C]
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
MP11 VL WW Speicher [°C]
10
20
30
40
50
60
70
MP13 WW Speicher [°C]
10
20
30
40
50
60
70

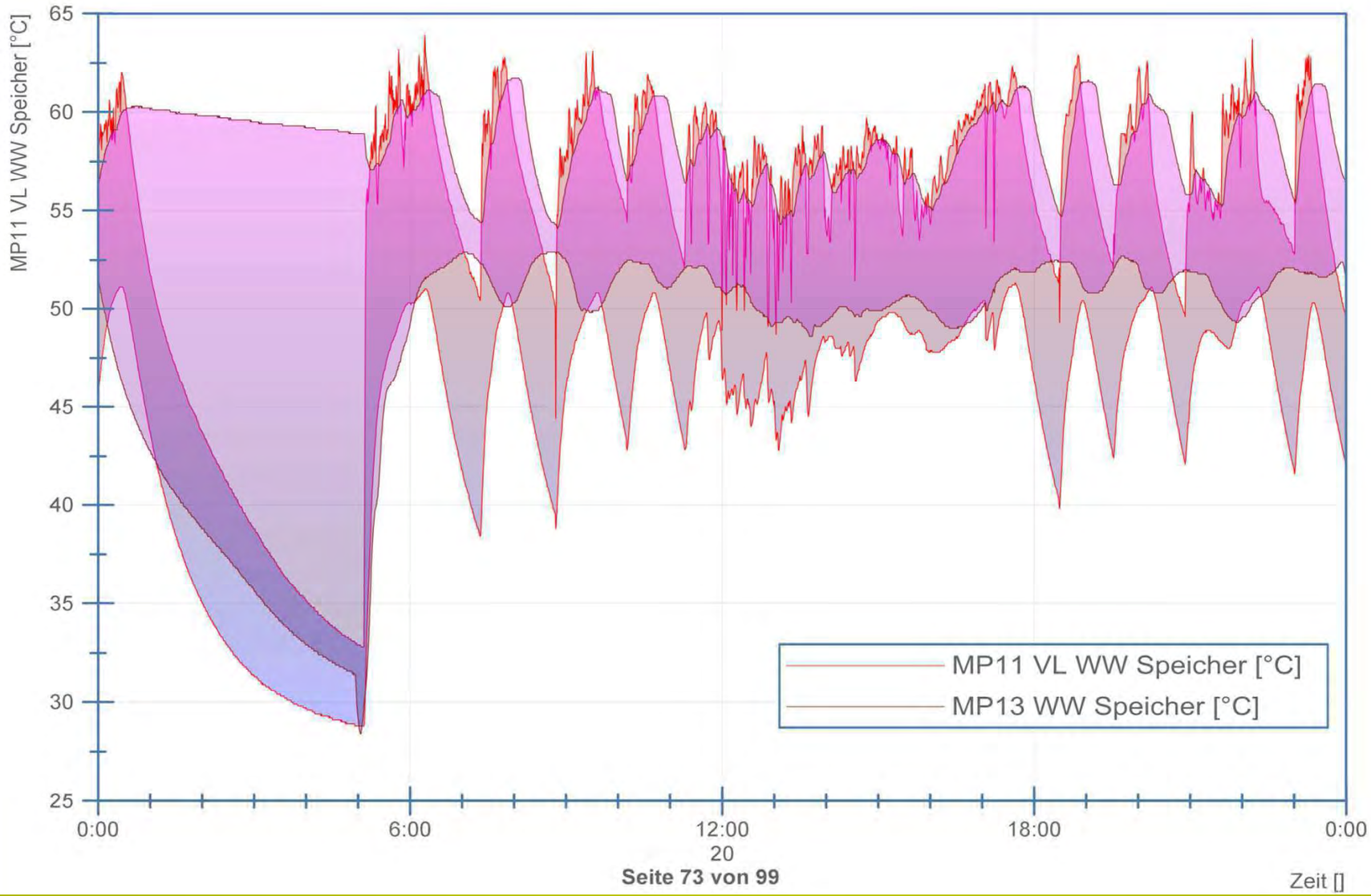

37.5-40
35-37.5
32.5-35
30-32.5
27.5-30
25-27.5
22.5-25
20-22.5
17.5-20
15-17.5
12.5-15
10-12.5
7.5-10
5-7.5
2.5-5
0-2.5
MP15 RL WW Zirk [°C]
55
50
45
40
35
30
25
20
15
MP14 VL WW [°C]
10
20
30
40
50
60
70
MP14-MP15 WW Spreizung [°C]
0
10
20
30
40

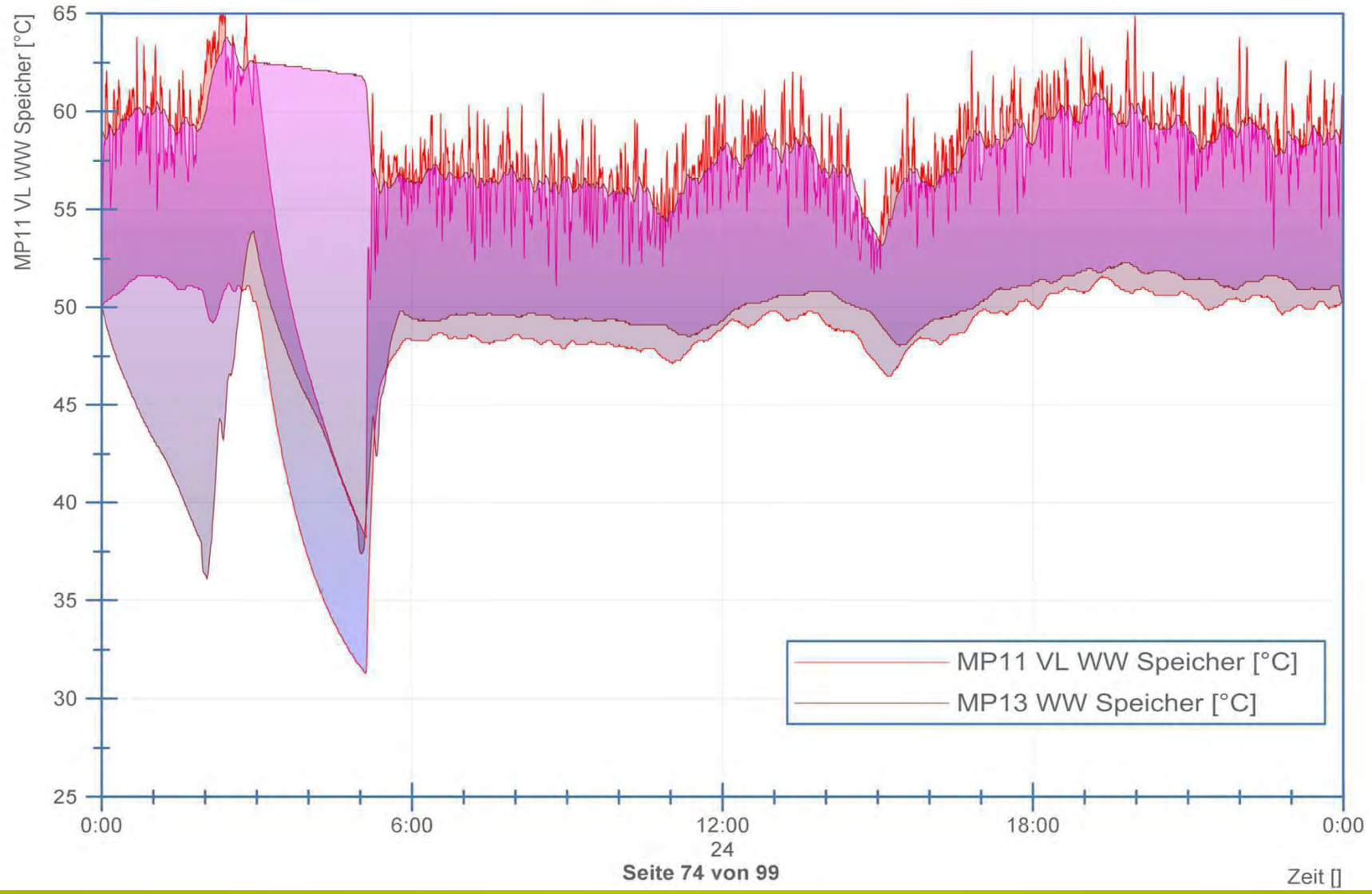

MP11 VL WW Speicher [°C]
70
60
50
40
30
20
10
-10
0
10
20
30
40
MP14-MP15 WW Spreizung [°C]
MP11 VL WW Speicher [°C]
MP15 RL WW Zirk [°C]

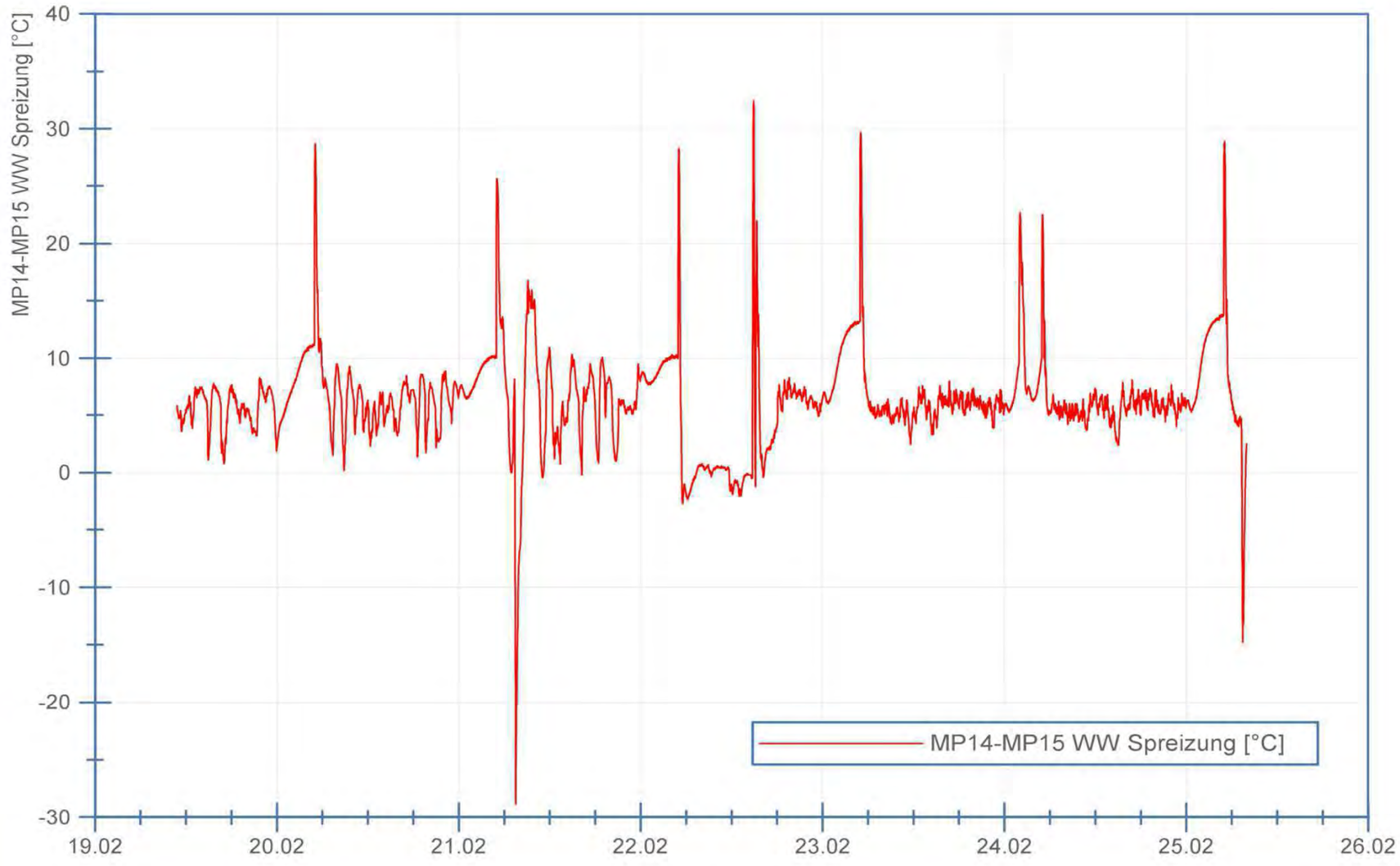


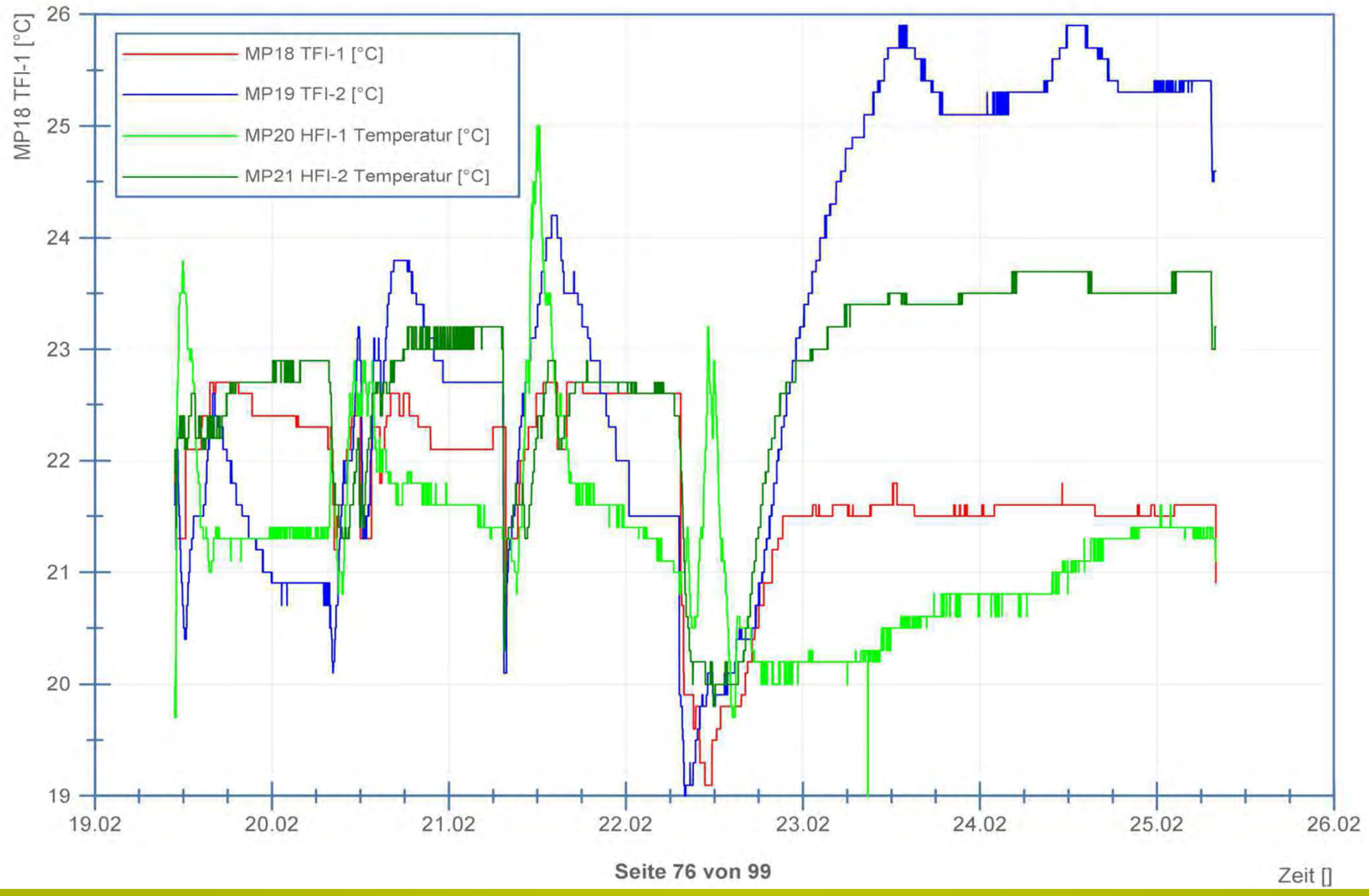
TWW Sp VL-Zirk 24h-Profil

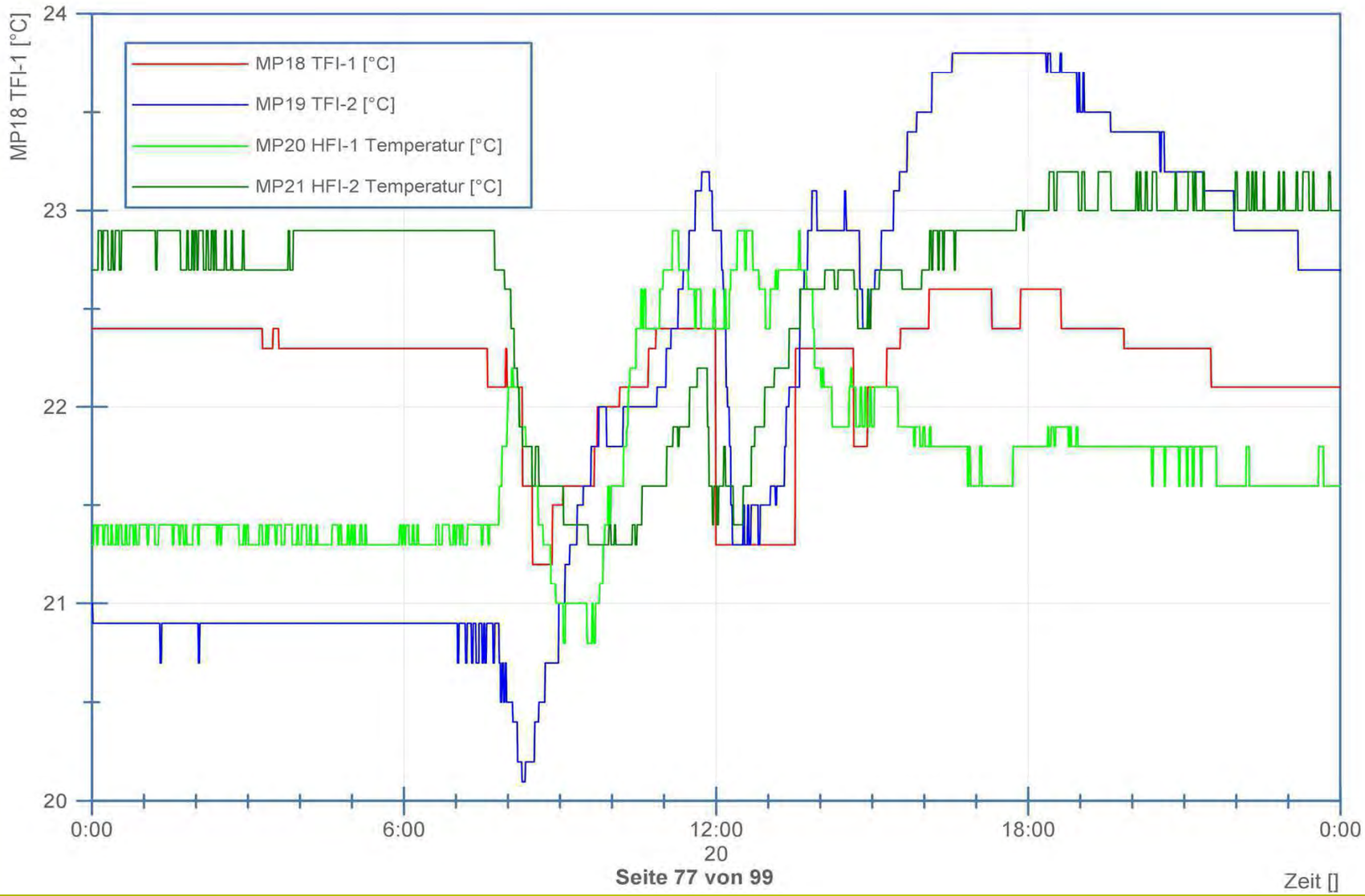

MP11 VL WW Speicher [°C]
MP13 WW Speicher [°C]
MP11 VL WW Speicher [°C]
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
19.02
20.02
21.02
22.02
23.02
24.02
25.02
26.02
Zeit []

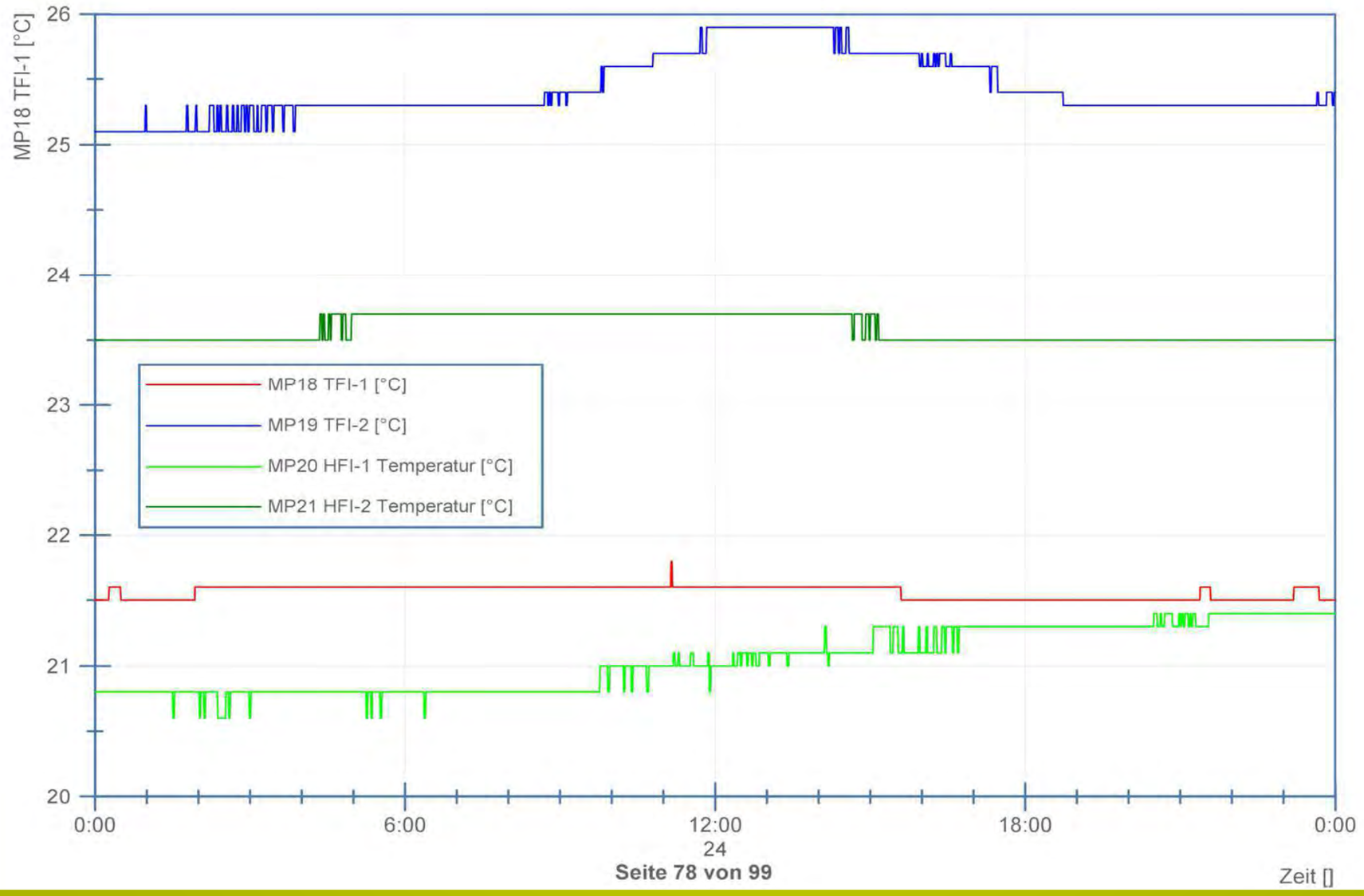

MP11 VL WW Speicher [°C]
65
60
55
50
45
40
35
30
25
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
20
Zeit []
MP11 VL WW Speicher [°C]
MP13 WW Speicher [°C]

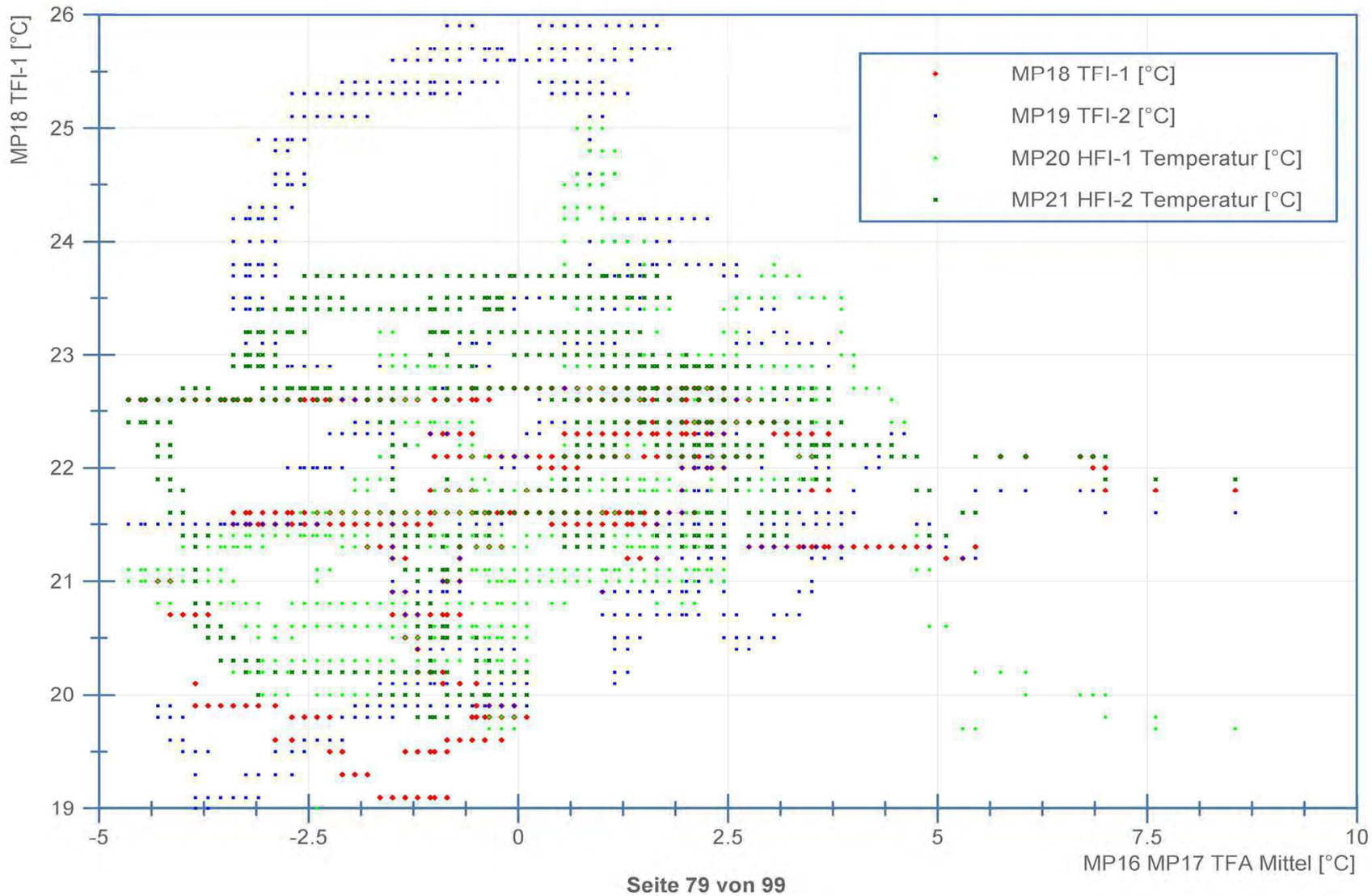

MP11 VL WW Speicher [°C]
65
60
55
50
45
40
35
30
25
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
24
Zeit []
MP11 VL WW Speicher [°C]
MP13 WW Speicher [°C]


MP14-MP15 WW Spreizung [°C]
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
19.02
20.02
21.02
22.02
23.02
24.02
25.02
26.02
MP14-MP15 WW Spreizung [°C]
Zeit []

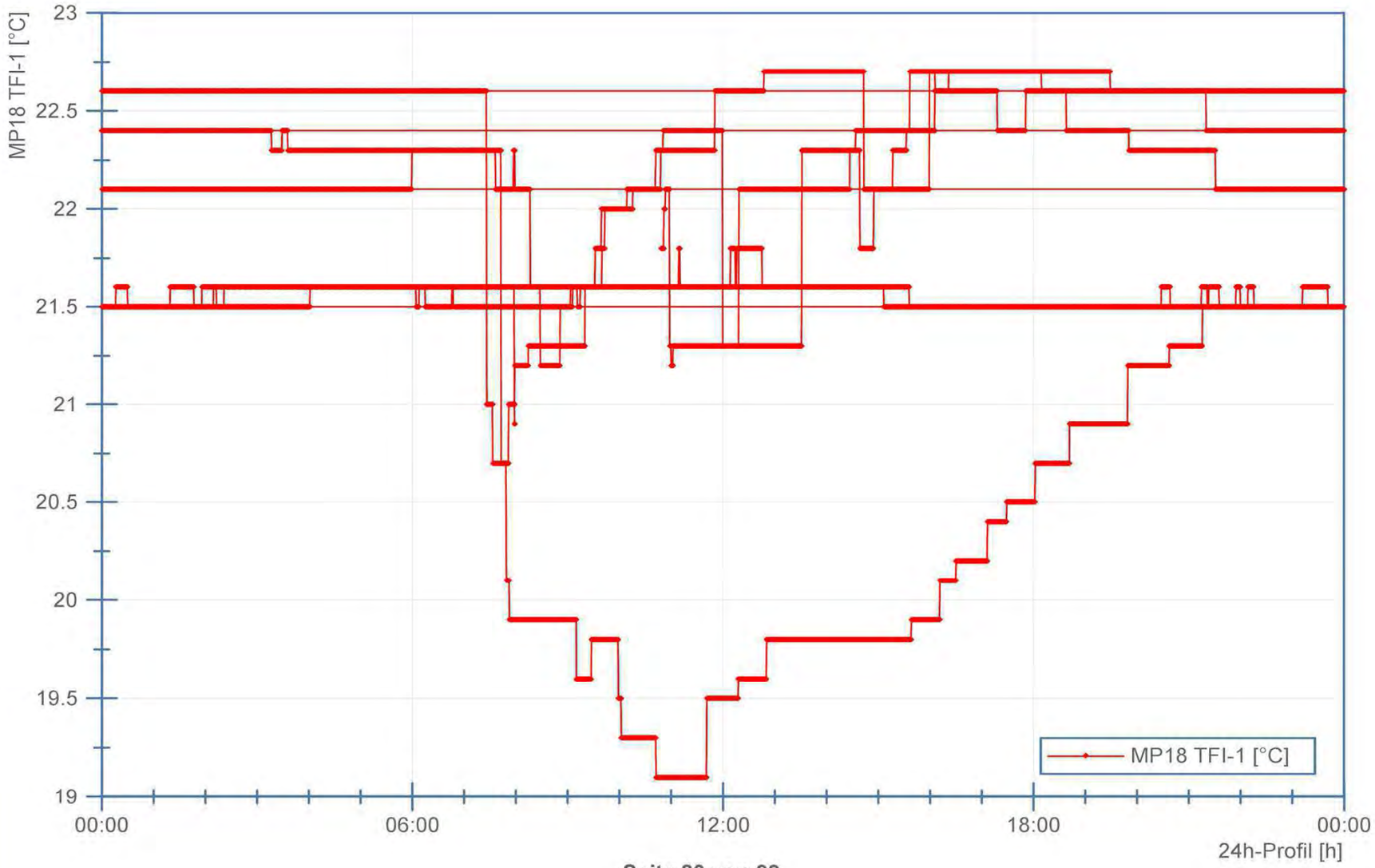

MP18 TFI-1 [°C]
MP19 TFI-2 [°C]
MP20 HFI-1 Temperatur [°C]
MP21 HFI-2 Temperatur [°C]
MP18 TFI-1 [°C]
26
25
24
23
22
21
20
19
19.02
20.02
21.02
22.02
23.02
24.02
25.02
26.02
Zeit []


MP18 TFI-1 [°C]
MP19 TFI-2 [°C]
MP20 HFI-1 Temperatur [°C]
MP21 HFI-2 Temperatur [°C]
MP18 TFI-1 [°C]
24
23
22
21
20
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
20
Zeit []

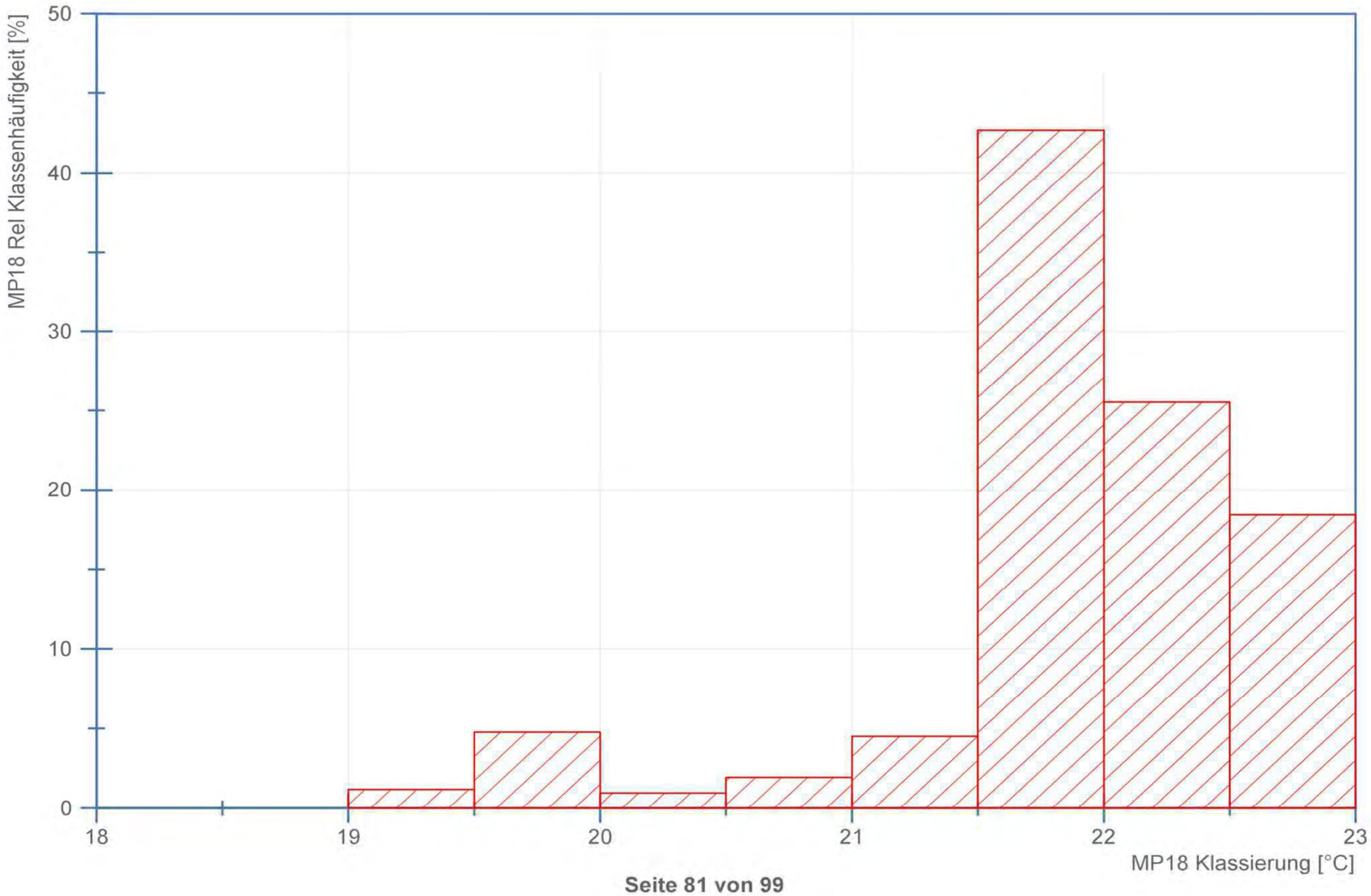

MP18 TFI-1 [°C]
26
25
24
23
22
21
20
MP18 TFI-1 [°C]
MP19 TFI-2 [°C]
MP20 HFI-1 Temperatur [°C]
MP21 HFI-2 Temperatur [°C]
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
24
Zeit []

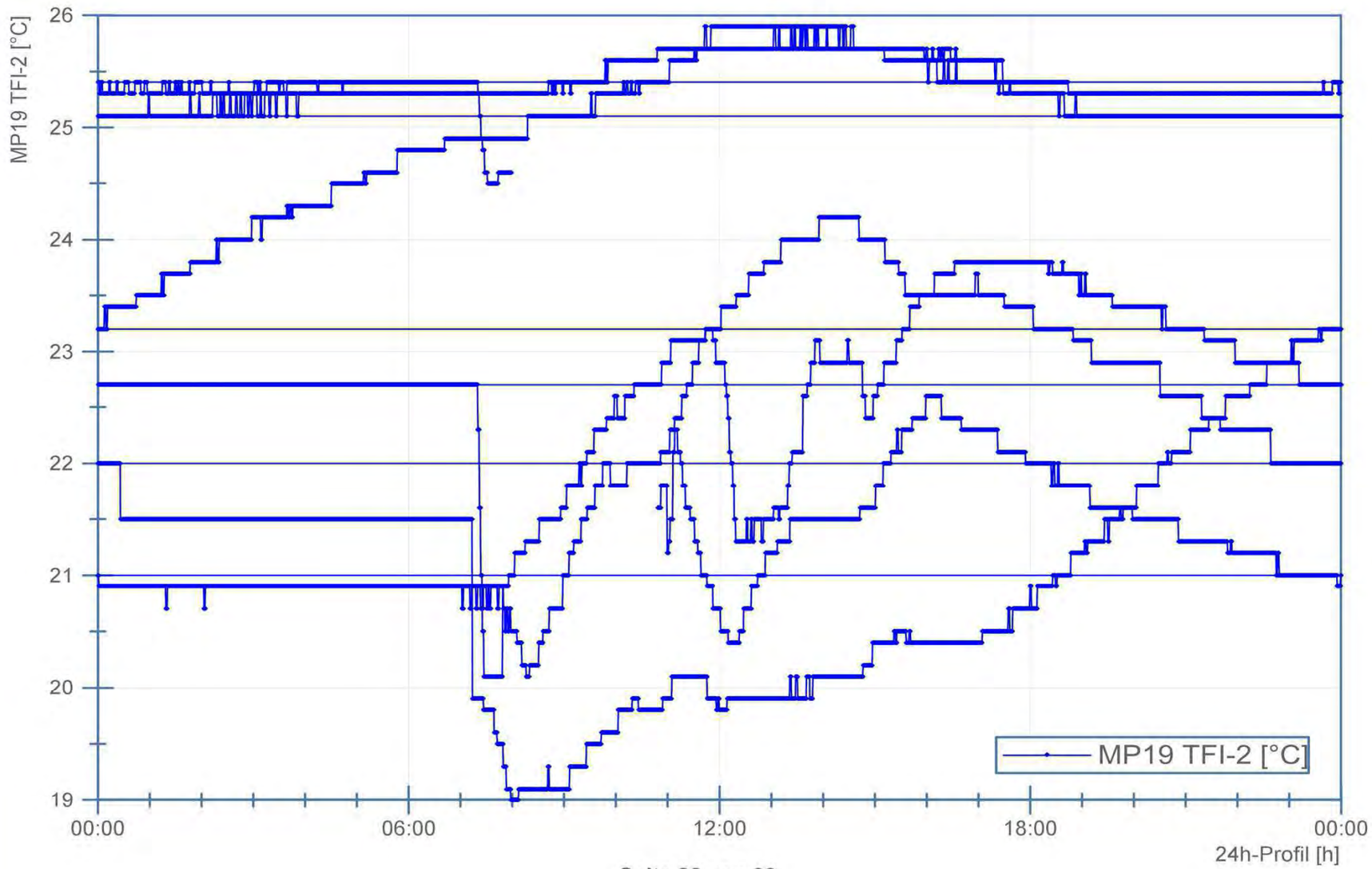


Seite 79 von 99

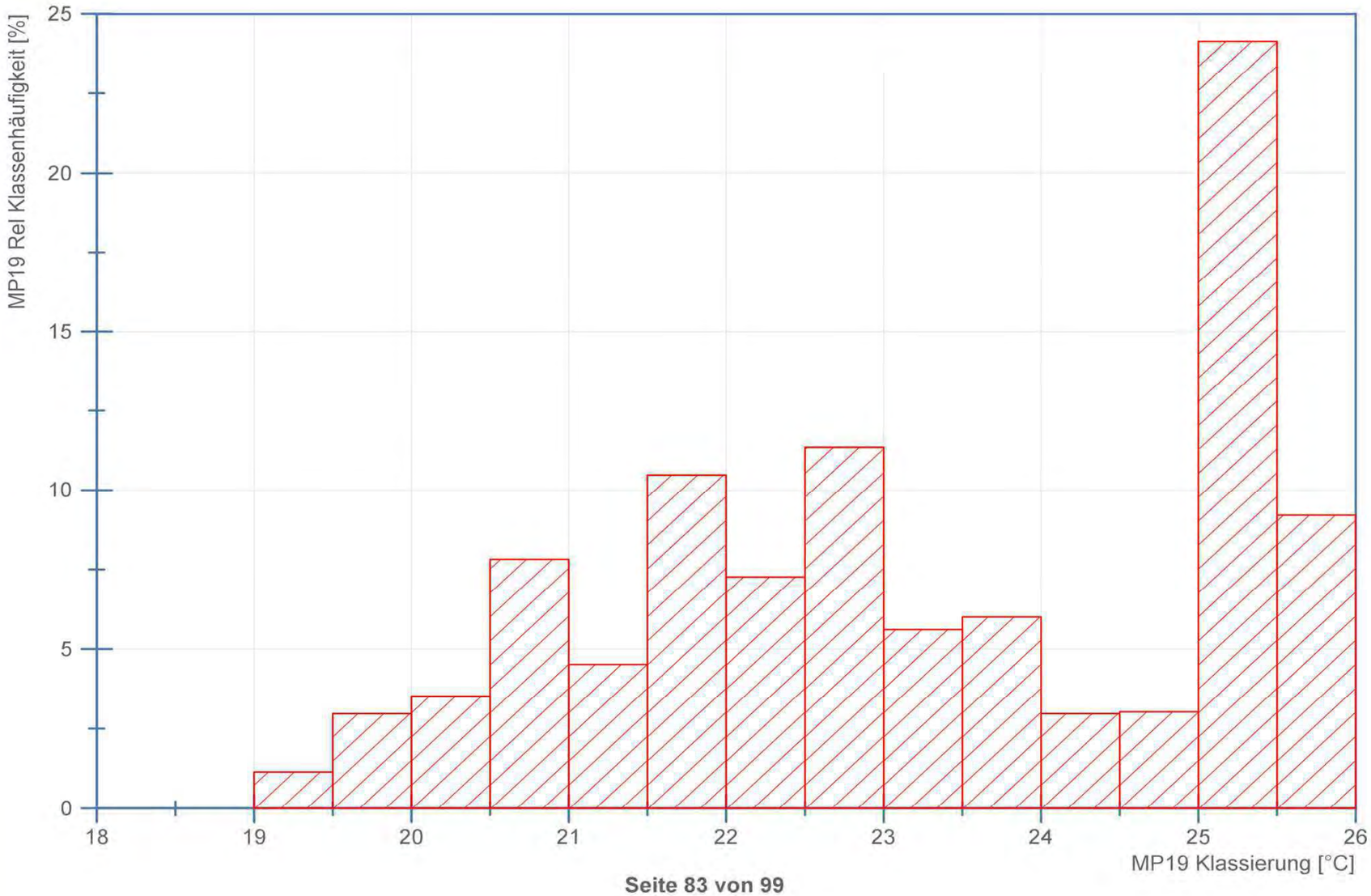


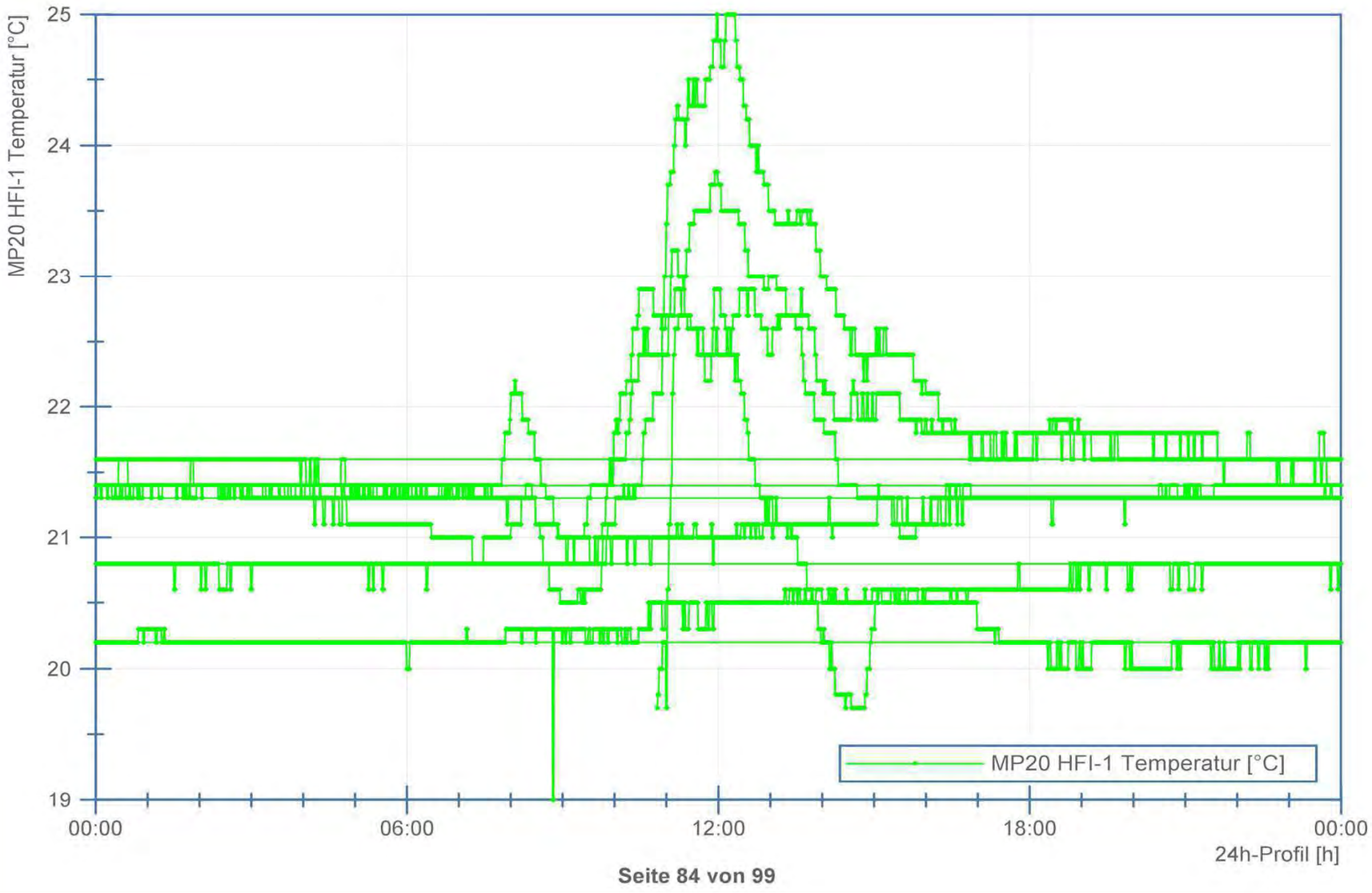
Seite 80 von 99

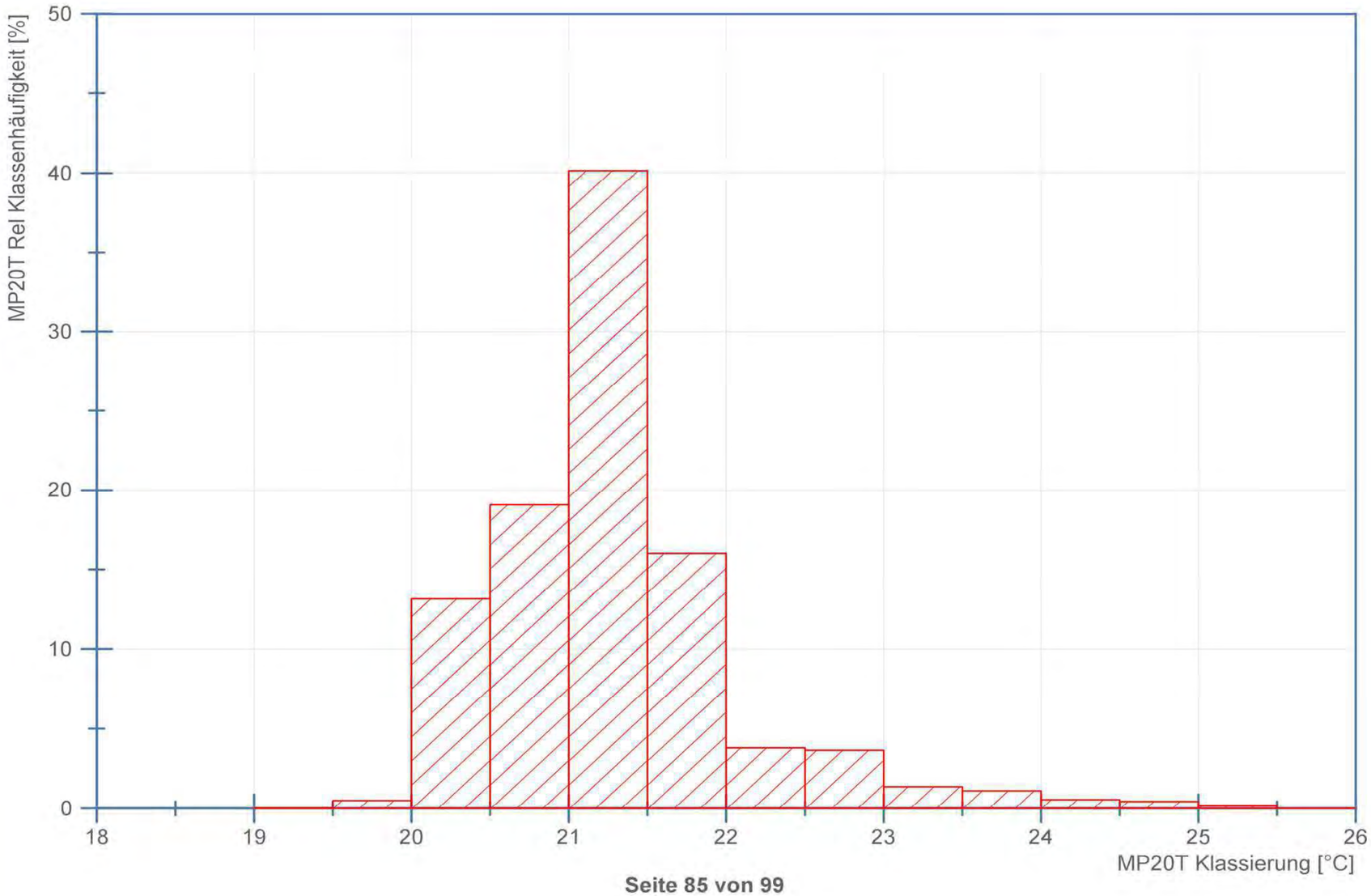

MP18 Rel Klassenhäufigkeit [%]
50
40
30
20
10
0
18
19
20
21
22
23
MP18 Klassierung [°C]

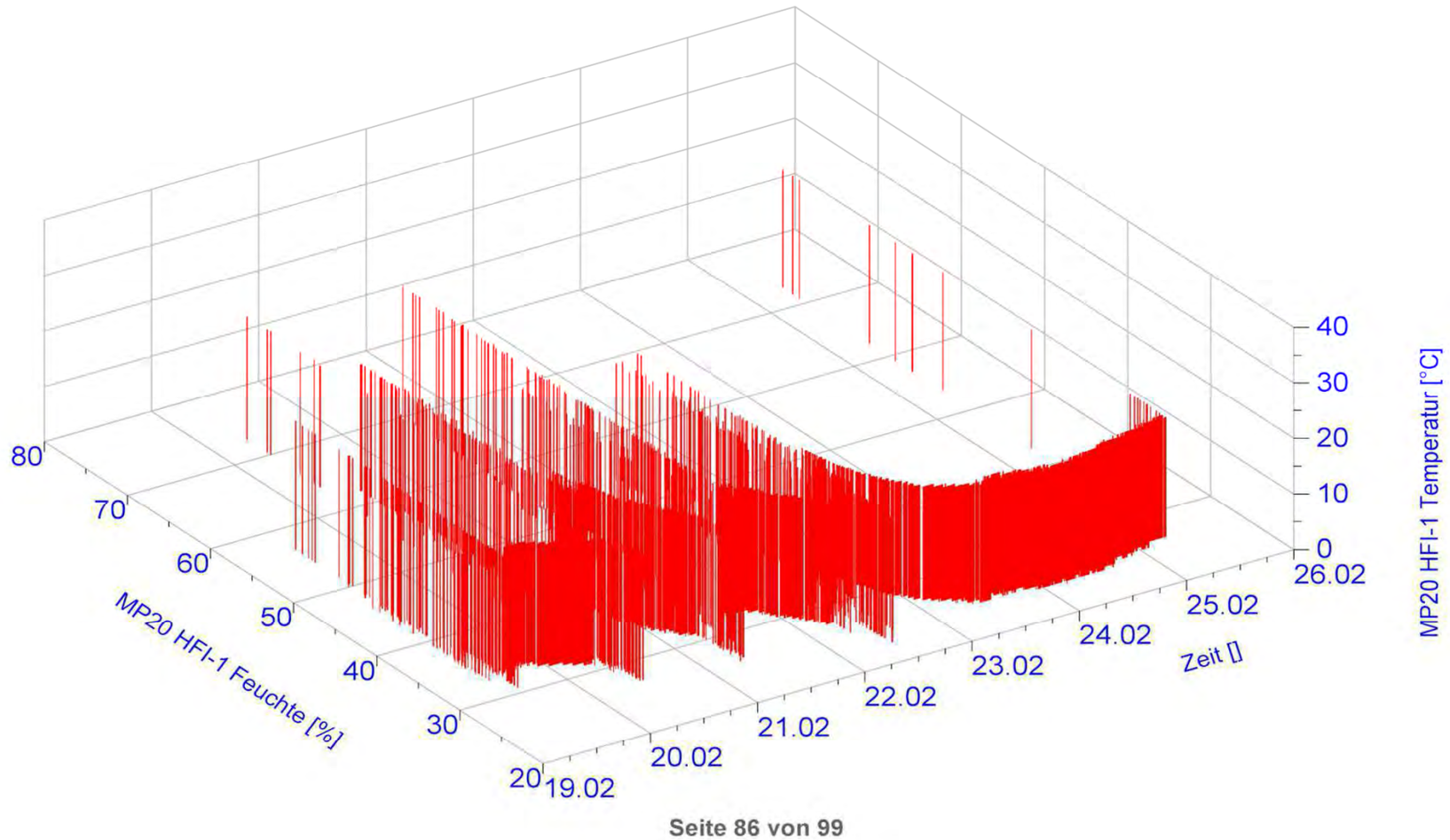


Seite 82 von 99

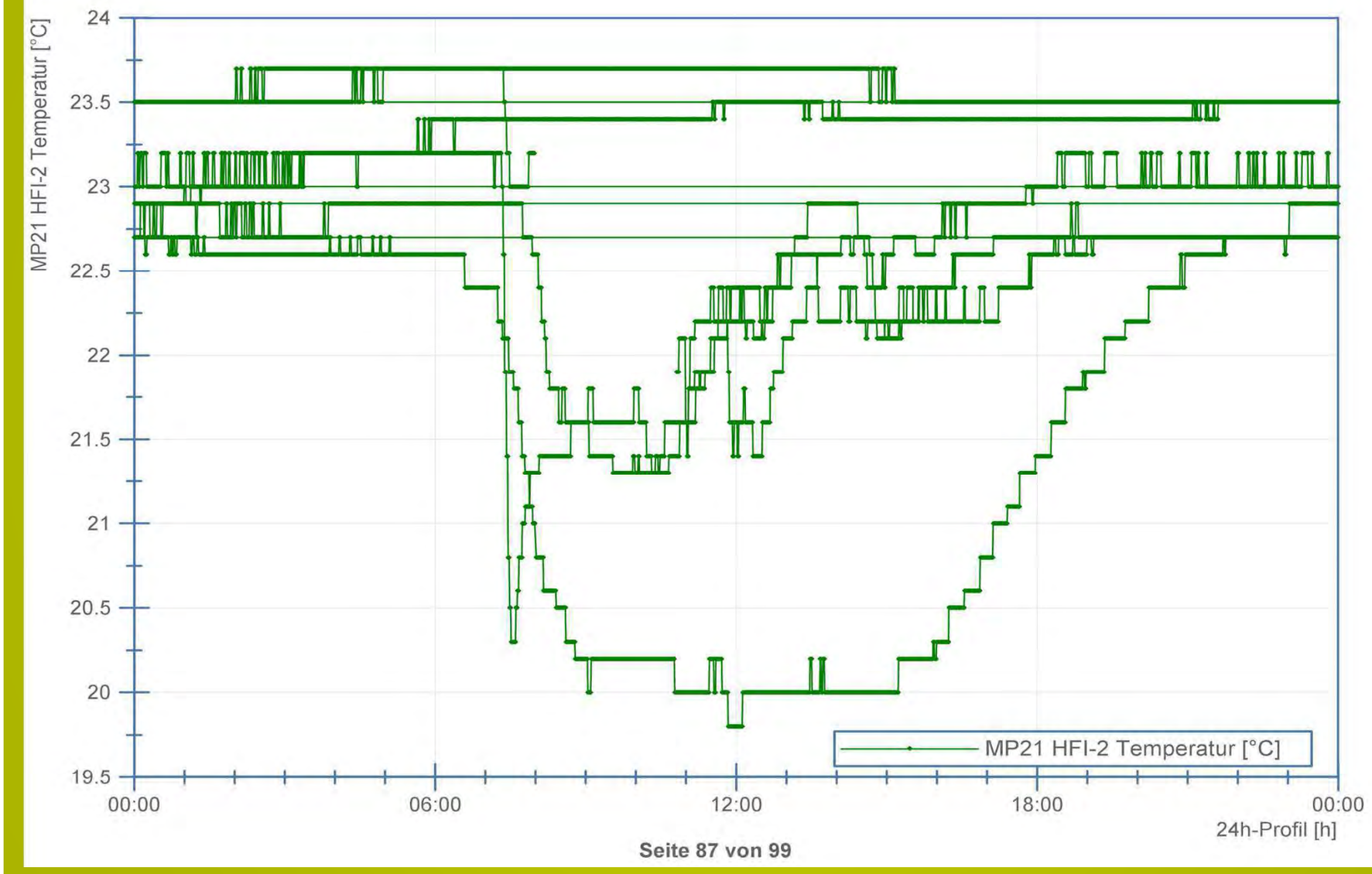

MP19 Rel Klassenhäufigkeit [%]
25
20
15
10
5
0
18
19
20
21
22
23
24
25
26
MP19 Klassierung [°C]

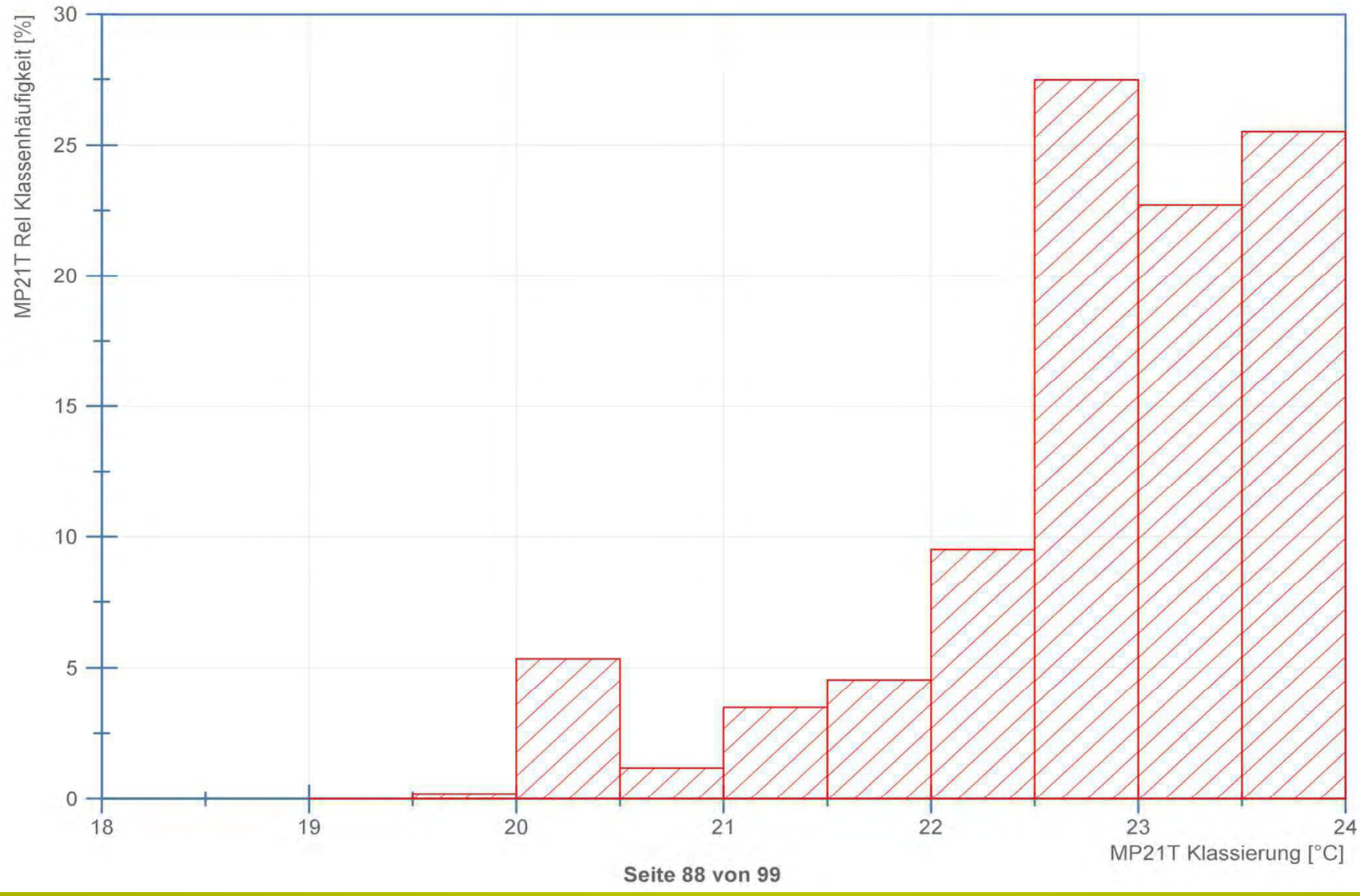

MP20 HFI-1 Temperatur [°C]
25
24
23
22
21
20
19
00:00
06:00
12:00
18:00
00:00
24h-Profil [h]
MP20 HFI-1 Temperatur [°C]

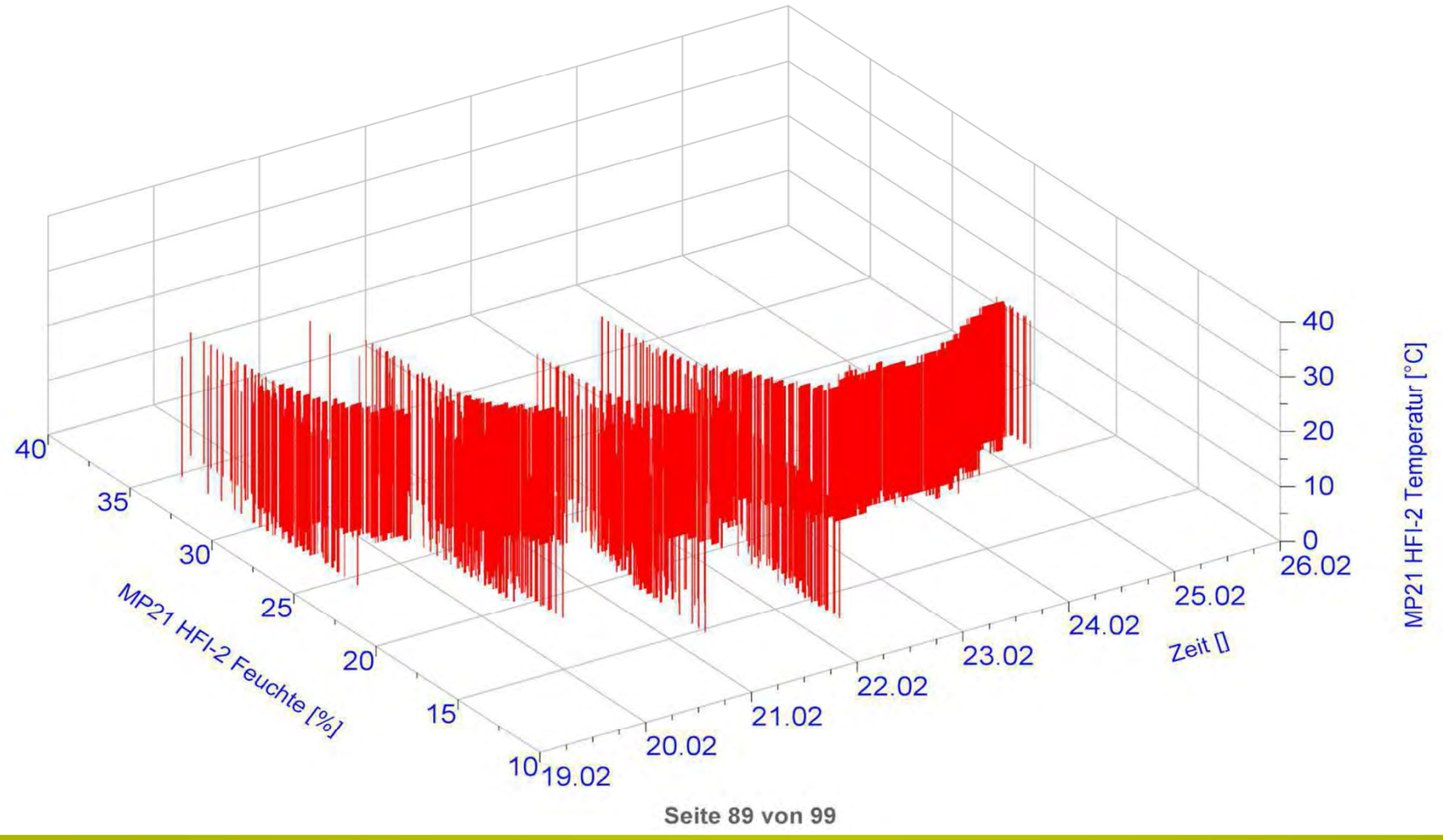

MP20T Rel Klassenhäufigkeit [%]
50
40
30
20
10
0
18
19
20
21
22
23
24
25
26
MP20T Klassierung [°C]

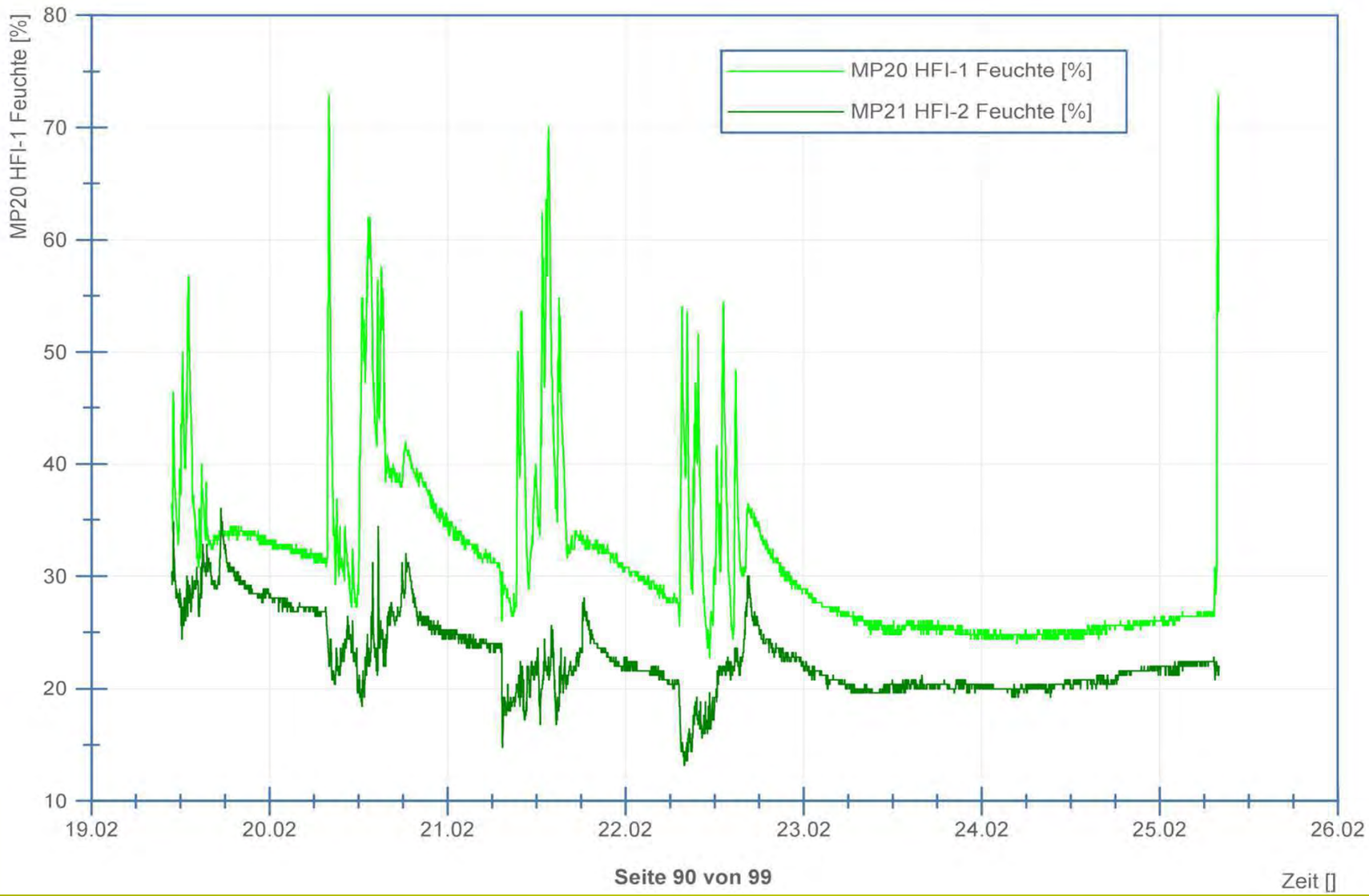


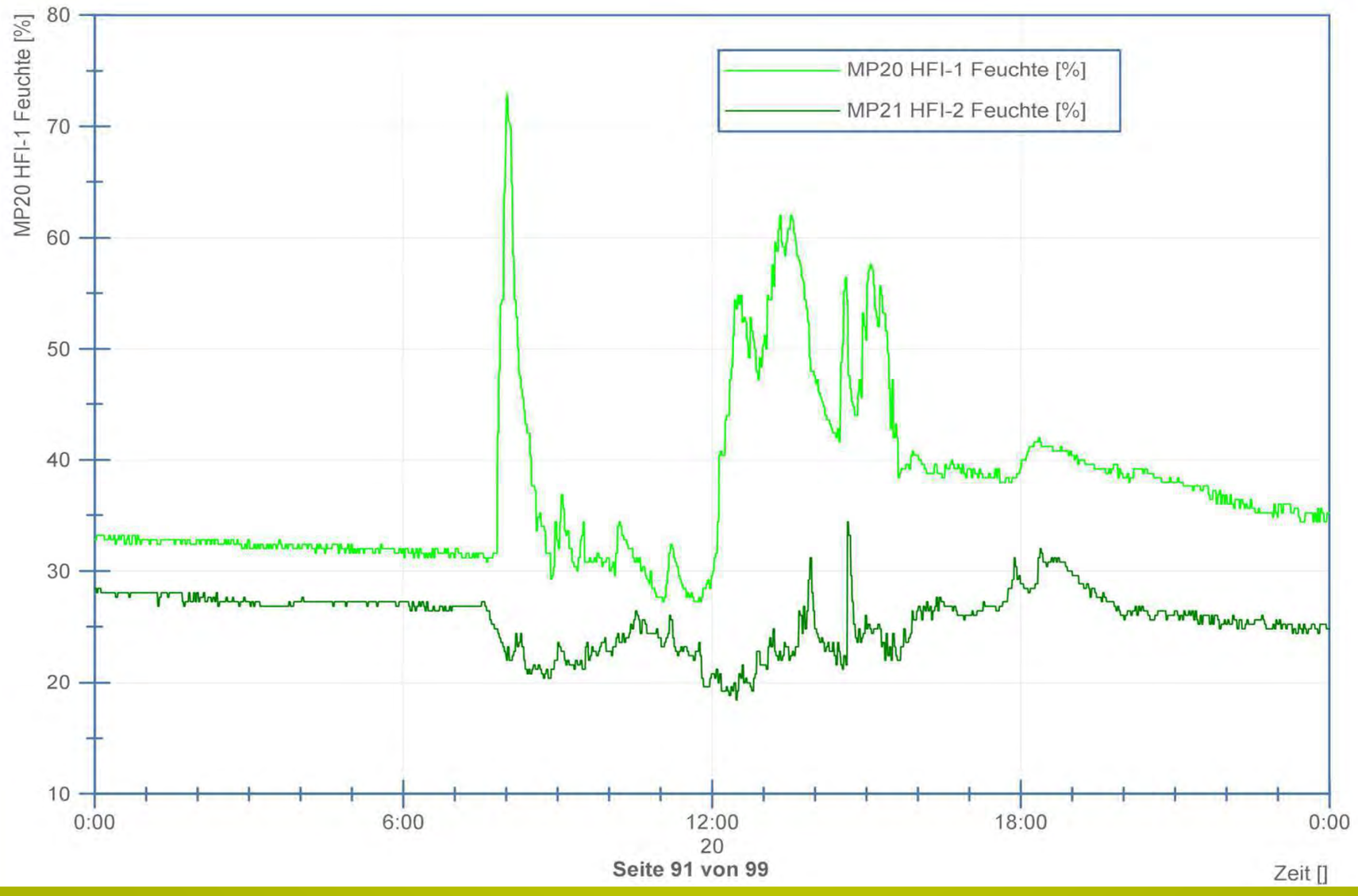
Seite 86 von 99

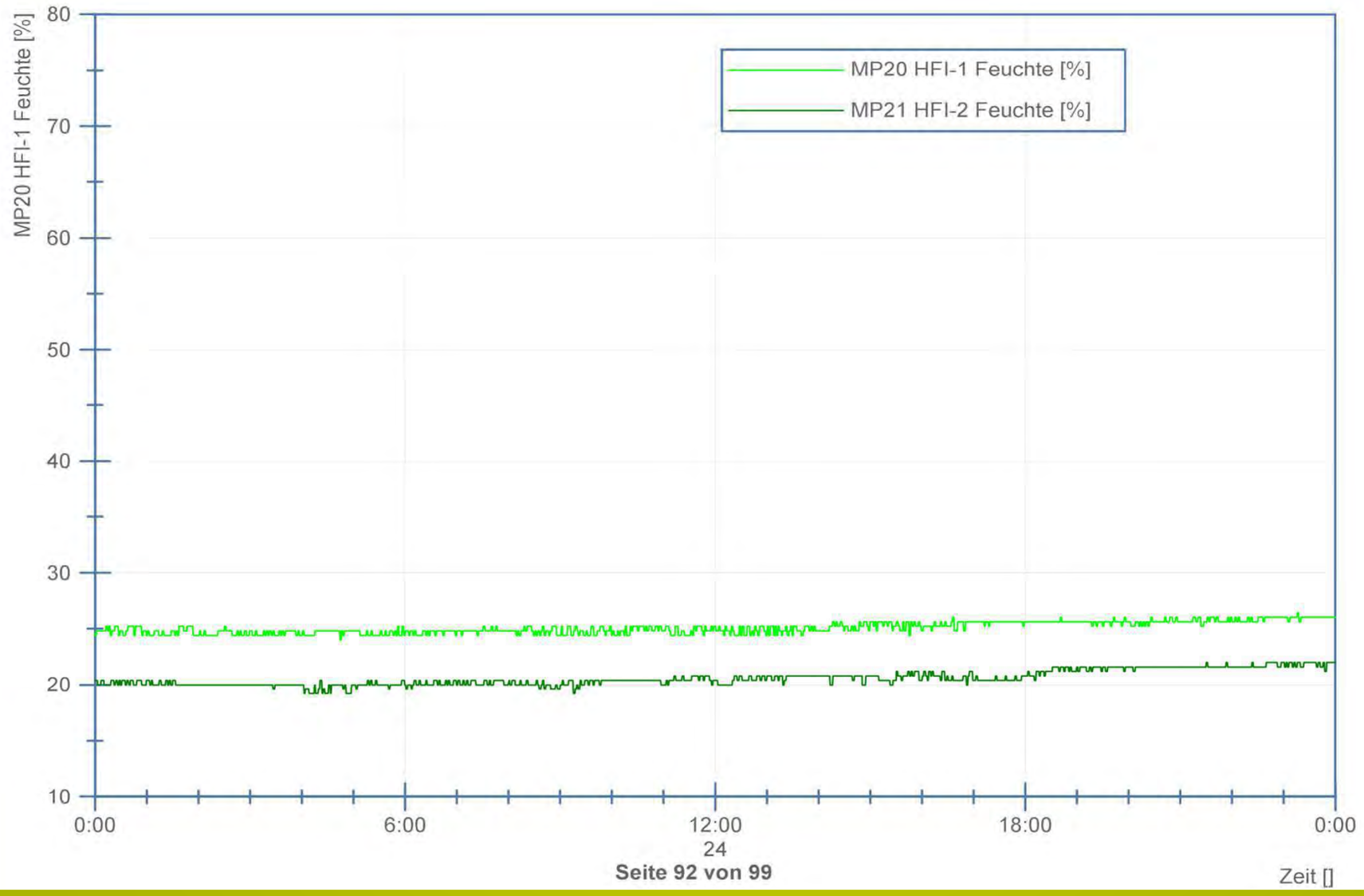

MP21 HFI-2 Temperatur [°C]
24
23.5
23
22.5
22
21.5
21
20.5
20
19.5
00:00
06:00
12:00
18:00
00:00
24h-Profil [h]
MP21 HFI-2 Temperatur [°C]

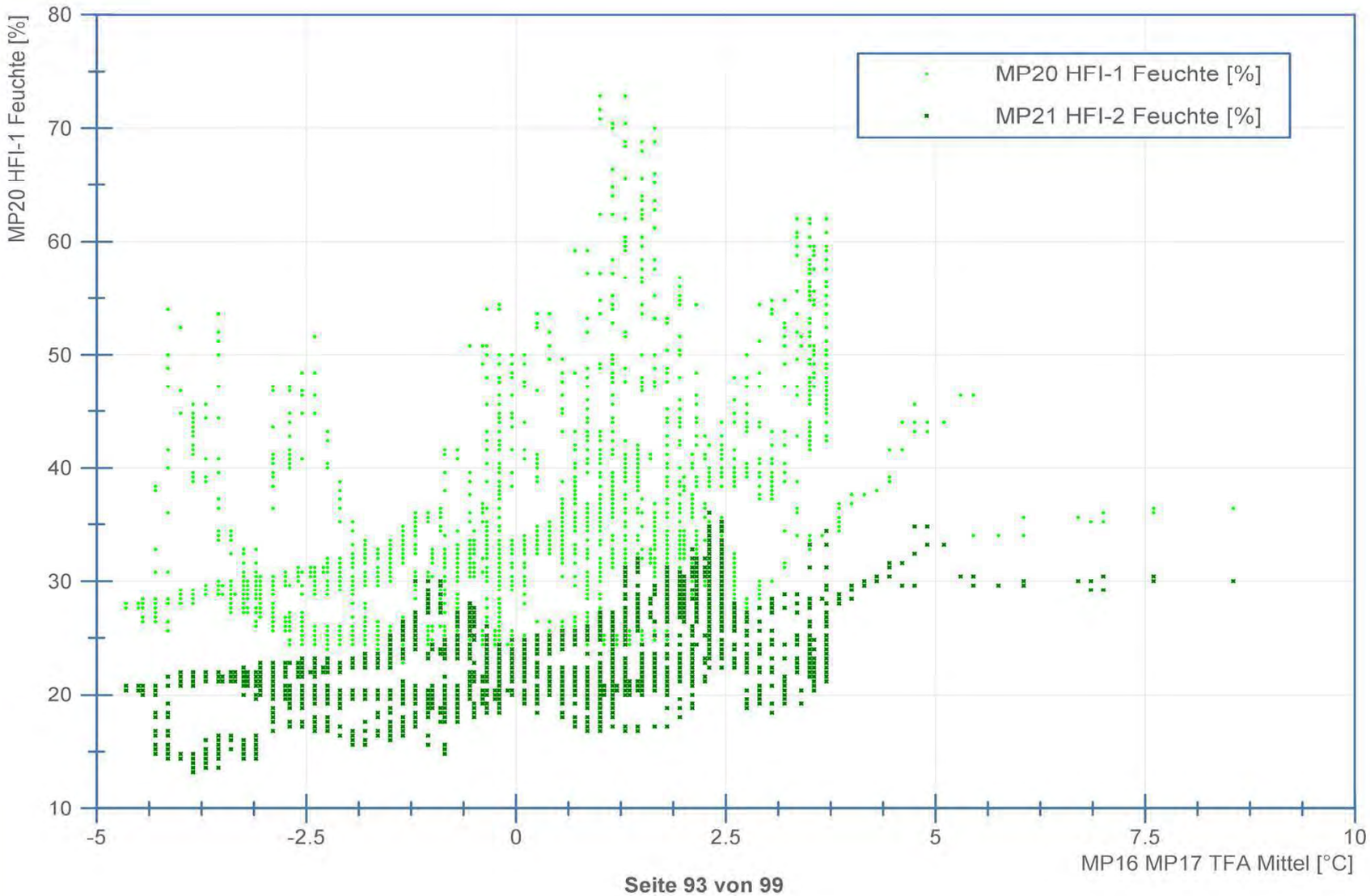

MP21T Rel Klassenhäufigkeit [%]
30
25
20
15
10
5
0
18
19
20
21
22
23
24
MP21T Klassierung [°C]

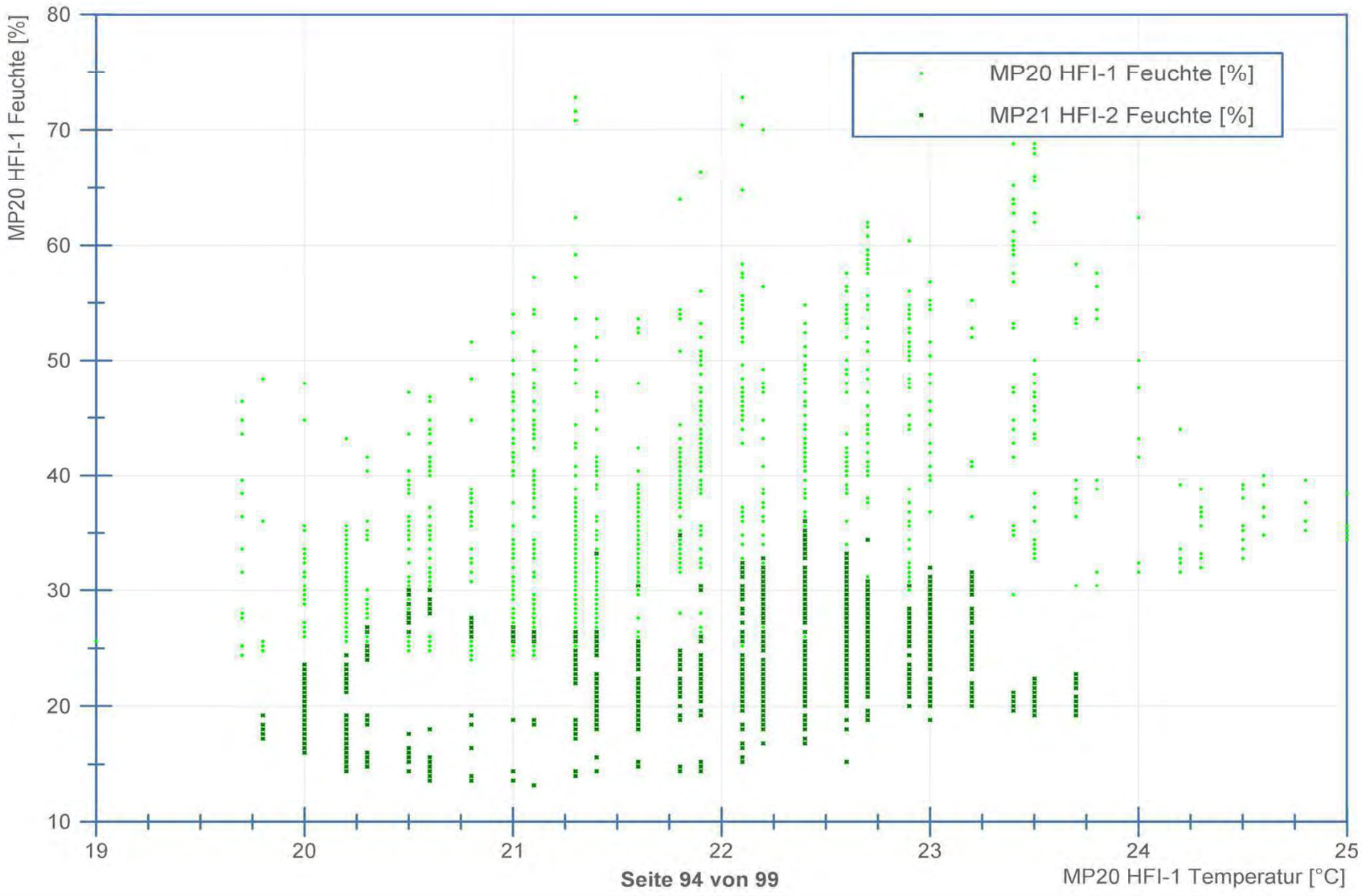

40
35
30
25
20
15
10
MP21 HFI-2 Feuchte [%]
19.02
20.02
21.02
22.02
23.02
24.02
25.02
26.02
Zeit []
40
30
20
10
0
MP21 HFI-2 Temperatur [°C]

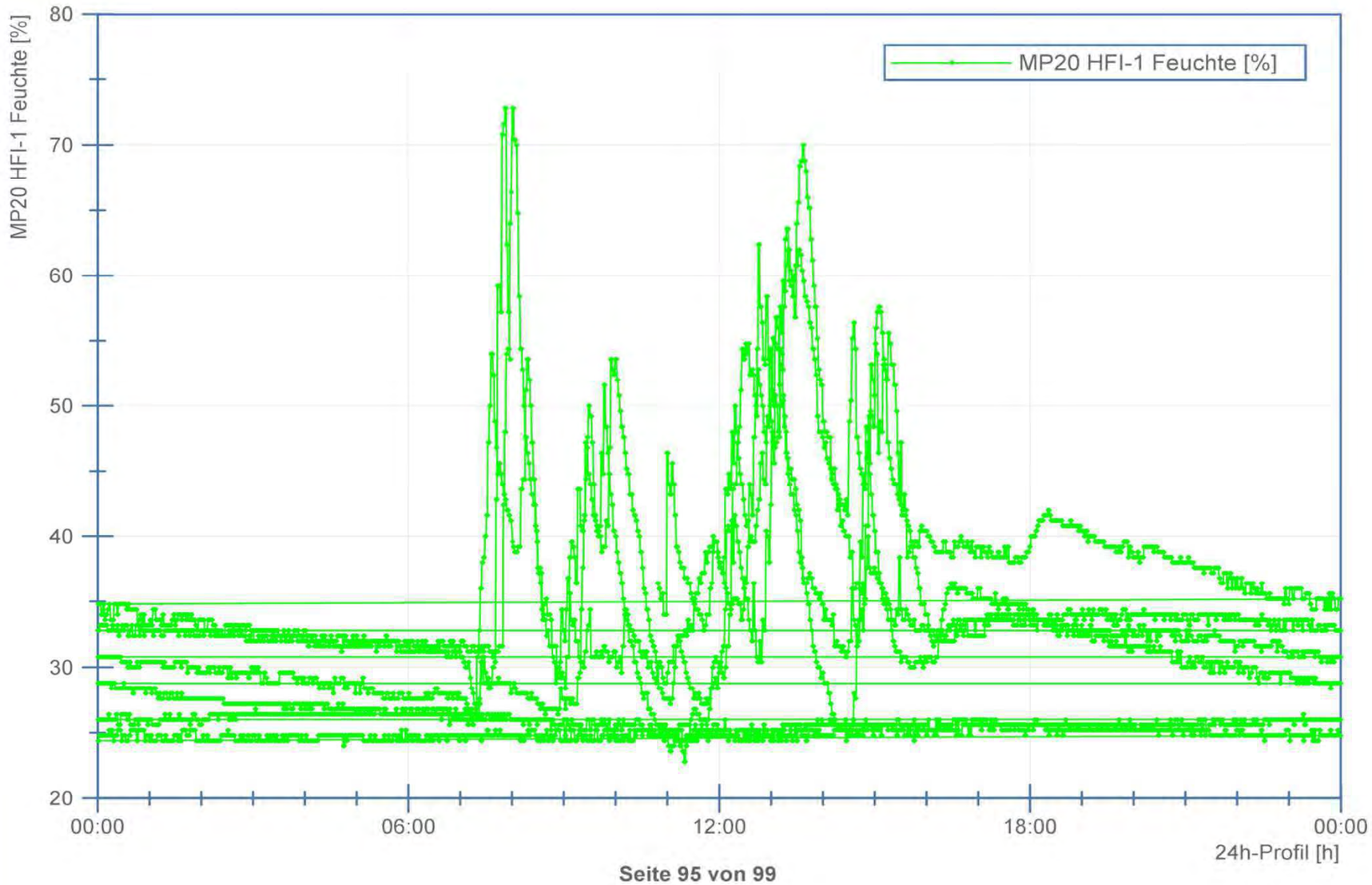

MP20 HFI-1 Feuchte [%]
MP21 HFI-2 Feuchte [%]
MP20 HFI-1 Feuchte [%]
80
70
60
50
40
30
20
10
19.02
20.02
21.02
22.02
23.02
24.02
25.02
26.02
Zeit []


MP20 HFI-1 Feuchte [%]
MP21 HFI-2 Feuchte [%]
MP20 HFI-1 Feuchte [%]
80
70
60
50
40
30
20
10
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
20
Zeit []

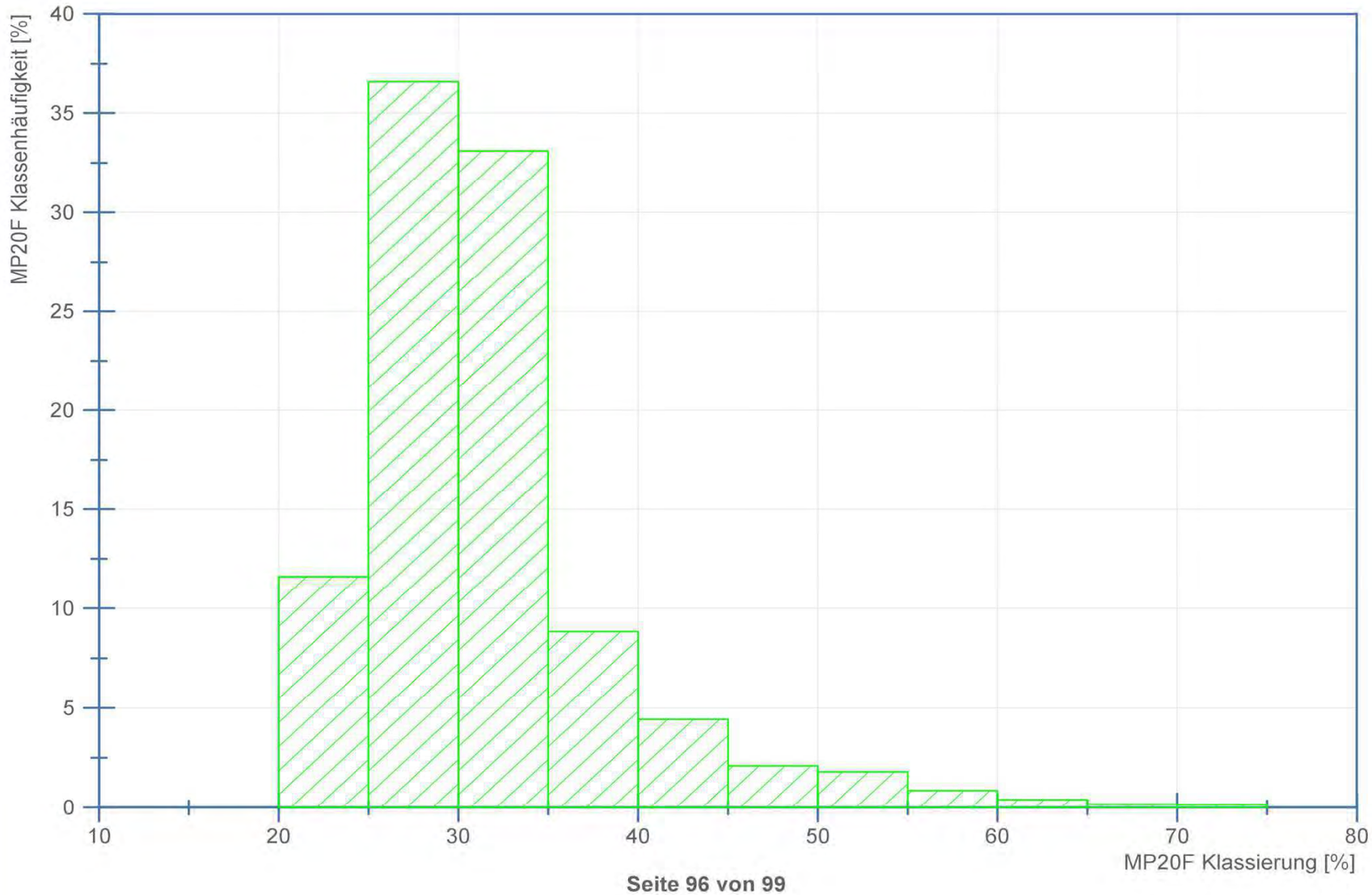

MP20 HFI-1 Feuchte [%]
MP21 HFI-2 Feuchte [%]
MP20 HFI-1 Feuchte [%]
80
70
60
50
40
30
20
10
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
24
Seite 92 von 99
Zeit []

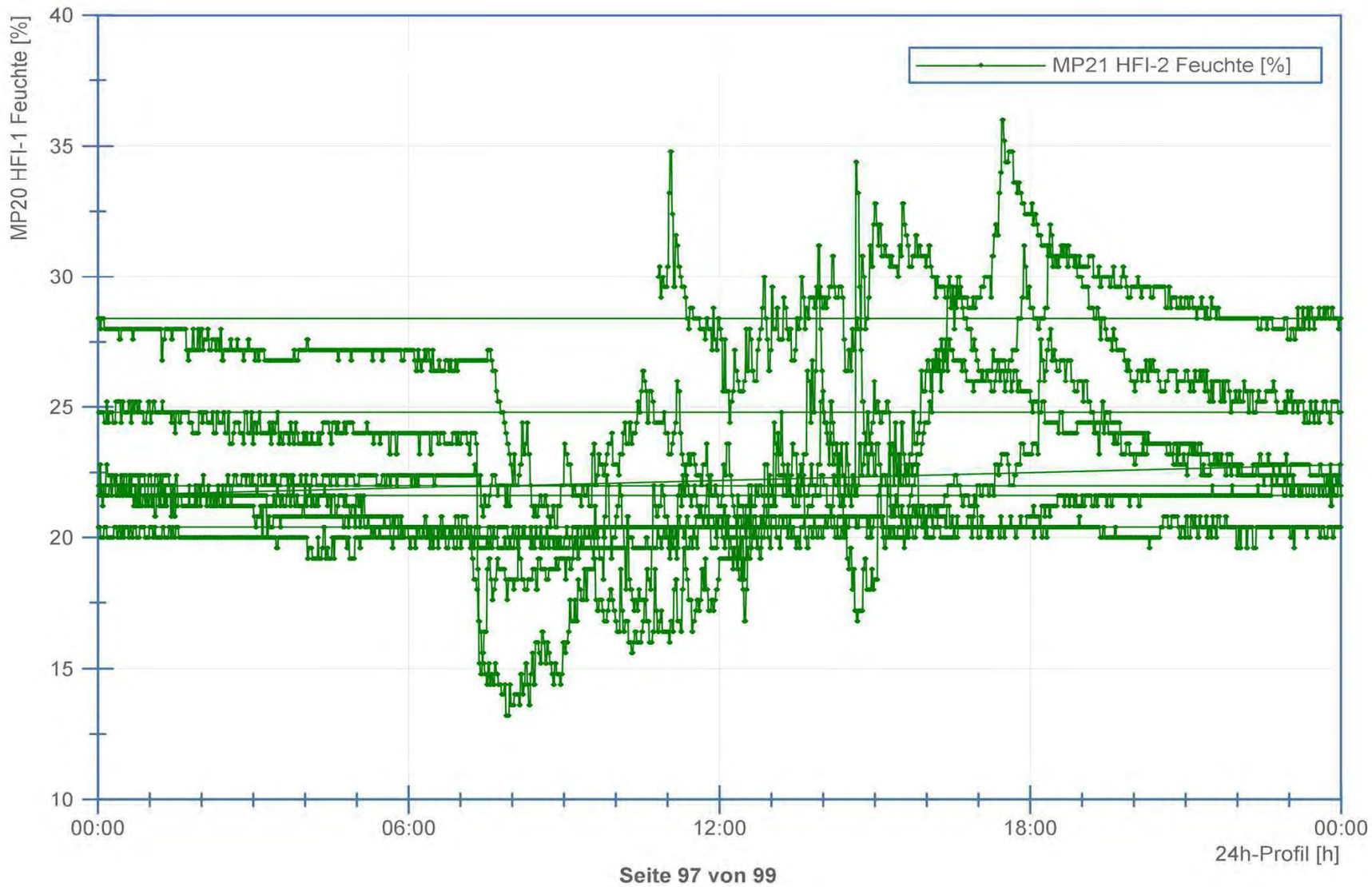

MP20 HFI-1 Feuchte [%]
MP21 HFI-2 Feuchte [%]
MP20 HFI-1 Feuchte [%]
80
70
60
50
40
30
20
10
-5
-2.5
0
2.5
5
7.5
10
MP16 MP17 TFA Mittel [°C]

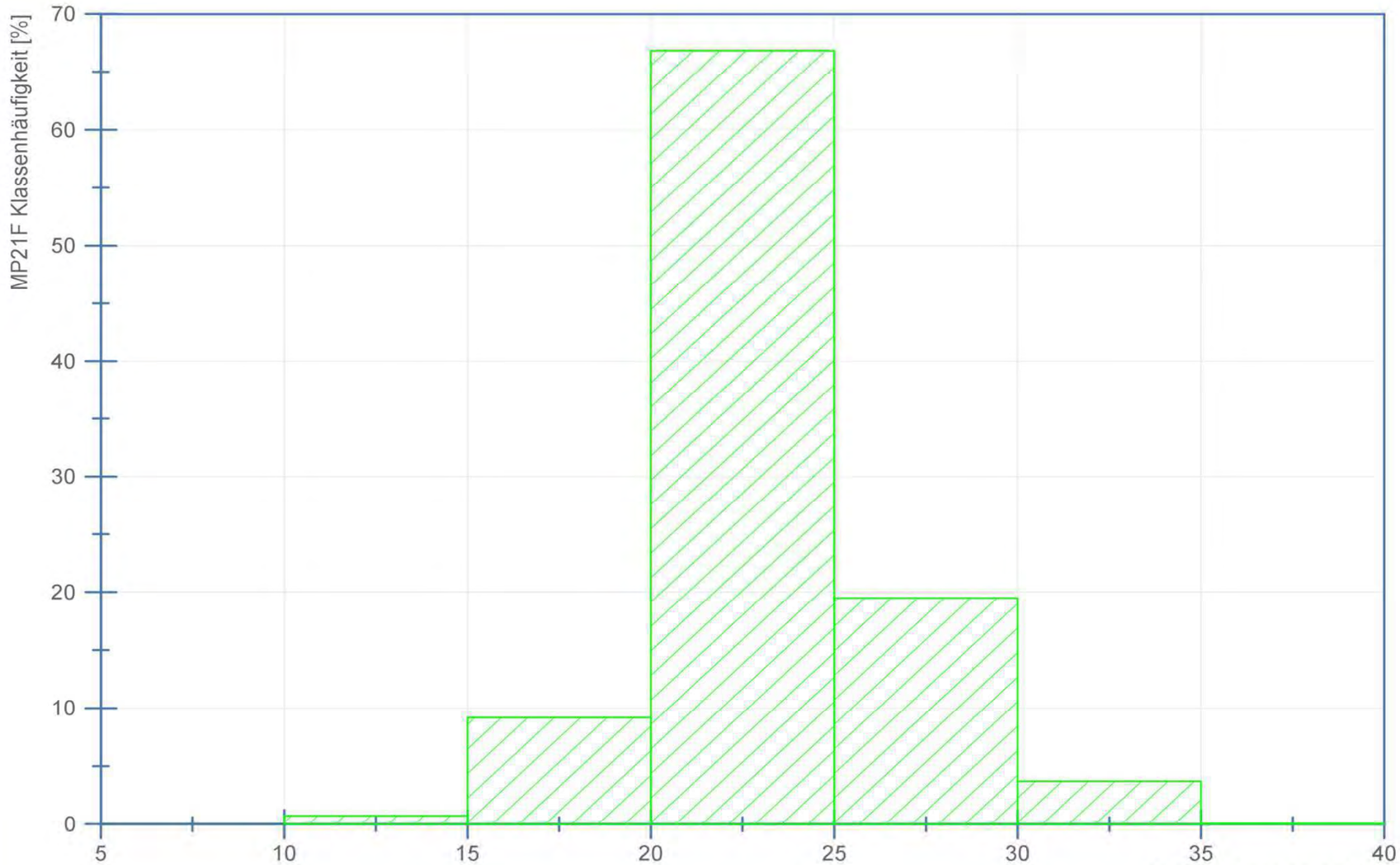

MP20 HFI-1 Feuchte [%]
MP21 HFI-2 Feuchte [%]
MP20 HFI-1 Feuchte [%]
80
70
60
50
40
30
20
10
19
20
21
22
23
24
25
MP20 HFI-1 Temperatur [°C]

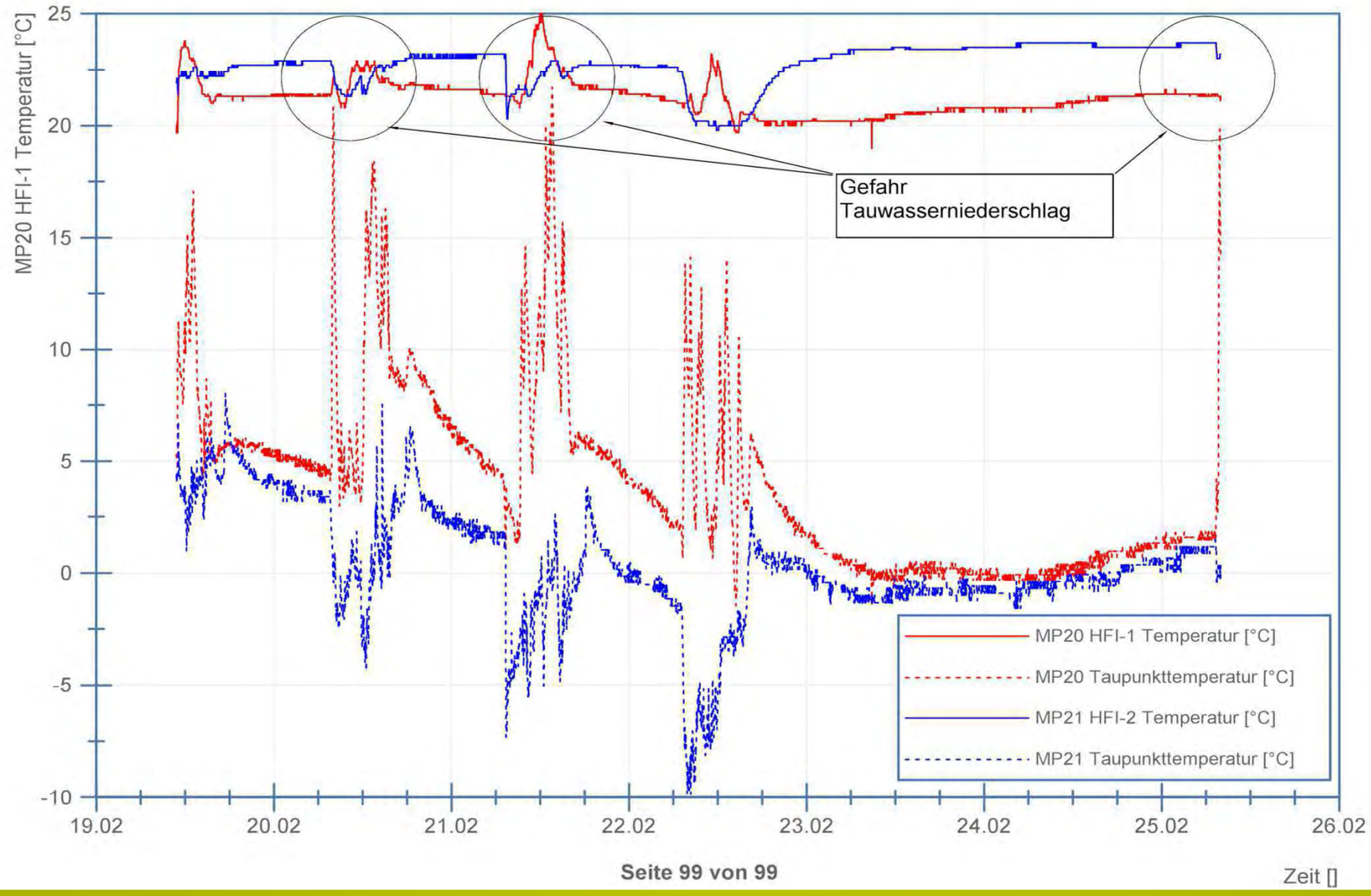


Seite 95 von 99


MP20F Klassenhäufigkeit [%]
40
35
30
25
20
15
10
5
0
10
20
30
40
50
60
70
80
MP20F Klassierung [%]


MP20 HFI-1 Feuchte [%]
40
35
30
25
20
15
10
MP21 HFI-2 Feuchte [%]
00:00
06:00
12:00
18:00
00:00
24h-Profil [h]


MP21F Klassenhäufigkeit [%]
70
60
50
40
30
20
10
0
5
10
15
20
25
30
35
40
MP21F Klassierung [%]


MP20 HFI-1 Temperatur [°C]
25
20
15
10
5
0
-5
-10
19.02
20.02
21.02
22.02
23.02
24.02
25.02
26.02
Gefahr
Tauwasserniederschlag
MP20 HFI-1 Temperatur [°C]
MP20 Taupunkttemperatur [°C]
MP21 HFI-2 Temperatur [°C]
MP21 Taupunkttemperatur [°C]
Seite 99 von 99
Zeit []

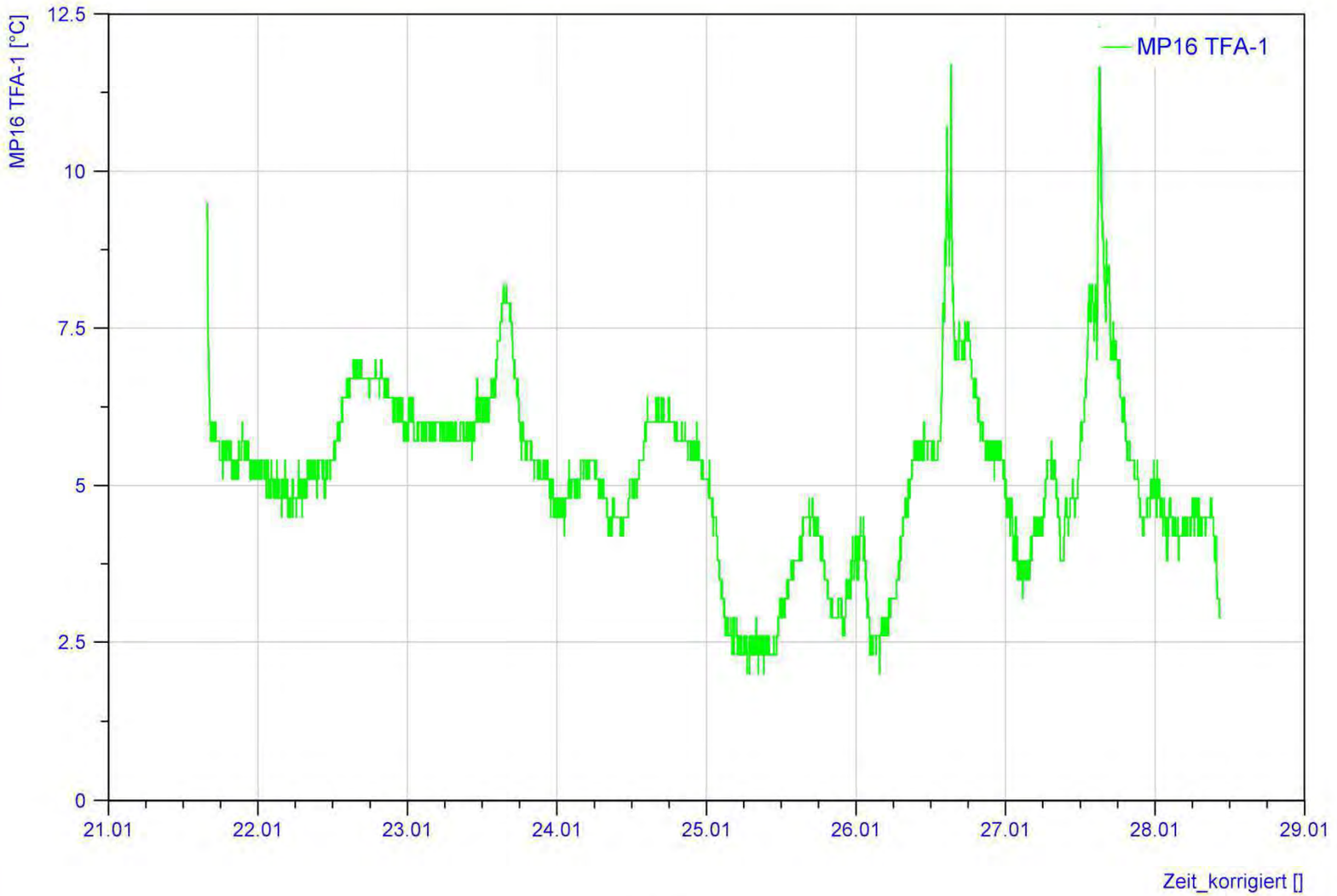
Anlage zu Pilotprojekt Kap. 4.2.6

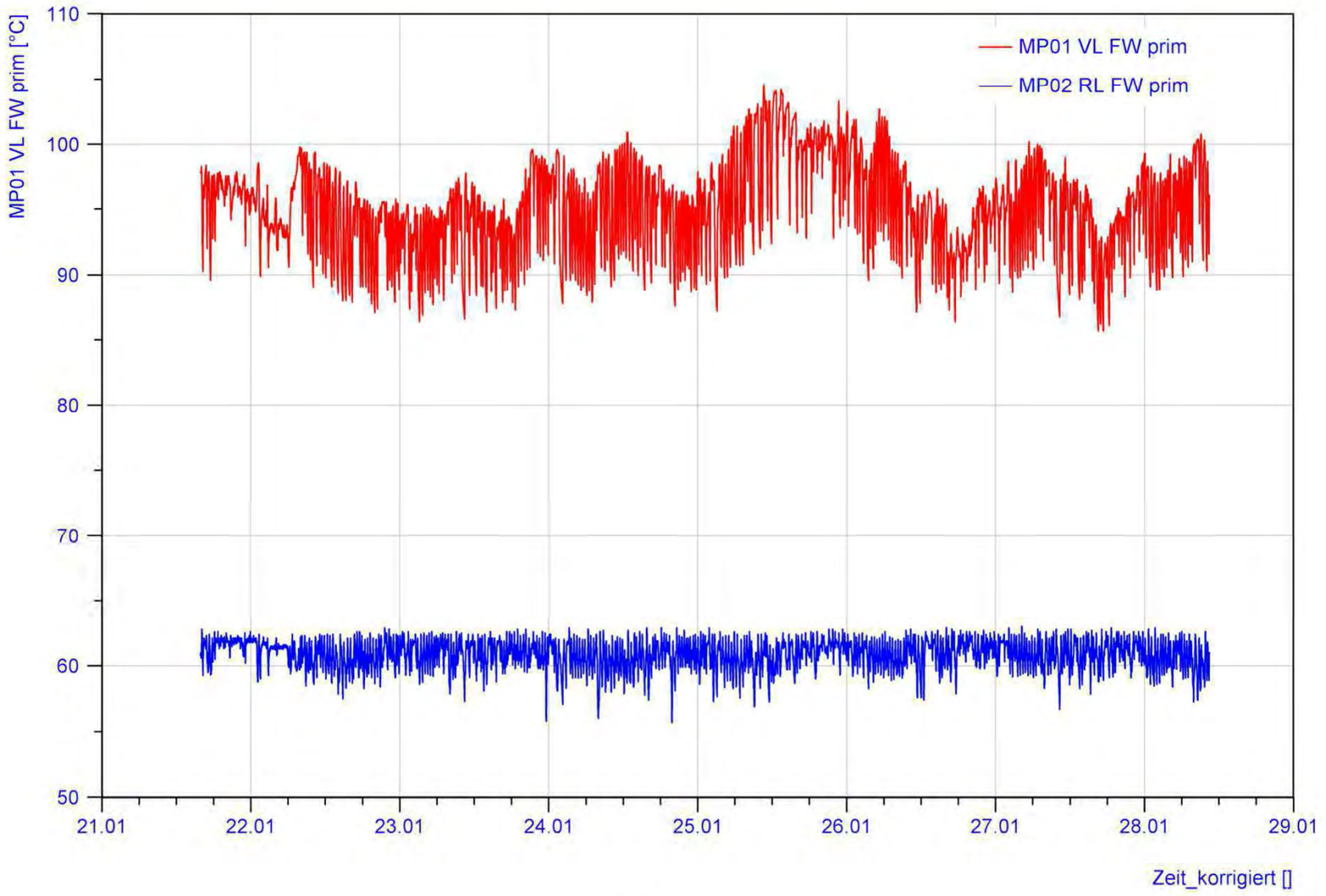
Diagrammexporte zu:

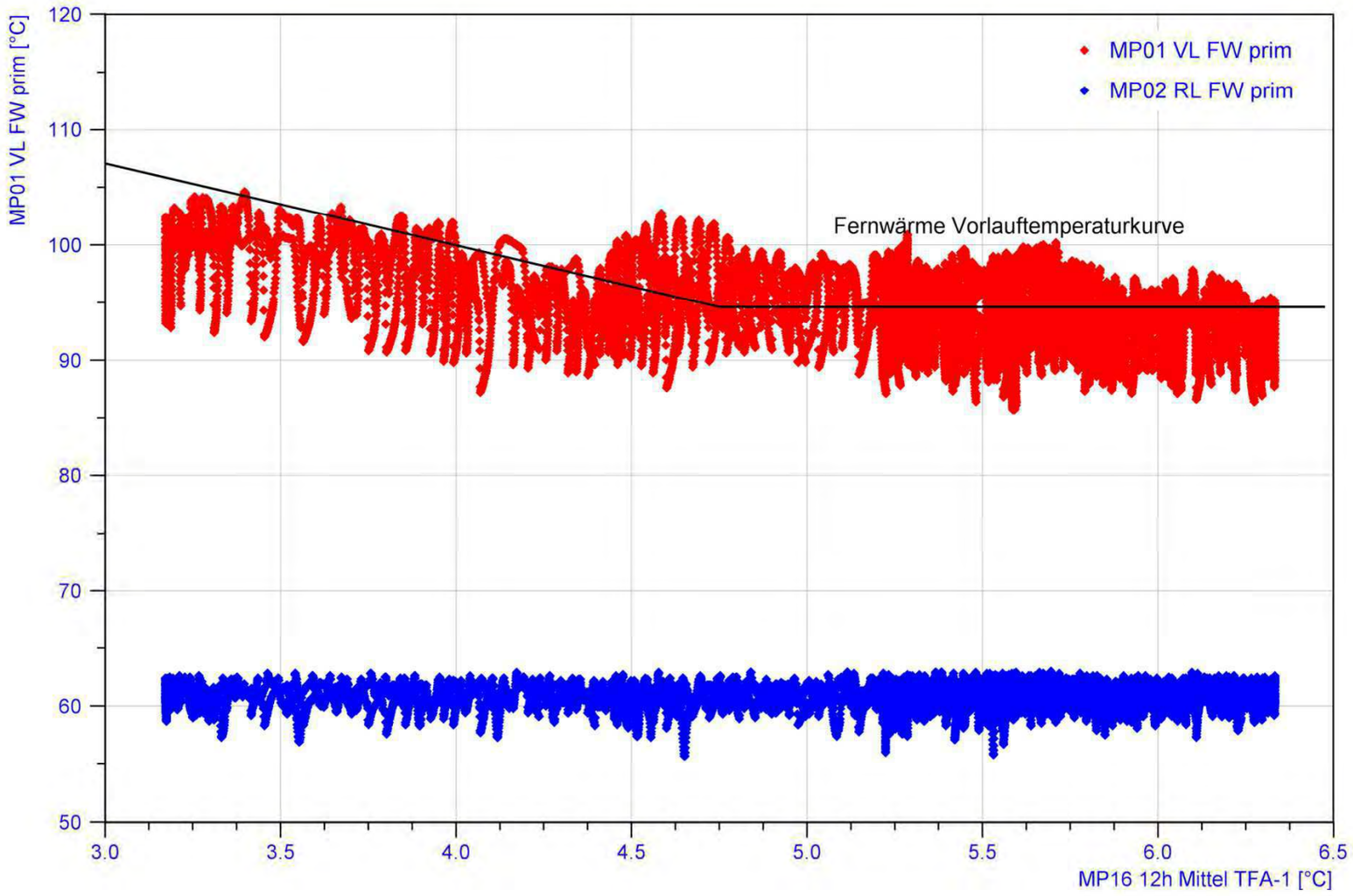
- Haus 1
- Haus 2
- Haus 3

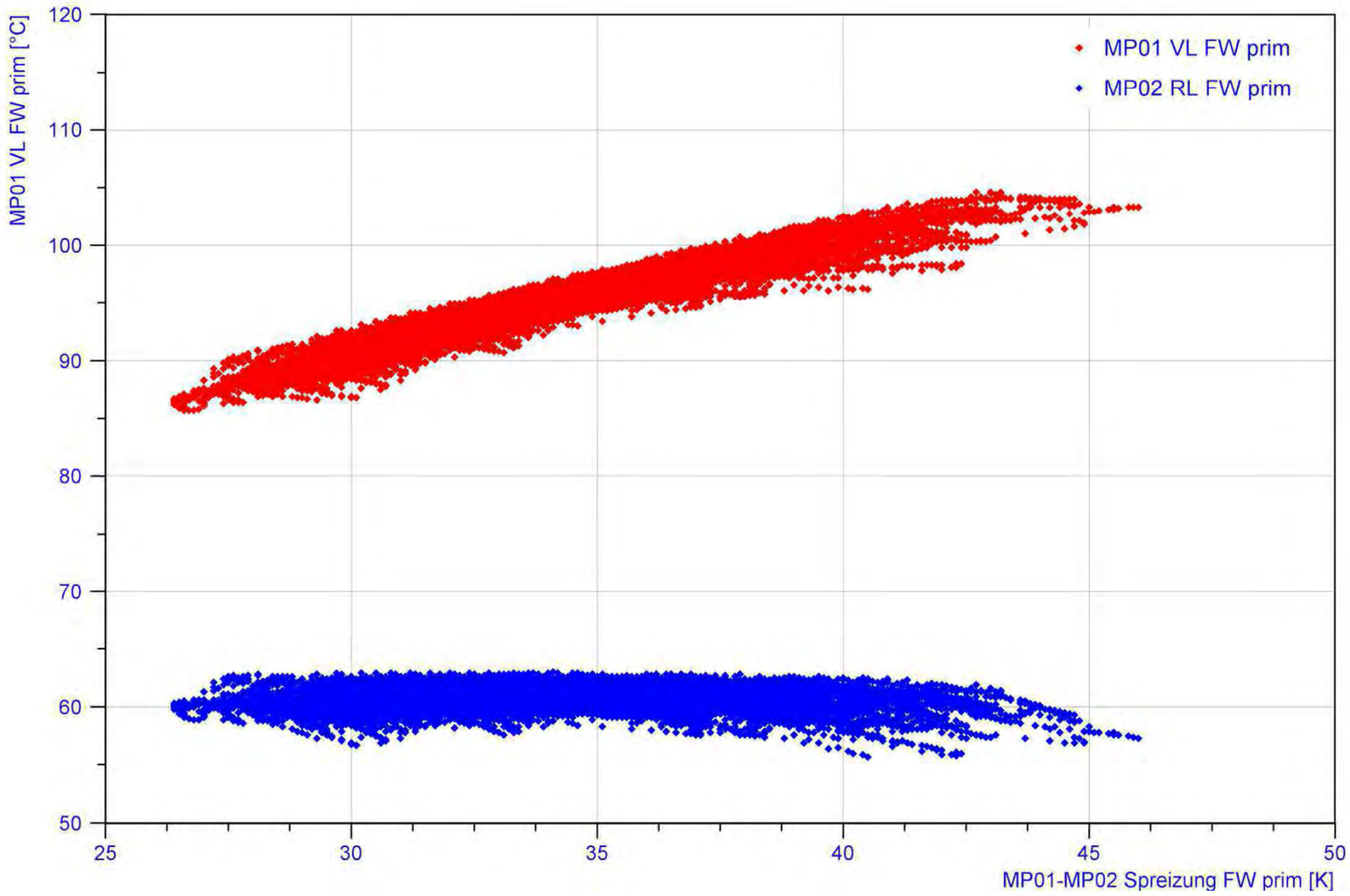
- Haus 1

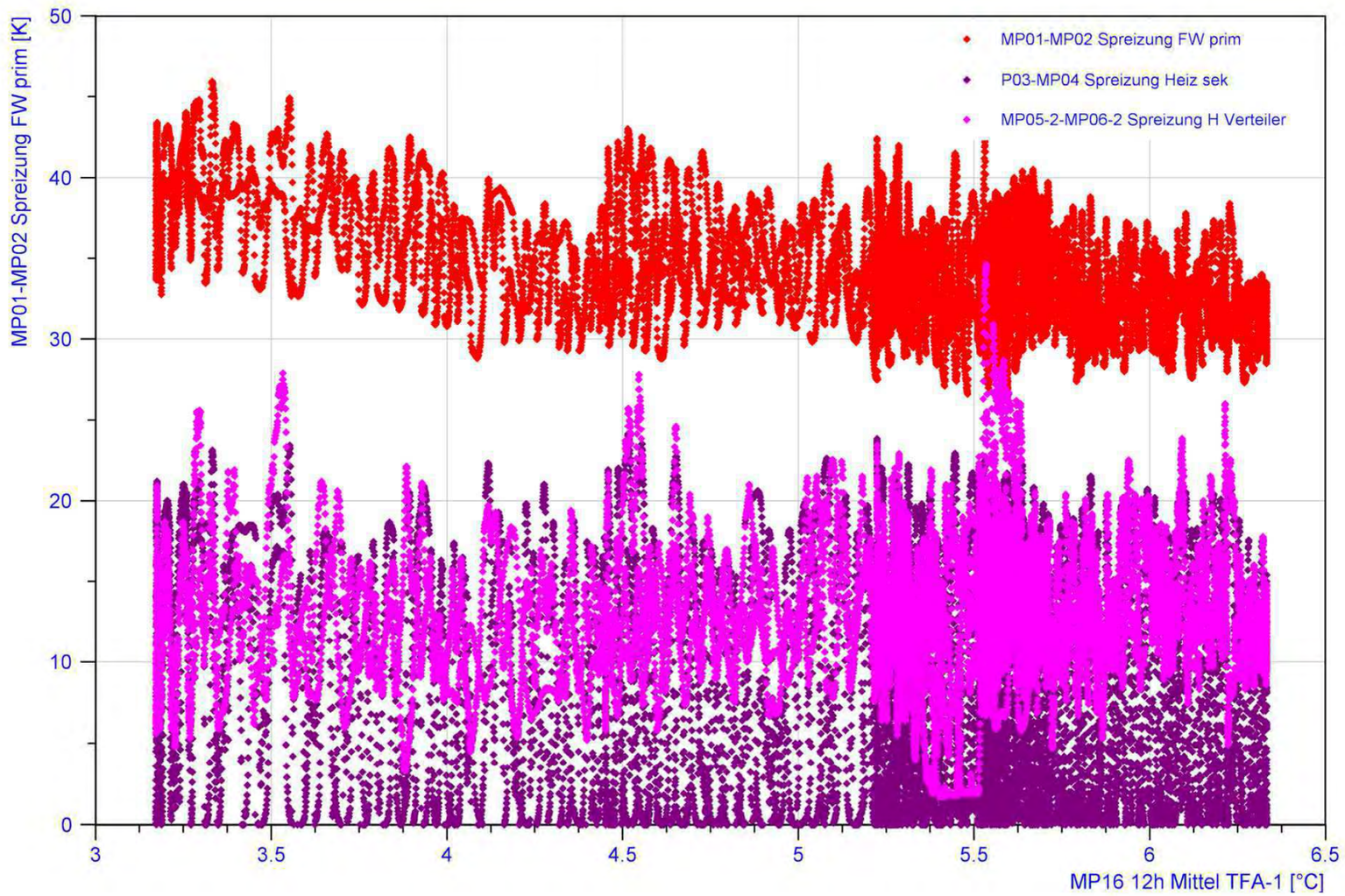
Seitenname	Seite
Inhaltsverzeichnis	1
AT	2
FW Prim	3
FW Prim_AT	4
FW Prim_Spreizung	5
FW Prim_Spreizung_AT	6
FW Prim_24h	7
FW Prim-Heiz_Sek-Puffer-HK-TWWB	8
FW Prim-Heiz_Sek-Puffer-HK-TWWB Spreizung	9
Heiz Sek	10
Heiz Sek_24-01	11
Heiz Sek_AT	12
Heiz Sek_Spreizung	13
Heiz Sek_24h	14
Heiz Sek_FW Prim	15
Heiz_Sek_FW Prim Flaechen	16
Puffer	17
Puffer_24-01	18
Puffer_24-01_5:00	19
Puffer_AT	20
Puffer_Spreizung	21
Puffer_24h	22
Puffer_Heiz Sek	23
Puffer_Heiz Sek Flaechen	24
Puffer-Verteiler HK-TWWB	25
HK	26
HK_AT	27
HK_Spreizung	28
HK_24h	29
HK_Heiz sek	30
HK_Puffer Flaechen	31
WWB	32
WWB 22-01 bis 23-01	33
Heiz Sek_Legio 22-01 00:00-12:00 Uhr	34
WWB Spreizung	35
WWB 24h	36
WWB_H Verteiler TWw_Zirk Flaechen	37
TWw Klassenhaeufigkeit	38
TWw Zirk Spreizung Klassenhaeufigkeit	39
Wochenmatrix FW	40
Wochenmatrix Heiz sek	41
Wochenmatrix H Verteiler	42
Wochenmatrix HK	43
Wochenmatrix TWw	44

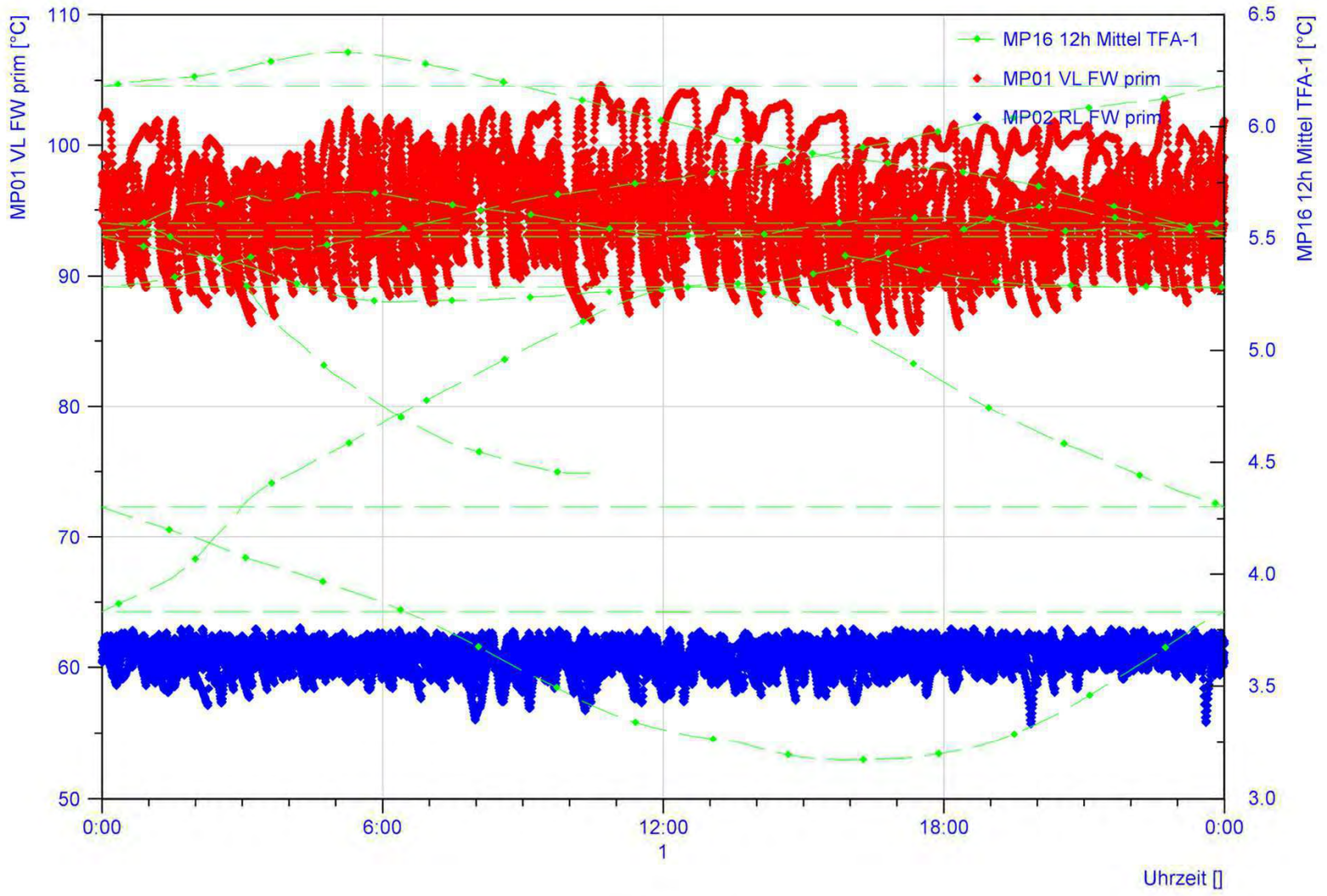

MP16 TFA-1 [°C]
12.5
10
7.5
5
2.5
0
MP16 TFA-1
21.01
22.01
23.01
24.01
25.01
26.01
27.01
28.01
29.01
Zeit_korrigiert []

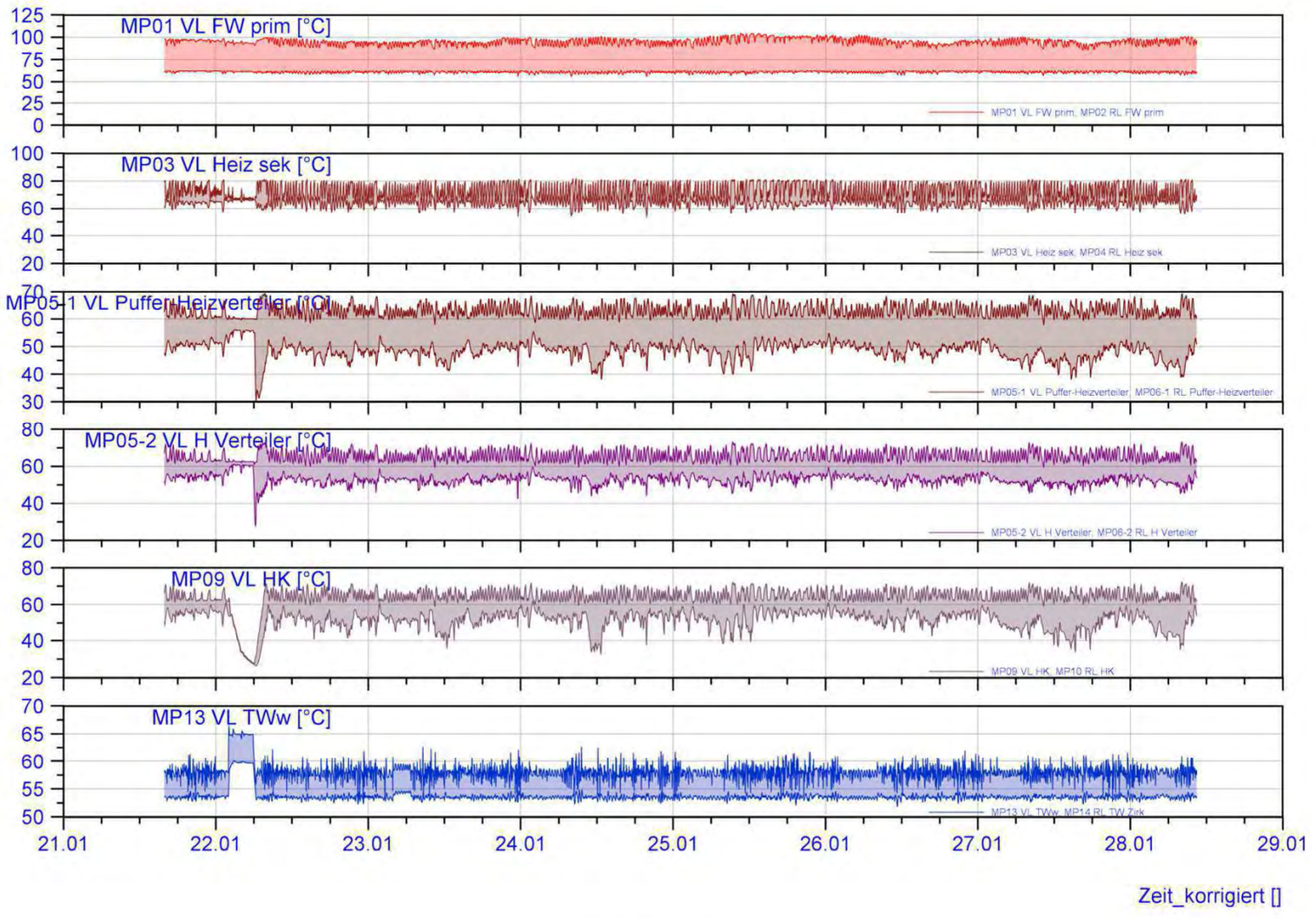

MP01 VL FW prim [°C]
110
100
90
80
70
60
50
MP01 VL FW prim
MP02 RL FW prim
21.01
22.01
23.01
24.01
25.01
26.01
27.01
28.01
29.01
Zeit_korrigiert []

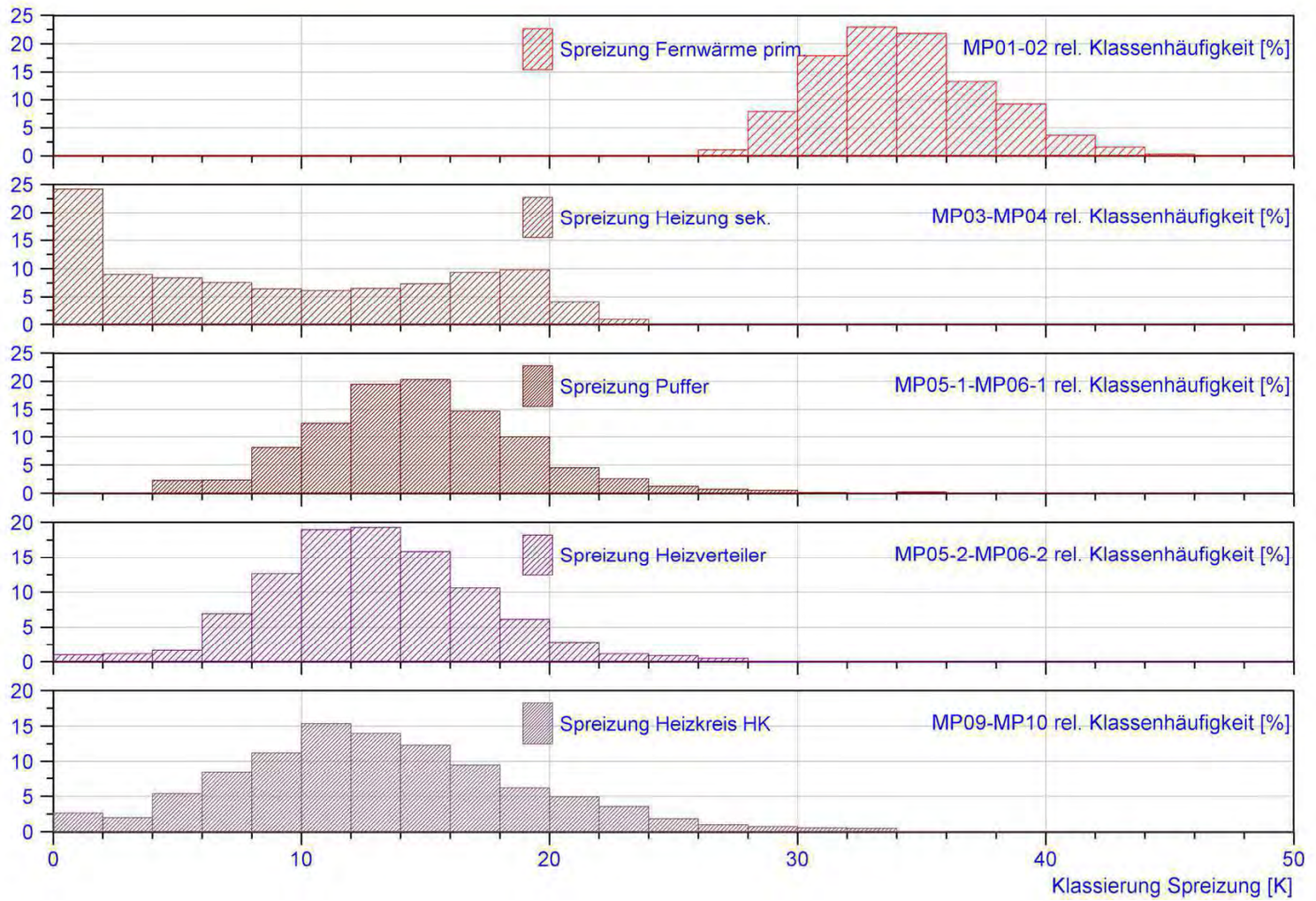

MP01 VL FW prim [°C]
120
110
100
90
80
70
60
50
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
5.5
6.0
6.5
MP16 12h Mittel TFA-1 [°C]
MP01 VL FW prim
MP02 RL FW prim
Fernwärme Vorlauftemperaturkurve

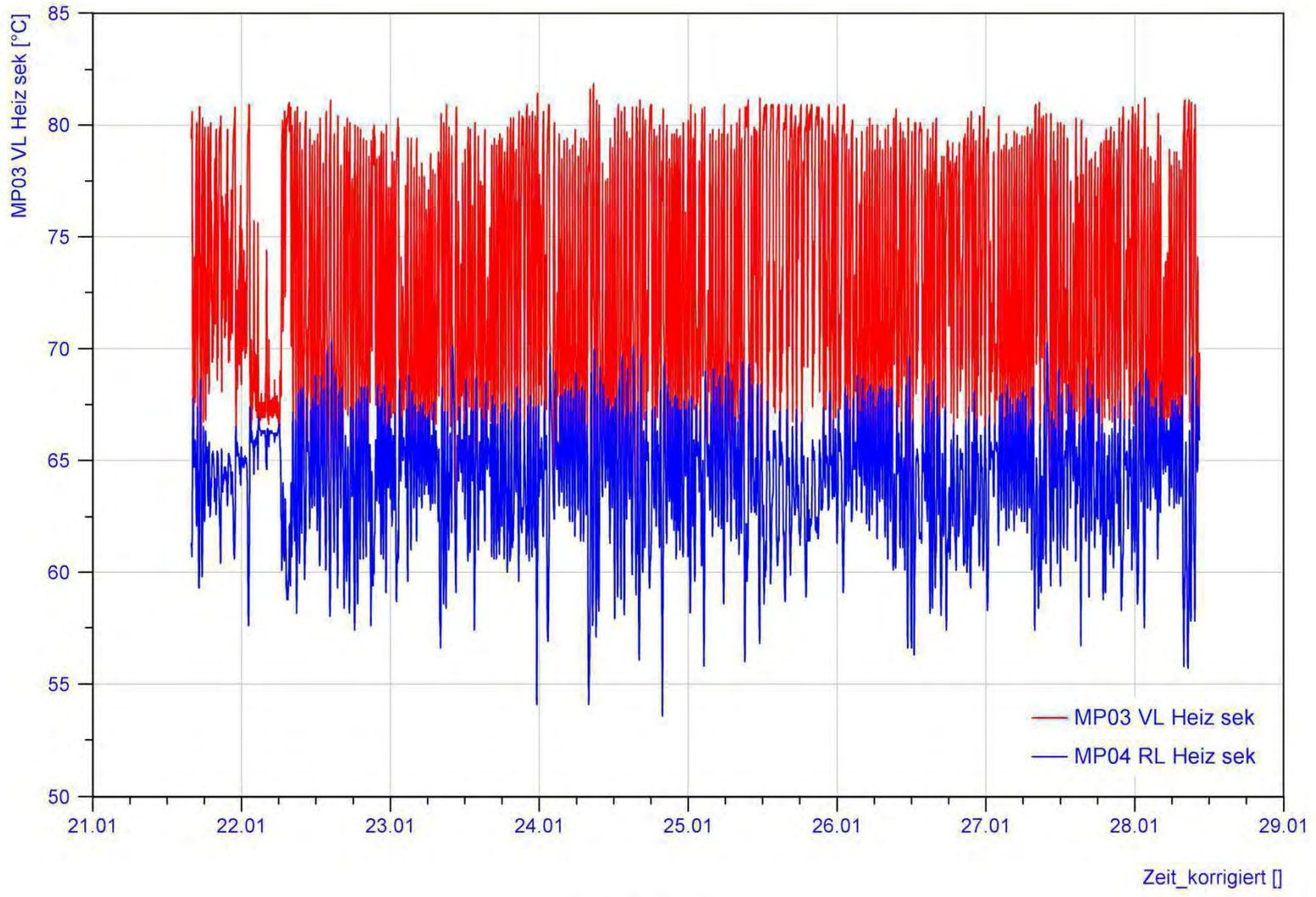

MP01 VL FW prim [°C]
120
110
100
90
80
70
60
50
25
30
35
40
45
50
MP01-MP02 Spreizung FW prim [K]
MP01 VL FW prim
MP02 RL FW prim

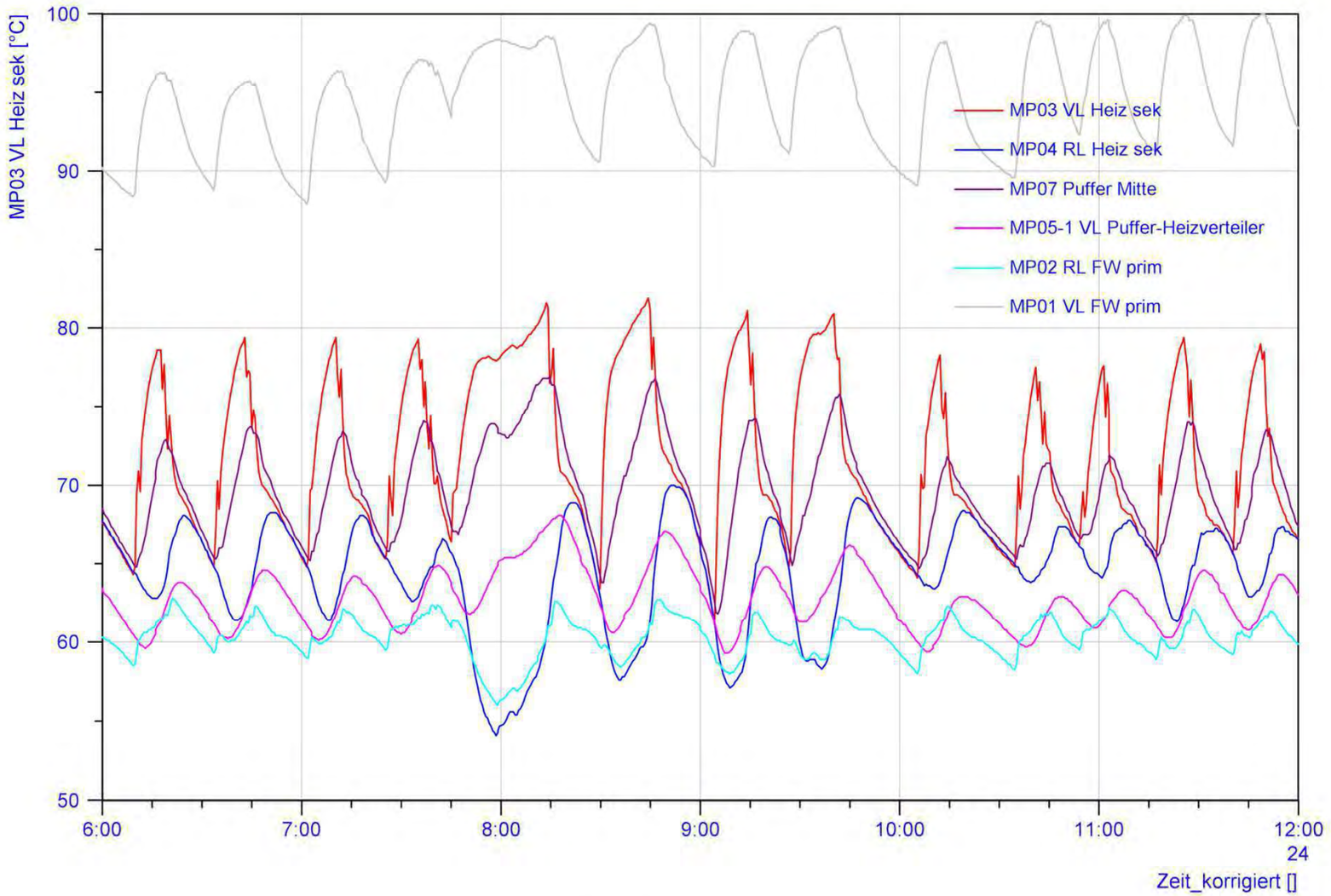

MP01-MP02 Spreizung FW prim [K]
50
40
30
20
10
0
3
3.5
4
4.5
5
5.5
6
6.5
MP16 12h Mittel TFA-1 [°C]
MP01-MP02 Spreizung FW prim
P03-MP04 Spreizung Heiz sek
MP05-2-MP06-2 Spreizung H Verteiler

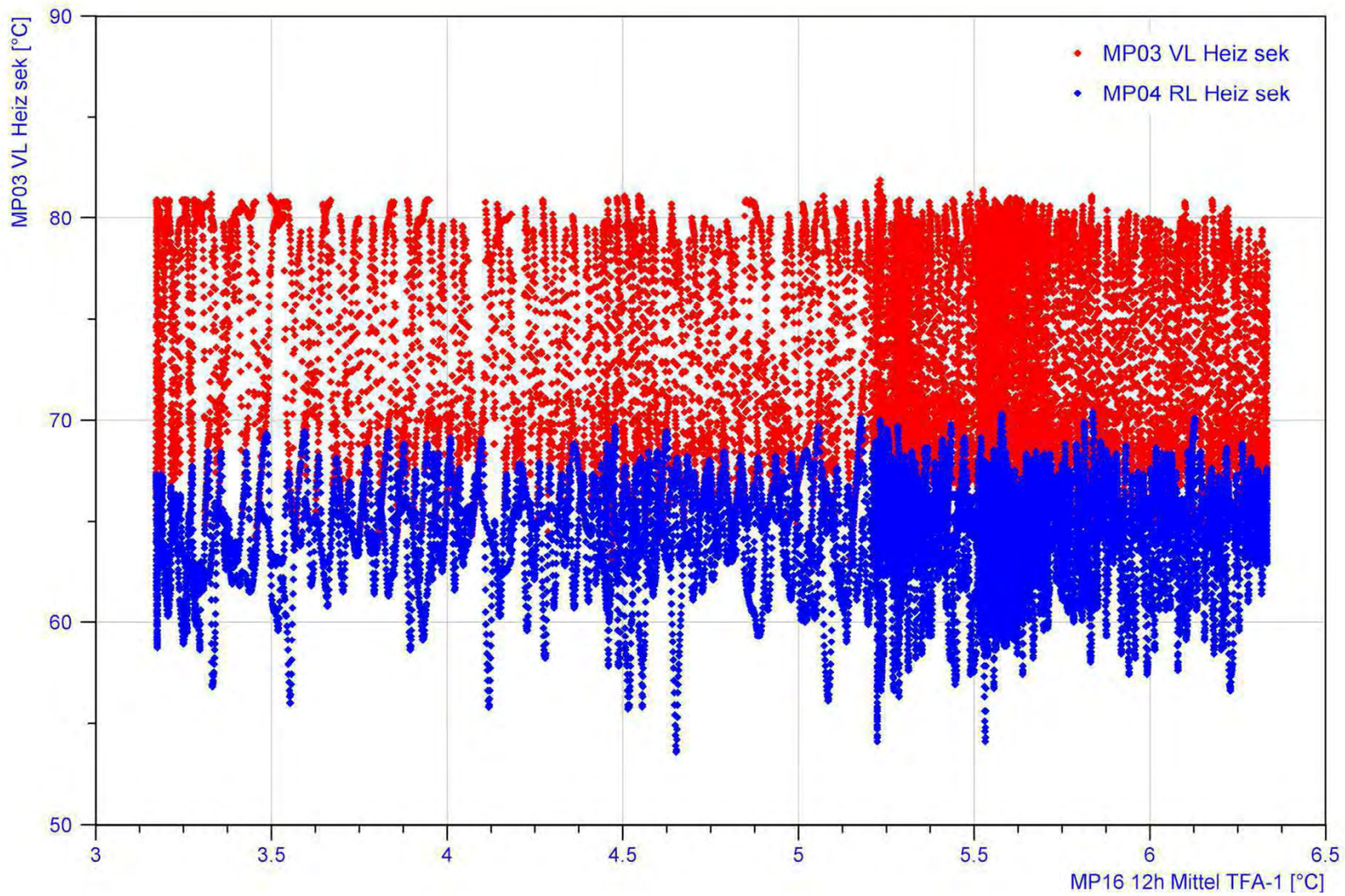

MP01 VL FW prim [°C]
MP16 12h Mittel TFA-1 [°C]
MP16 12h Mittel TFA-1
MP01 VL FW prim
MP02 RL FW prim
110
100
90
80
70
60
50
6.5
6.0
5.5
5.0
4.5
4.0
3.5
3.0
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
1
Uhrzeit []

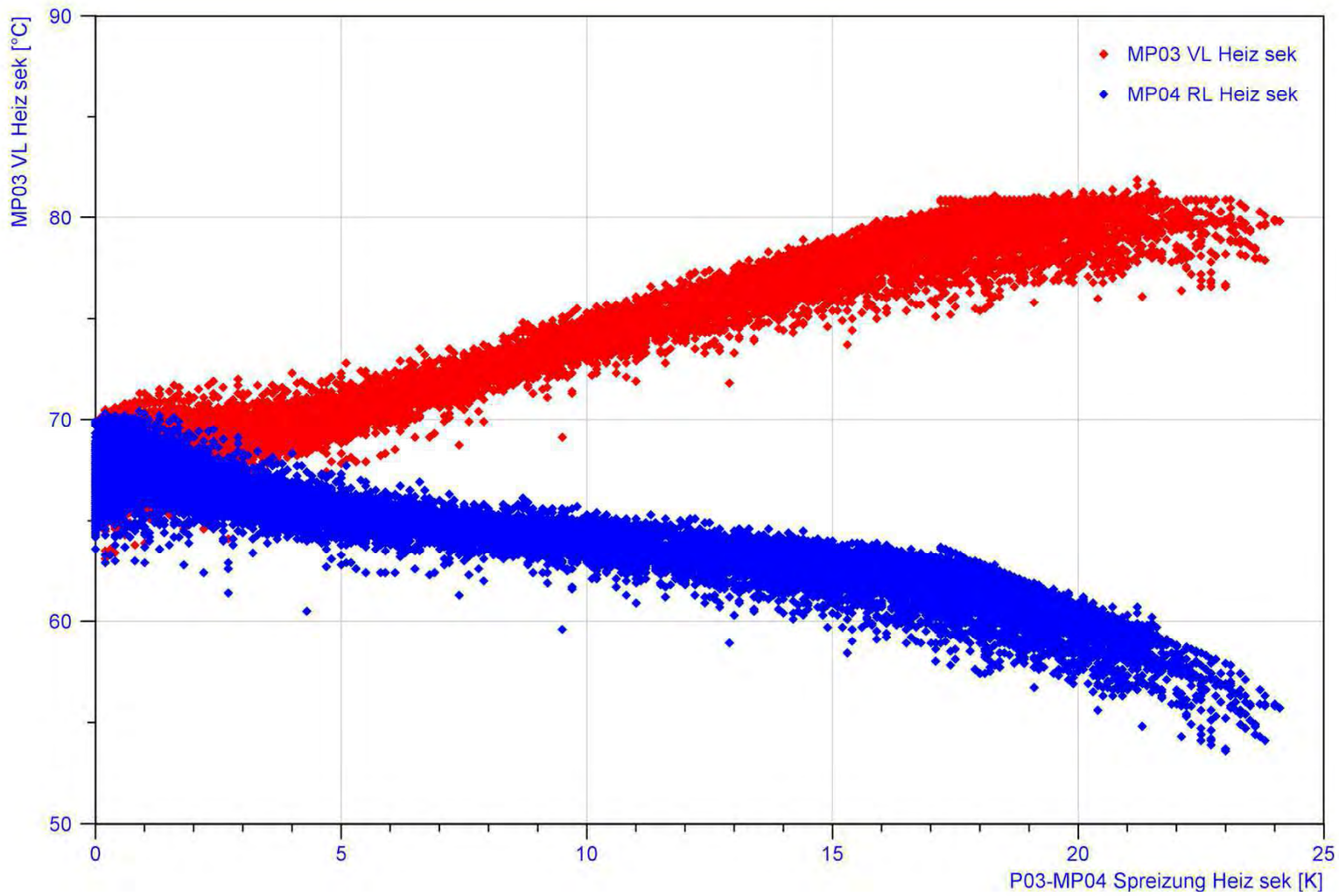

MP01 VL FW prim [°C]
MP01 VL FW prim, MP02 RL FW prim
MP03 VL Heiz sek [°C]
MP03 VL Heiz sek, MP04 RL Heiz sek
MP05-1 VL Puffer-Heizverteiler [°C]
MP05-1 VL Puffer-Heizverteiler, MP06-1 RL Puffer-Heizverteiler
MP05-2 VL H Verteiler [°C]
MP05-2 VL H Verteiler, MP06-2 RL H Verteiler
MP09 VL HK [°C]
MP09 VL HK, MP10 RL HK
MP13 VL TWw [°C]
MP13 VL TWw, MP14 RL TW Zirk
21.01
22.01
23.01
24.01
25.01
26.01
27.01
28.01
29.01
Zeit_korrigiert []

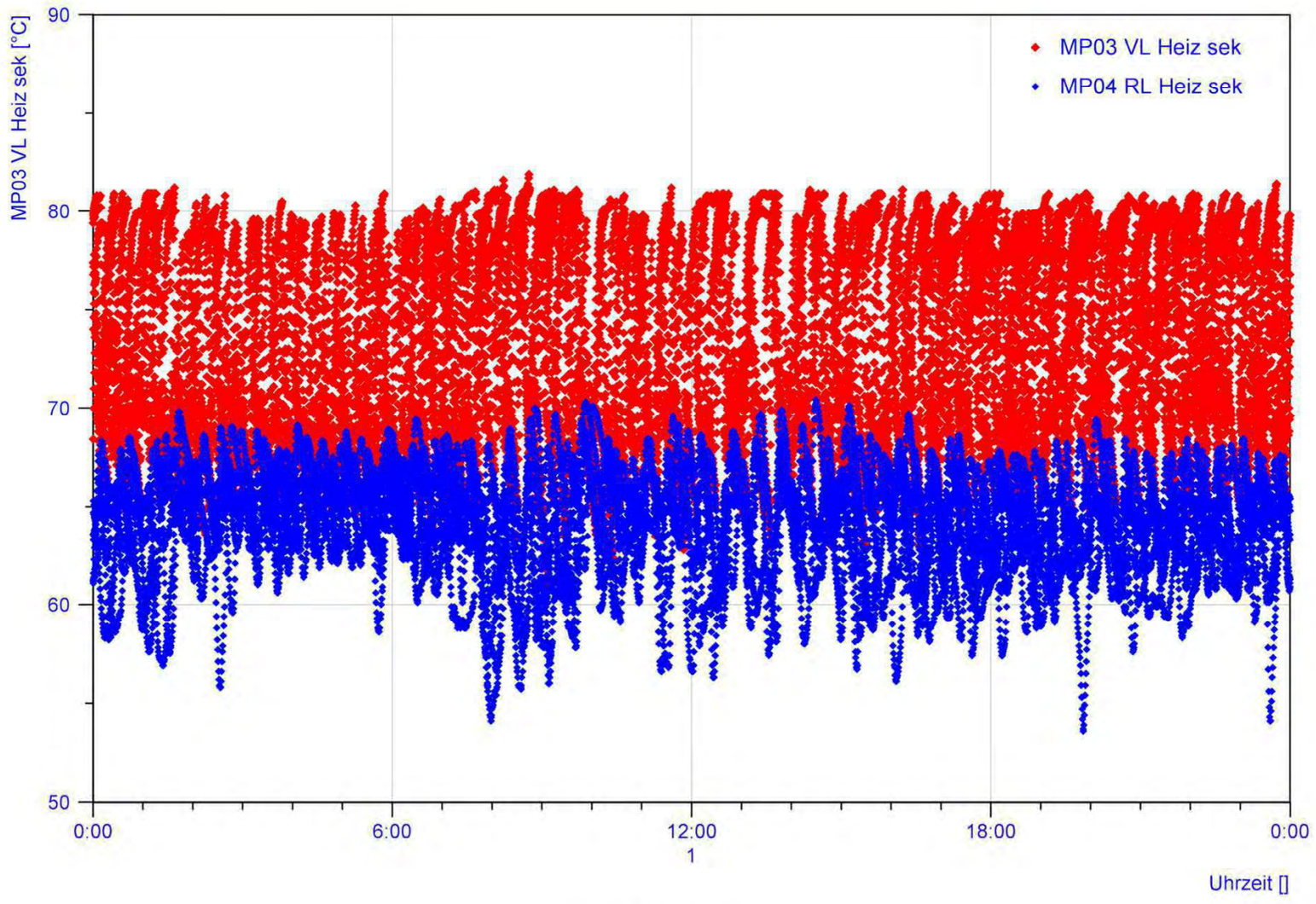

Spreizung Fernwärme prim
MP01-02 rel. Klassenhäufigkeit [%]
Spreizung Heizung sek.
MP03-MP04 rel. Klassenhäufigkeit [%]
Spreizung Puffer
MP05-1-MP06-1 rel. Klassenhäufigkeit [%]
Spreizung Heizverteiler
MP05-2-MP06-2 rel. Klassenhäufigkeit [%]
Spreizung Heizkreis HK
MP09-MP10 rel. Klassenhäufigkeit [%]
Klassierung Spreizung [K]

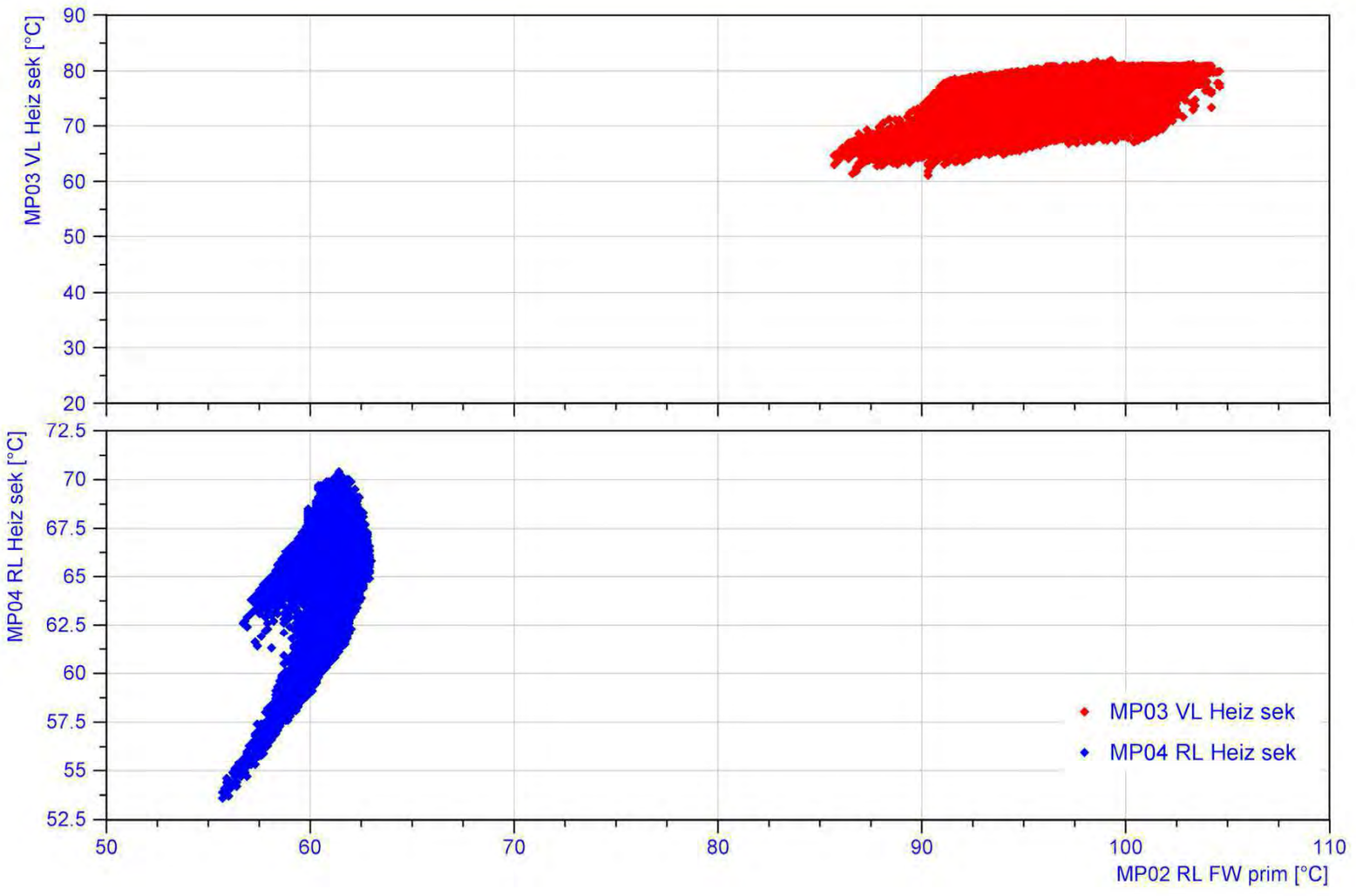

MP03 VL Heiz sek [°C]
85
80
75
70
65
60
55
50
21.01
22.01
23.01
24.01
25.01
26.01
27.01
28.01
29.01
Zeit_korrigiert []
MP03 VL Heiz sek
MP04 RL Heiz sek

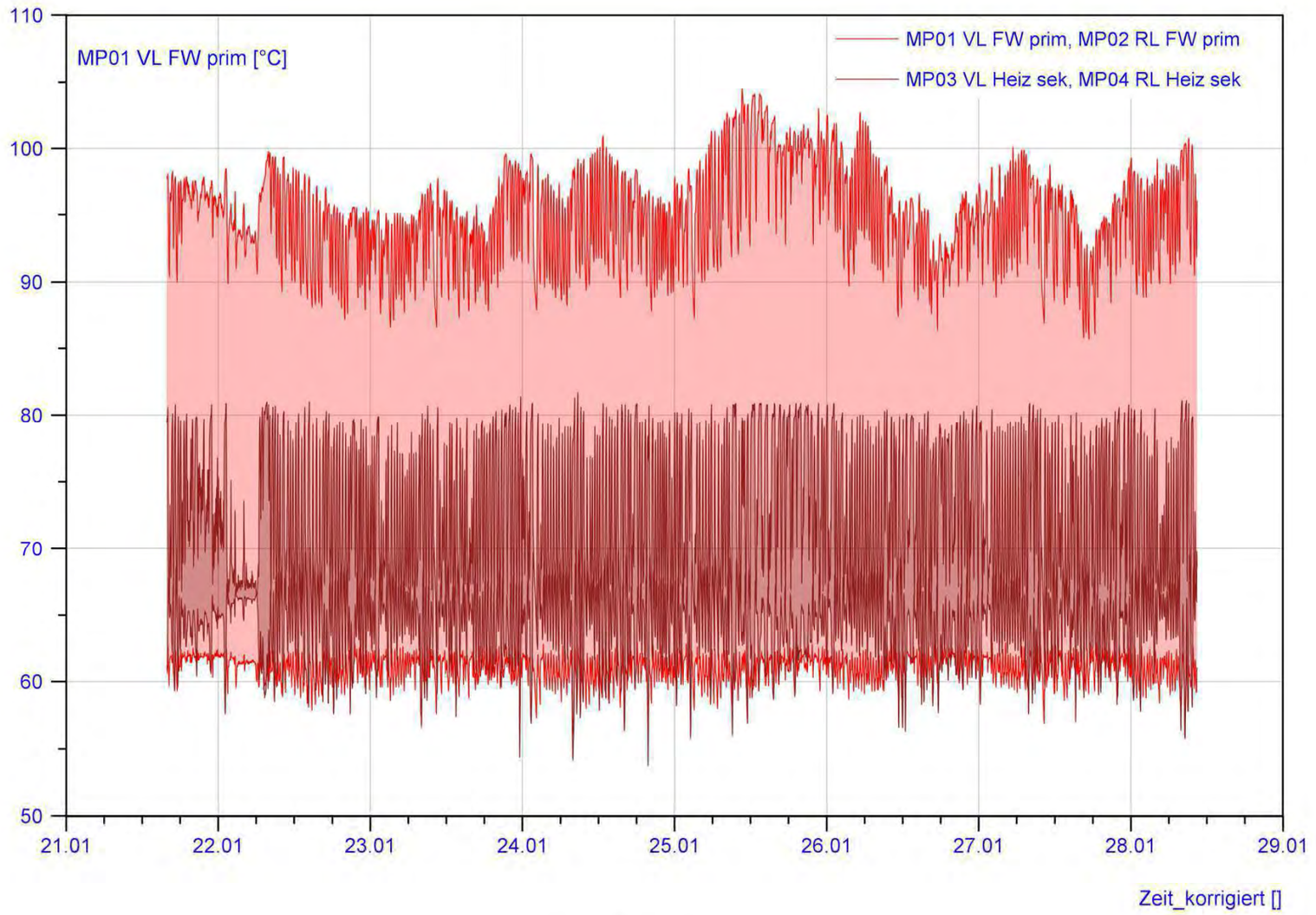

MP03 VL Heiz sek [°C]
100
90
80
70
60
50
6:00
7:00
8:00
9:00
10:00
11:00
12:00
24
Zeit_korrigiert []
MP03 VL Heiz sek
MP04 RL Heiz sek
MP07 Puffer Mitte
MP05-1 VL Puffer-Heizverteiler
MP02 RL FW prim
MP01 VL FW prim

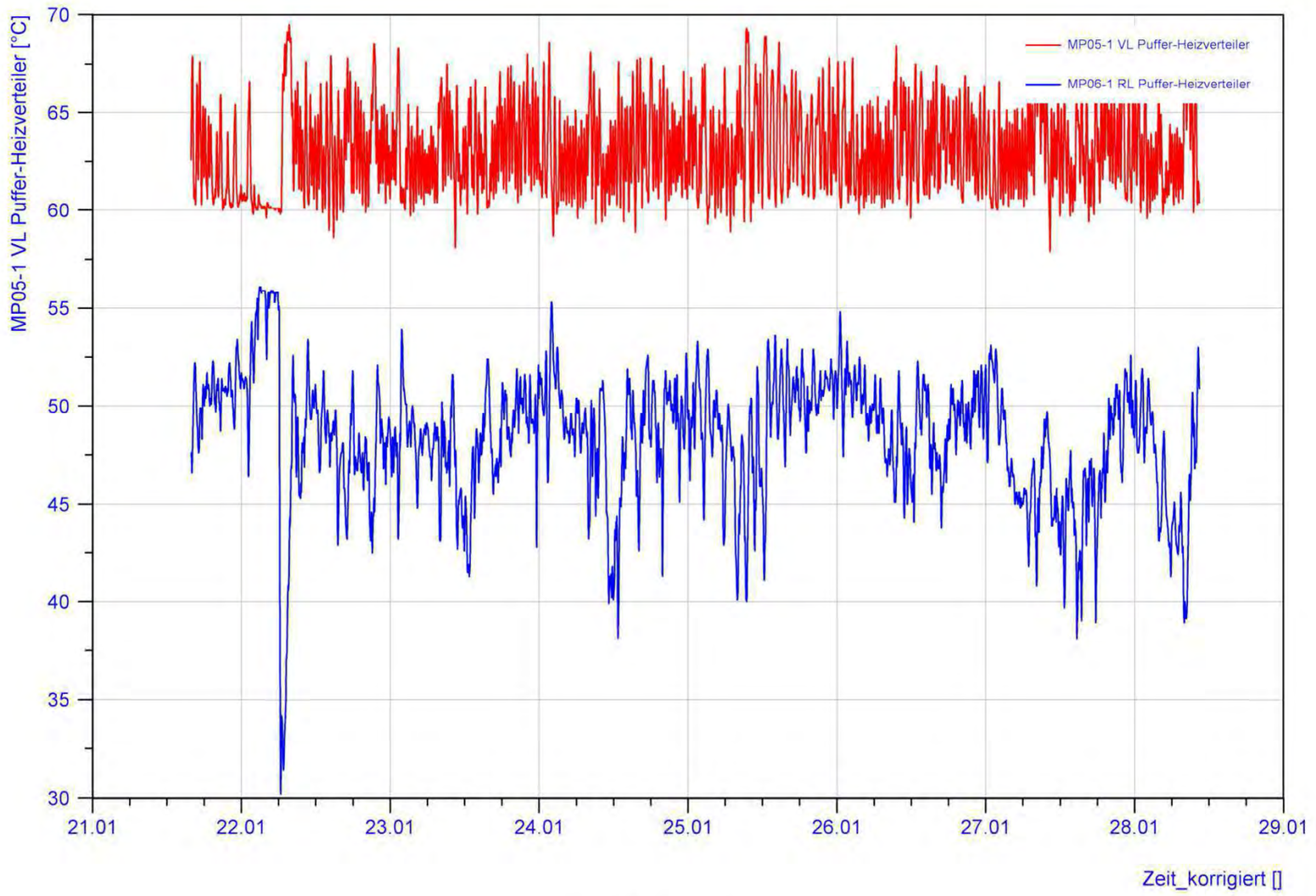

MP03 VL Heiz sek [°C]
90
80
70
60
50
3
3.5
4
4.5
5
5.5
6
6.5
MP16 12h Mittel TFA-1 [°C]
MP03 VL Heiz sek
MP04 RL Heiz sek

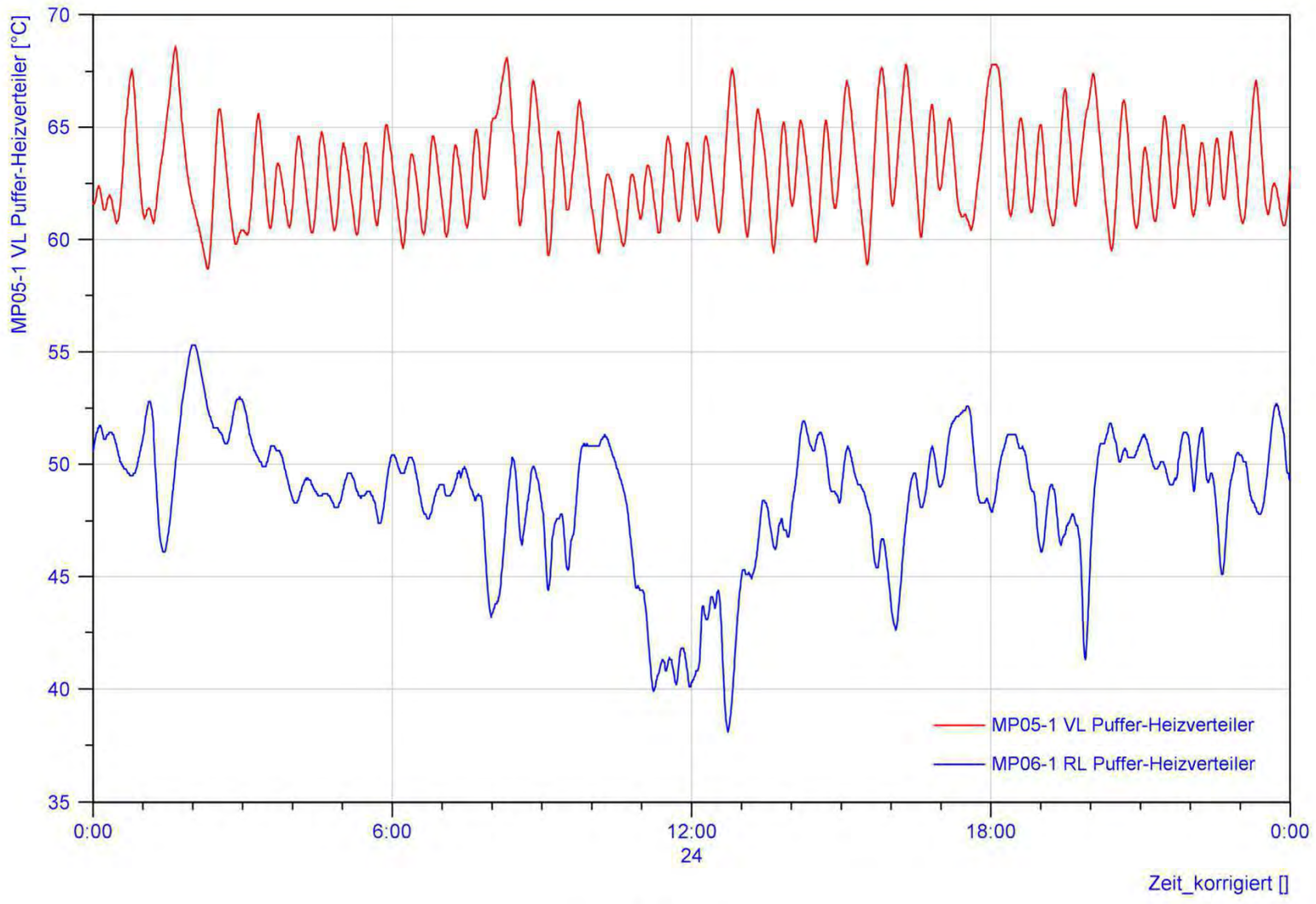

MP03 VL Heiz sek [°C]
90
80
70
60
50
0
5
10
15
20
25
P03-MP04 Spreizung Heiz sek [K]
MP03 VL Heiz sek
MP04 RL Heiz sek

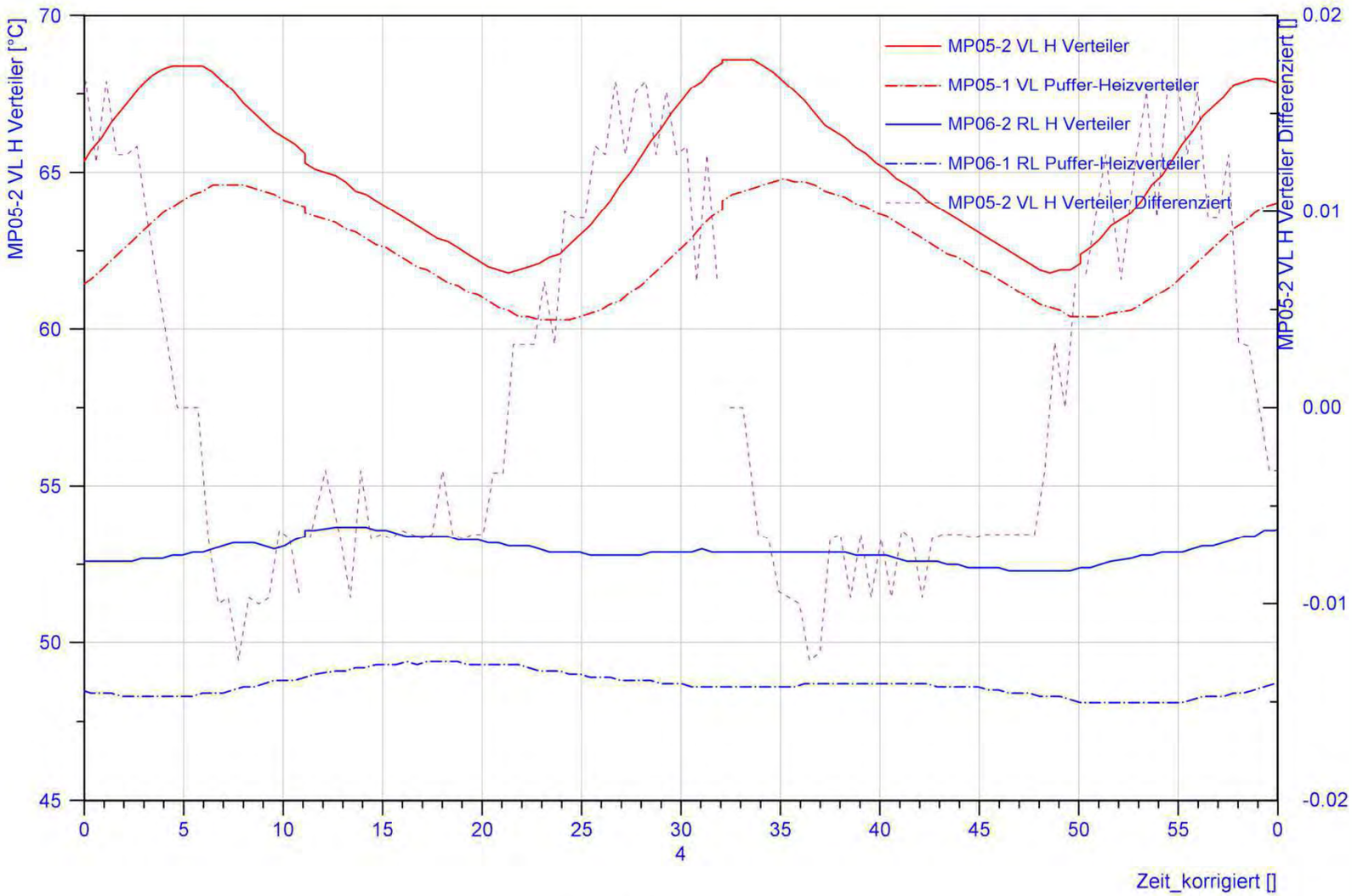

MP03 VL Heiz sek [°C]
90
80
70
60
50
MP03 VL Heiz sek
MP04 RL Heiz sek
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
1
Uhrzeit []

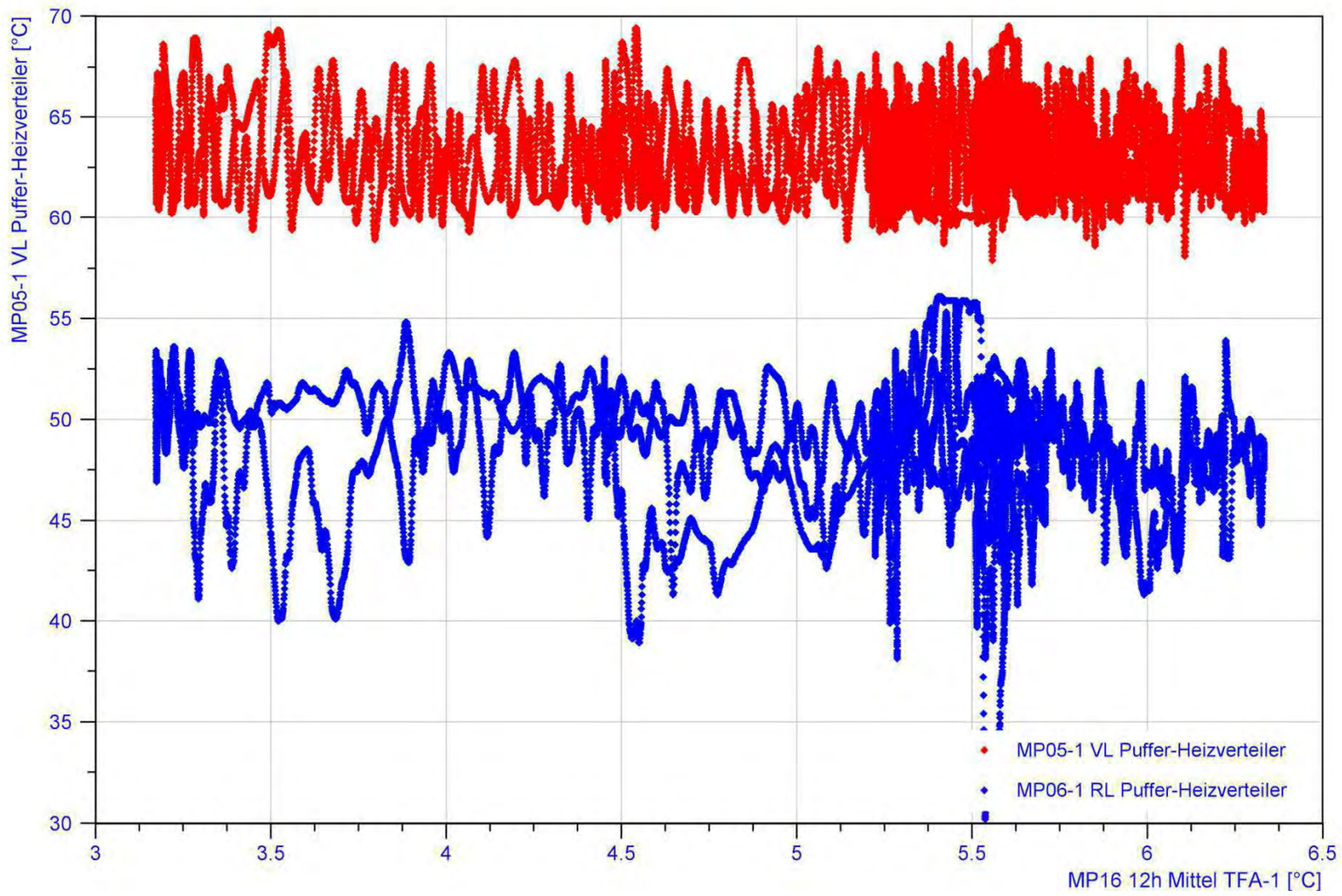

MP03 VL Heiz sek [°C]
90
80
70
60
50
40
30
20
MP04 RL Heiz sek [°C]
72.5
70
67.5
65
62.5
60
57.5
55
52.5
50
60
70
80
90
100
110
MP02 RL FW prim [°C]
MP03 VL Heiz sek
MP04 RL Heiz sek

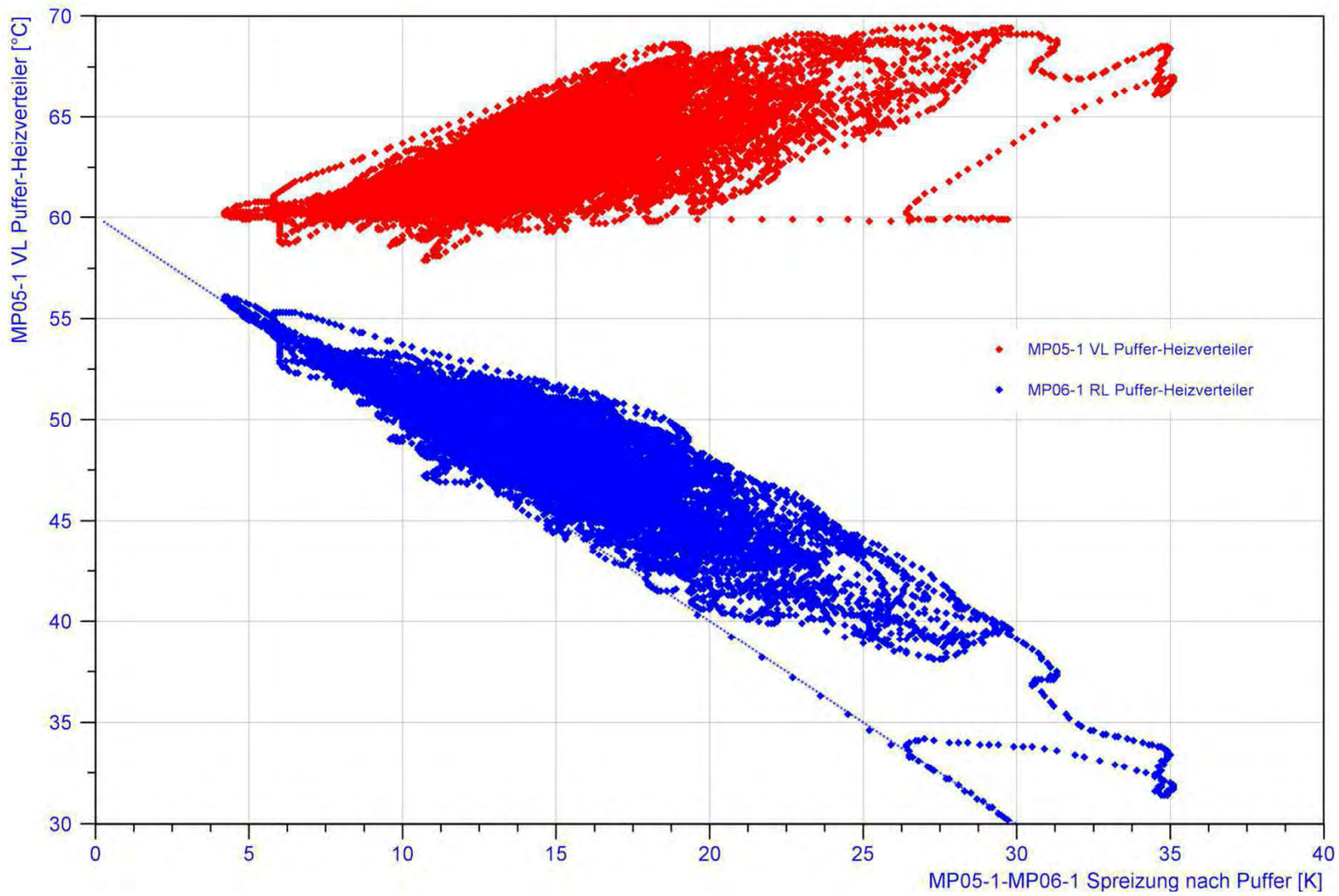

MP01 VL FW prim [°C]
MP01 VL FW prim, MP02 RL FW prim
MP03 VL Heiz sek, MP04 RL Heiz sek
110
100
90
80
70
60
50
21.01
22.01
23.01
24.01
25.01
26.01
27.01
28.01
29.01
Zeit_korrigiert []

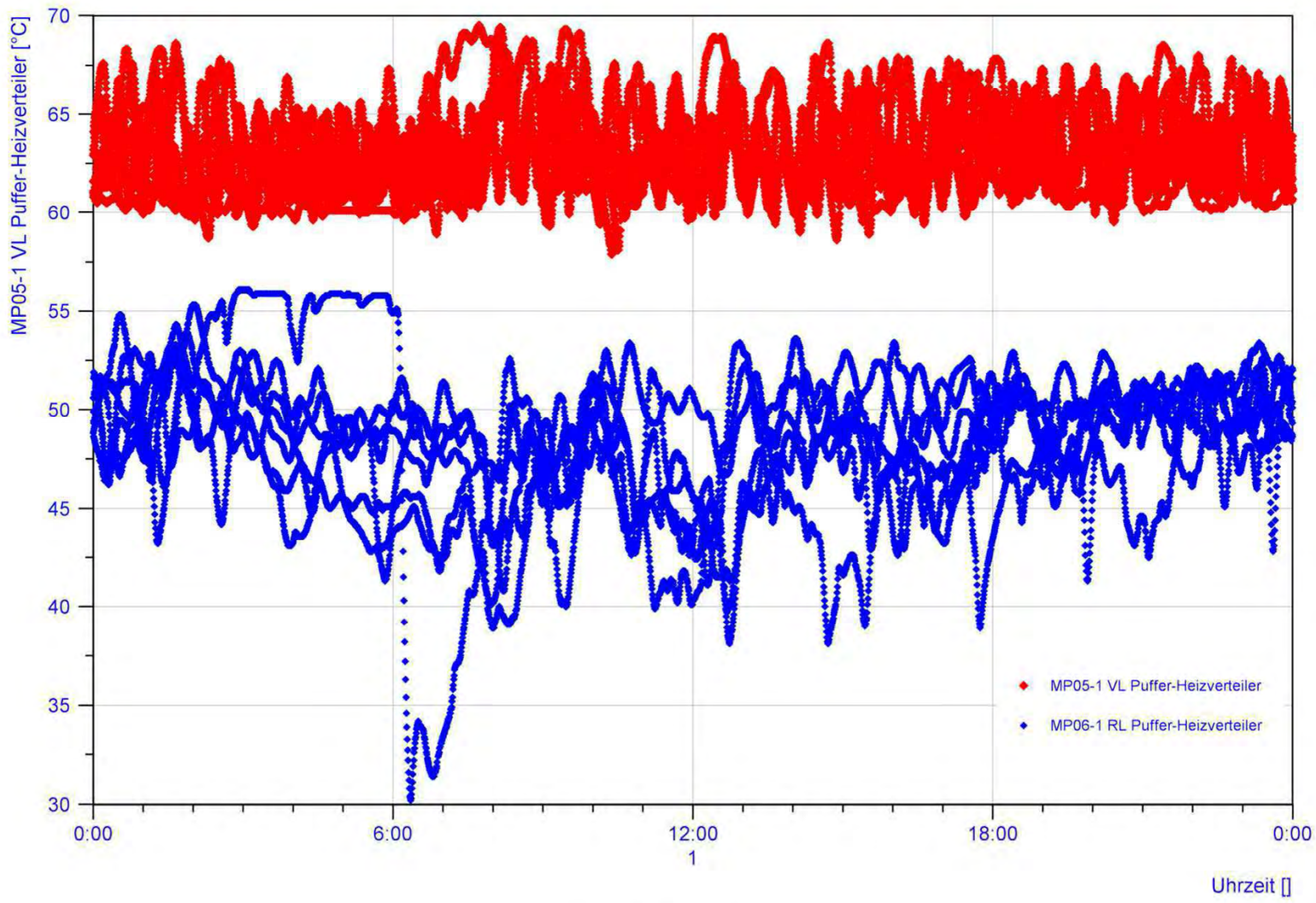

MP05-1 VL Puffer-Heizverteiler [°C]
70
65
60
55
50
45
40
35
30
21.01
22.01
23.01
24.01
25.01
26.01
27.01
28.01
29.01
Zeit_korrigiert []
MP05-1 VL Puffer-Heizverteiler
MP06-1 RL Puffer-Heizverteiler

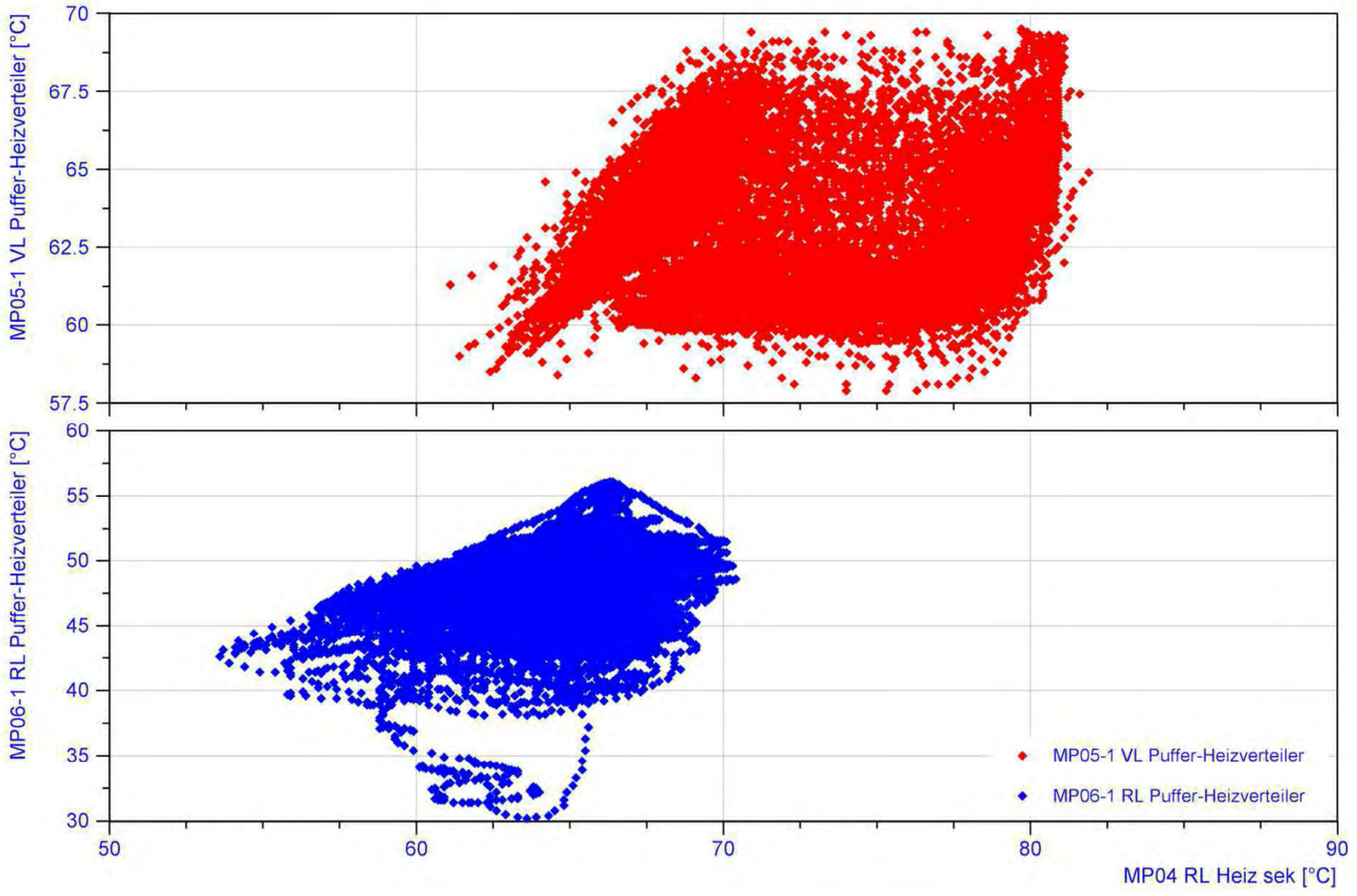

MP05-1 VL Puffer-Heizverteiler [°C]
70
65
60
55
50
45
40
35
0:00
6:00
12:00
24
18:00
0:00
MP05-1 VL Puffer-Heizverteiler
MP06-1 RL Puffer-Heizverteiler
Zeit_korrigiert []

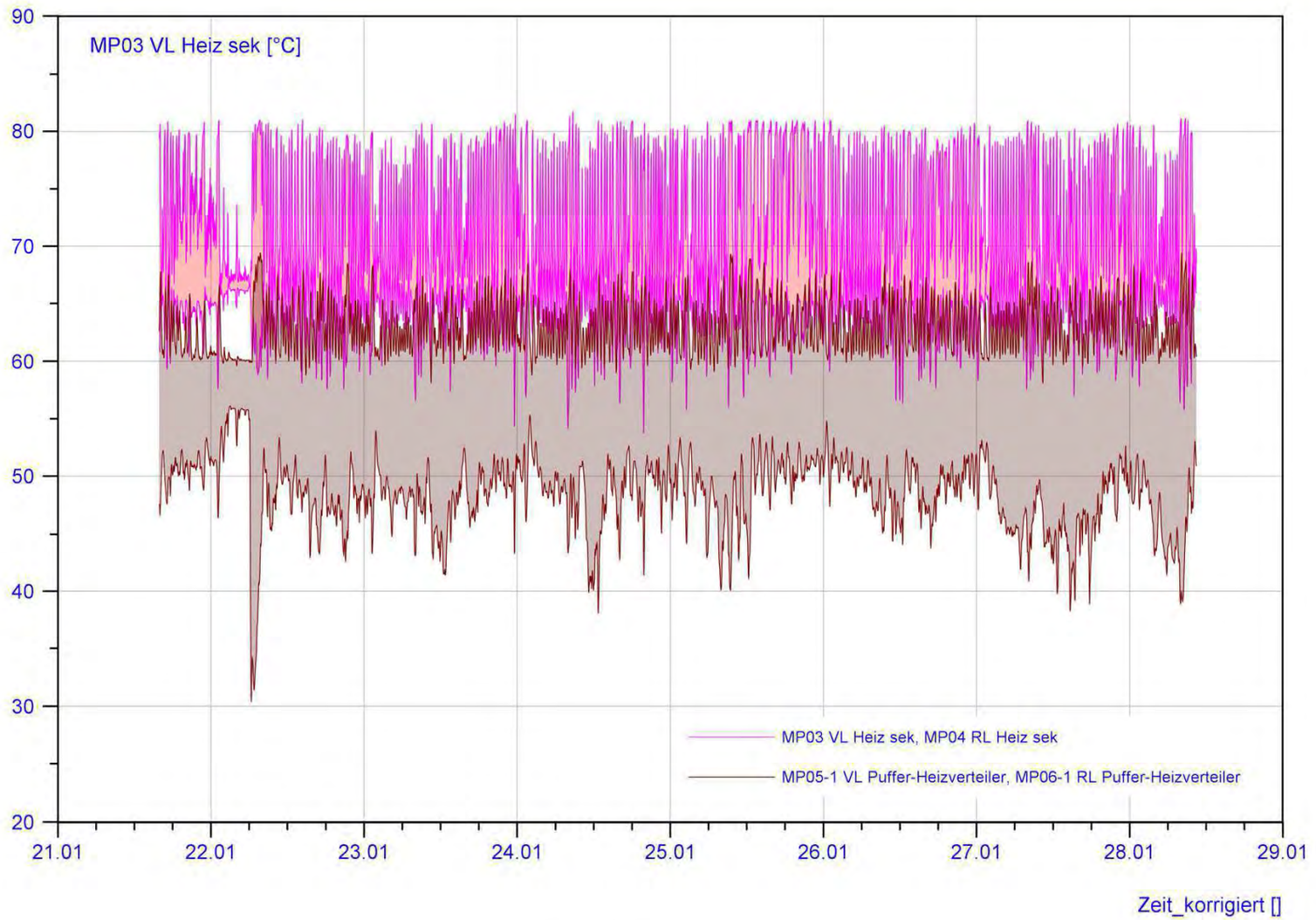

MP05-2 VL H Verteiler [°C]
MP05-2 VL H Verteiler Differenziert []
Zeit_korrigiert []
MP05-2 VL H Verteiler
MP05-1 VL Puffer-Heizverteiler
MP06-2 RL H Verteiler
MP06-1 RL Puffer-Heizverteiler
MP05-2 VL H Verteiler Differenziert
70
65
60
55
50
45
0.02
0.01
0.00
-0.01
-0.02
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
0
4

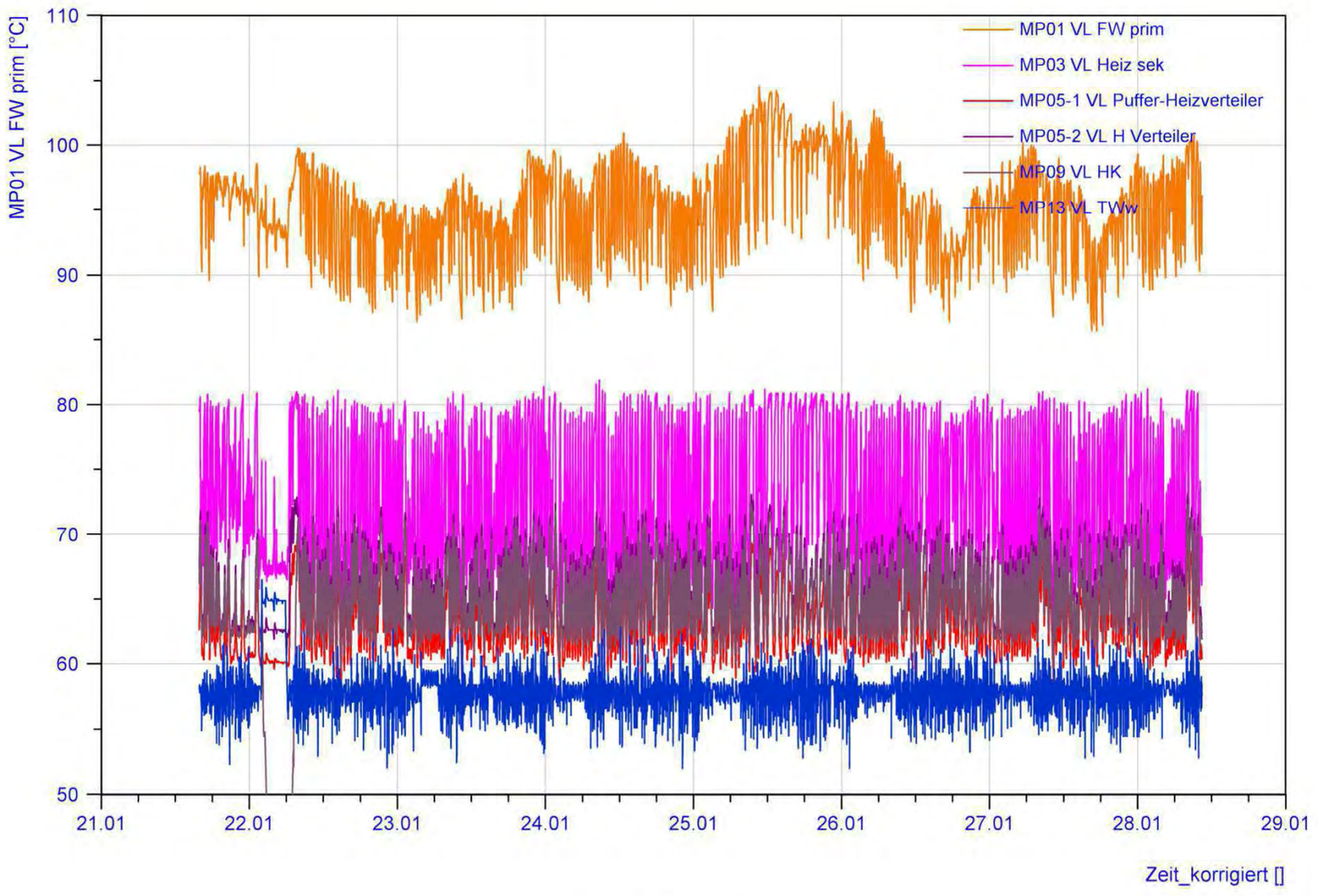

MP05-1 VL Puffer-Heizverteiler [°C]
70
65
60
55
50
45
40
35
30
3
3.5
4
4.5
5
5.5
6
6.5
MP16 12h Mittel TFA-1 [°C]
MP05-1 VL Puffer-Heizverteiler
MP06-1 RL Puffer-Heizverteiler

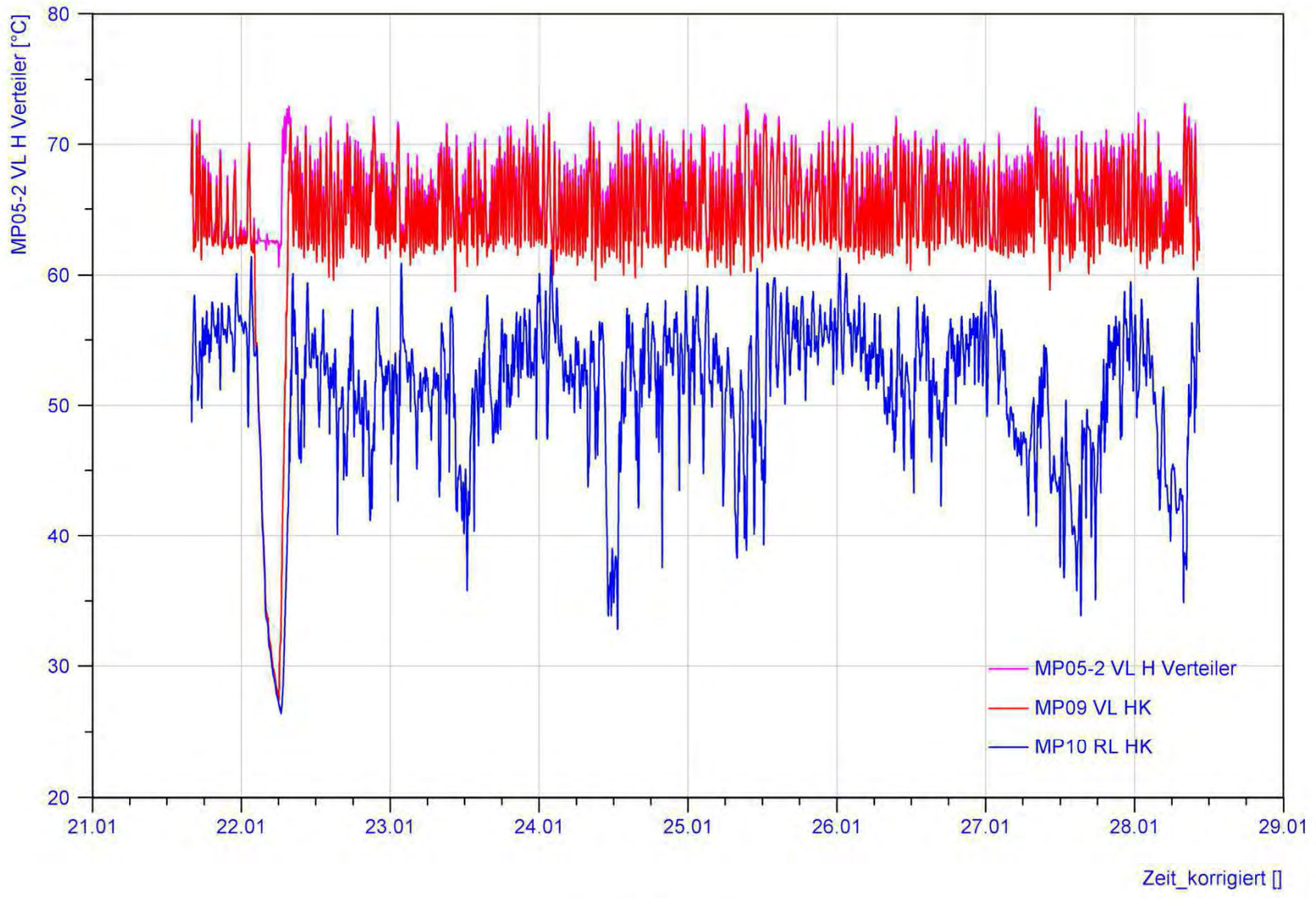

MP05-1 VL Puffer-Heizverteiler [°C]
70
65
60
55
50
45
40
35
30
0
5
10
15
20
25
30
35
40
MP05-1-MP06-1 Spreizung nach Puffer [K]
MP05-1 VL Puffer-Heizverteiler
MP06-1 RL Puffer-Heizverteiler

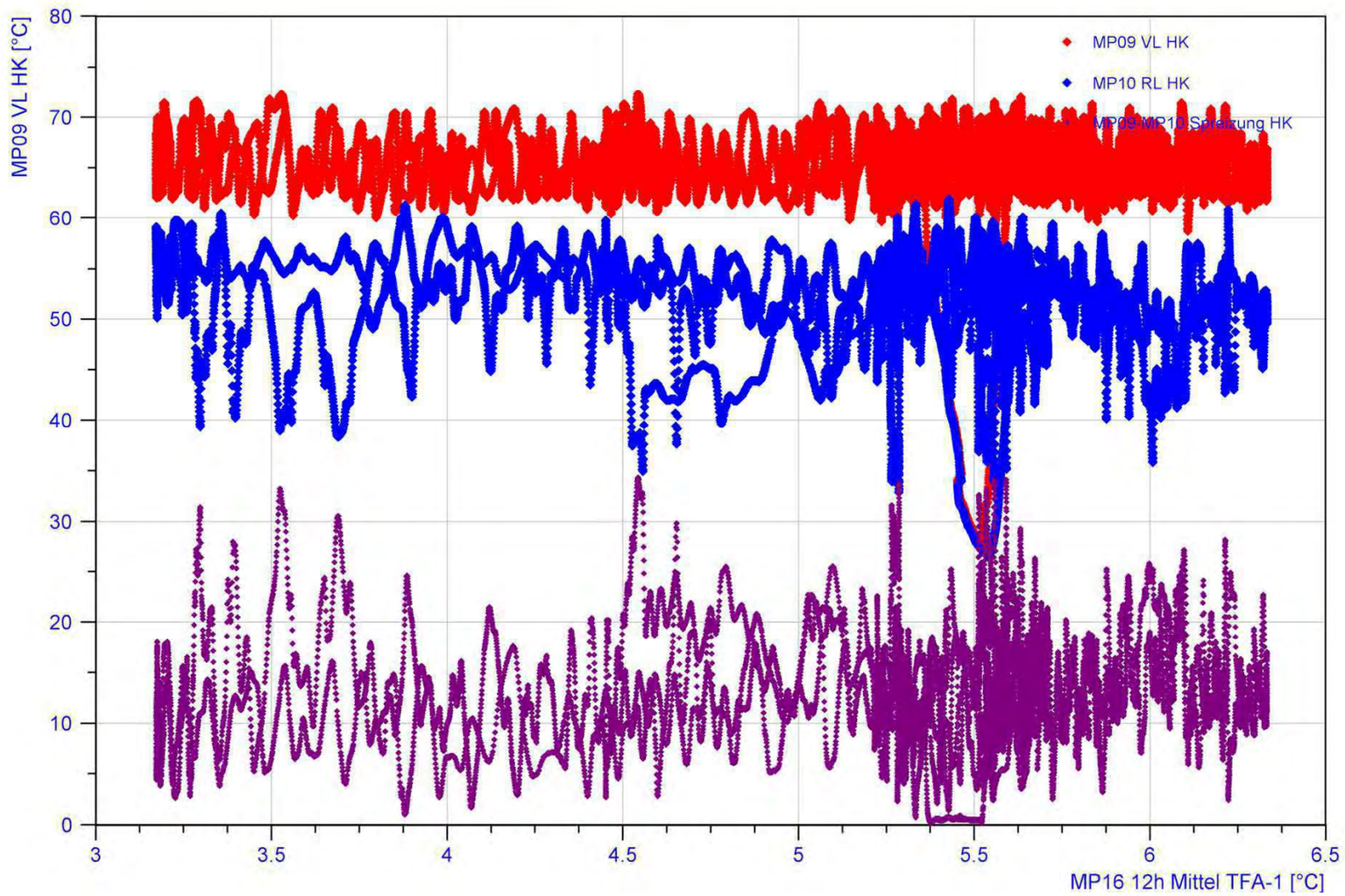

MP05-1 VL Puffer-Heizverteiler [°C]
70
65
60
55
50
45
40
35
30
0:00
6:00
12:00
1
18:00
0:00
Uhrzeit []
MP05-1 VL Puffer-Heizverteiler
MP06-1 RL Puffer-Heizverteiler

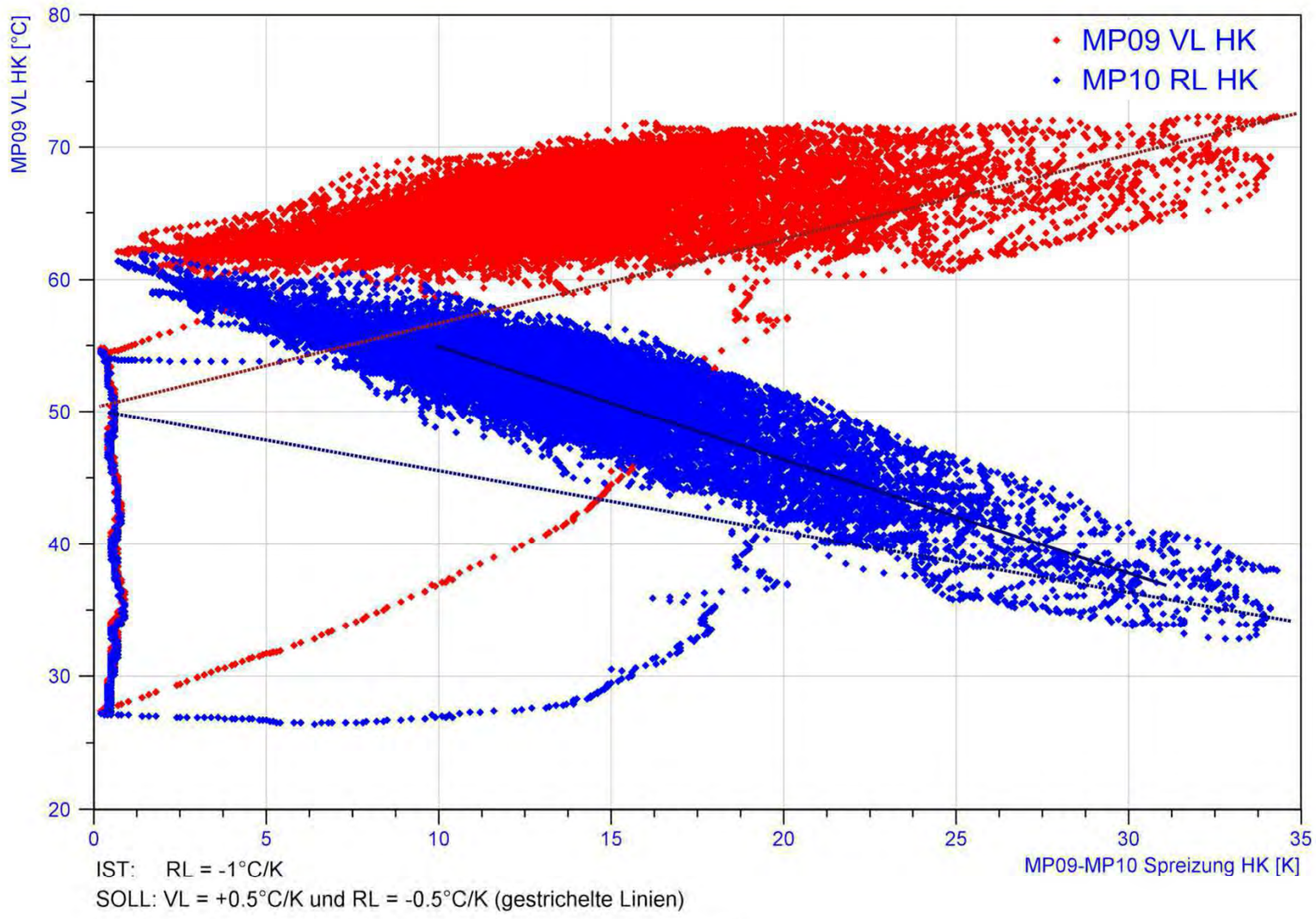

MP05-1 VL Puffer-Heizverteiler [°C]
70
67.5
65
62.5
60
57.5
MP06-1 RL Puffer-Heizverteiler [°C]
60
55
50
45
40
35
30
50
60
70
80
90
MP04 RL Heiz sek [°C]
MP05-1 VL Puffer-Heizverteiler
MP06-1 RL Puffer-Heizverteiler

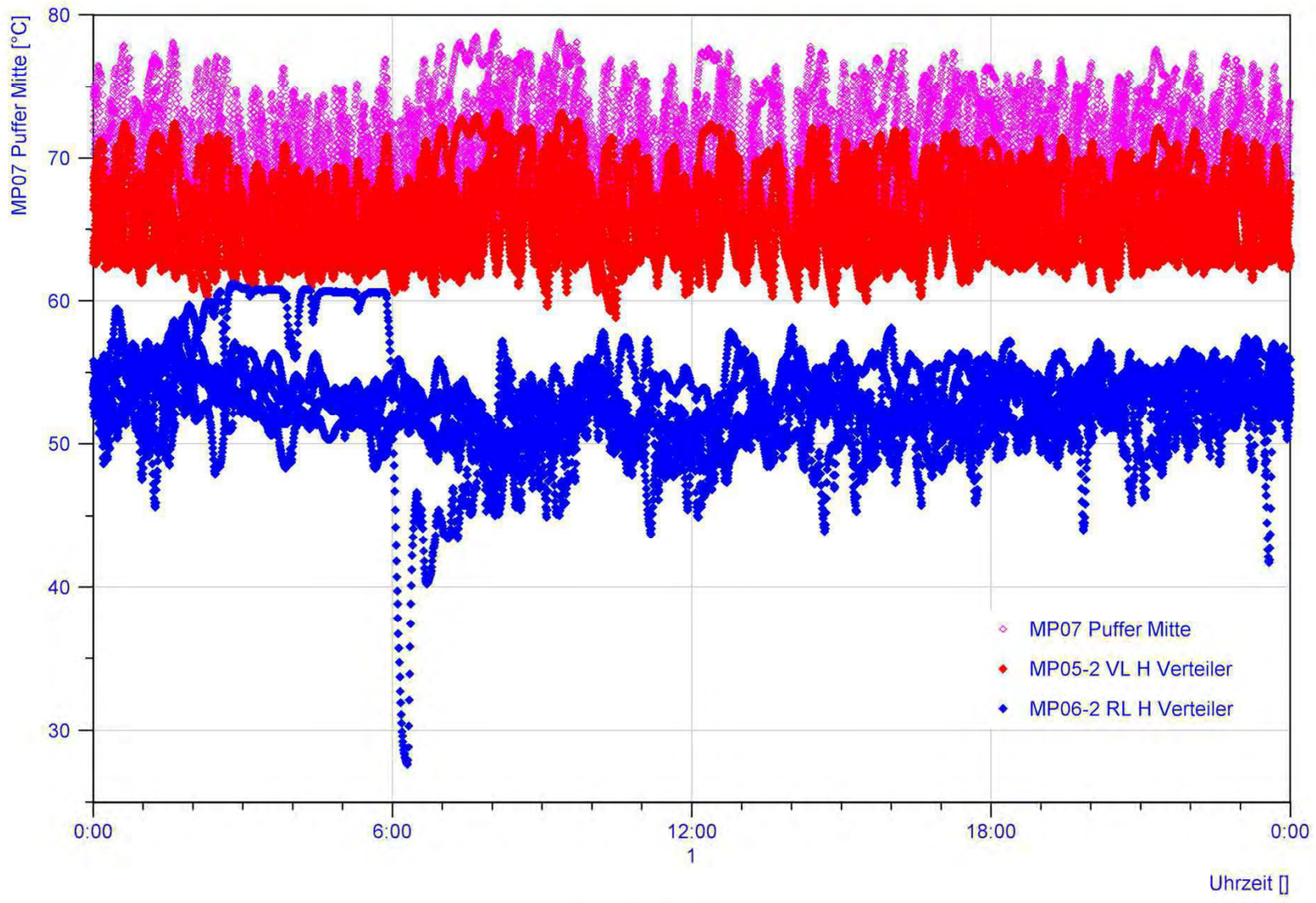

MP03 VL Heiz sek [°C]
90
80
70
60
50
40
30
20
21.01
22.01
23.01
24.01
25.01
26.01
27.01
28.01
29.01
MP03 VL Heiz sek, MP04 RL Heiz sek
MP05-1 VL Puffer-Heizverteiler, MP06-1 RL Puffer-Heizverteiler
Zeit_korrigiert []

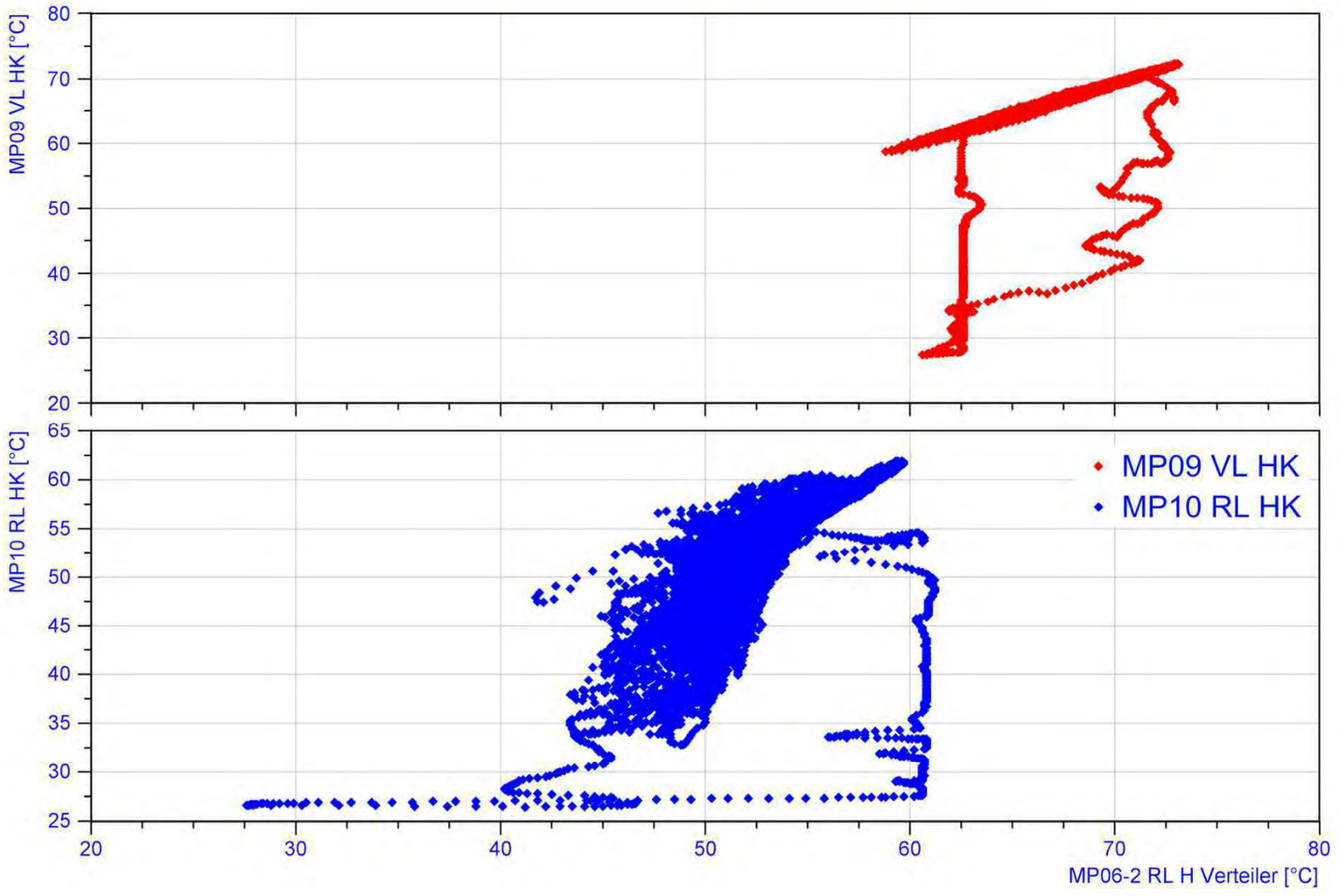

MP01 VL FW prim [°C]
110
100
90
80
70
60
50
21.01
22.01
23.01
24.01
25.01
26.01
27.01
28.01
29.01
Zeit_korrigiert []
MP01 VL FW prim
MP03 VL Heiz sek
MP05-1 VL Puffer-Heizverteiler
MP05-2 VL H Verteiler
MP09 VL HK
MP13 VL TWw

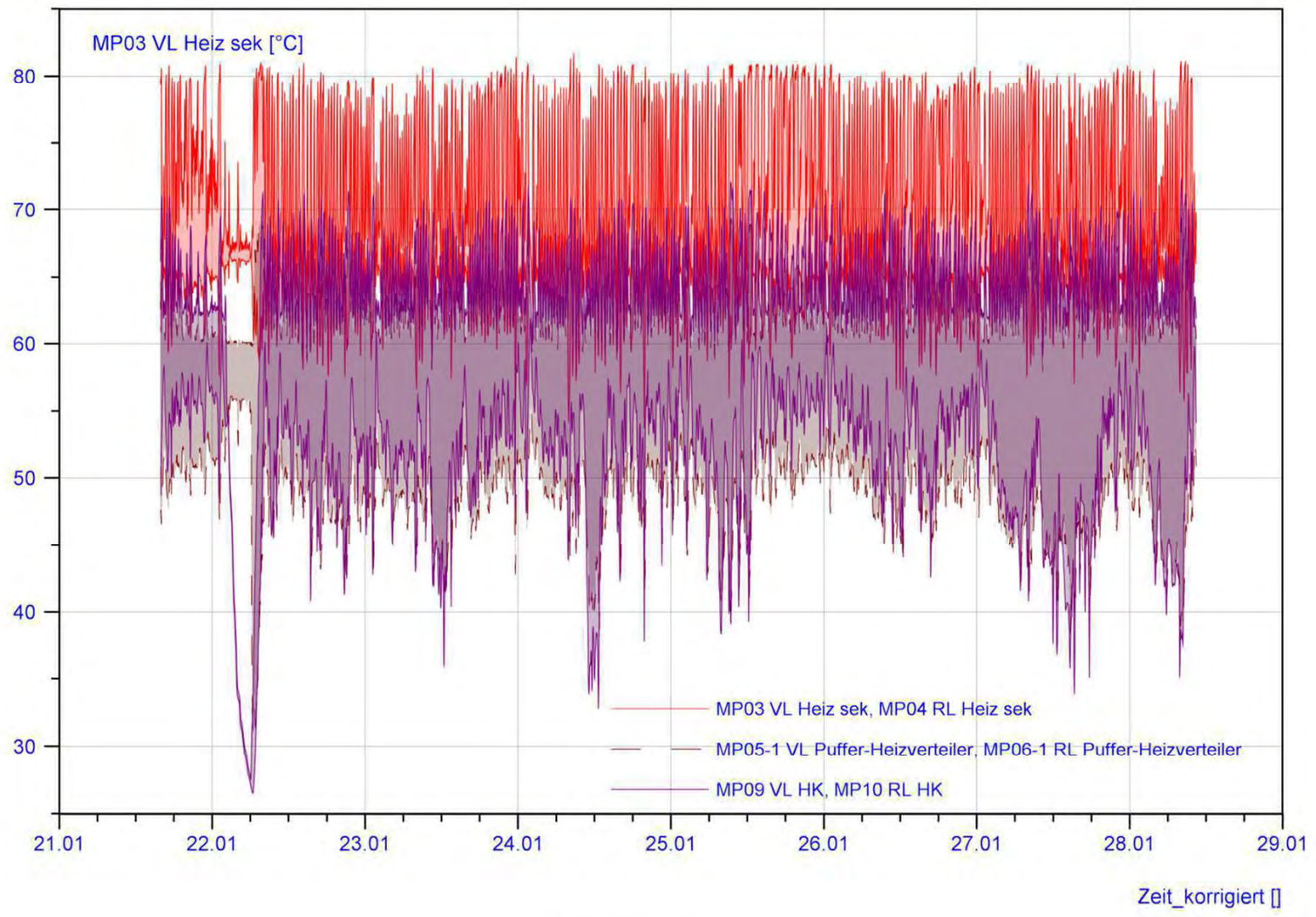

MP05-2 VL H Verteiler [°C]
80
70
60
50
40
30
20
21.01
22.01
23.01
24.01
25.01
26.01
27.01
28.01
29.01
MP05-2 VL H Verteiler
MP09 VL HK
MP10 RL HK
Zeit_korrigiert []


MP09 VL HK [°C]
80
70
60
50
40
30
20
10
0
3
3.5
4
4.5
5
5.5
6
6.5
MP16 12h Mittel TFA-1 [°C]
MP09 VL HK
MP10 RL HK
MP09-MP10 Spreizung HK

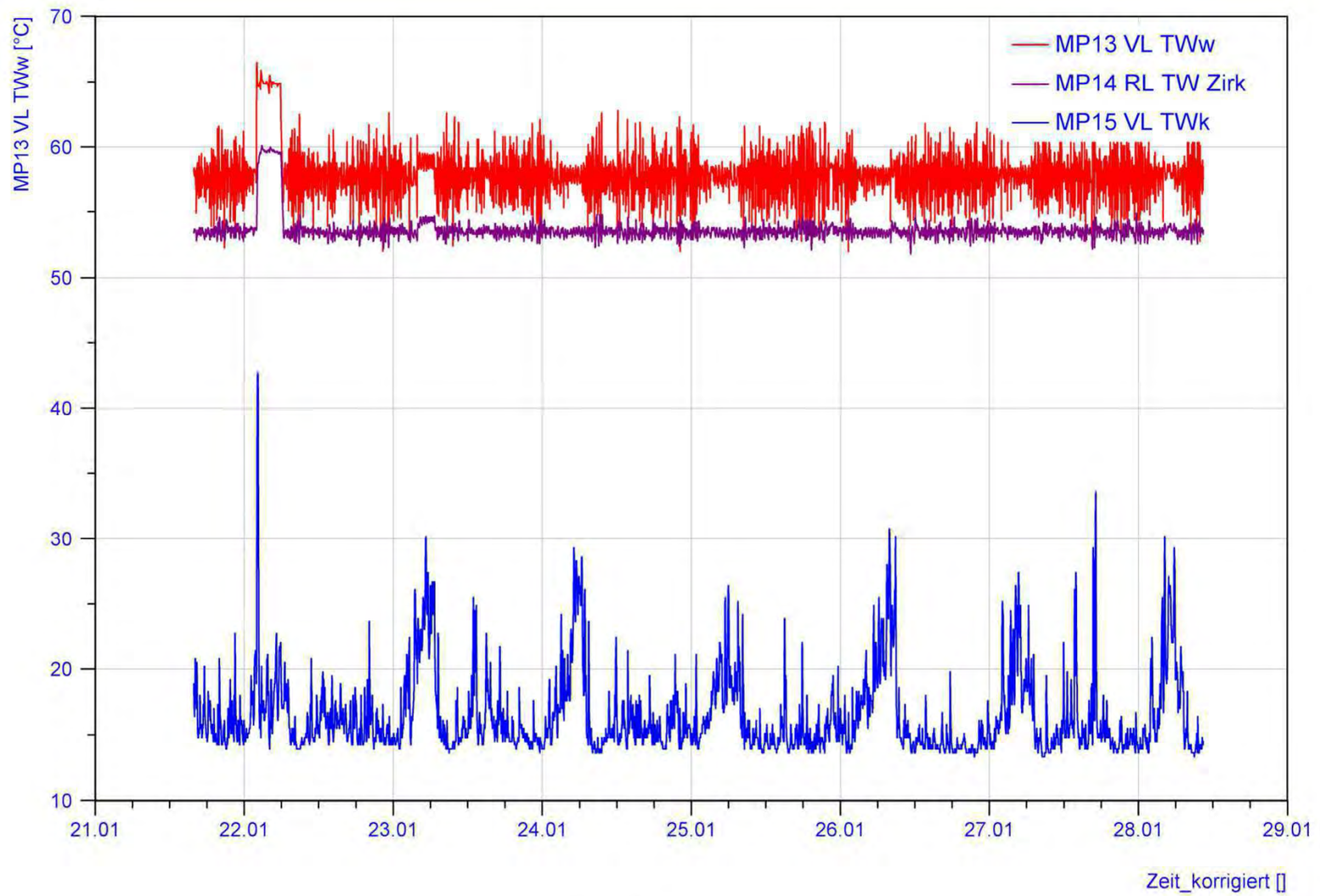

MP09 VL HK
MP10 RL HK
MP09 VL HK [°C]
80
70
60
50
40
30
20
0
5
10
15
20
25
30
35
MP09-MP10 Spreizung HK [K]
IST: RL = -1°C/K
SOLL: VL = +0.5°C/K und RL = -0.5°C/K (gestrichelte Linien)

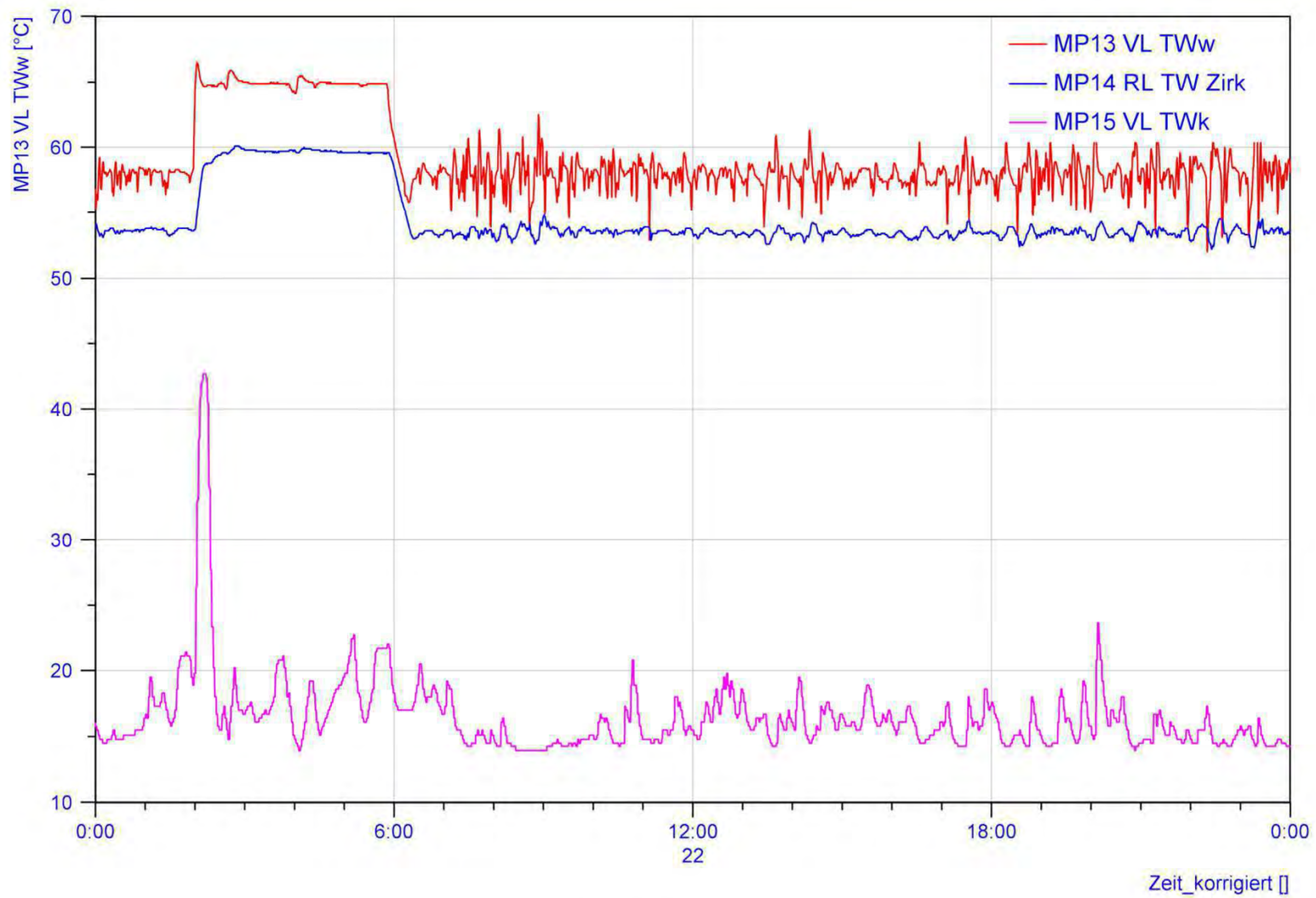

MP07 Puffer Mitte [°C]
80
70
60
50
40
30
0:00
6:00
12:00
1
18:00
0:00
Uhrzeit []
MP07 Puffer Mitte
MP05-2 VL H Verteiler
MP06-2 RL H Verteiler

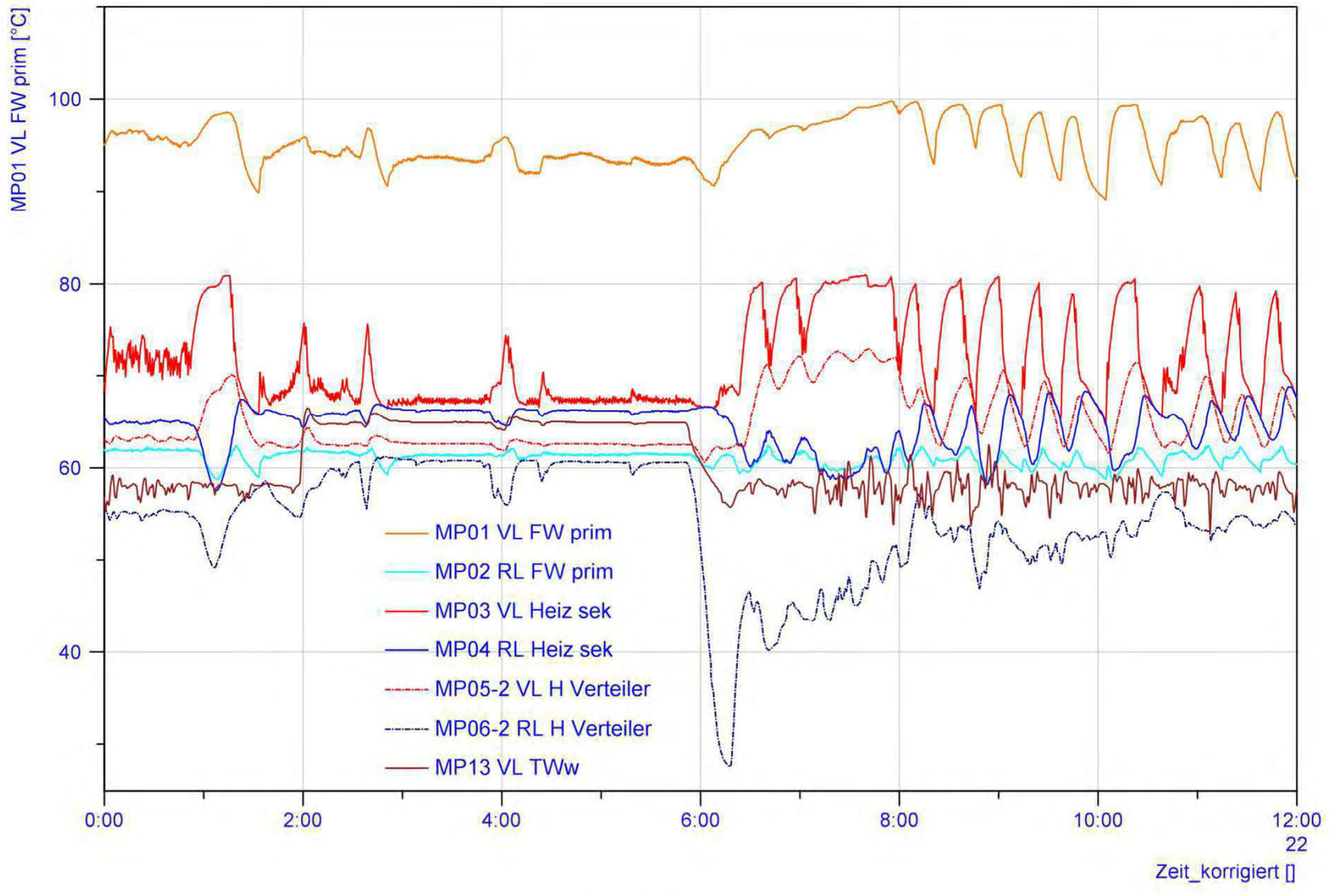

MP09 VL HK [°C]
80
70
60
50
40
30
20
MP10 RL HK [°C]
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
30
40
50
60
70
80
MP06-2 RL H Verteiler [°C]
MP09 VL HK
MP10 RL HK

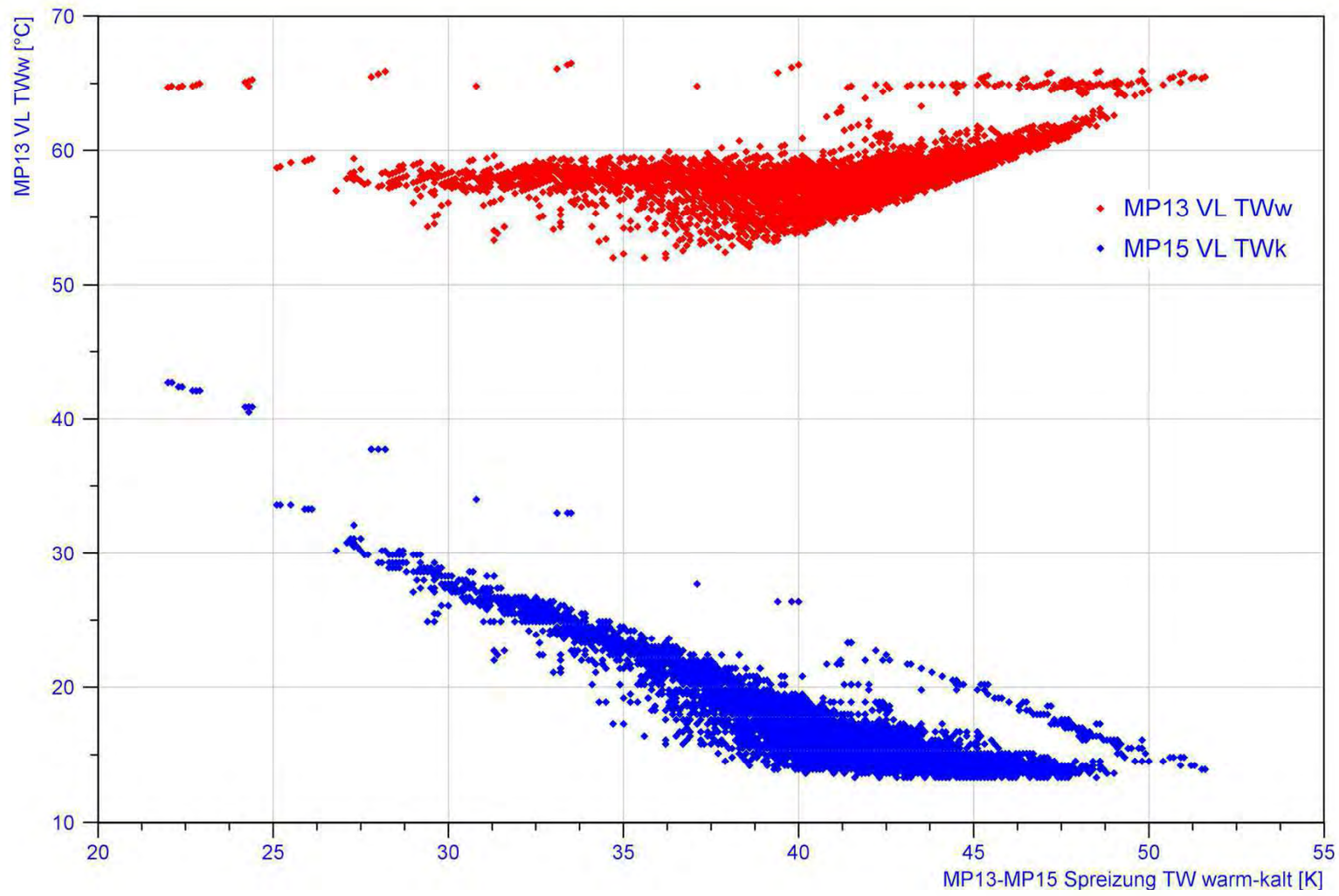


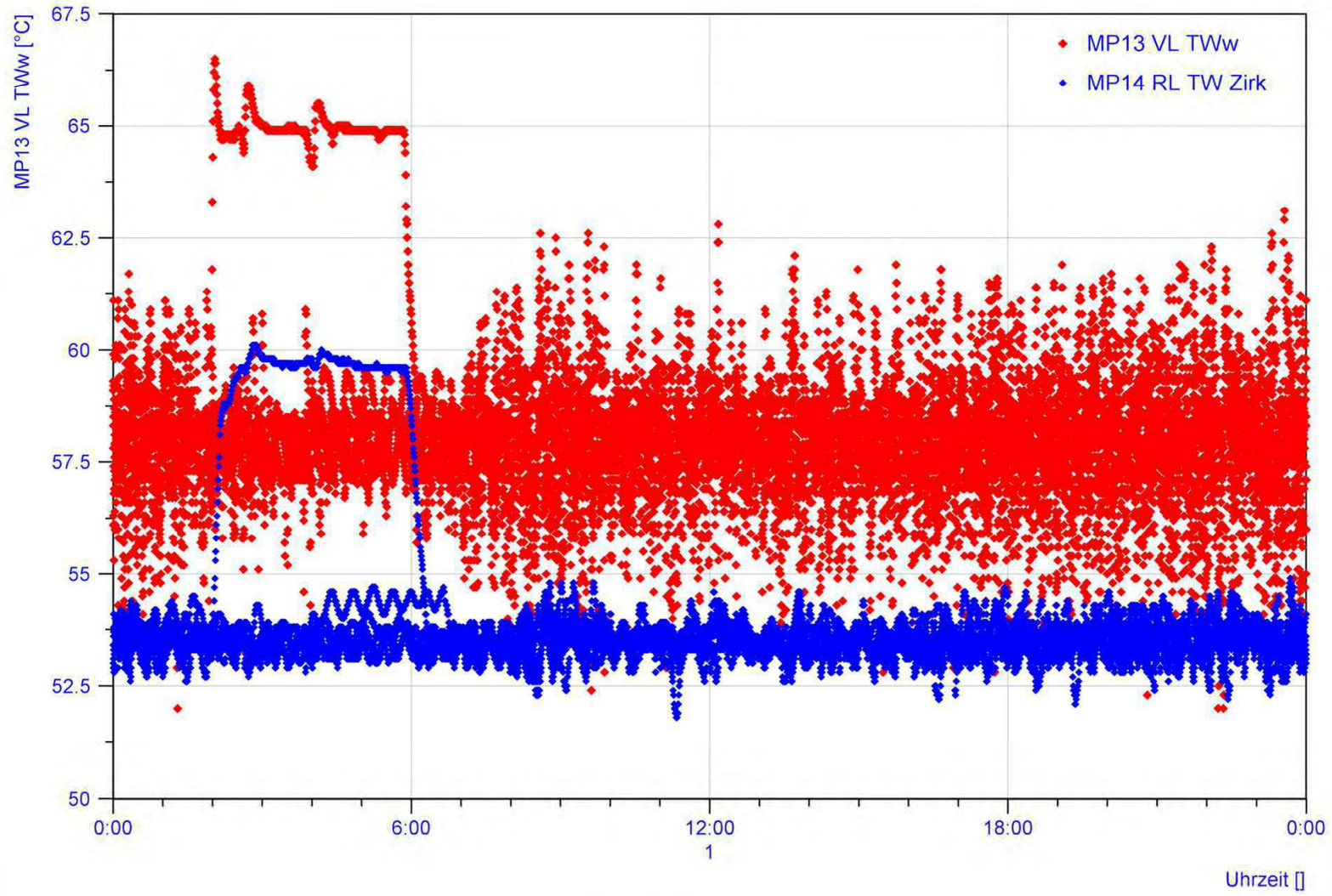
Seite 31 von 44


MP13 VL TWw [°C]
70
60
50
40
30
20
10
MP13 VL TWw
MP14 RL TW Zirk
MP15 VL TWk
21.01
22.01
23.01
24.01
25.01
26.01
27.01
28.01
29.01
Zeit_korrigiert []

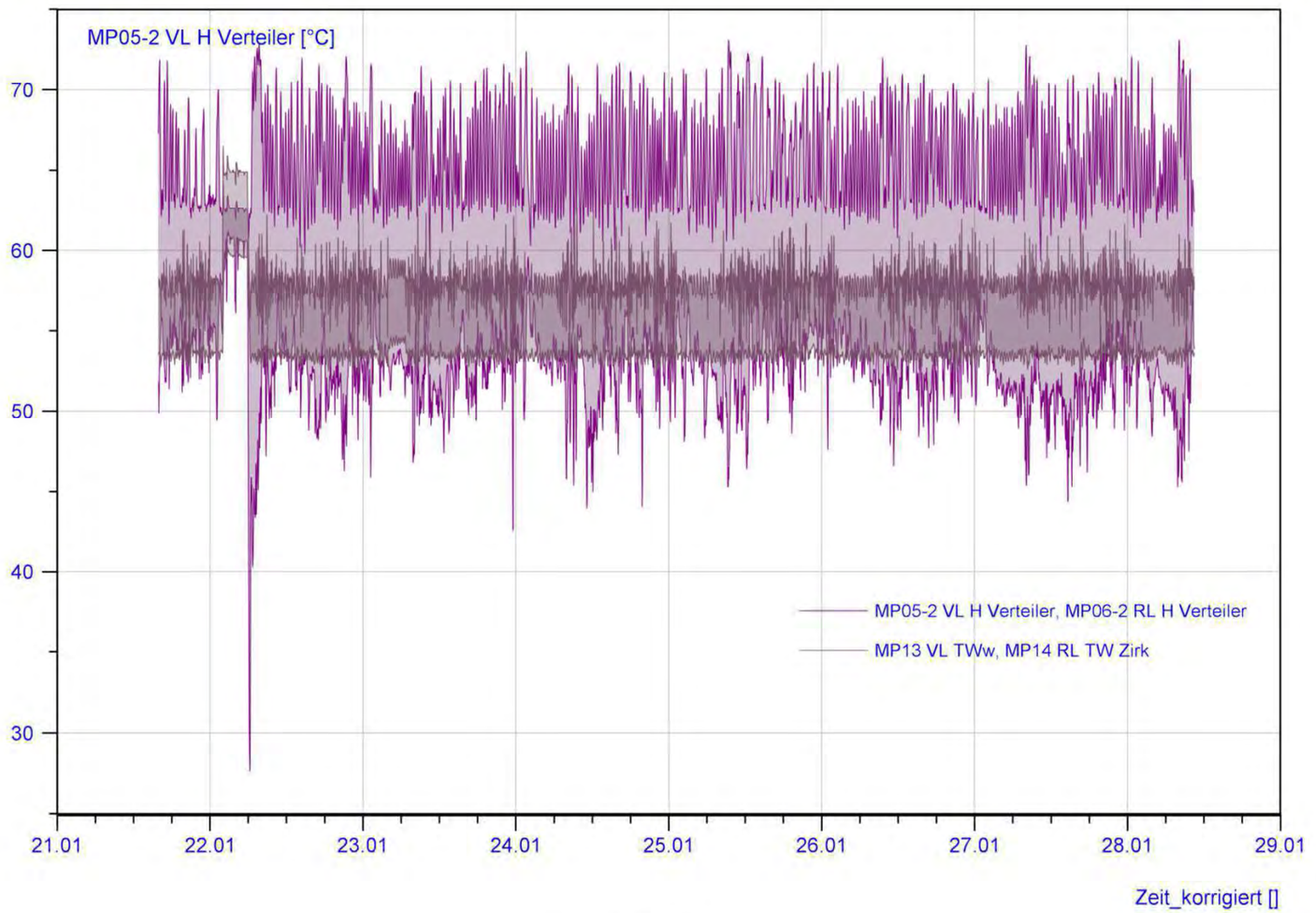

MP13 VL TWw [°C]
70
60
50
40
30
20
10
MP13 VL TWw
MP14 RL TW Zirk
MP15 VL TWk
0:00
6:00
12:00
22
18:00
0:00
Zeit_korrigiert []

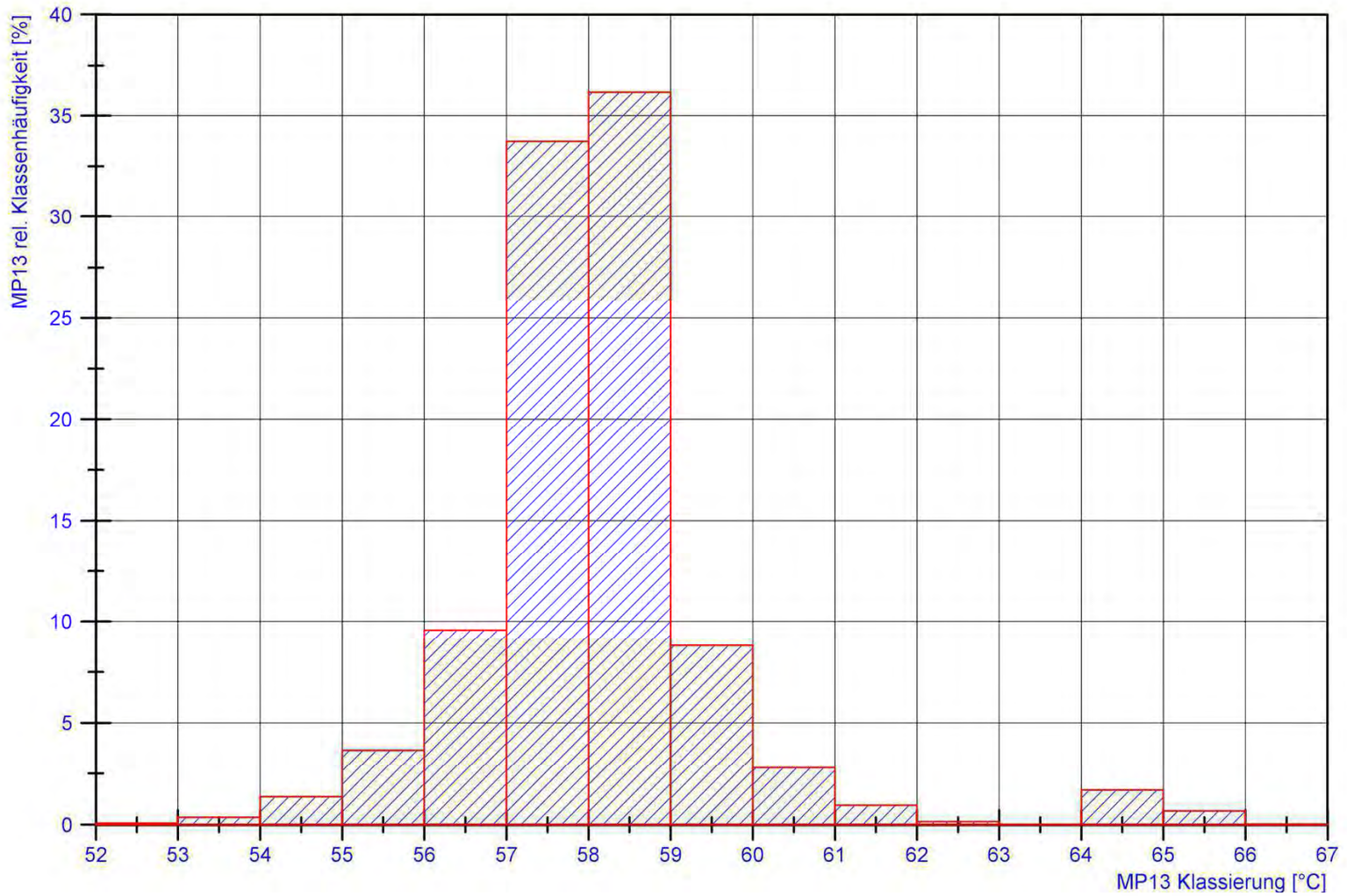

MP01 VL FW prim [°C]
100
80
60
40
MP01 VL FW prim
MP02 RL FW prim
MP03 VL Heiz sek
MP04 RL Heiz sek
MP05-2 VL H Verteiler
MP06-2 RL H Verteiler
MP13 VL TWw
0:00
2:00
4:00
6:00
8:00
10:00
12:00
22
Zeit_korrigiert []

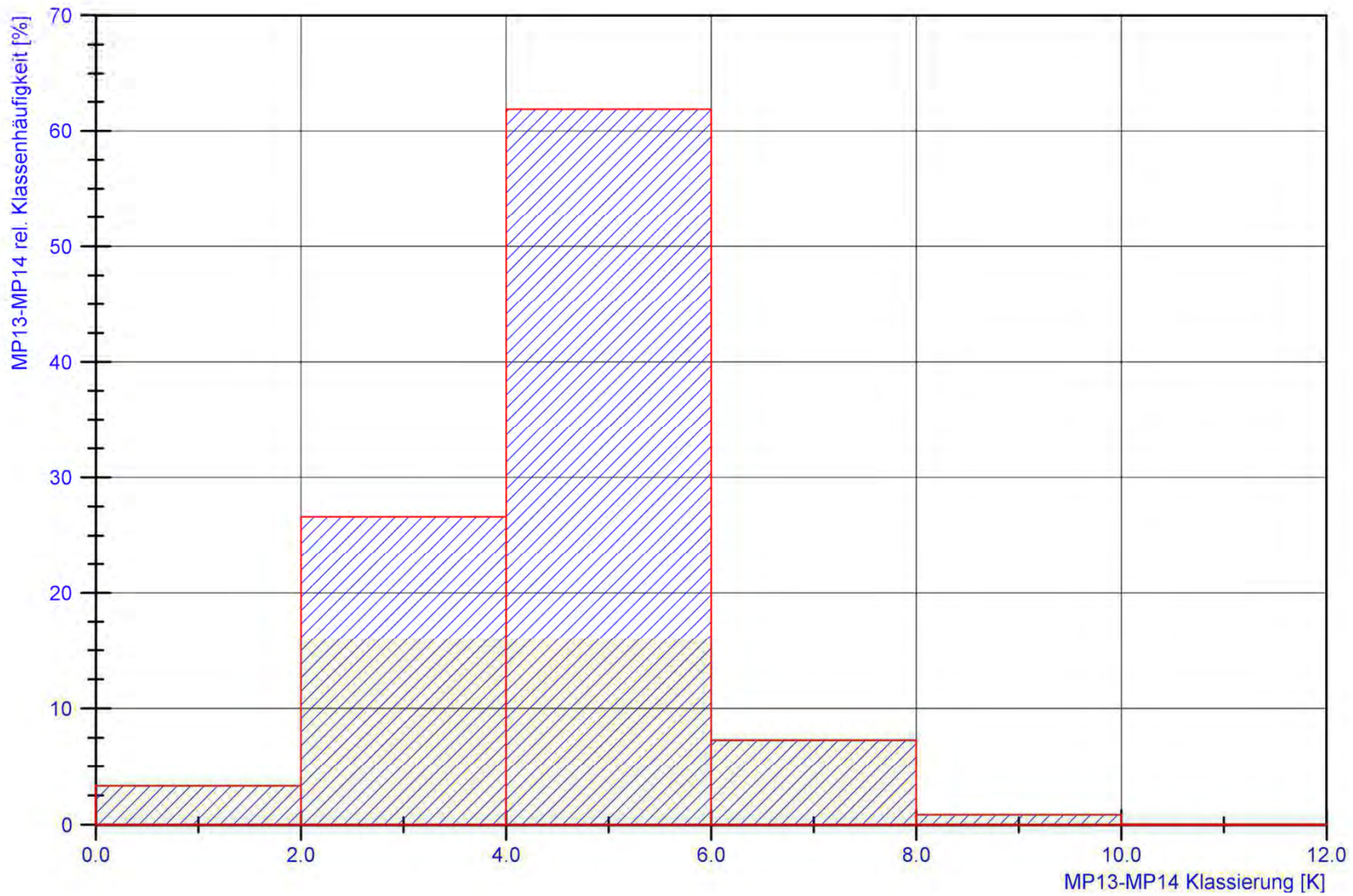

MP13 VL TWw [°C]
70
60
50
40
30
20
10
20
25
30
35
40
45
50
55
MP13-MP15 Spreizung TW warm-kalt [K]
MP13 VL TWw
MP15 VL TWk

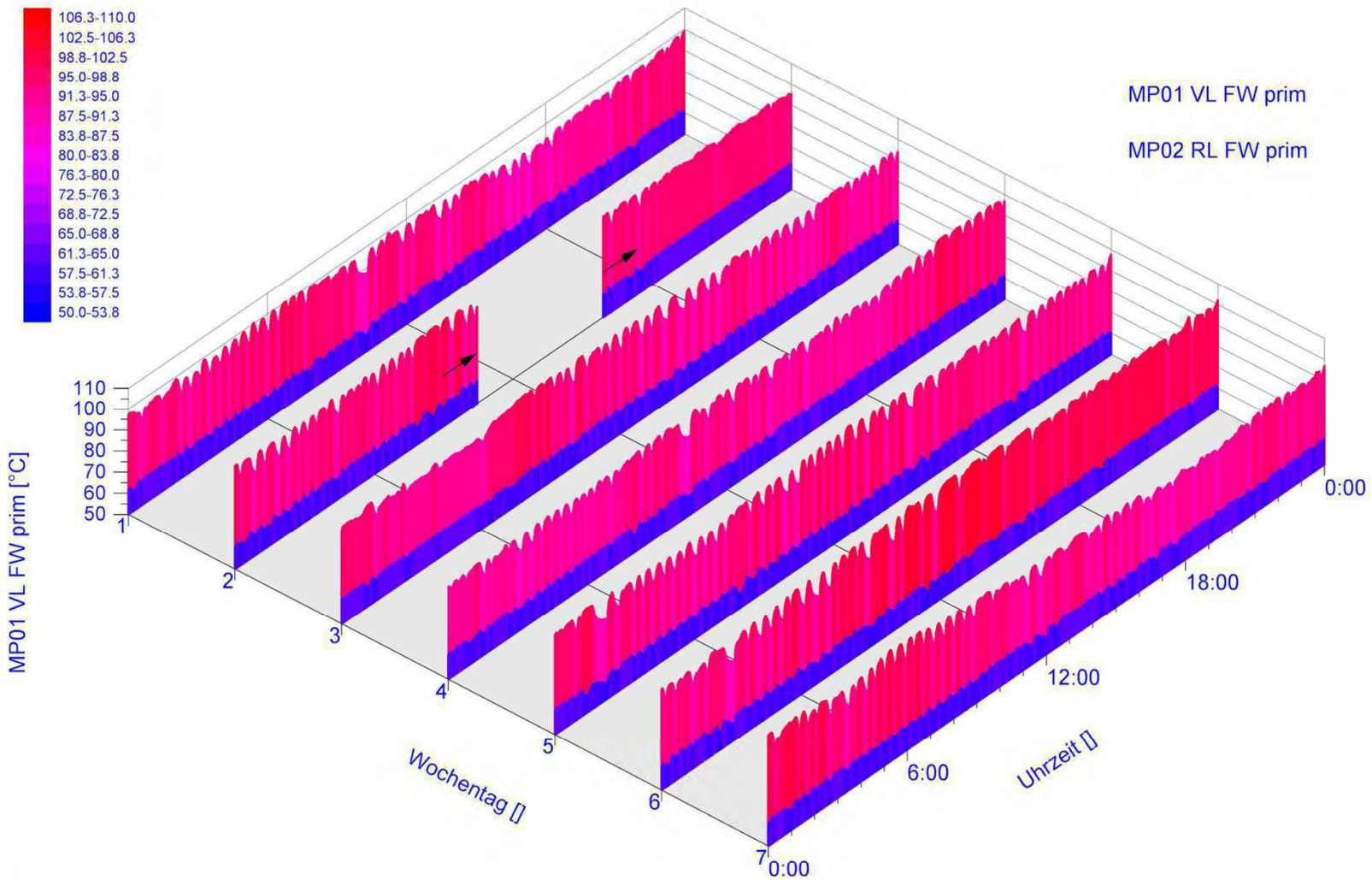


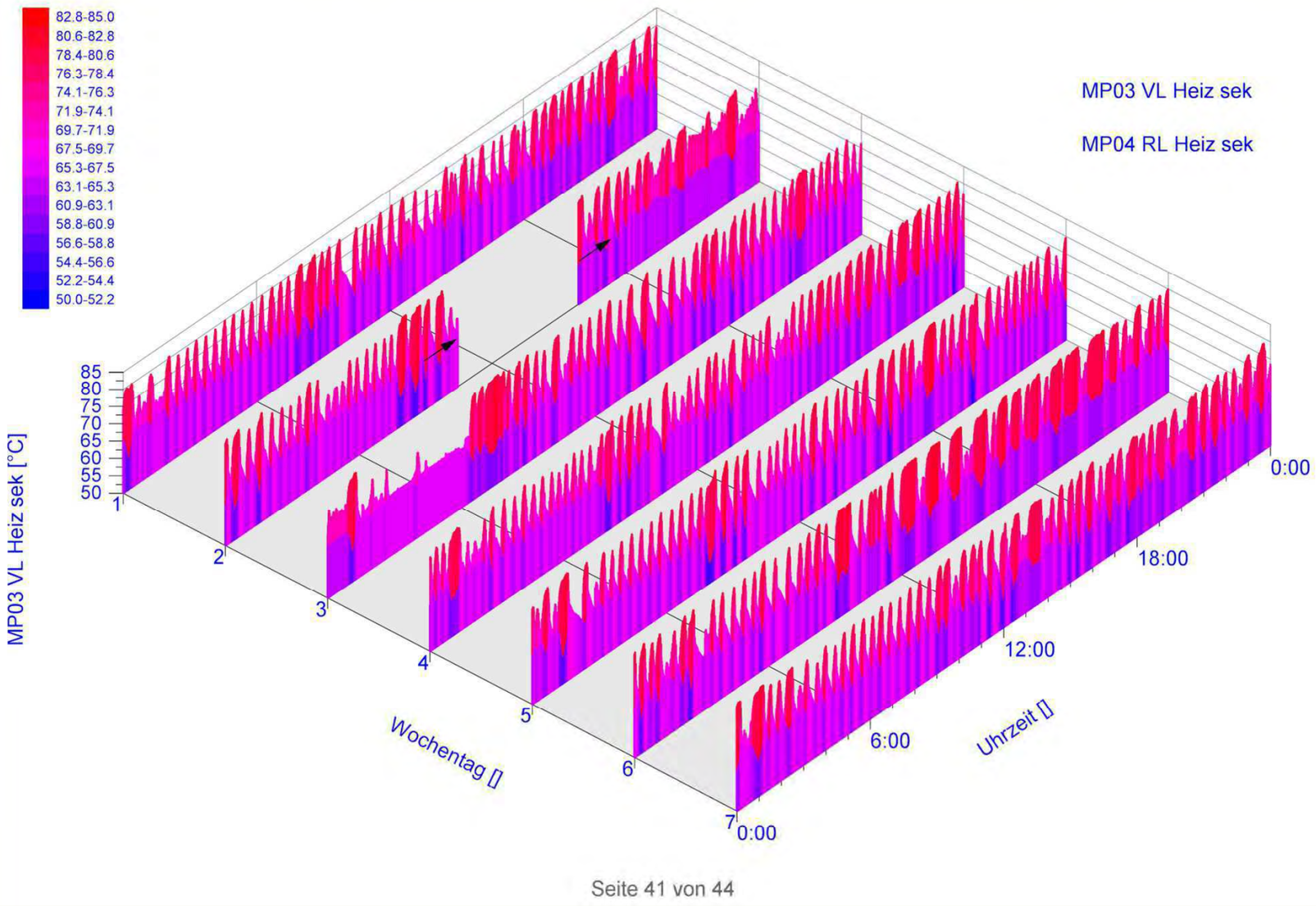
Seite 36 von 44

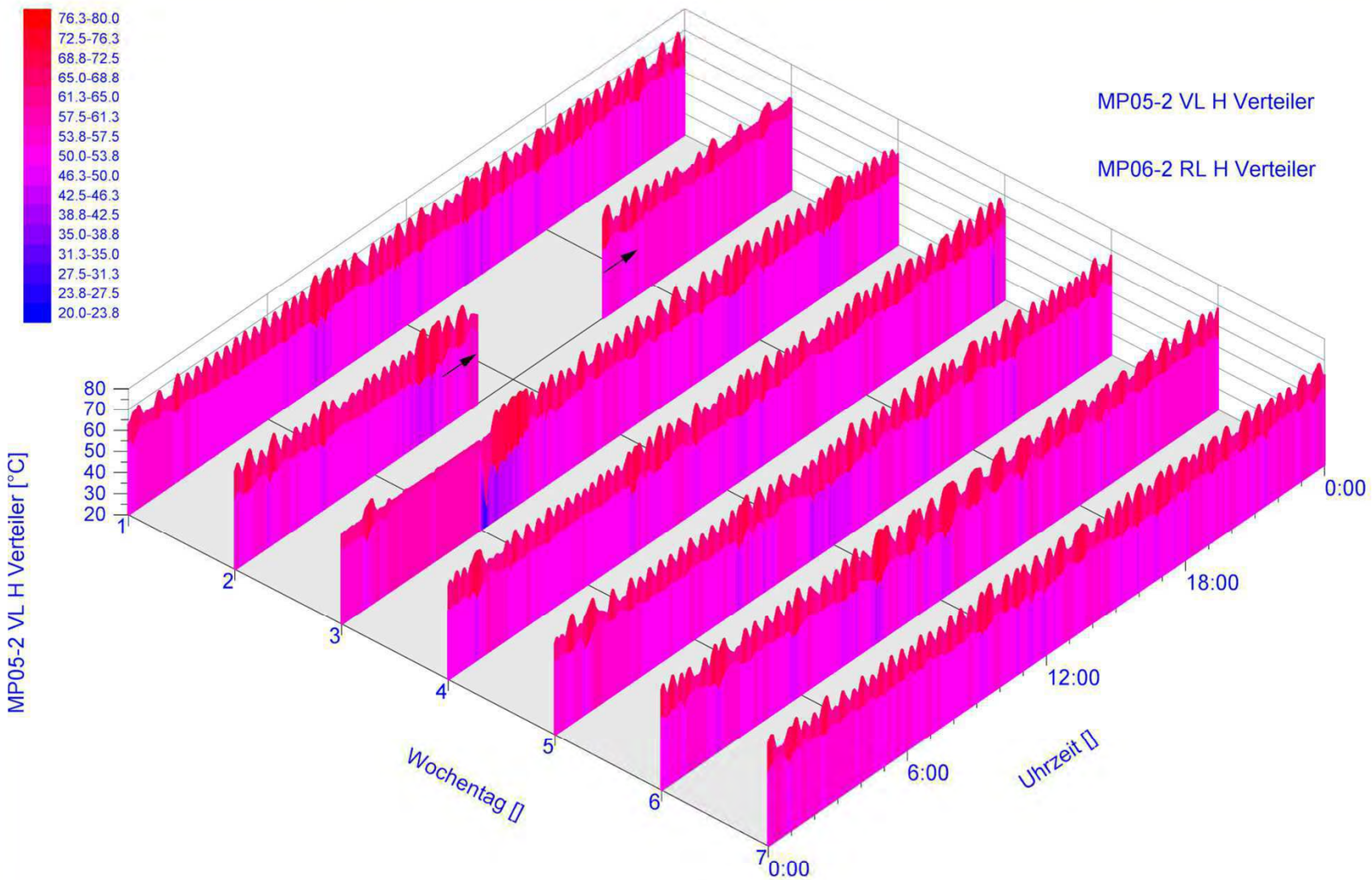

MP05-2 VL H Verteiler [°C]
70
60
50
40
30
21.01
22.01
23.01
24.01
25.01
26.01
27.01
28.01
29.01
MP05-2 VL H Verteiler, MP06-2 RL H Verteiler
MP13 VL TWw, MP14 RL TW Zirk
Zeit_korrigiert []

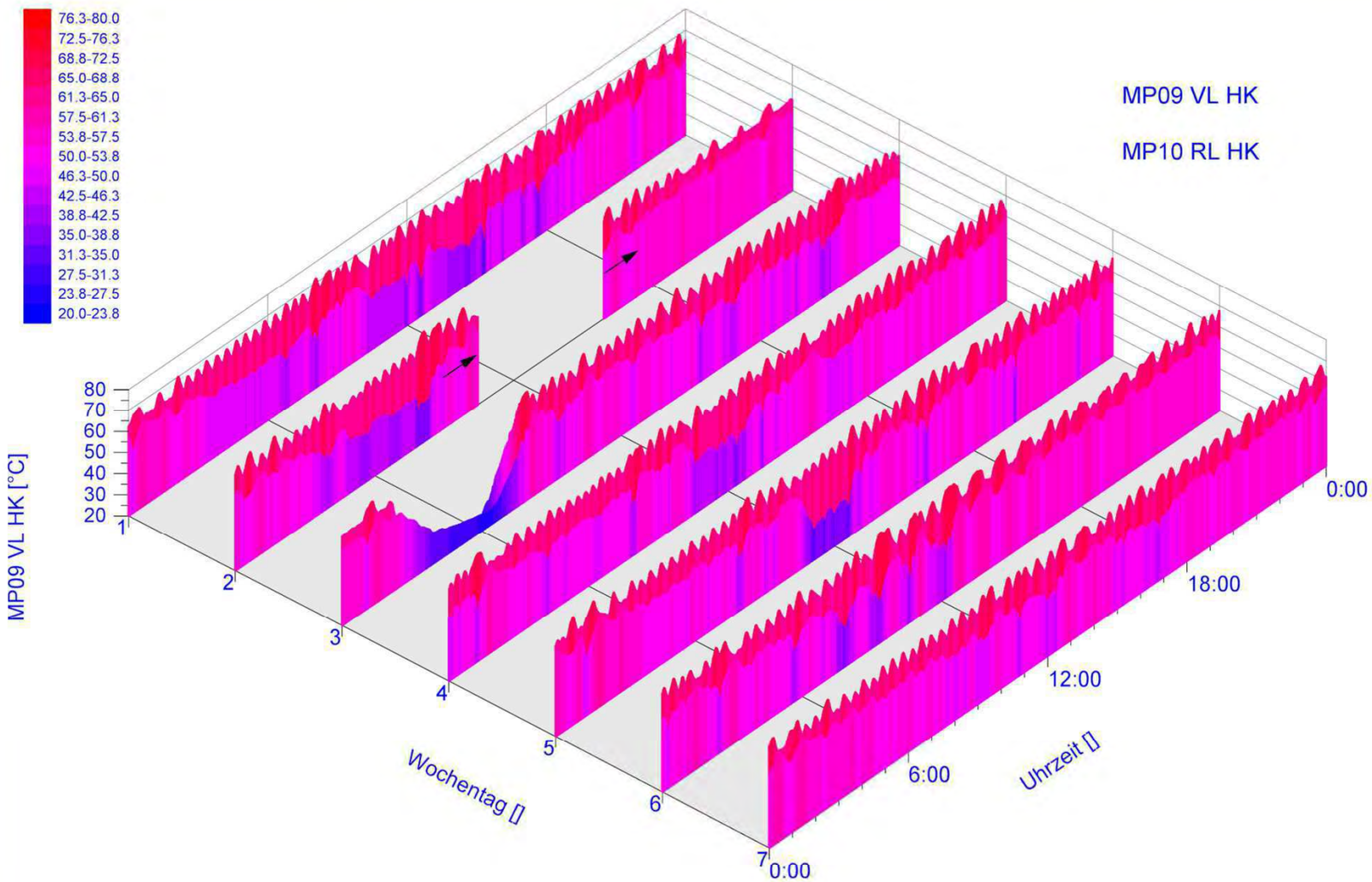

MP13 rel. Klassenhäufigkeit [%]
40
35
30
25
20
15
10
5
0
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
MP13 Klassierung [°C]

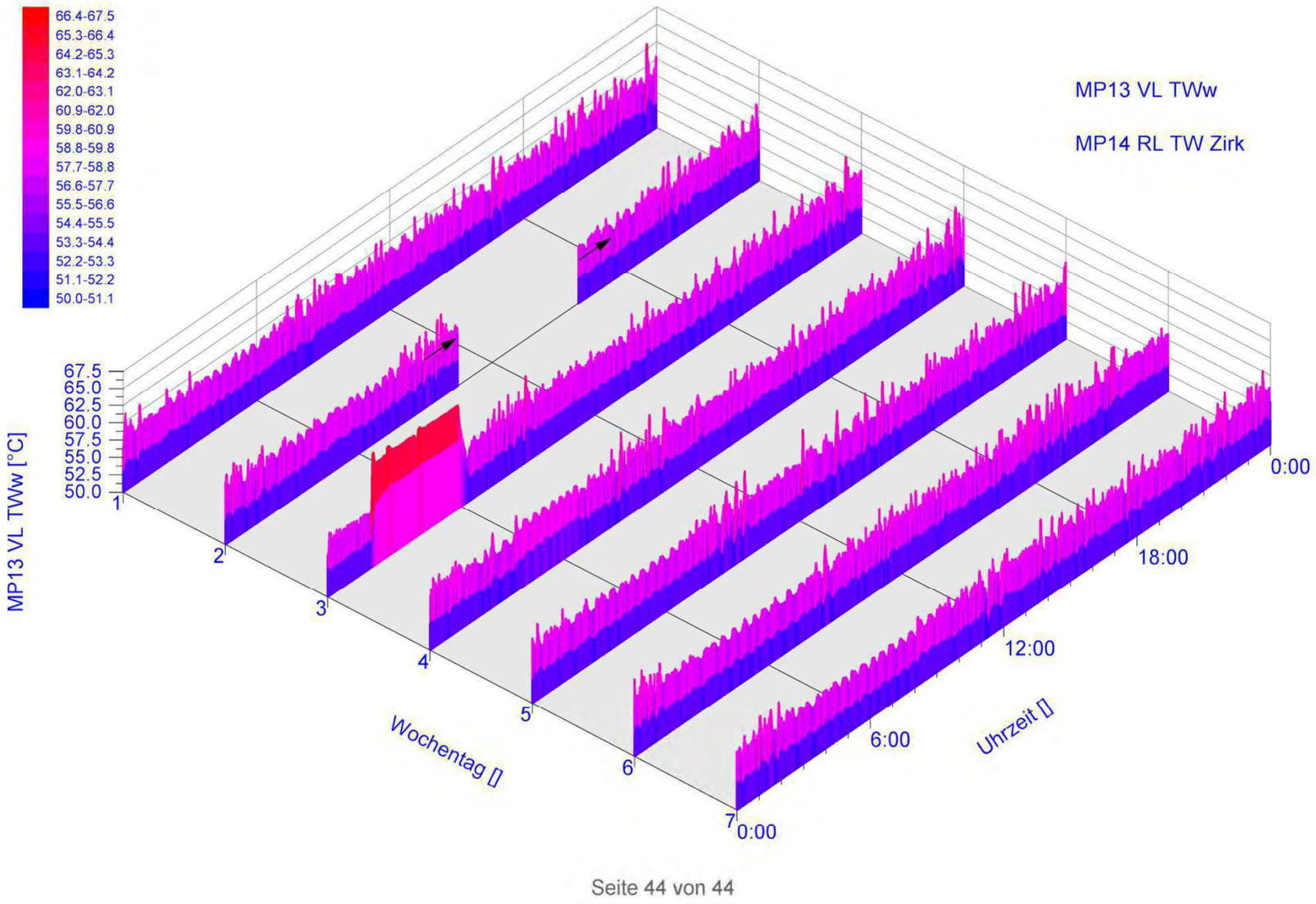

MP13-MP14 rel. Klassenhäufigkeit [%]
70
60
50
40
30
20
10
0
0.0
2.0
4.0
6.0
8.0
10.0
12.0
MP13-MP14 Klassierung [K]


106.3-110.0
102.5-106.3
98.8-102.5
95.0-98.8
91.3-95.0
87.5-91.3
83.8-87.5
80.0-83.8
76.3-80.0
72.5-76.3
68.8-72.5
65.0-68.8
61.3-65.0
57.5-61.3
53.8-57.5
50.0-53.8
MP01 VL FW prim
MP02 RL FW prim
MP01 VL FW prim [°C]
110
100
90
80
70
60
50
1
2
3
4
5
6
7
Wochentag []
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
Uhrzeit []


82.8-85.0
80.6-82.8
78.4-80.6
76.3-78.4
74.1-76.3
71.9-74.1
69.7-71.9
67.5-69.7
65.3-67.5
63.1-65.3
60.9-63.1
58.8-60.9
56.6-58.8
54.4-56.6
52.2-54.4
50.0-52.2
MP03 VL Heiz sek
MP04 RL Heiz sek
MP03 VL Heiz sek [°C]
85
80
75
70
65
60
55
50
1
2
3
4
5
6
7
Wochentag []
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
Uhrzeit []


76.3-80.0
72.5-76.3
68.8-72.5
65.0-68.8
61.3-65.0
57.5-61.3
53.8-57.5
50.0-53.8
46.3-50.0
42.5-46.3
38.8-42.5
35.0-38.8
31.3-35.0
27.5-31.3
23.8-27.5
20.0-23.8
MP05-2 VL H Verteiler
MP06-2 RL H Verteiler
MP05-2 VL H Verteiler [°C]
80
70
60
50
40
30
20
1
2
3
4
5
6
7
Wochentag []
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
Uhrzeit []

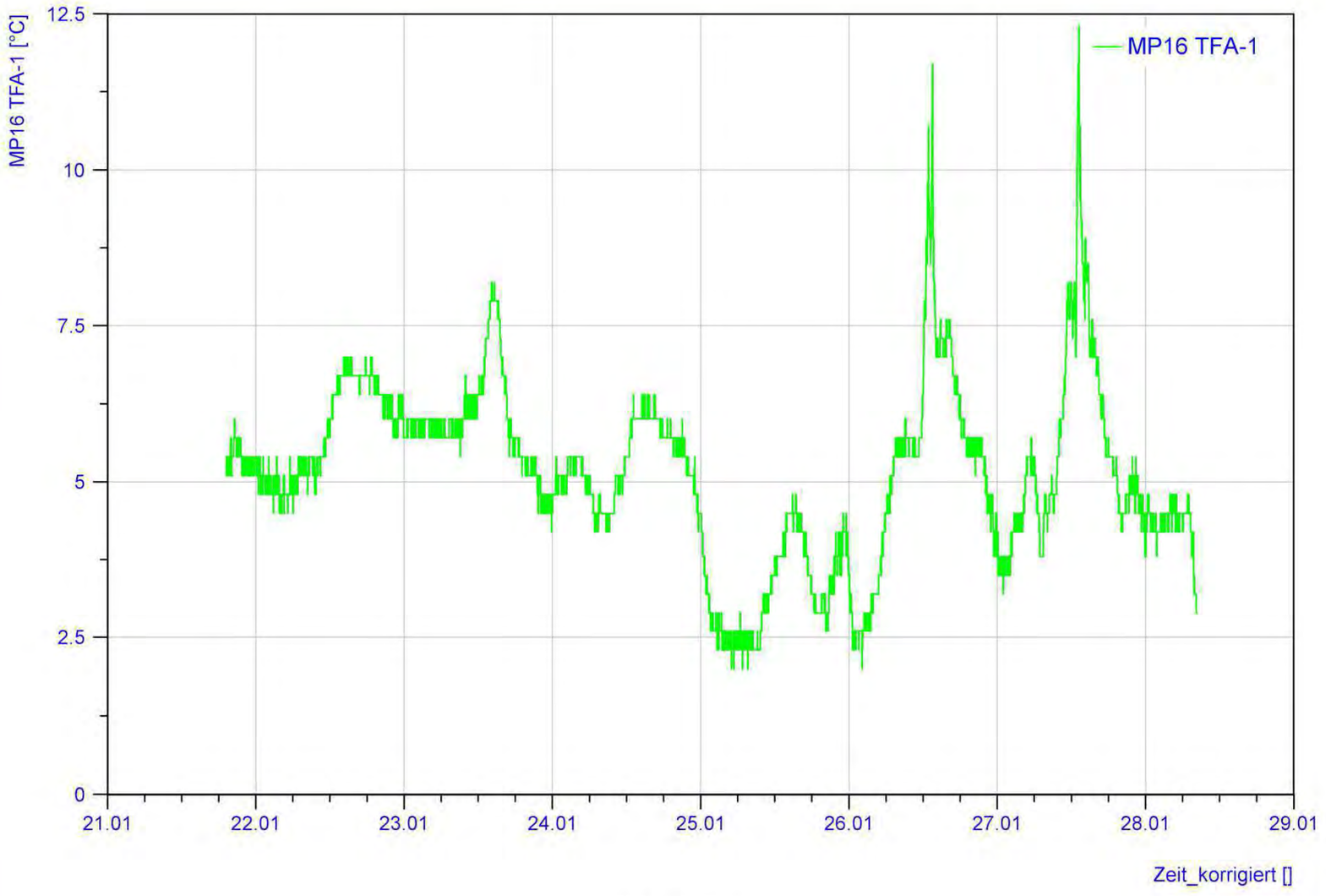

76.3-80.0
72.5-76.3
68.8-72.5
65.0-68.8
61.3-65.0
57.5-61.3
53.8-57.5
50.0-53.8
46.3-50.0
42.5-46.3
38.8-42.5
35.0-38.8
31.3-35.0
27.5-31.3
23.8-27.5
20.0-23.8
MP09 VL HK
MP10 RL HK
MP09 VL HK [°C]
80
70
60
50
40
30
20
1
2
3
4
5
6
7
Wochentag []
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
Uhrzeit []

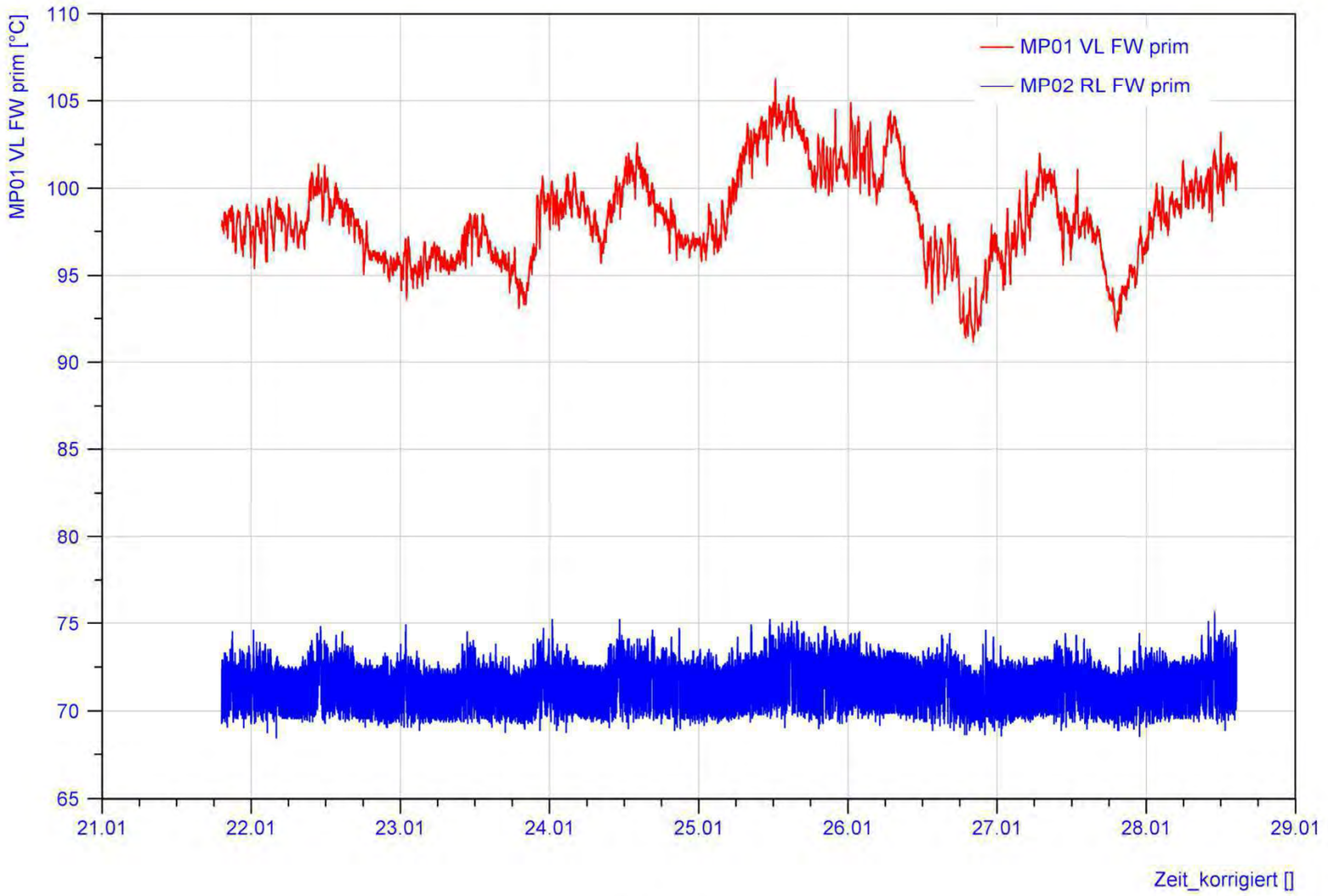


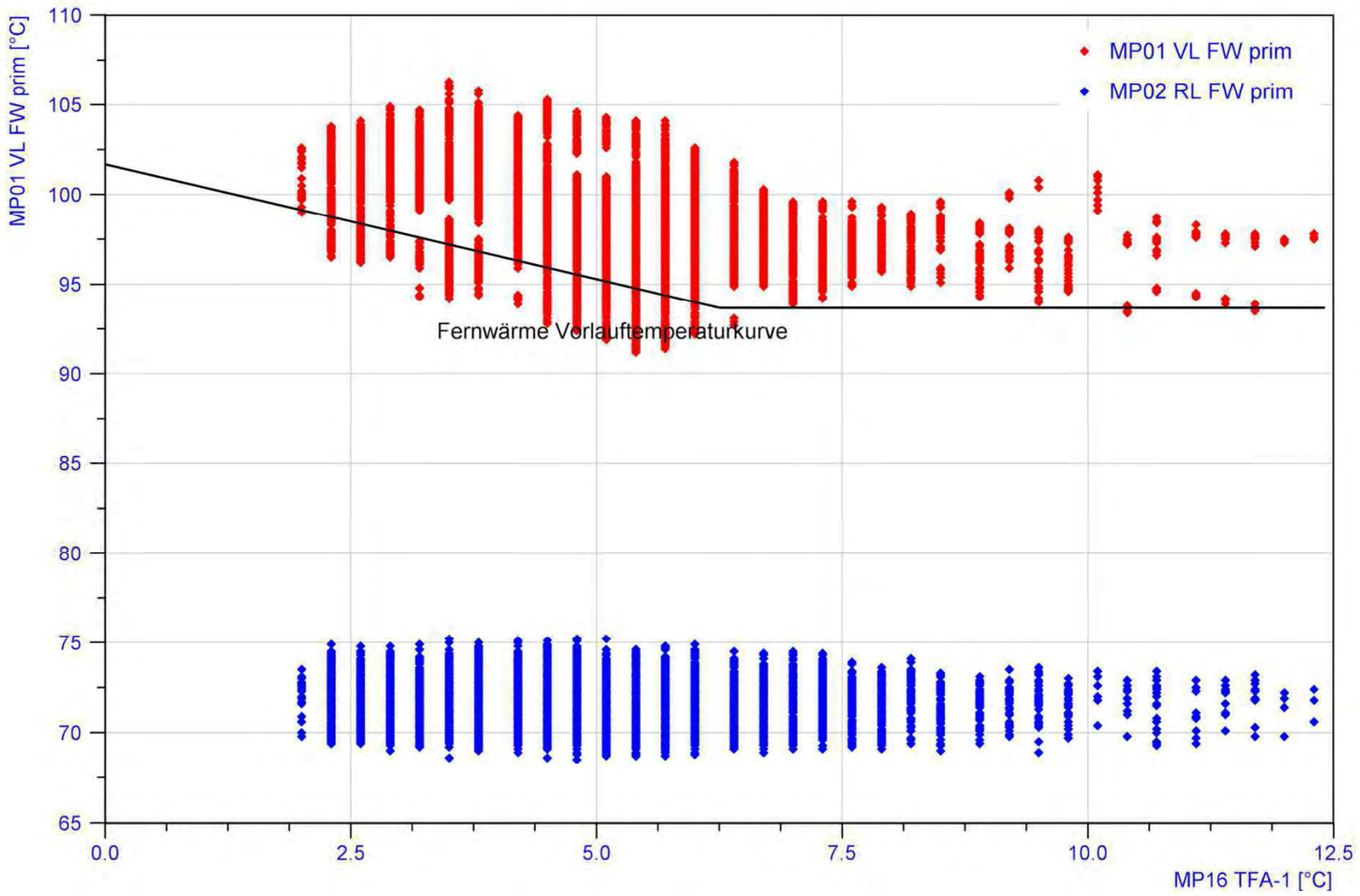
Seite 44 von 44

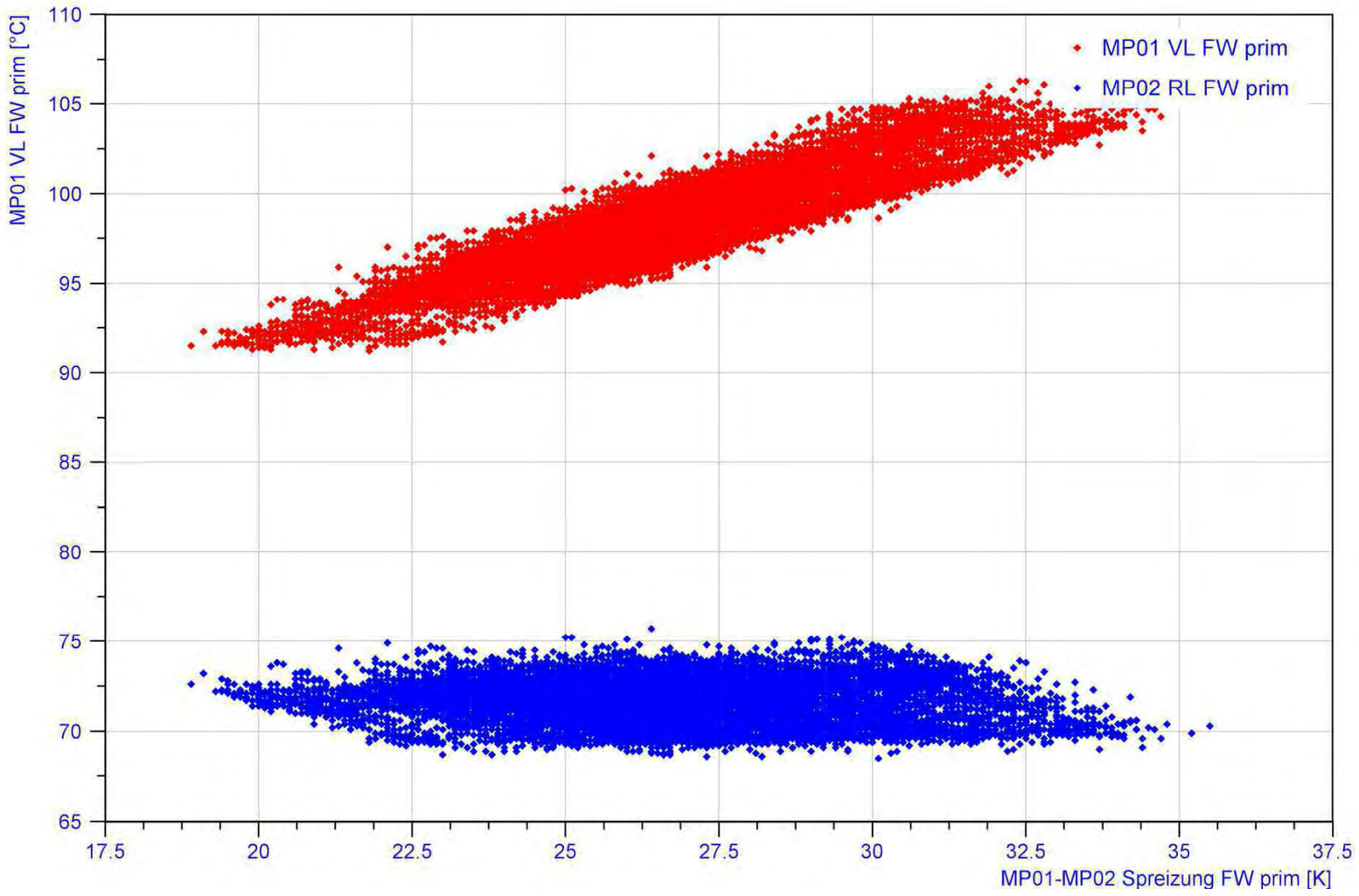
- Haus 2

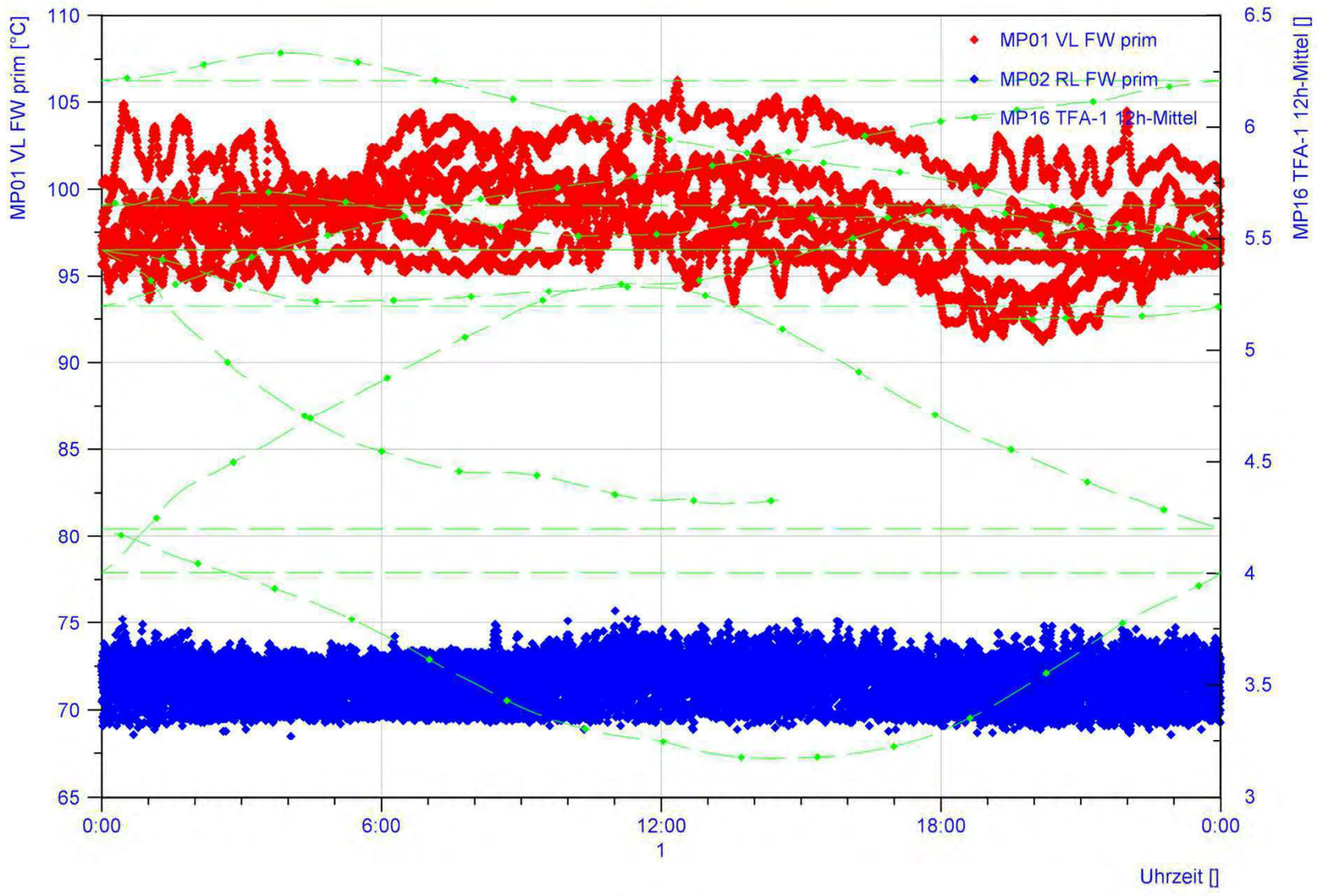
Seitenname	Seite
Inhaltsverzeichnis	1
AT	2
FW Prim	3
FW Prim_AT	4
FW Prim_Spreizung	5
FW Prim 24h	6
FW Prim-Heiz_Sek-Puffer-HK-FBH-TWWB	7
FW Prim-Heiz_Sek-Puffer-HK-FBH-TWWB Spreizung	8
Heiz Sek	9
Heiz Sek_AT	10
Heiz Sek_Spreizung	11
Heiz Sek 24h	12
Heiz Sek_FW Prim	13
Heiz_Sek_FW Prim Flaechen	14
Puffer	15
Puffer_AT	16
Puffer_Spreizung	17
Puffer 24h	18
Puffer_Heiz Sek	19
Puffer_Heiz Sek Flaechen	20
Puffer-Verteiler HK-TWWB	21
FBH	22
FBH_AT	23
FBH_Spreizung	24
FBH 24h	25
FBH_Heiz sek	26
FBH_Puffer Flaechen	27
WT WWB	28
WT WWB 26-01 bis 27-01	29
WT WWB Spreizung	30
WT WWB 24h	31
WT WWB_TWw_Zirk	32
WT WWB_TWw_Zirk Flaechen	33
TWw Klassenhaeufigkeit	34
TWw Zirk 24h	35
Wochenmatrix FW	36
Wochenmatrix Heiz sek	37
Wochenmatrix FBH	38
Wochenmatrix TWWB	39
Wochenmatrix TWw	40

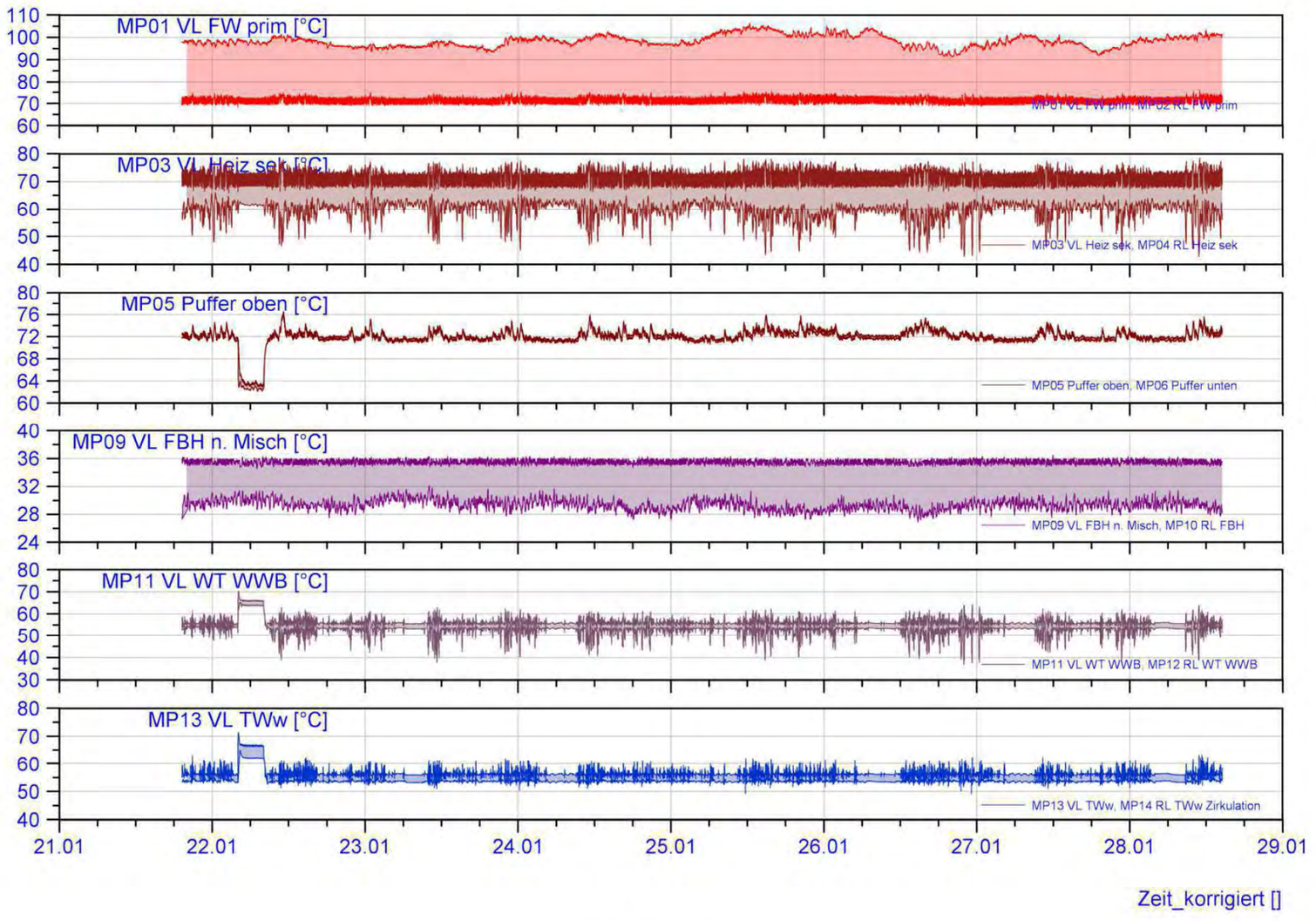

MP16 TFA-1 [°C]
12.5
10
7.5
5
2.5
0
MP16 TFA-1
21.01
22.01
23.01
24.01
25.01
26.01
27.01
28.01
29.01
Zeit_korrigiert []

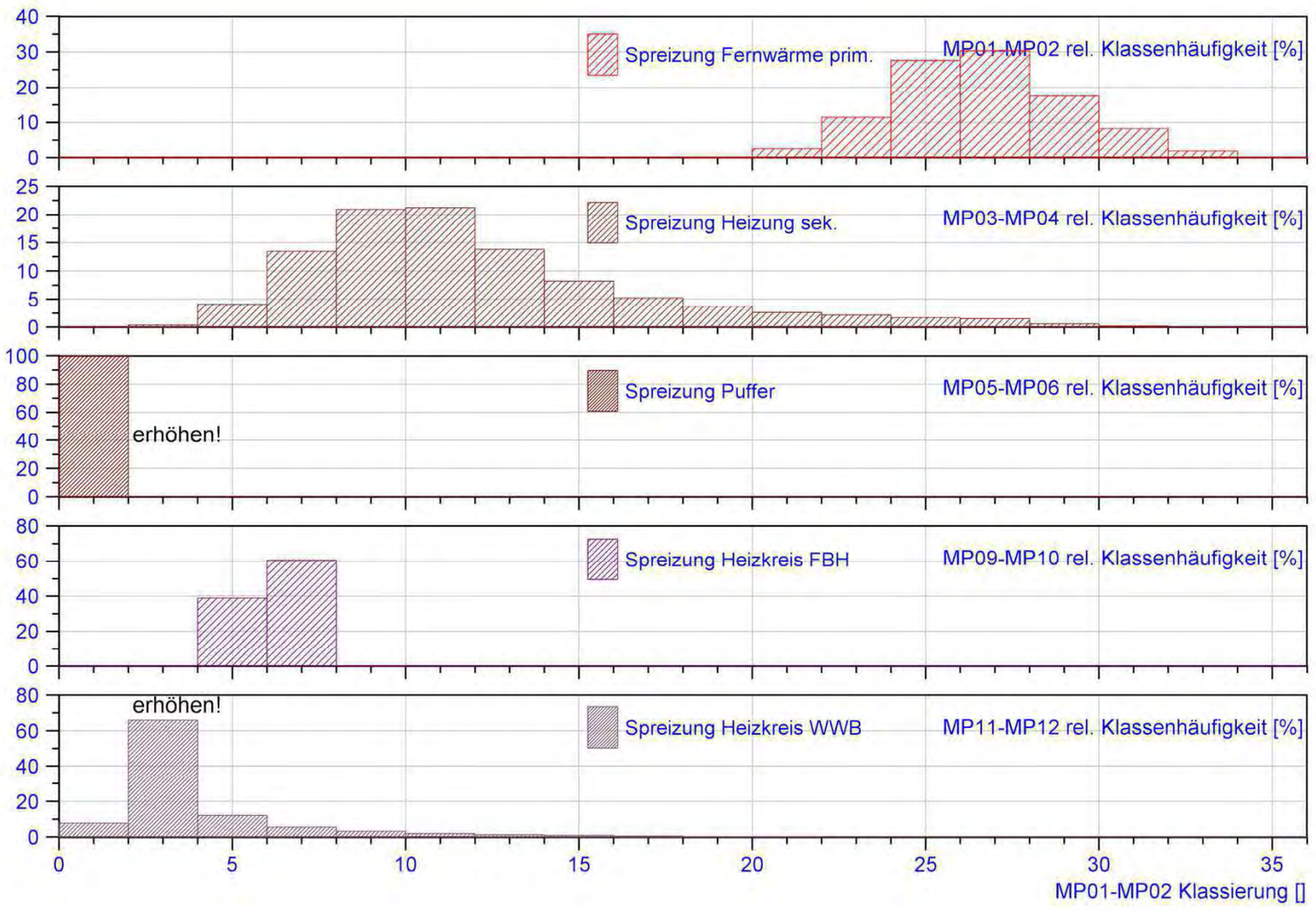

MP01 VL FW prim [°C]
110
105
100
95
90
85
80
75
70
65
MP01 VL FW prim
MP02 RL FW prim
21.01
22.01
23.01
24.01
25.01
26.01
27.01
28.01
29.01
Zeit_korrigiert []

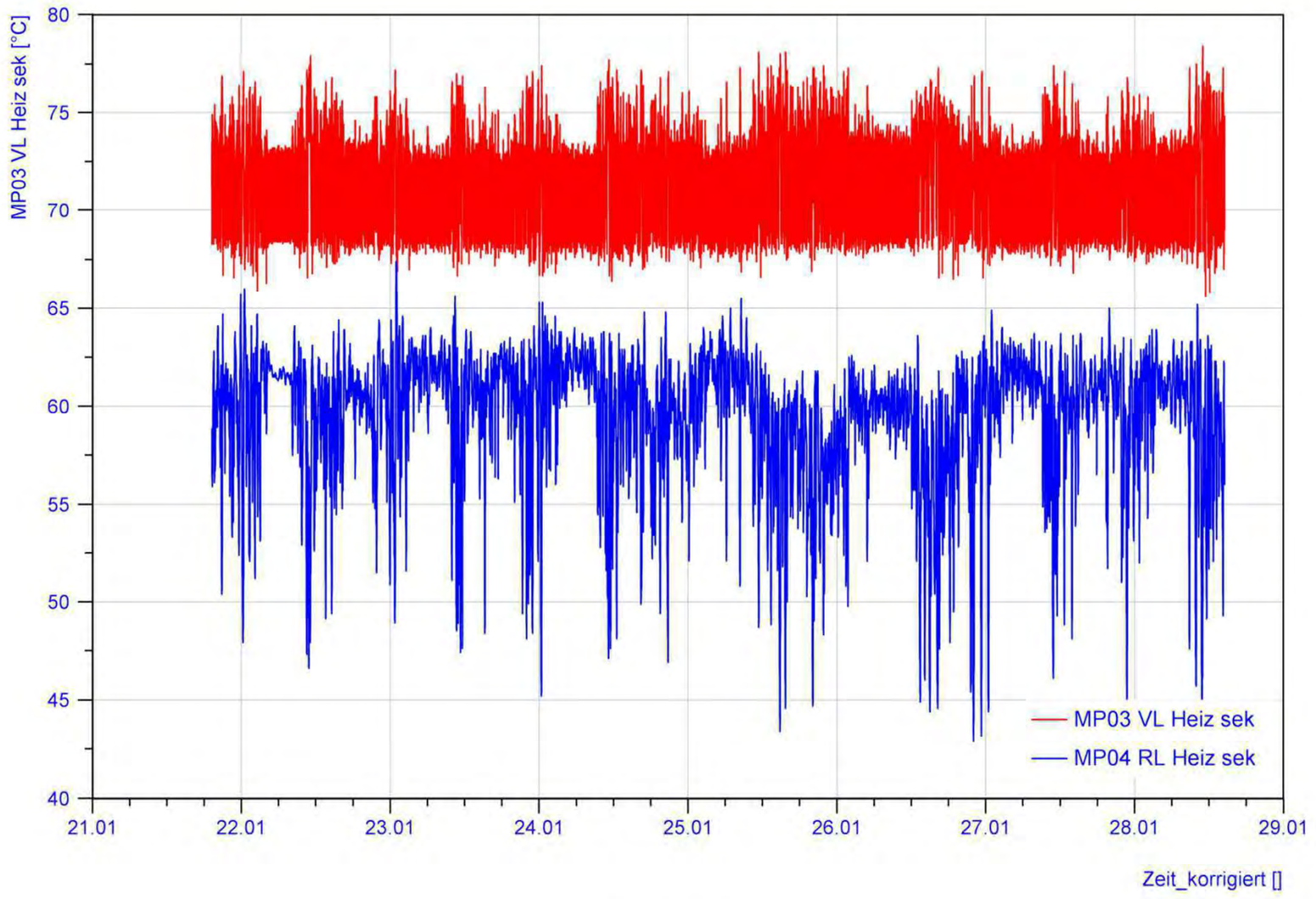

MP01 VL FW prim [°C]
110
105
100
95
90
85
80
75
70
65
0.0
2.5
5.0
7.5
10.0
12.5
MP16 TFA-1 [°C]
MP01 VL FW prim
MP02 RL FW prim
Fernwärme Vorlauftemperaturkurve

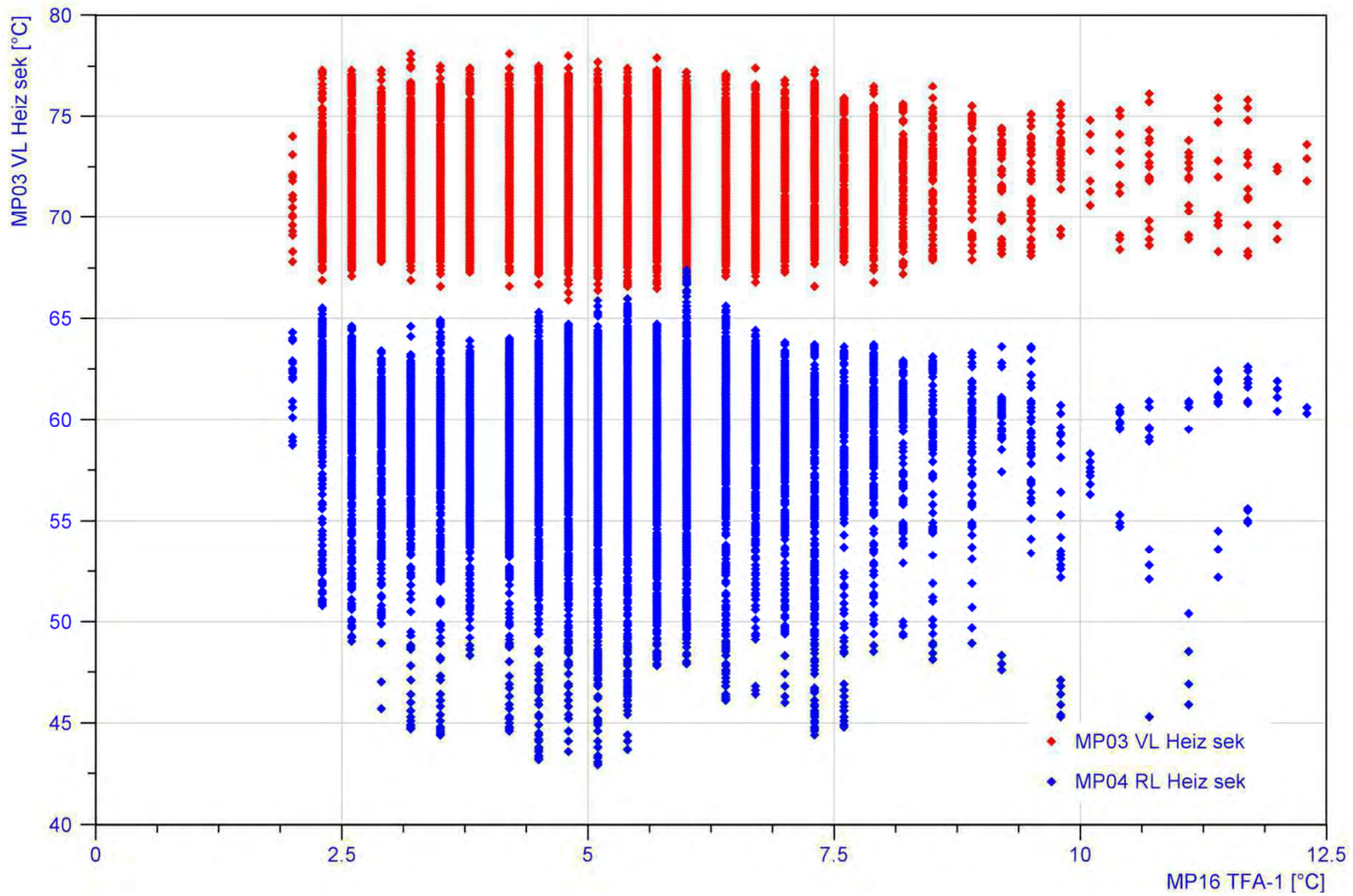

MP01 VL FW prim [°C]
110
105
100
95
90
85
80
75
70
65
17.5
20
22.5
25
27.5
30
32.5
35
37.5
MP01-MP02 Spreizung FW prim [K]
MP01 VL FW prim
MP02 RL FW prim

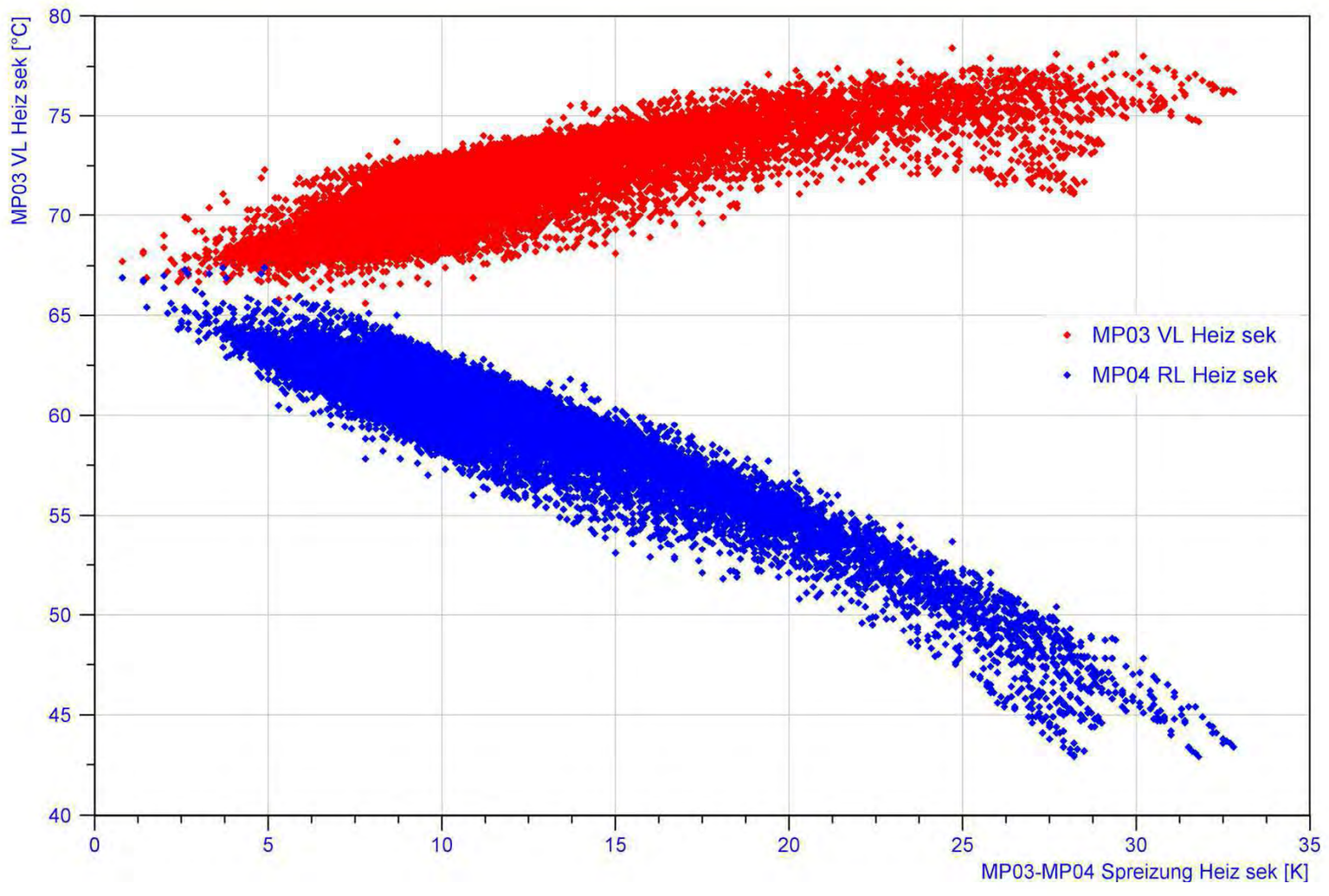

MP01 VL FW prim [°C]
MP16 TFA-1 12h-Mittel []
MP01 VL FW prim
MP02 RL FW prim
MP16 TFA-1 12h-Mittel
110
105
100
95
90
85
80
75
70
65
6.5
6
5.5
5
4.5
4
3.5
3
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
1
Uhrzeit []

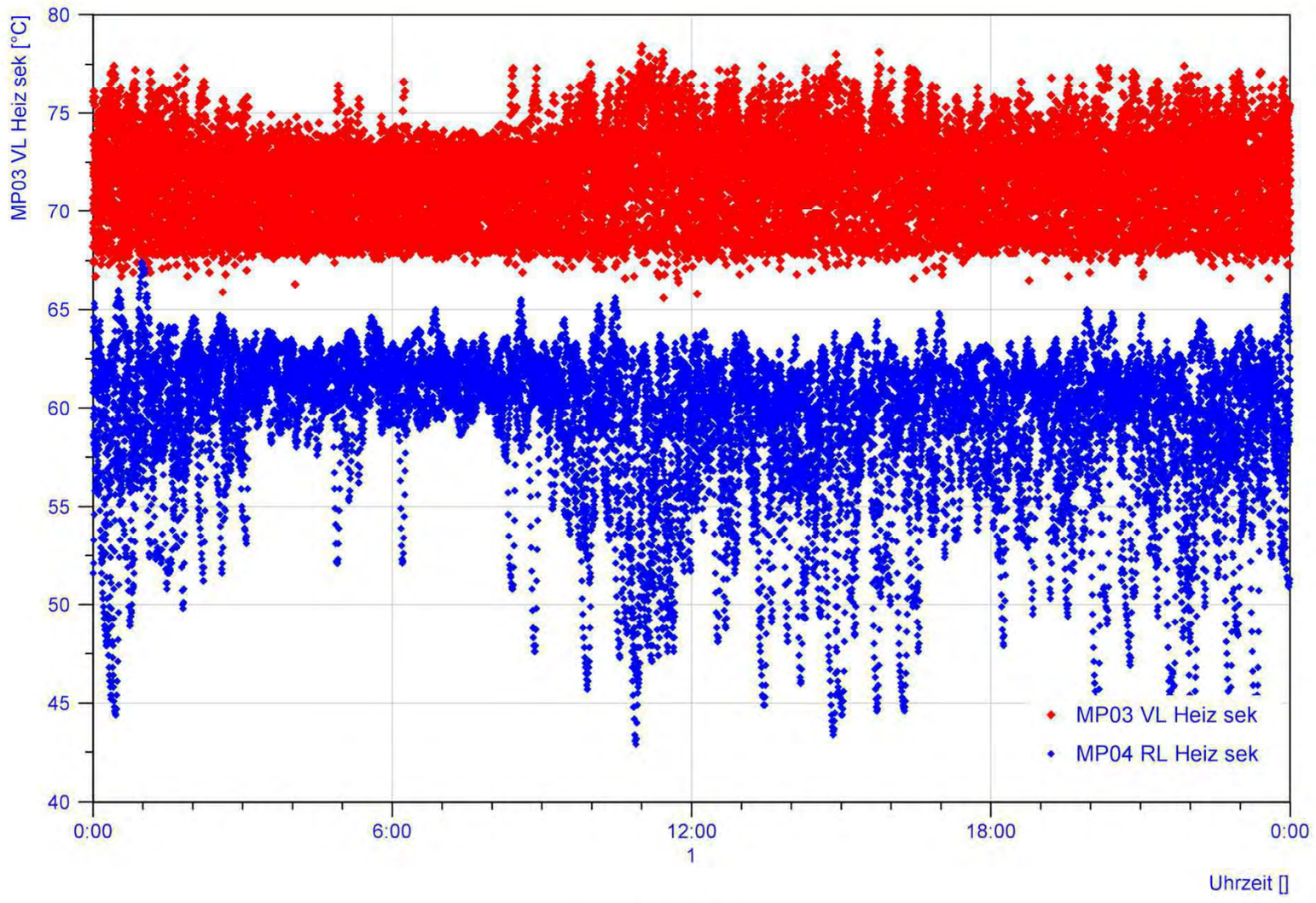

MP01 VL FW prim [°C]
MP01 VL FW prim, MP02 RL FW prim
MP03 VL Heiz sek [°C]
MP03 VL Heiz sek, MP04 RL Heiz sek
MP05 Puffer oben [°C]
MP05 Puffer oben, MP06 Puffer unten
MP09 VL FBH n. Misch [°C]
MP09 VL FBH n. Misch, MP10 RL FBH
MP11 VL WT WWB [°C]
MP11 VL WT WWB, MP12 RL WT WWB
MP13 VL TWw [°C]
MP13 VL TWw, MP14 RL TWw Zirkulation
21.01
22.01
23.01
24.01
25.01
26.01
27.01
28.01
29.01
Zeit_korrigiert []

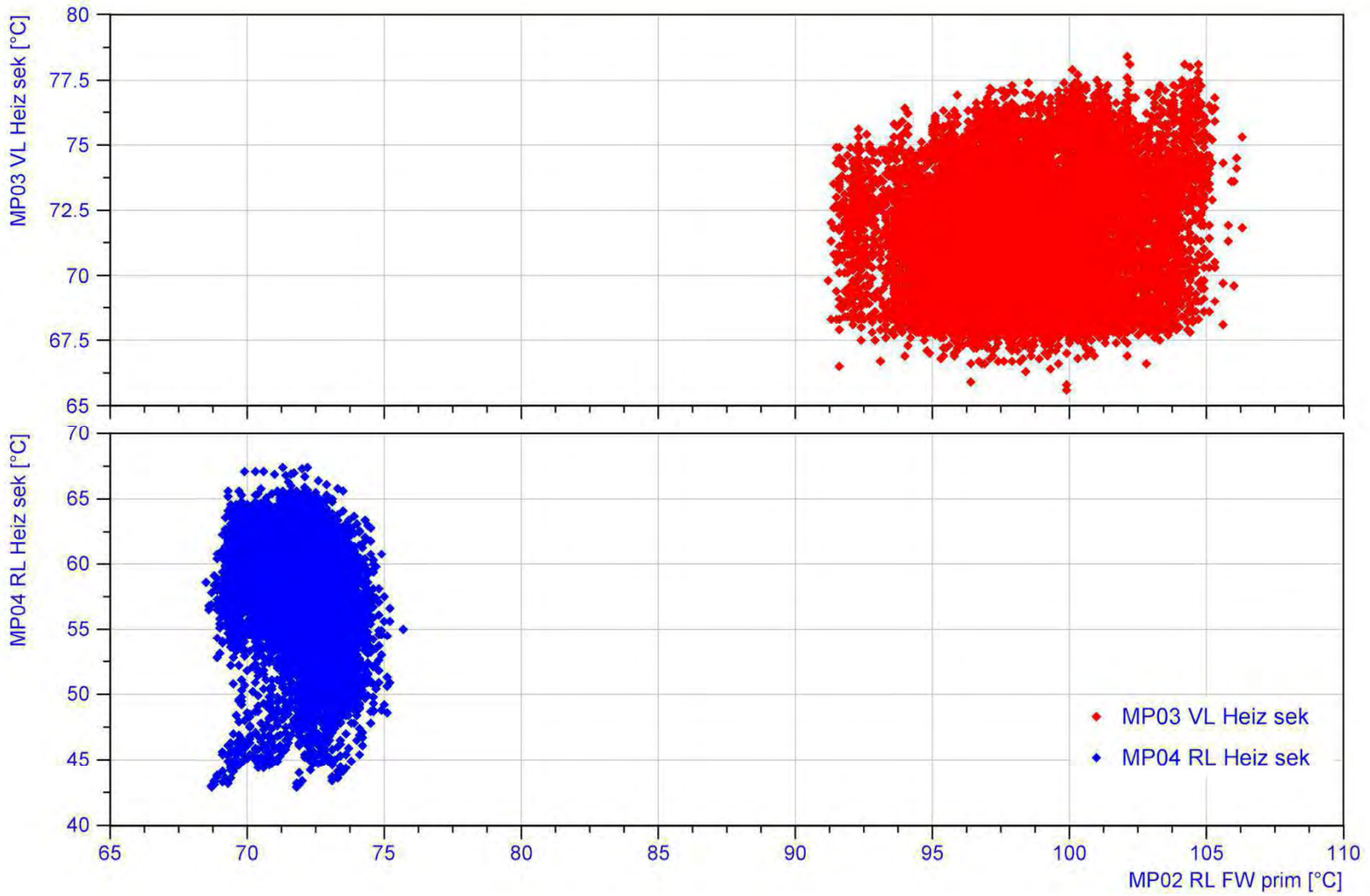

Spreizung Fernwärme prim.
MP01-MP02 rel. Klassenhäufigkeit [%]
Spreizung Heizung sek.
MP03-MP04 rel. Klassenhäufigkeit [%]
Spreizung Puffer
MP05-MP06 rel. Klassenhäufigkeit [%]
erhöhen!
Spreizung Heizkreis FBH
MP09-MP10 rel. Klassenhäufigkeit [%]
erhöhen!
Spreizung Heizkreis WWB
MP11-MP12 rel. Klassenhäufigkeit [%]
MP01-MP02 Klassierung []

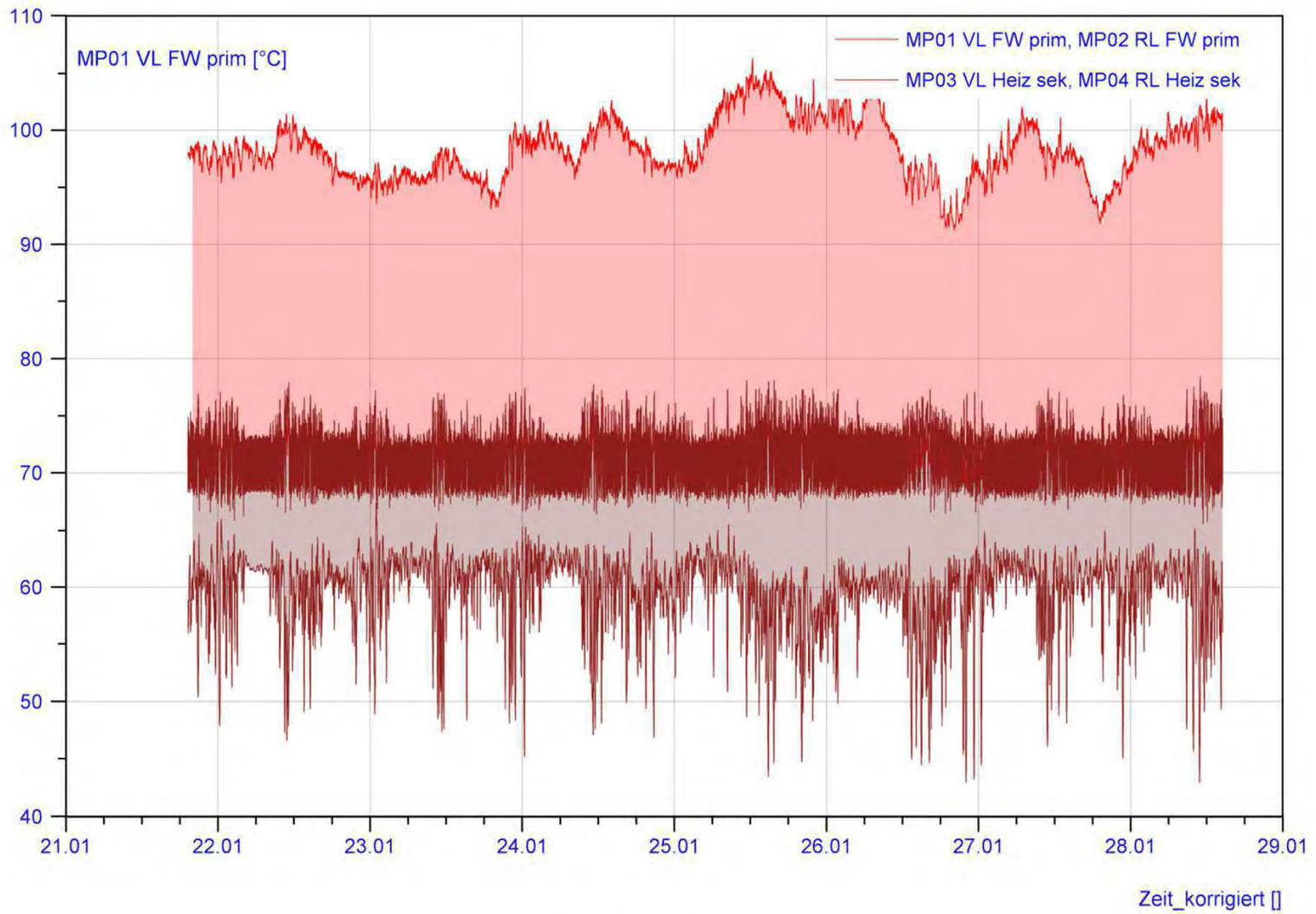

MP03 VL Heiz sek [°C]
80
75
70
65
60
55
50
45
40
21.01
22.01
23.01
24.01
25.01
26.01
27.01
28.01
29.01
Zeit_korrigiert []
MP03 VL Heiz sek
MP04 RL Heiz sek

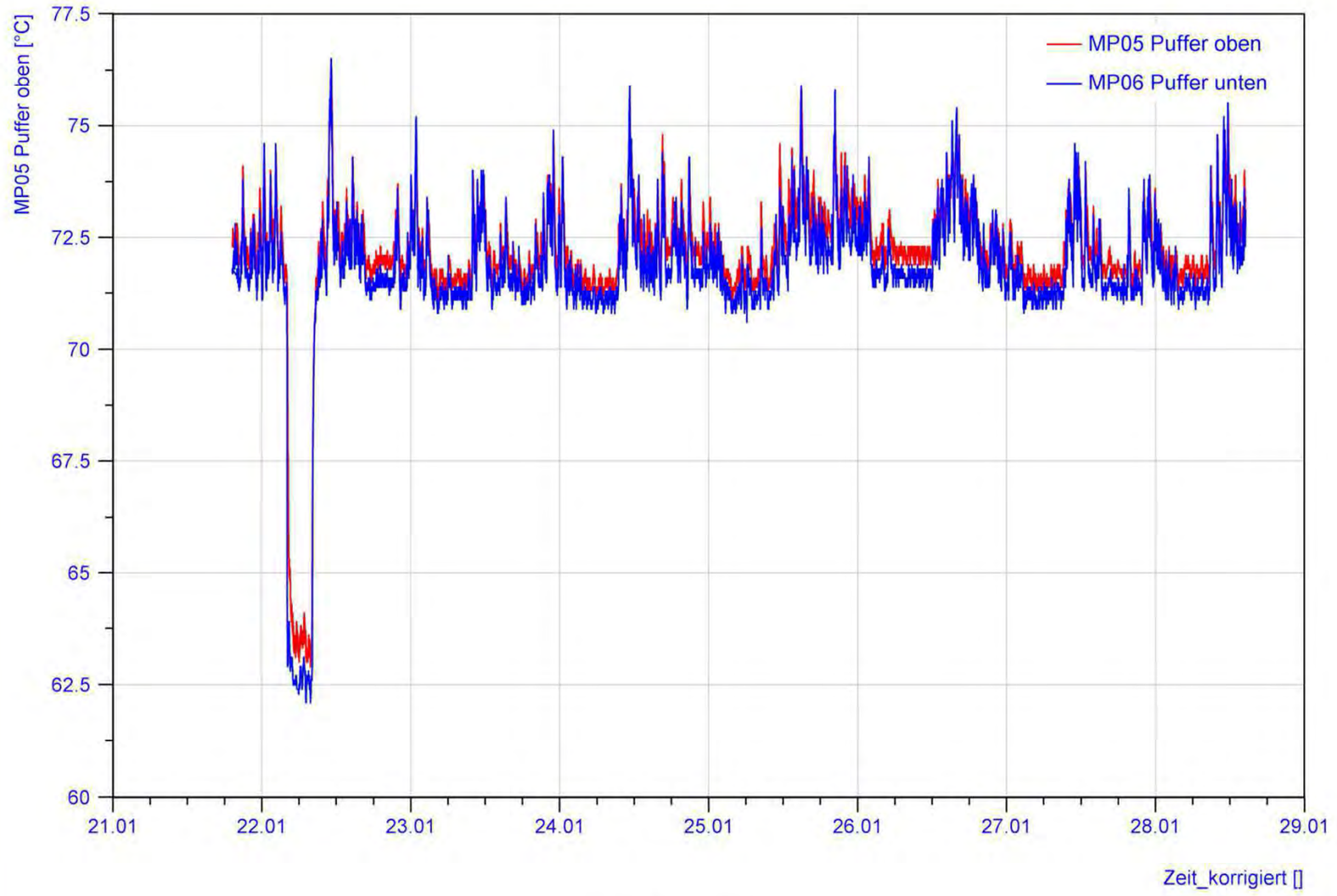

MP03 VL Heiz sek [°C]
80
75
70
65
60
55
50
45
40
0
2.5
5
7.5
10
12.5
MP16 TFA-1 [°C]
MP03 VL Heiz sek
MP04 RL Heiz sek

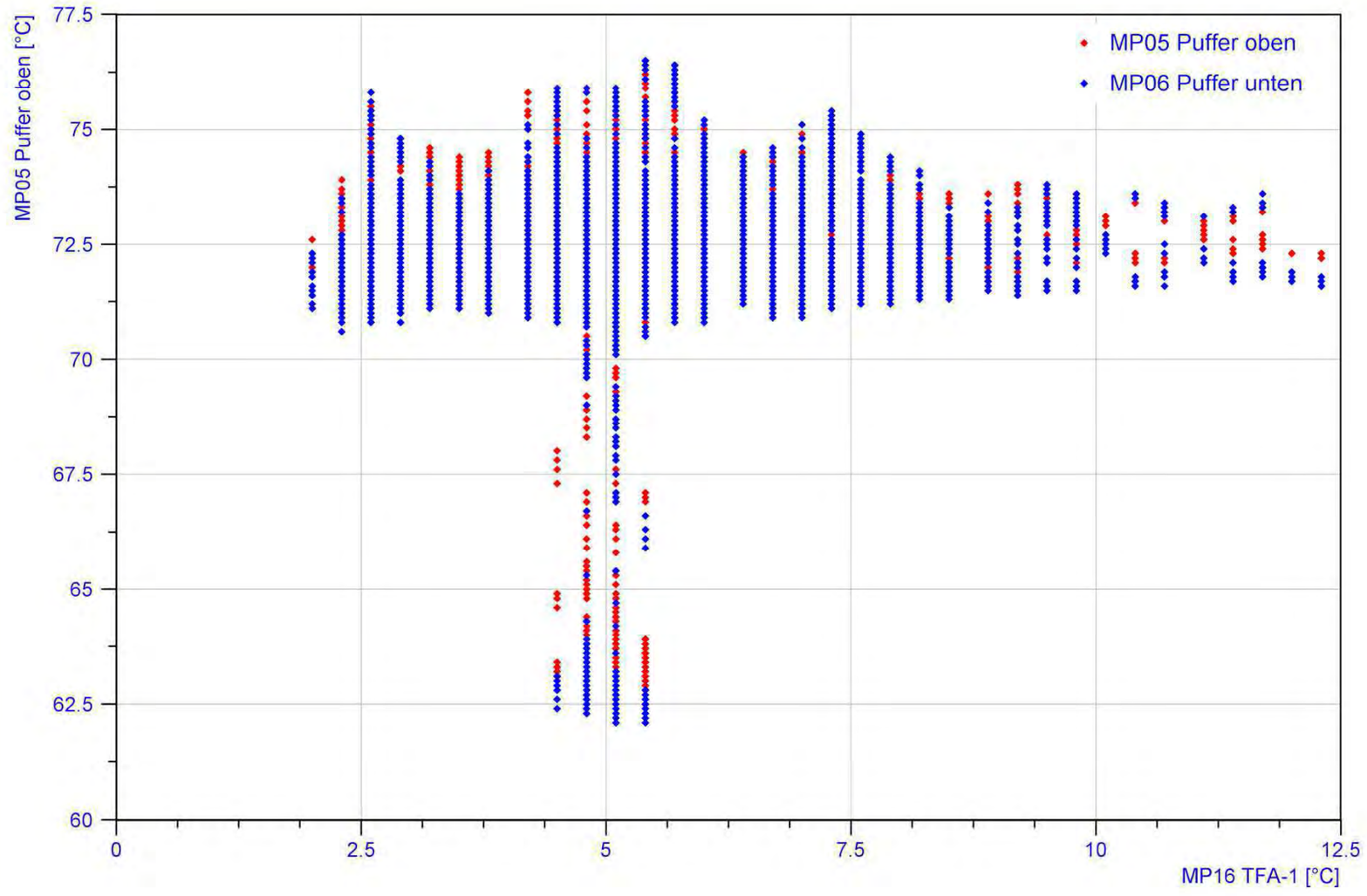

MP03 VL Heiz sek [°C]
80
75
70
65
60
55
50
45
40
0
5
10
15
20
25
30
35
MP03-MP04 Spreizung Heiz sek [K]
MP03 VL Heiz sek
MP04 RL Heiz sek

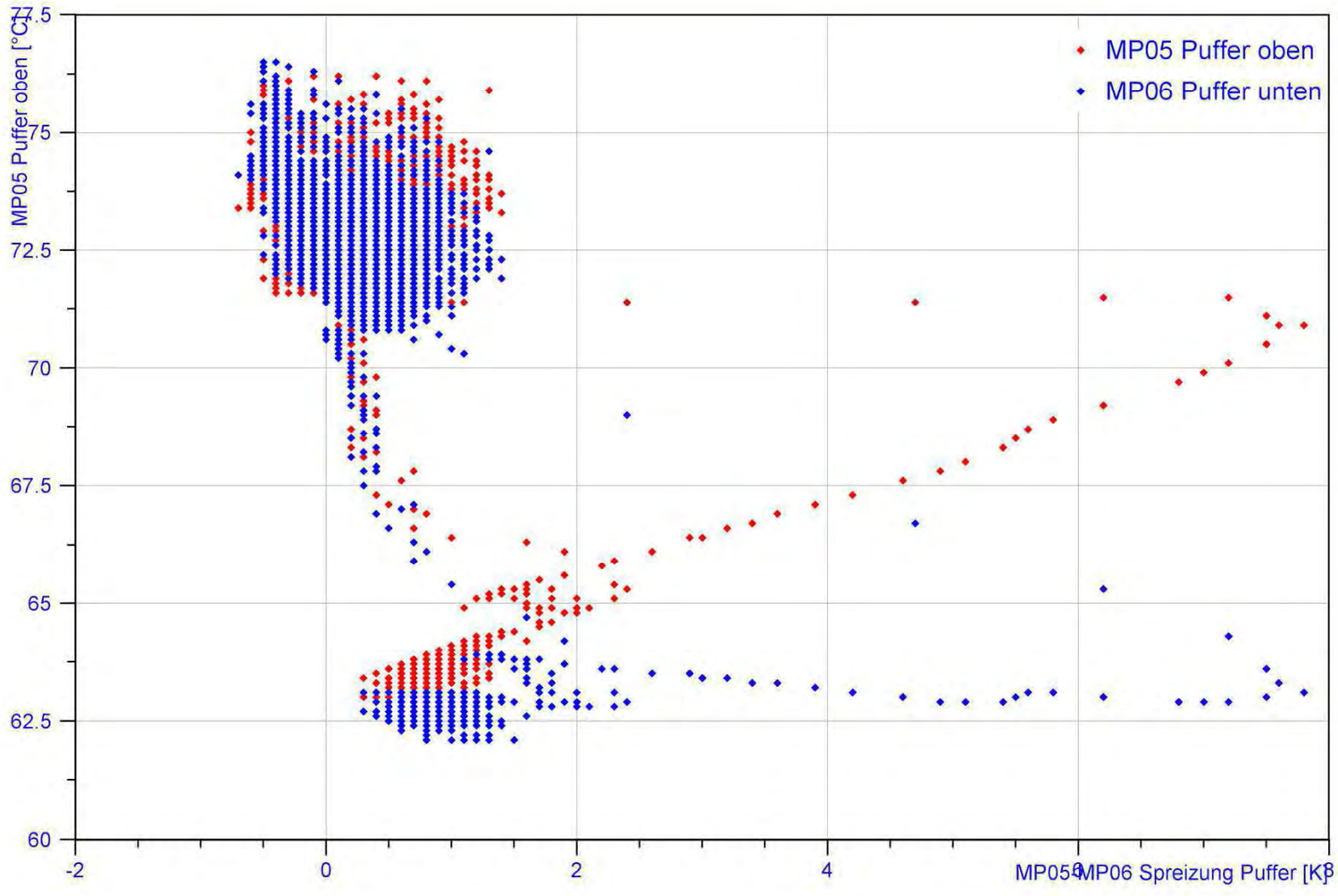

MP03 VL Heiz sek [°C]
80
75
70
65
60
55
50
45
40
0:00
6:00
12:00
1
18:00
0:00
Uhrzeit []
MP03 VL Heiz sek
MP04 RL Heiz sek

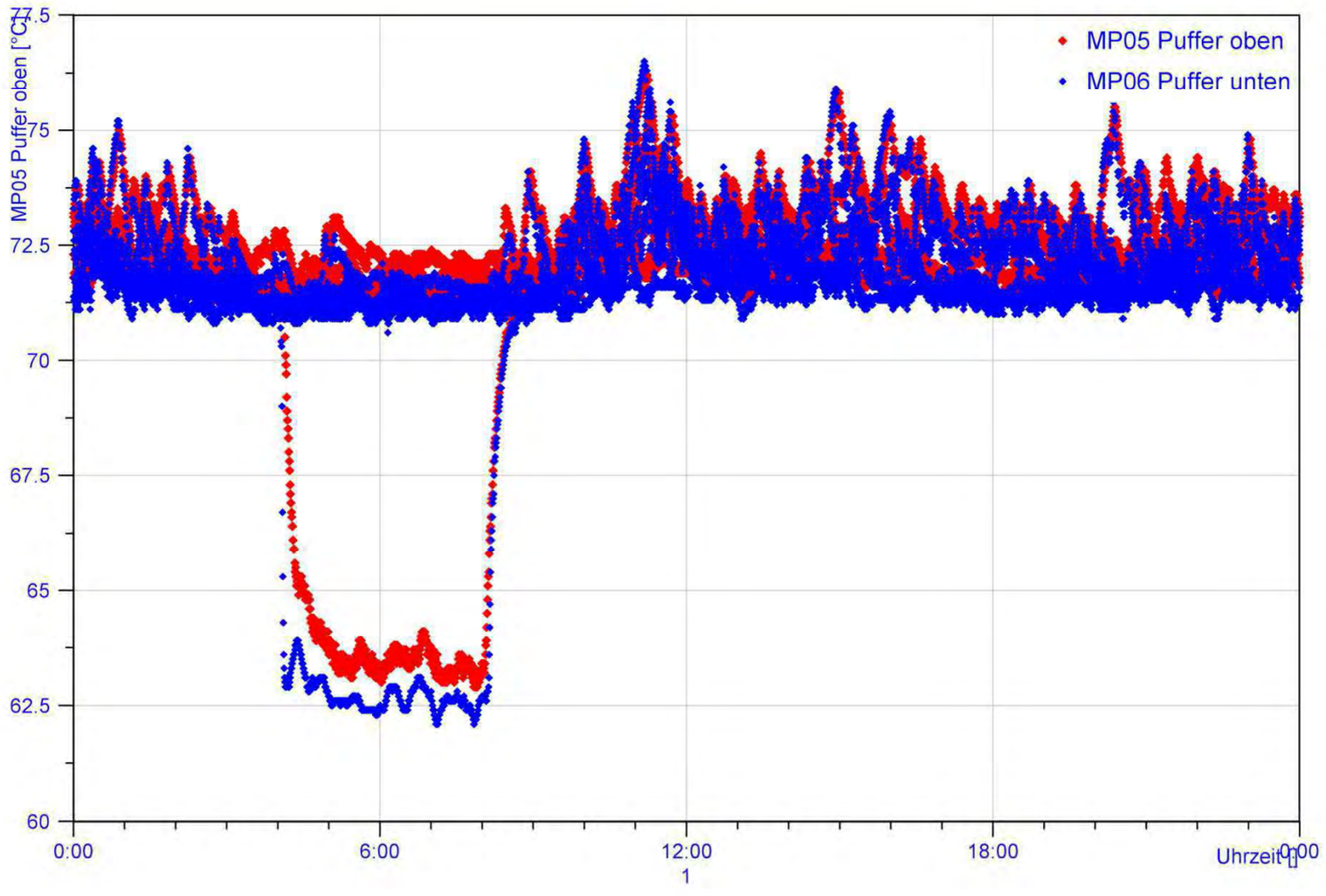

MP03 VL Heiz sek [°C]
80
77.5
75
72.5
70
67.5
65
MP04 RL Heiz sek [°C]
70
65
60
55
50
45
40
65
70
75
80
85
90
95
100
105
110
MP02 RL FW prim [°C]
MP03 VL Heiz sek
MP04 RL Heiz sek

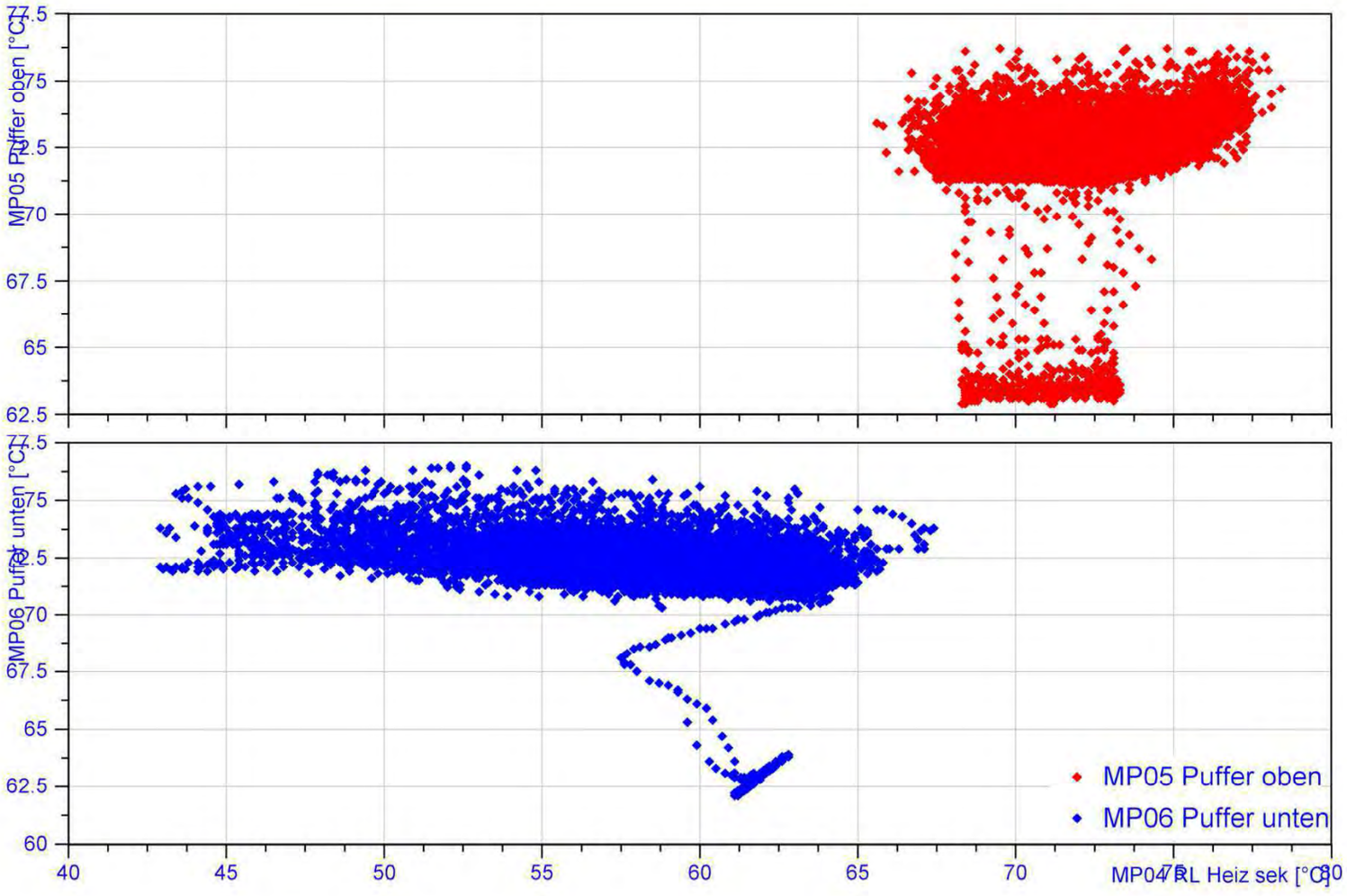

MP01 VL FW prim [°C]
MP01 VL FW prim, MP02 RL FW prim
MP03 VL Heiz sek, MP04 RL Heiz sek
110
100
90
80
70
60
50
40
21.01
22.01
23.01
24.01
25.01
26.01
27.01
28.01
29.01
Zeit_korrigiert []

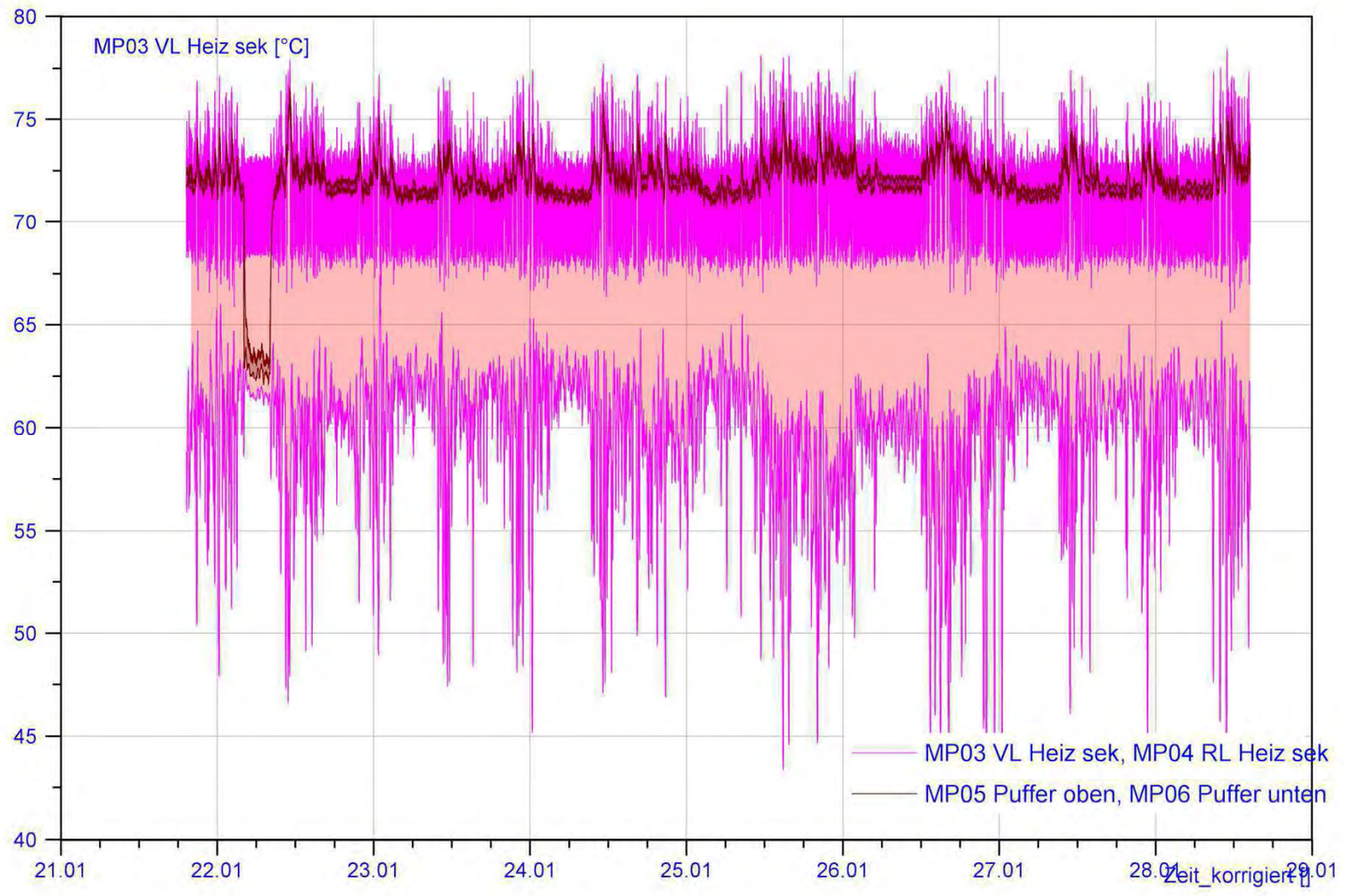

MP05 Puffer oben [°C]
77.5
75
72.5
70
67.5
65
62.5
60
21.01
22.01
23.01
24.01
25.01
26.01
27.01
28.01
29.01
Zeit_korrigiert []
MP05 Puffer oben
MP06 Puffer unten

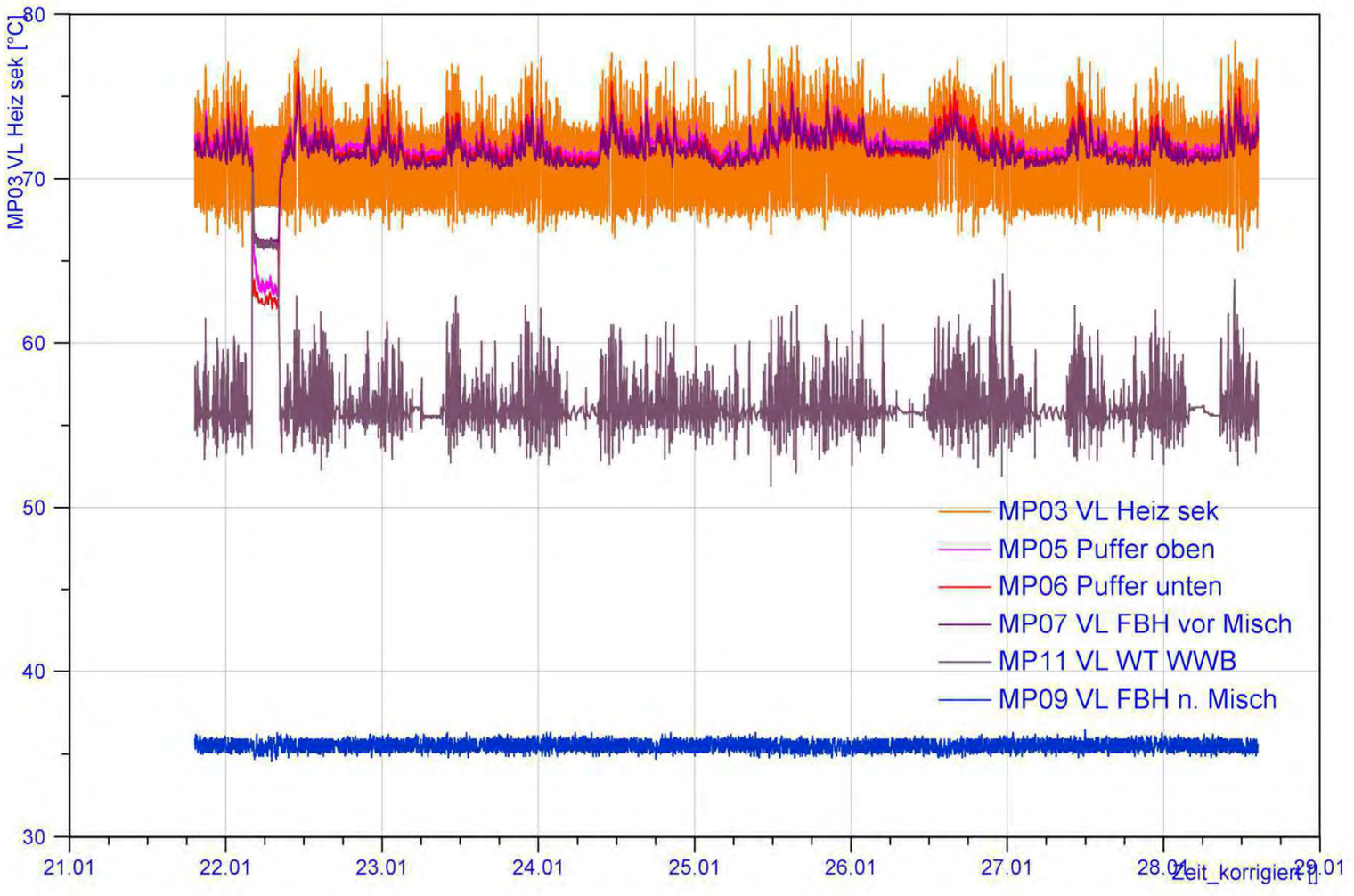

MP05 Puffer oben [°C]
77.5
75
72.5
70
67.5
65
62.5
60
0
2.5
5
7.5
10
12.5
MP16 TFA-1 [°C]
MP05 Puffer oben
MP06 Puffer unten


MP05 Puffer oben
MP06 Puffer unten
MP05 Puffer oben [°C]
77.5
75
72.5
70
67.5
65
62.5
60
-2
0
2
4
6
MP05-MP06 Spreizung Puffer [K]

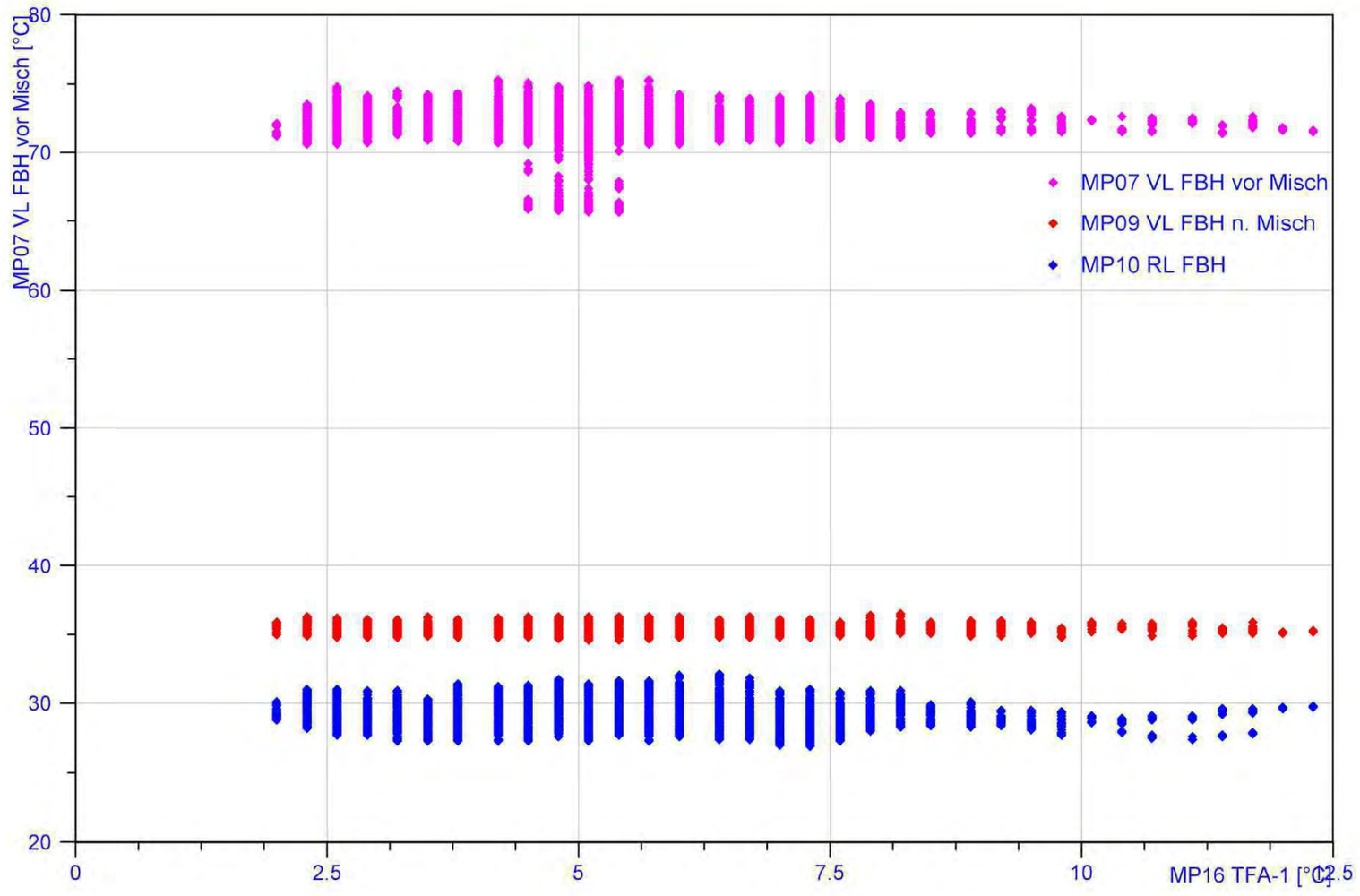

MP05 Puffer oben
MP06 Puffer unten
MP05 Puffer oben [°C]
77.5
75
72.5
70
67.5
65
62.5
60
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
Uhrzeit
1

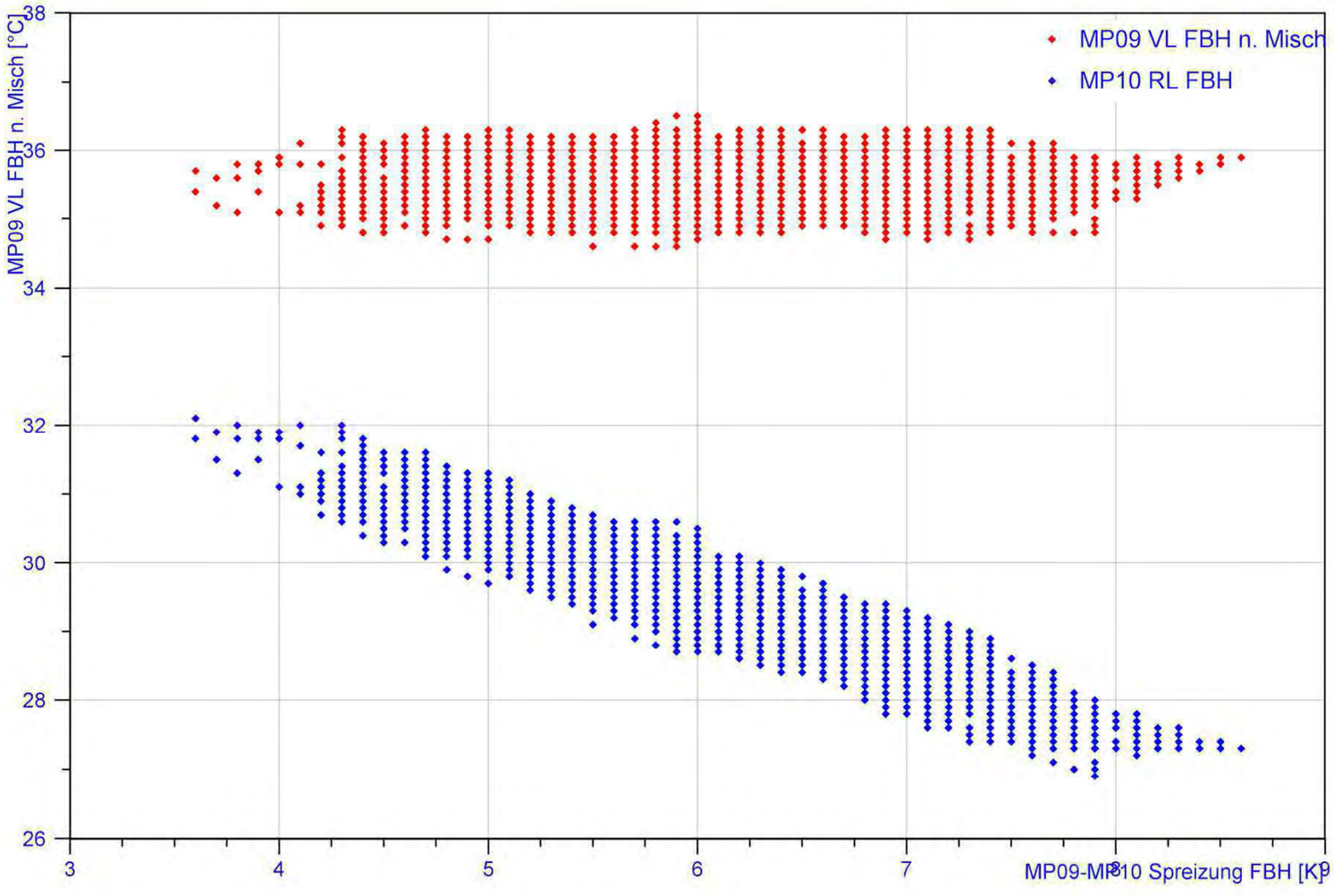

MP05 Puffer oben [°C]
77.5
75
72.5
70
67.5
65
62.5
MP06 Puffer unten [°C]
77.5
75
72.5
70
67.5
65
62.5
60
40
45
50
55
60
65
70
75
80
MP04 RL Heiz sek [°C]
MP05 Puffer oben
MP06 Puffer unten

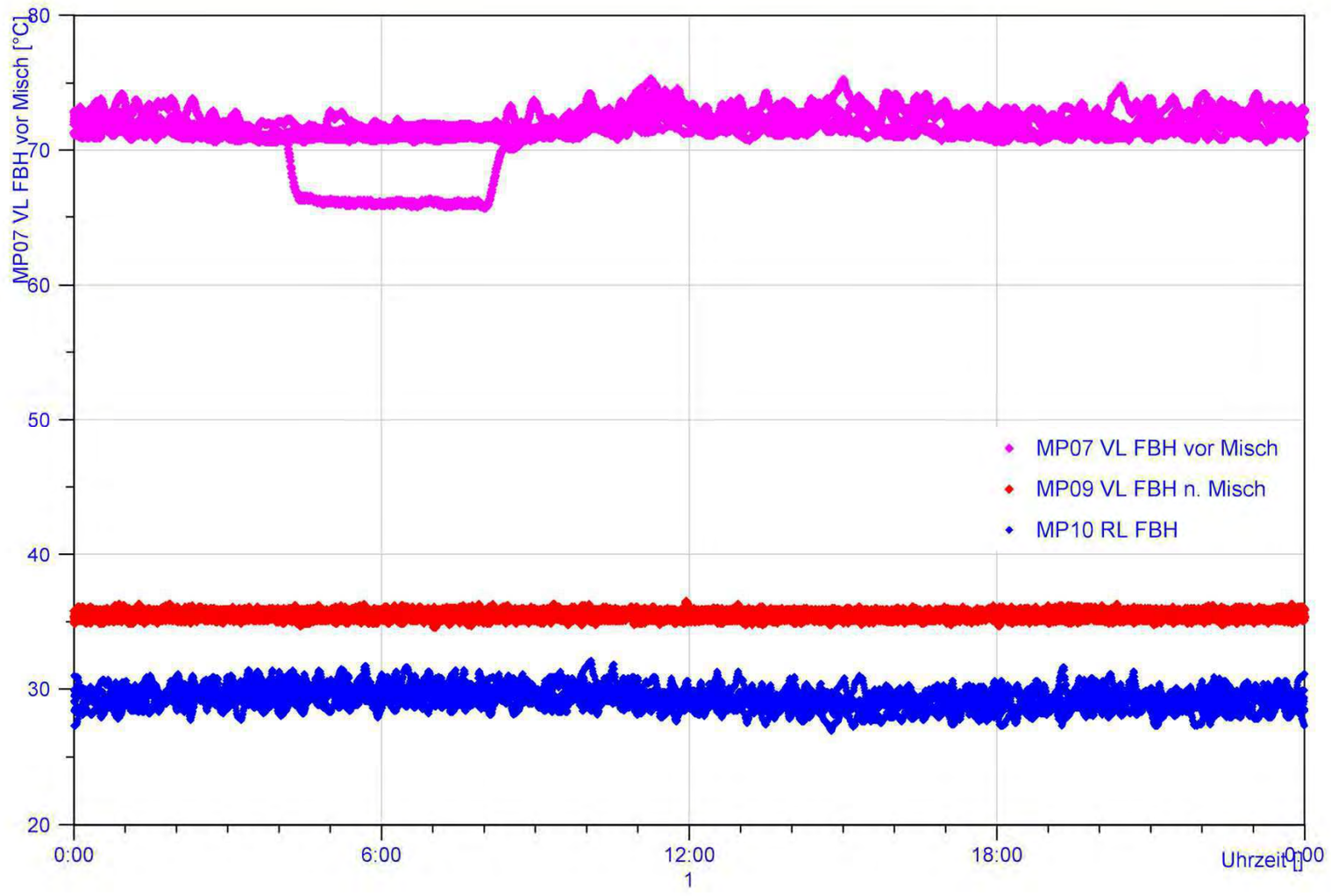

MP03 VL Heiz sek [°C]
80
75
70
65
60
55
50
45
40
21.01
22.01
23.01
24.01
25.01
26.01
27.01
28.01
29.01
Zeit_korrigiert []
MP03 VL Heiz sek, MP04 RL Heiz sek
MP05 Puffer oben, MP06 Puffer unten

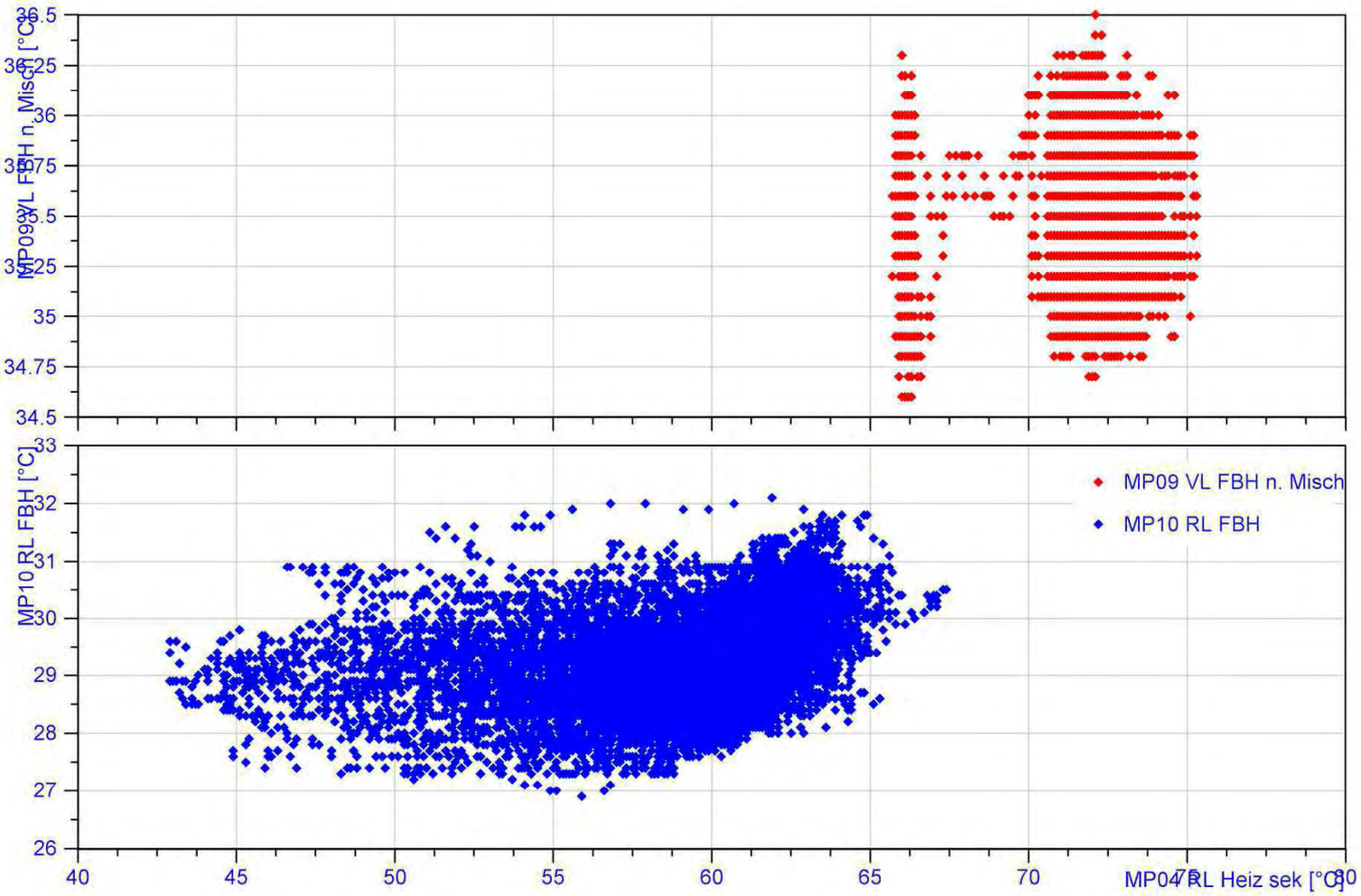

MP03 VL Heiz sek [°C]
80
70
60
50
40
30
21.01
22.01
23.01
24.01
25.01
26.01
27.01
28.01
29.01
Zeit_korrigiert
MP03 VL Heiz sek
MP05 Puffer oben
MP06 Puffer unten
MP07 VL FBH vor Misch
MP11 VL WT WWB
MP09 VL FBH n. Misch

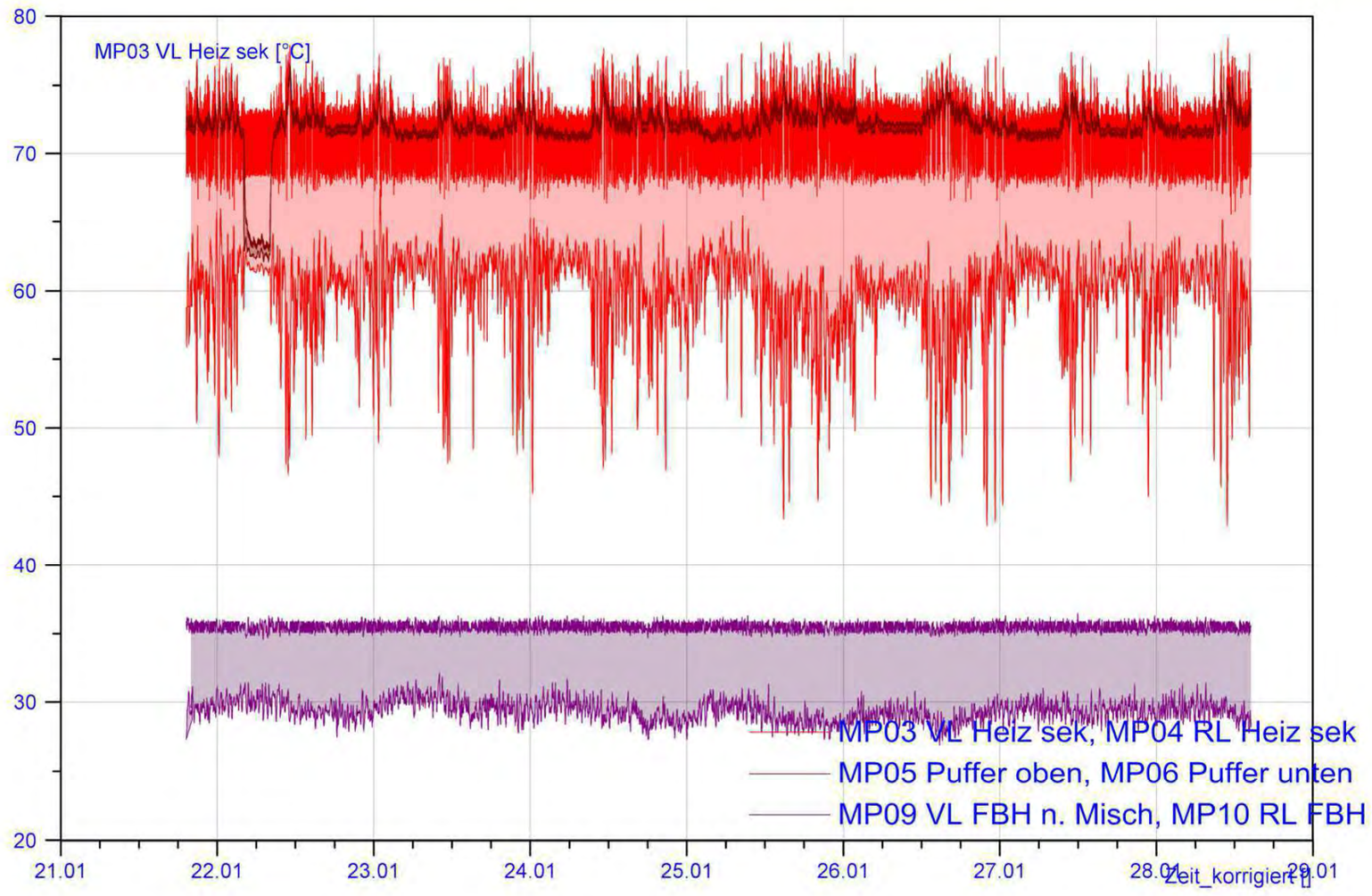

MP07 VL FBH vor Misch [°C]
80
70
60
50
40
30
20
21.01
22.01
23.01
24.01
25.01
26.01
27.01
28.01
29.01
Zeit_korrigiert []
MP07 VL FBH vor Misch
MP09 VL FBH n. Misch
MP10 RL FBH

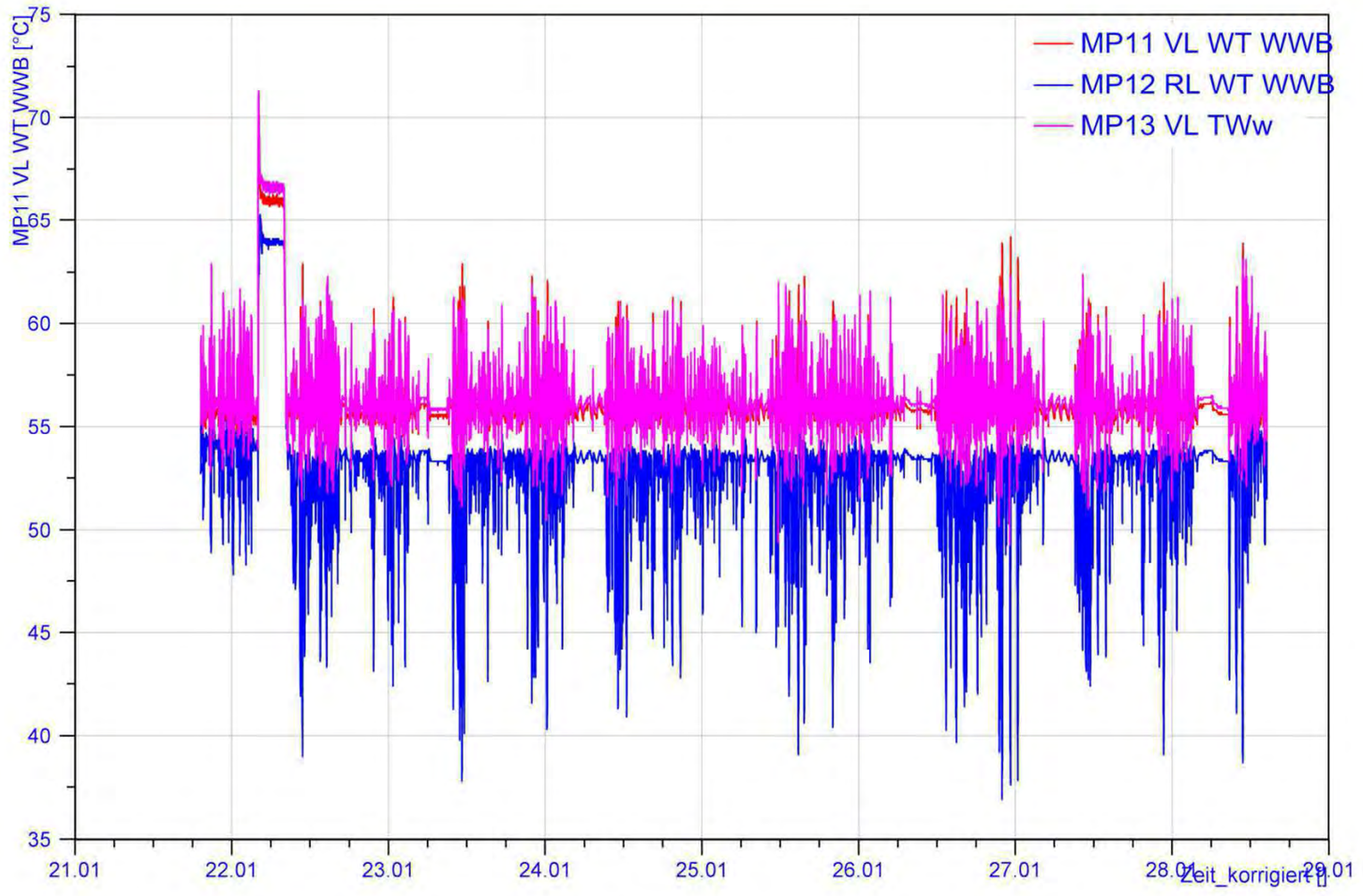

MP07 VL FBH vor Misch [°C]
80
70
60
50
40
30
20
0
2.5
5
7.5
10
12.5
MP16 TFA-1 [°C]
MP07 VL FBH vor Misch
MP09 VL FBH n. Misch
MP10 RL FBH

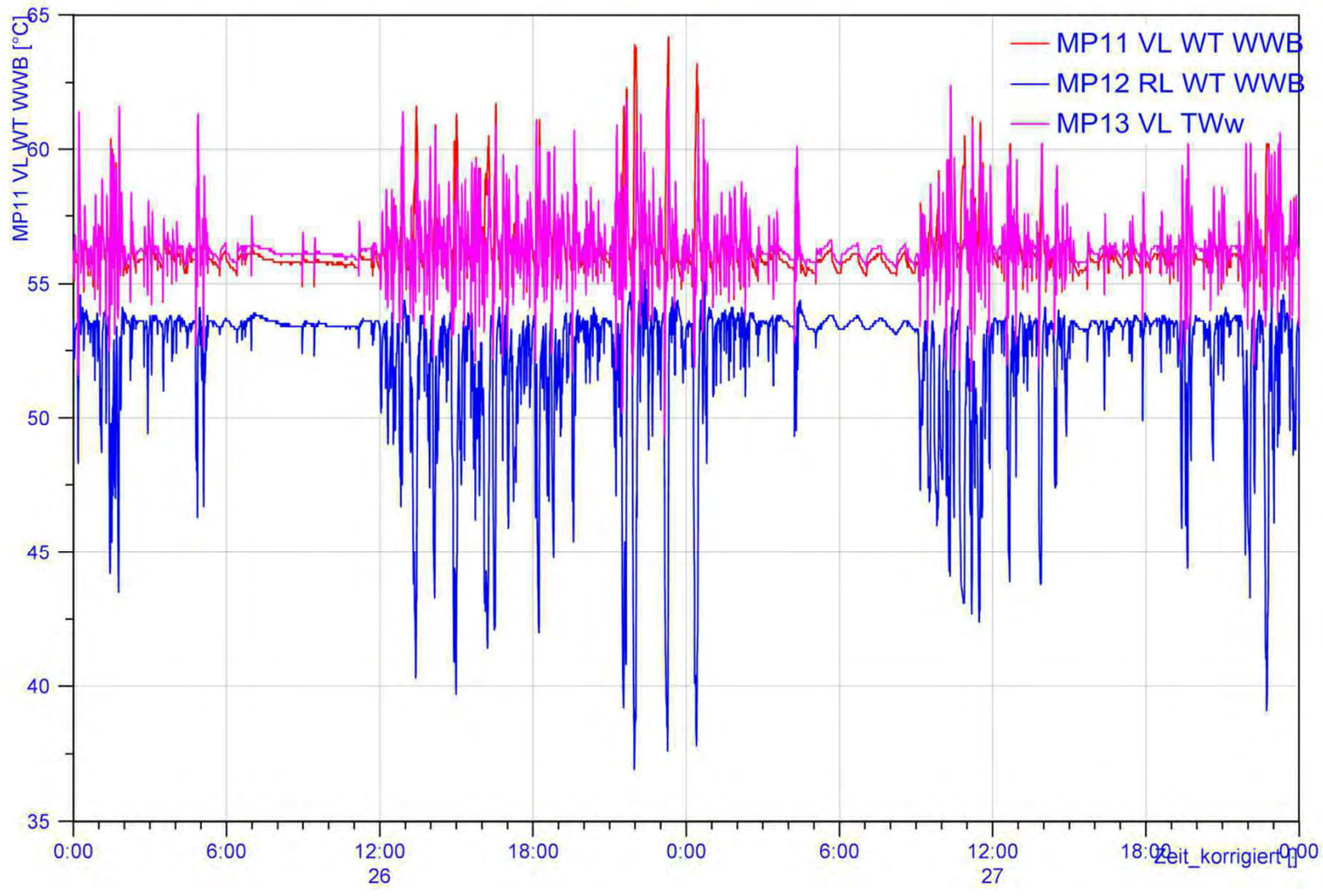

MP09 VL FBH n. Misch
MP10 RL FBH
MP09 VL FBH n. Misch [°C]
38
36
34
32
30
28
26
3
4
5
6
7
8
9
MP09-MP10 Spreizung FBH [K]

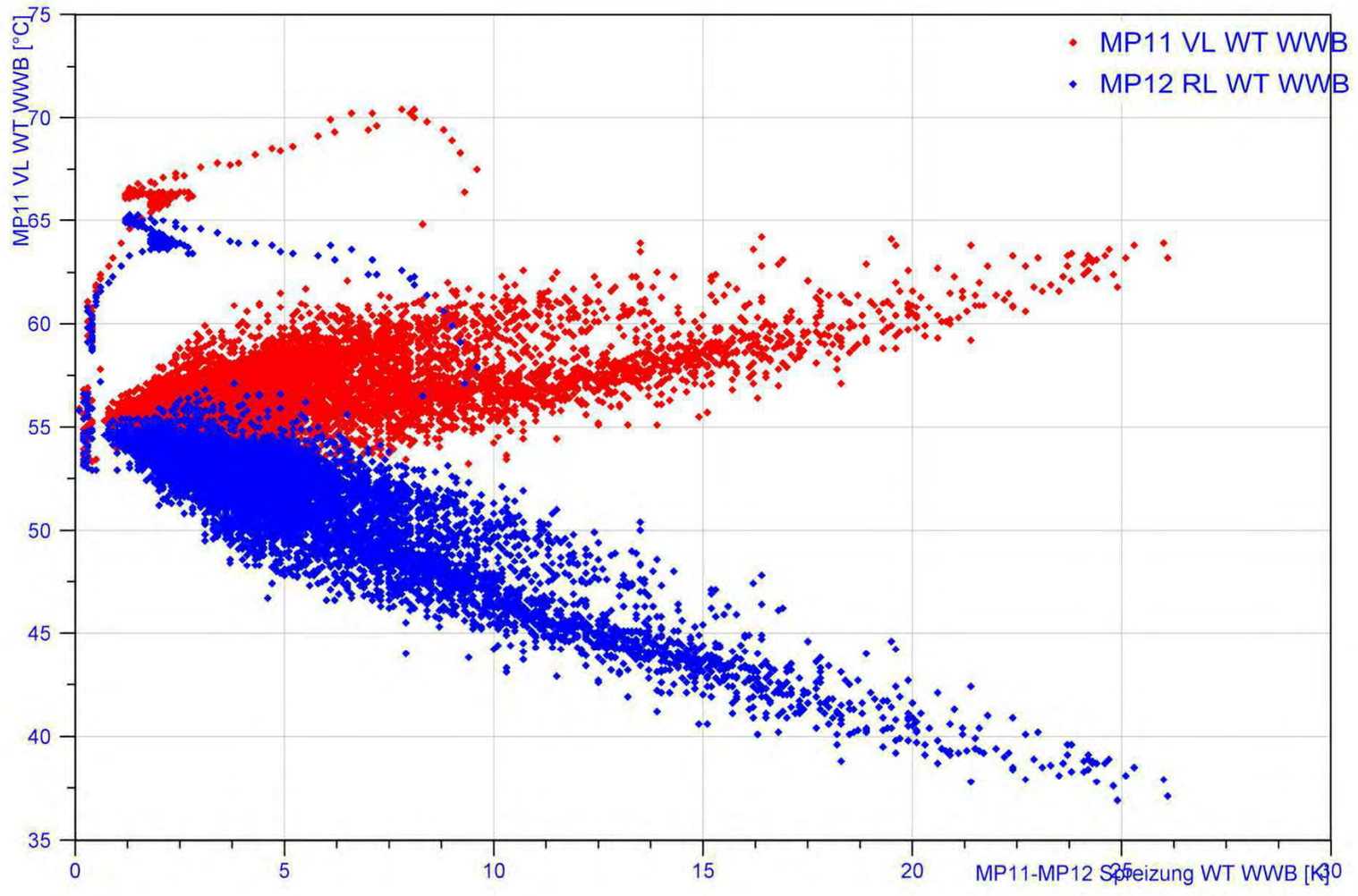

MP07 VL FBH vor Misch [°C]
80
70
60
50
40
30
20
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
Uhrzeit []
1
MP07 VL FBH vor Misch
MP09 VL FBH n. Misch
MP10 RL FBH

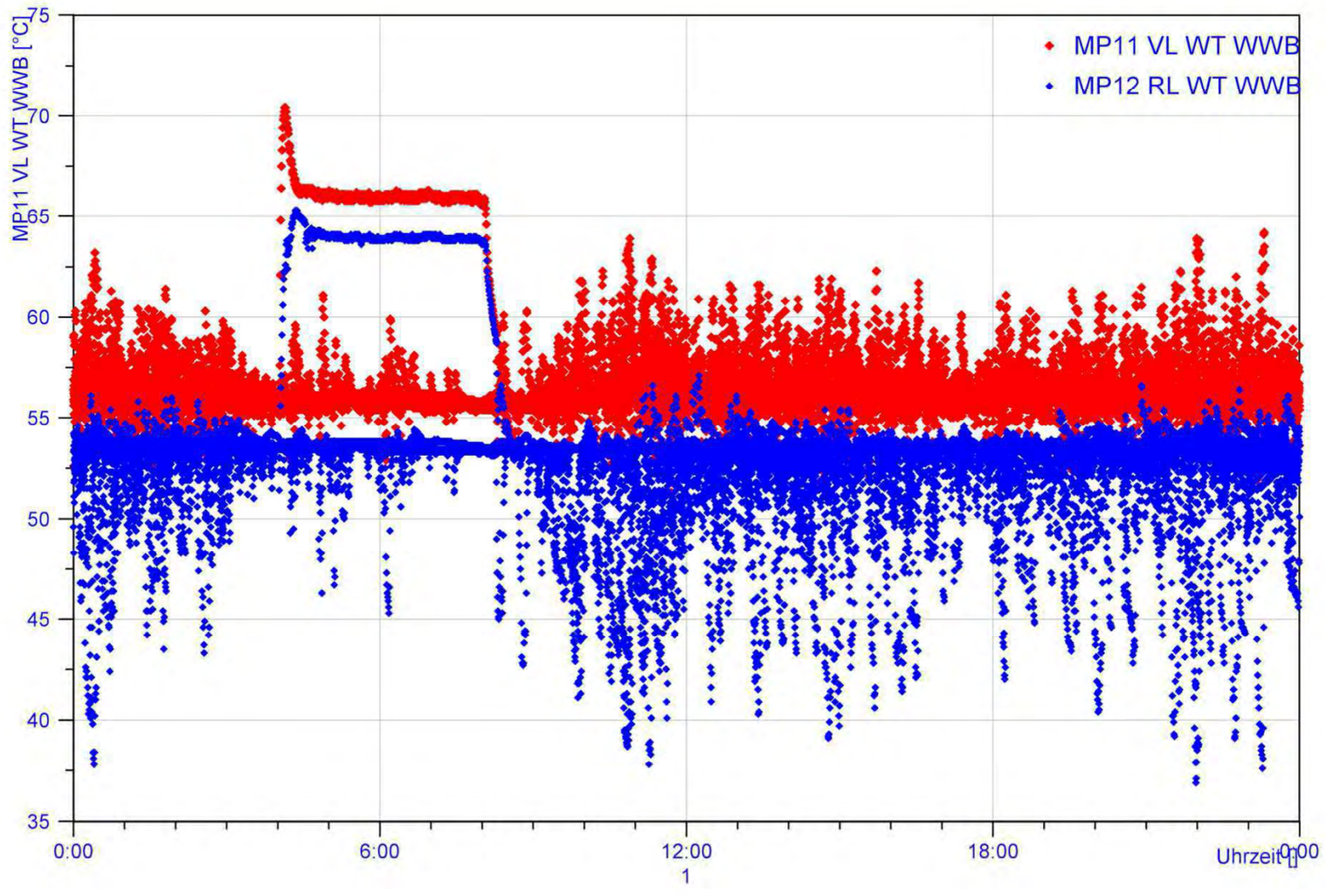

MP09 VL FBH n. Misch [°C]
36.5
36.25
36
35.75
35.5
35.25
35
34.75
34.5
MP10 RL FBH [°C]
33
32
31
30
29
28
27
26
40
45
50
55
60
65
70
75
80
MP04 RL Heiz sek [°C]
MP09 VL FBH n. Misch
MP10 RL FBH

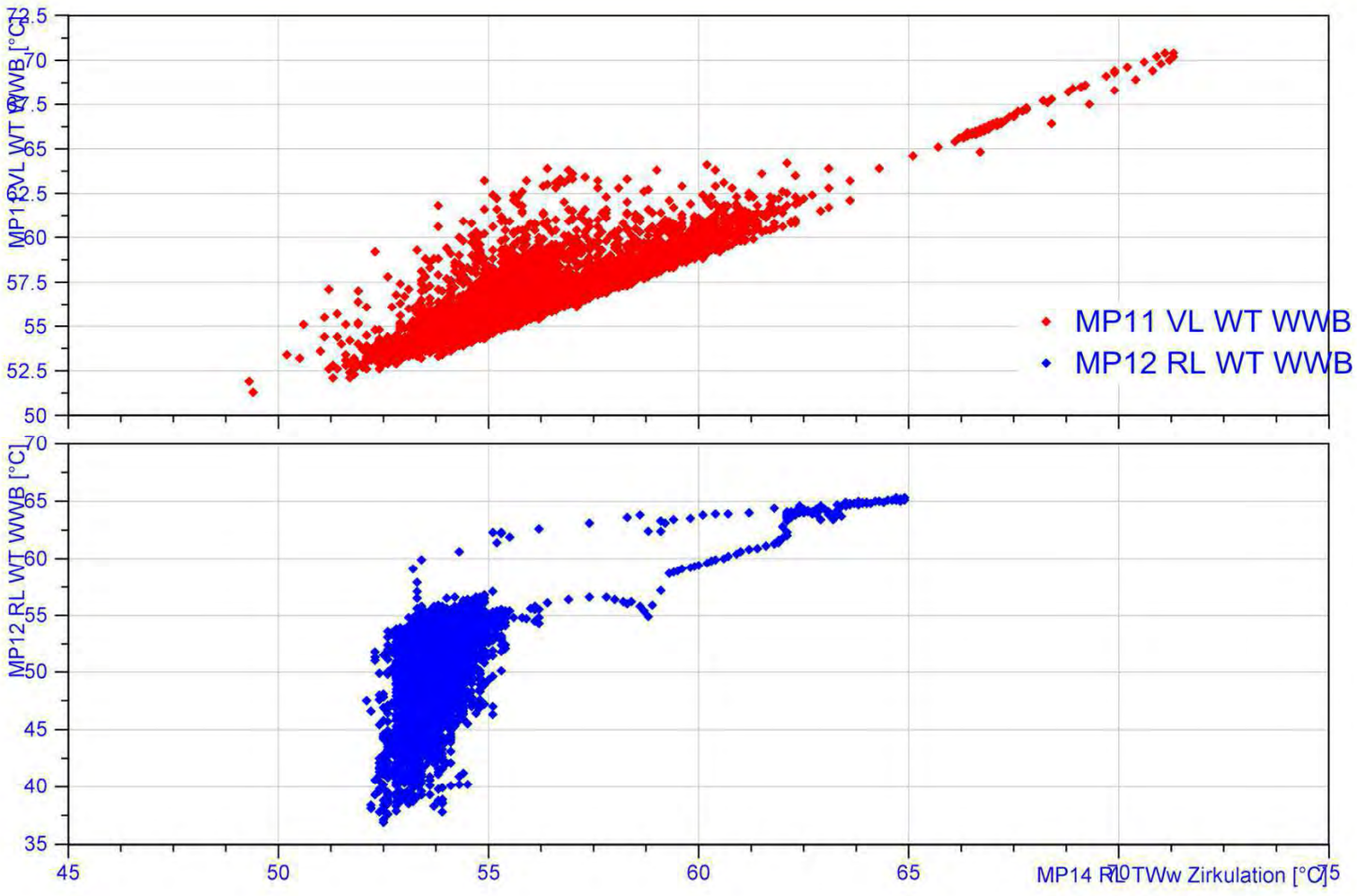

MP03 VL Heiz sek [°C]
80
70
60
50
40
30
20
21.01
22.01
23.01
24.01
25.01
26.01
27.01
28.01
29.01
Zeit_korrigiert []
MP03 VL Heiz sek, MP04 RL Heiz sek
MP05 Puffer oben, MP06 Puffer unten
MP09 VL FBH n. Misch, MP10 RL FBH

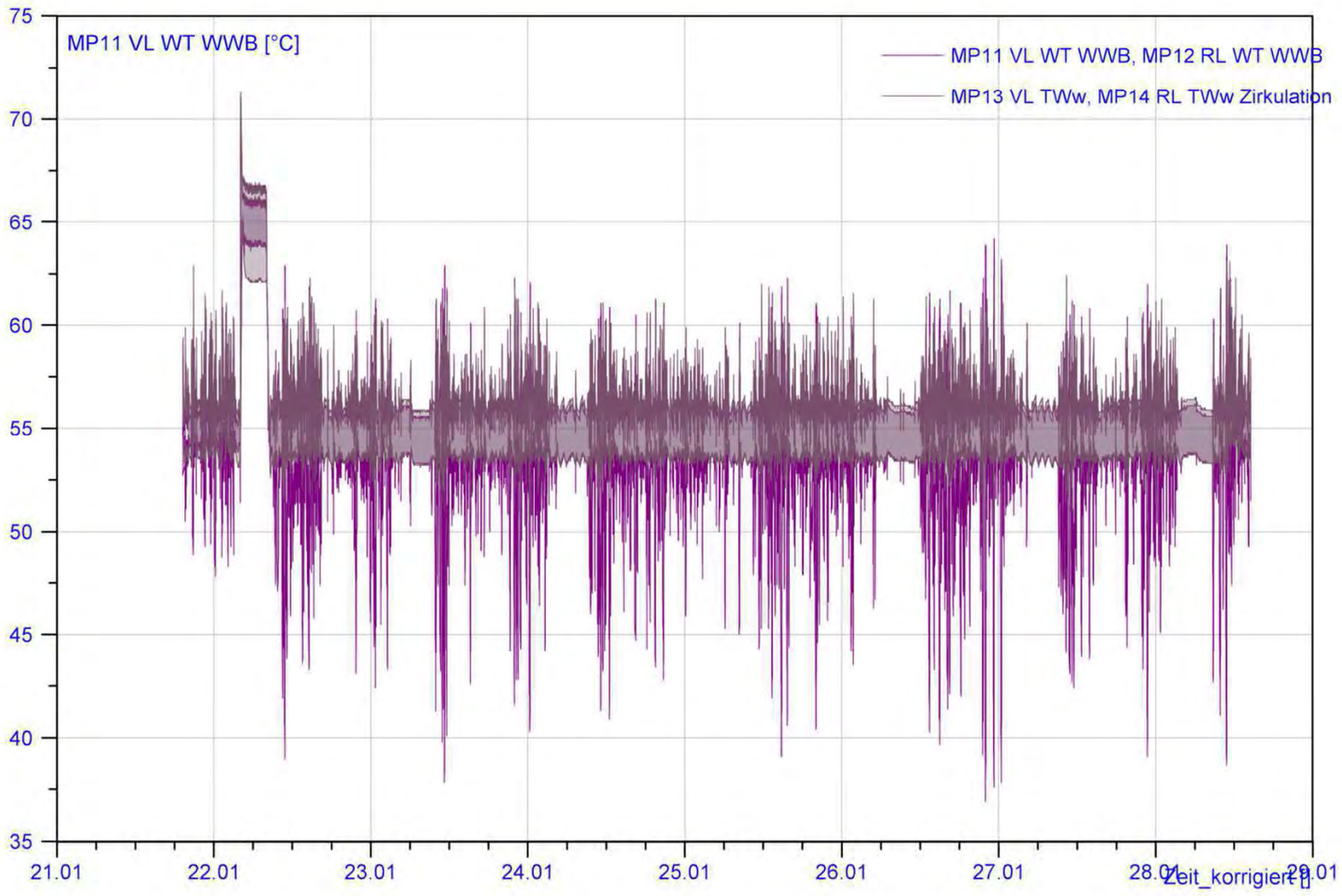

MP11 VL WT WWB [°C]
75
70
65
60
55
50
45
40
35
21.01
22.01
23.01
24.01
25.01
26.01
27.01
28.01
29.01
Zeit_korrigiert []
MP11 VL WT WWB
MP12 RL WT WWB
MP13 VL TWw

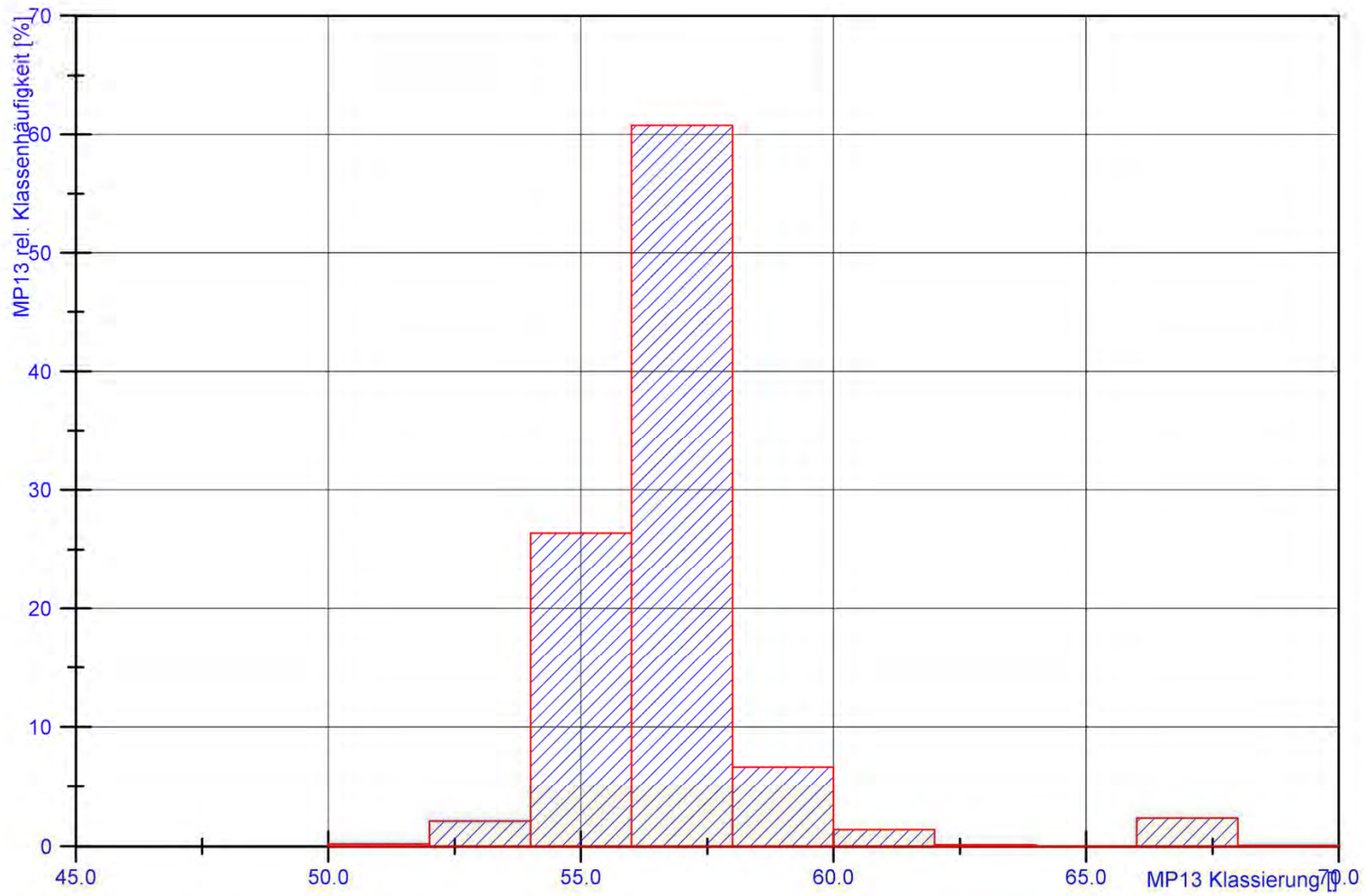

MP11 VL WT WWB [°C]
65
60
55
50
45
40
35
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
26
27
Zeit_korrigiert
MP11 VL WT WWB
MP12 RL WT WWB
MP13 VL TWw

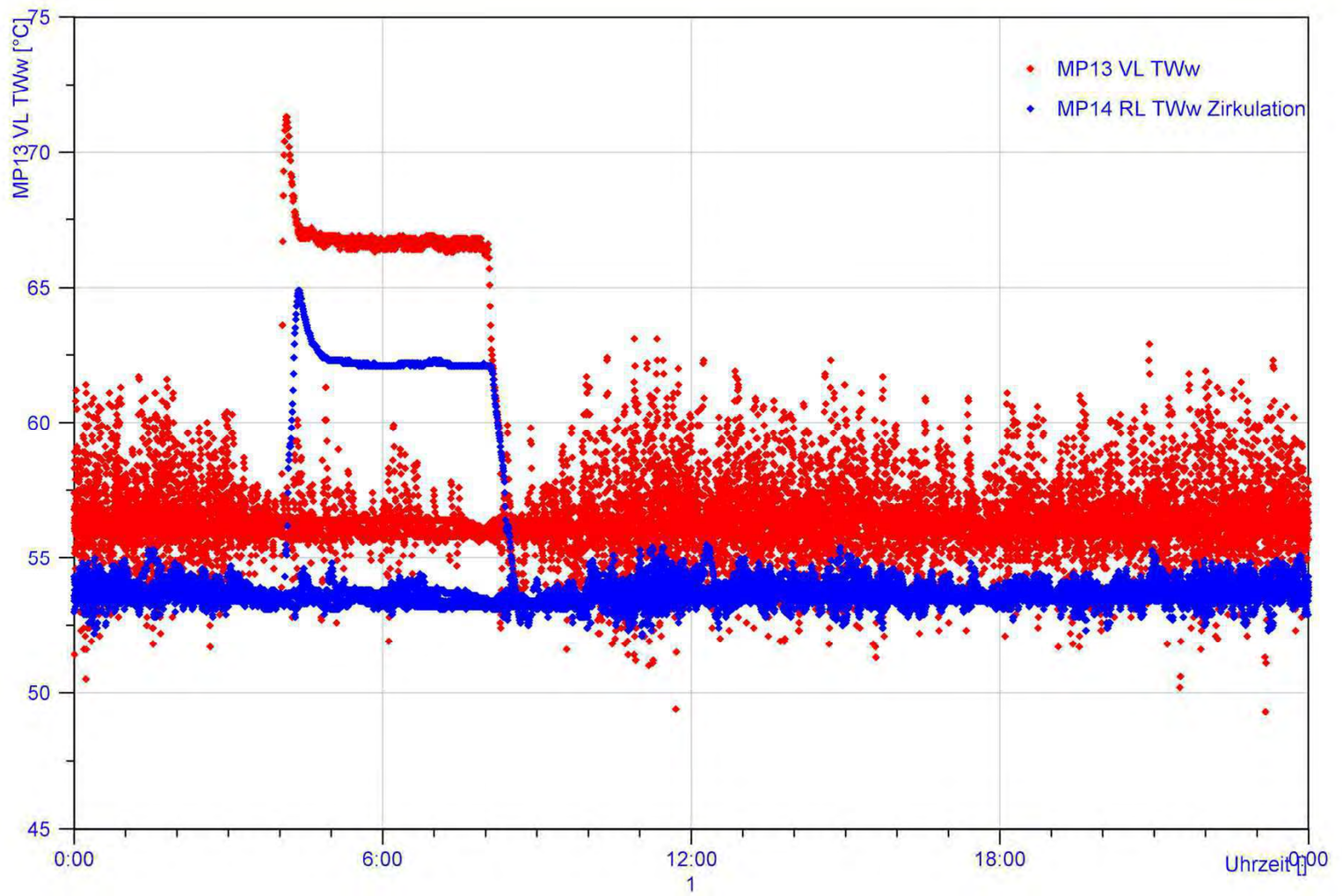

MP11 VL WT WWB
MP12 RL WT WWB
MP11 VL WT WWB [°C]
75
70
65
60
55
50
45
40
35
0
5
10
15
20
25
30
MP11-MP12 Spreizung WT WWB [K]

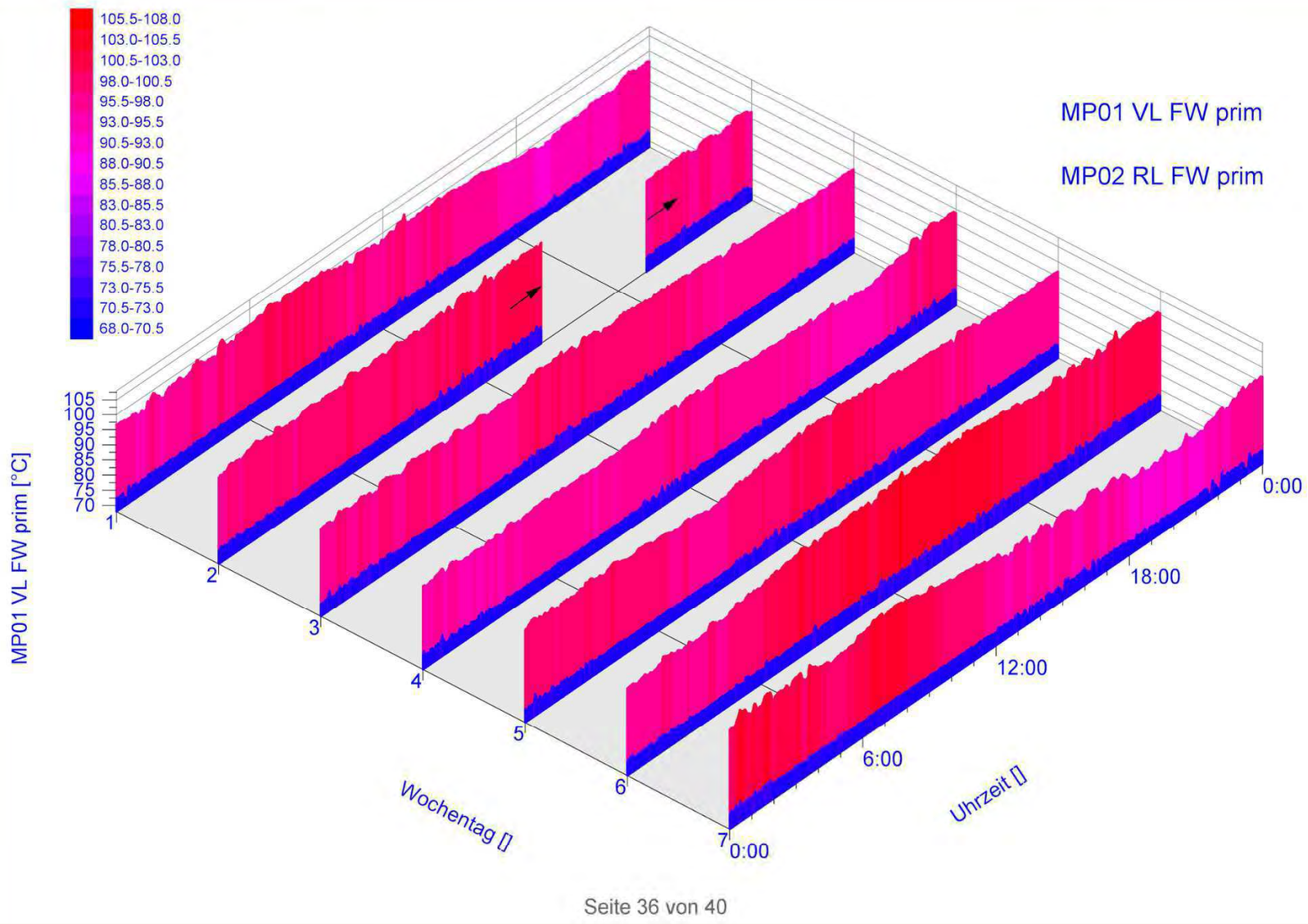

MP11 VL WT WWB [°C]
75
70
65
60
55
50
45
40
35
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
Uhrzeit
1
MP11 VL WT WWB
MP12 RL WT WWB

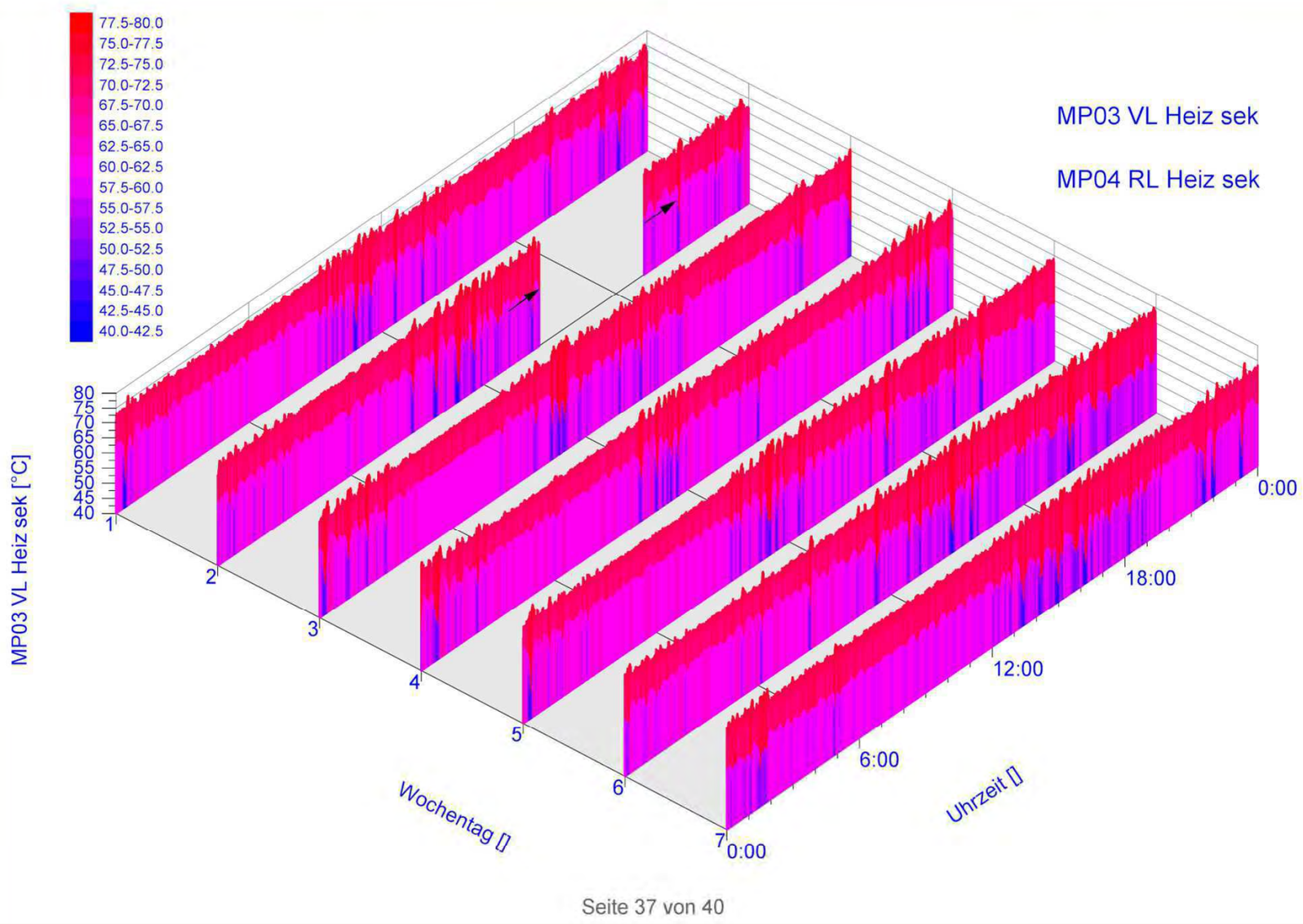

MP11 VL WT WWB [°C]
72.5
70
67.5
65
62.5
60
57.5
55
52.5
50
MP11 VL WT WWB
MP12 RL WT WWB
MP12 RL WT WWB [°C]
70
65
60
55
50
45
40
35
45
50
55
60
65
70
75
MP14 RL TWw Zirkulation [°C]

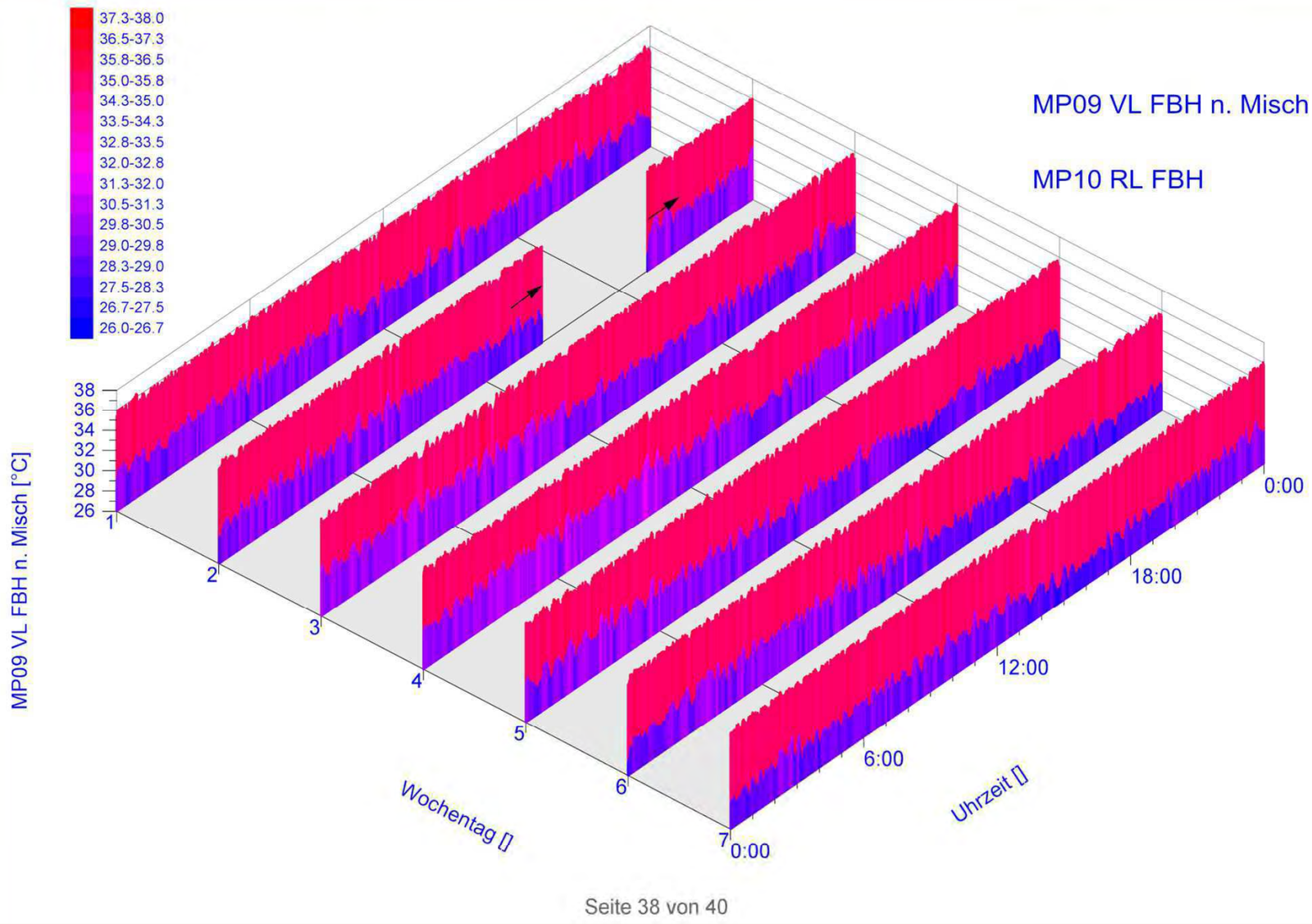

MP11 VL WT WWB [°C]
MP11 VL WT WWB, MP12 RL WT WWB
MP13 VL TWw, MP14 RL TWw Zirkulation
75
70
65
60
55
50
45
40
35
21.01
22.01
23.01
24.01
25.01
26.01
27.01
28.01
29.01
Zeit_korrigiert []

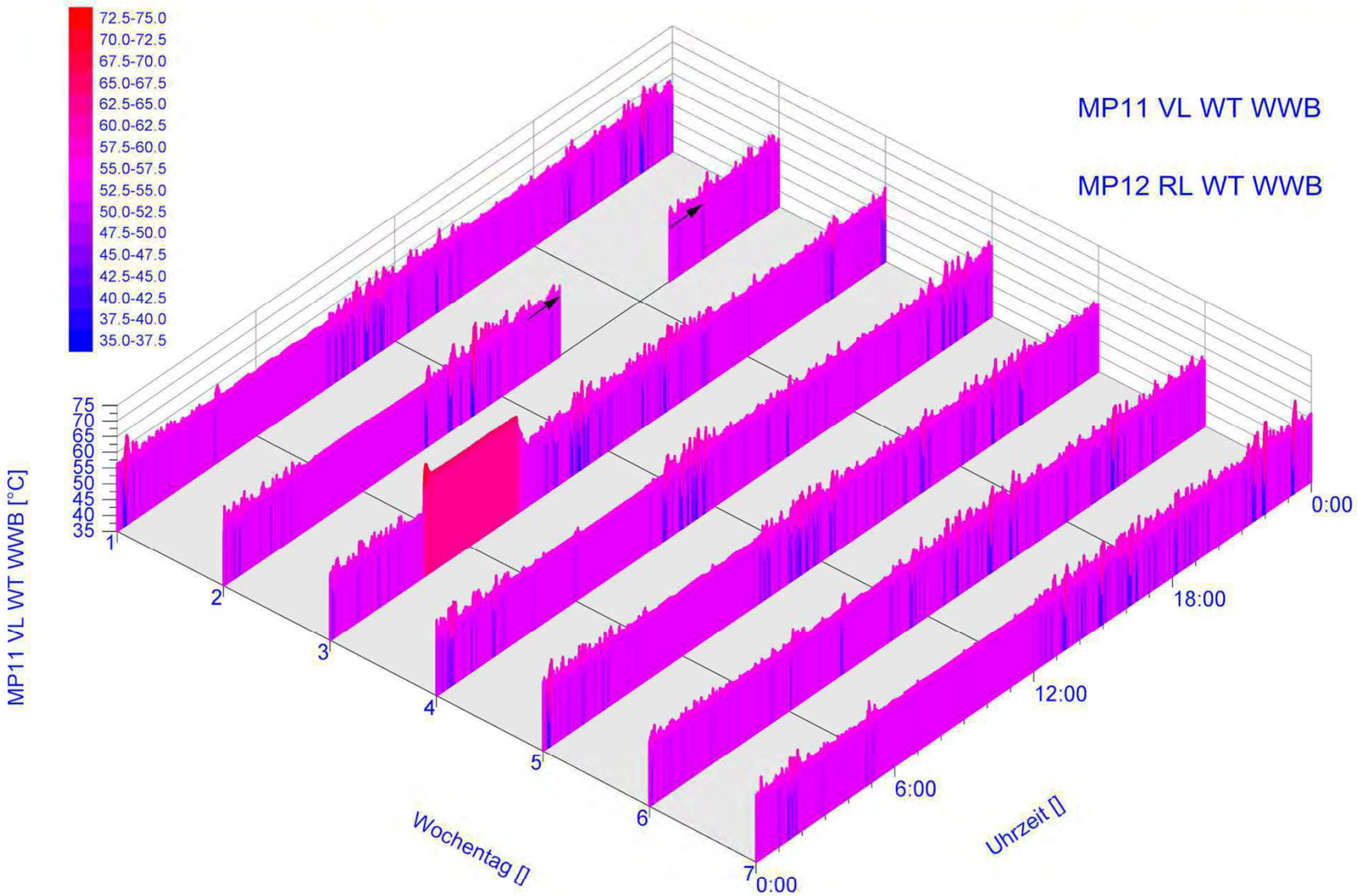

MP13 rel. Klassenhäufigkeit [%]
70
60
50
40
30
20
10
0
45.0
50.0
55.0
60.0
65.0
70.0
MP13 Klassierung [l]

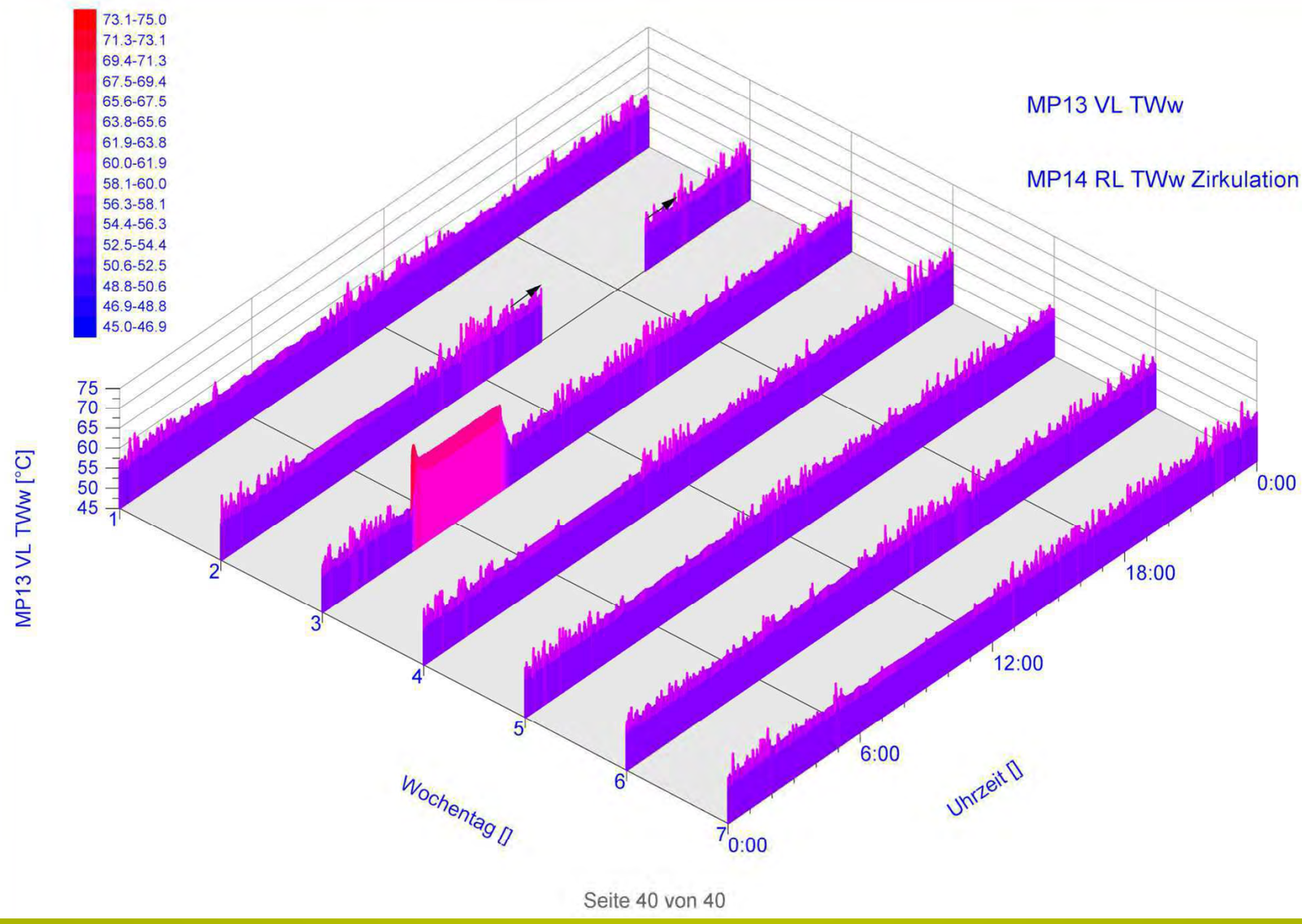

MP13 VL TWw [°C]
75
70
65
60
55
50
45
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
Uhrzeit []
1
MP13 VL TWw
MP14 RL TWw Zirkulation


105.5-108.0
103.0-105.5
100.5-103.0
98.0-100.5
95.5-98.0
93.0-95.5
90.5-93.0
88.0-90.5
85.5-88.0
83.0-85.5
80.5-83.0
78.0-80.5
75.5-78.0
73.0-75.5
70.5-73.0
68.0-70.5
MP01 VL FW prim
MP02 RL FW prim
MP01 VL FW prim [°C]
105
100
95
90
85
80
75
70
1
2
3
4
5
6
7
Wochentag []
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
Uhrzeit []


77.5-80.0
75.0-77.5
72.5-75.0
70.0-72.5
67.5-70.0
65.0-67.5
62.5-65.0
60.0-62.5
57.5-60.0
55.0-57.5
52.5-55.0
50.0-52.5
47.5-50.0
45.0-47.5
42.5-45.0
40.0-42.5
MP03 VL Heiz sek
MP04 RL Heiz sek
MP03 VL Heiz sek [°C]
80
75
70
65
60
55
50
45
40
1
2
3
4
5
6
7
Wochentag []
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
Uhrzeit []

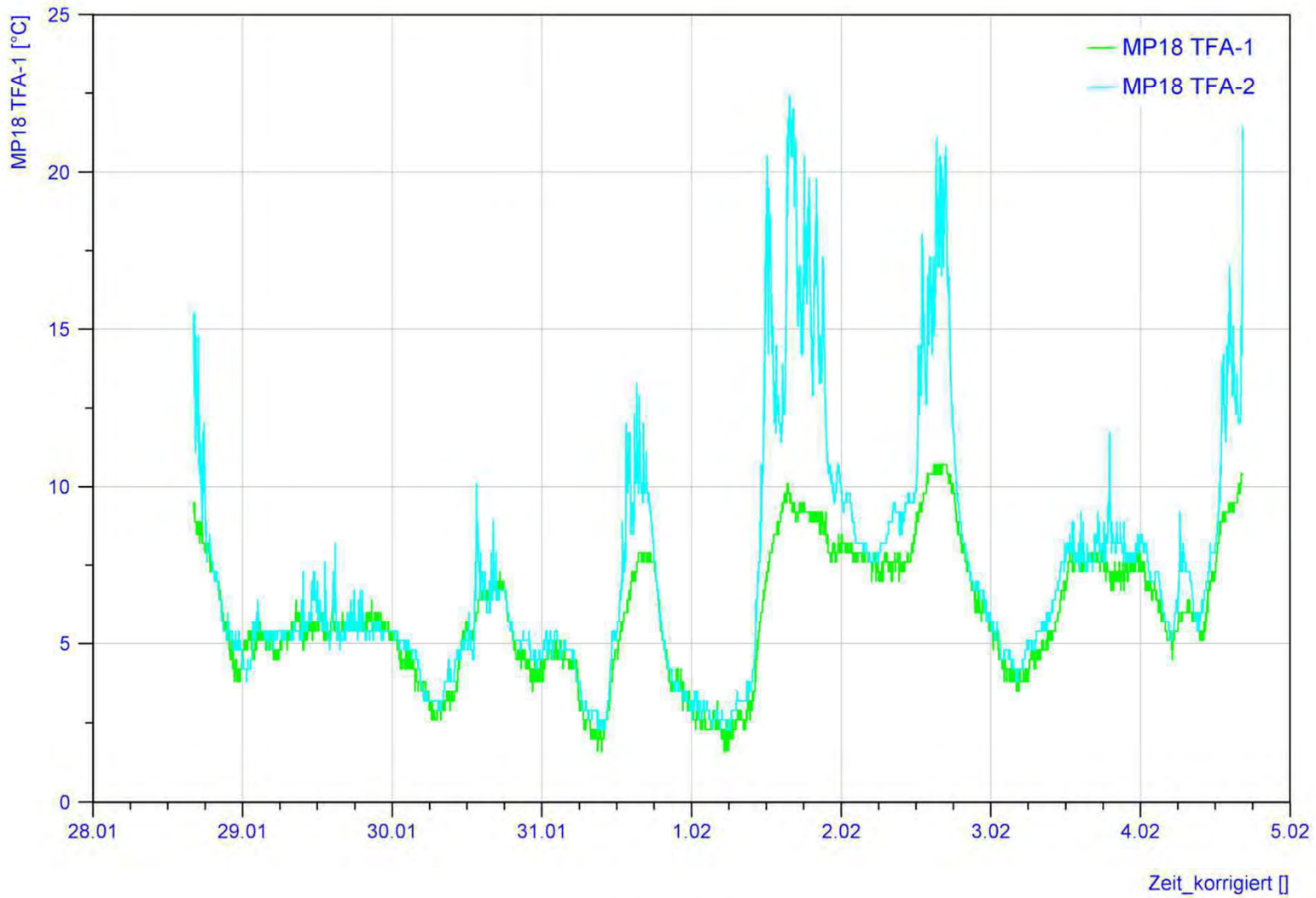

37.3-38.0
36.5-37.3
35.8-36.5
35.0-35.8
34.3-35.0
33.5-34.3
32.8-33.5
32.0-32.8
31.3-32.0
30.5-31.3
29.8-30.5
29.0-29.8
28.3-29.0
27.5-28.3
26.7-27.5
26.0-26.7
MP09 VL FBH n. Misch
MP10 RL FBH
MP09 VL FBH n. Misch [°C]
38
36
34
32
30
28
26
1
2
3
4
5
6
7
Wochentag []
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
Uhrzeit []

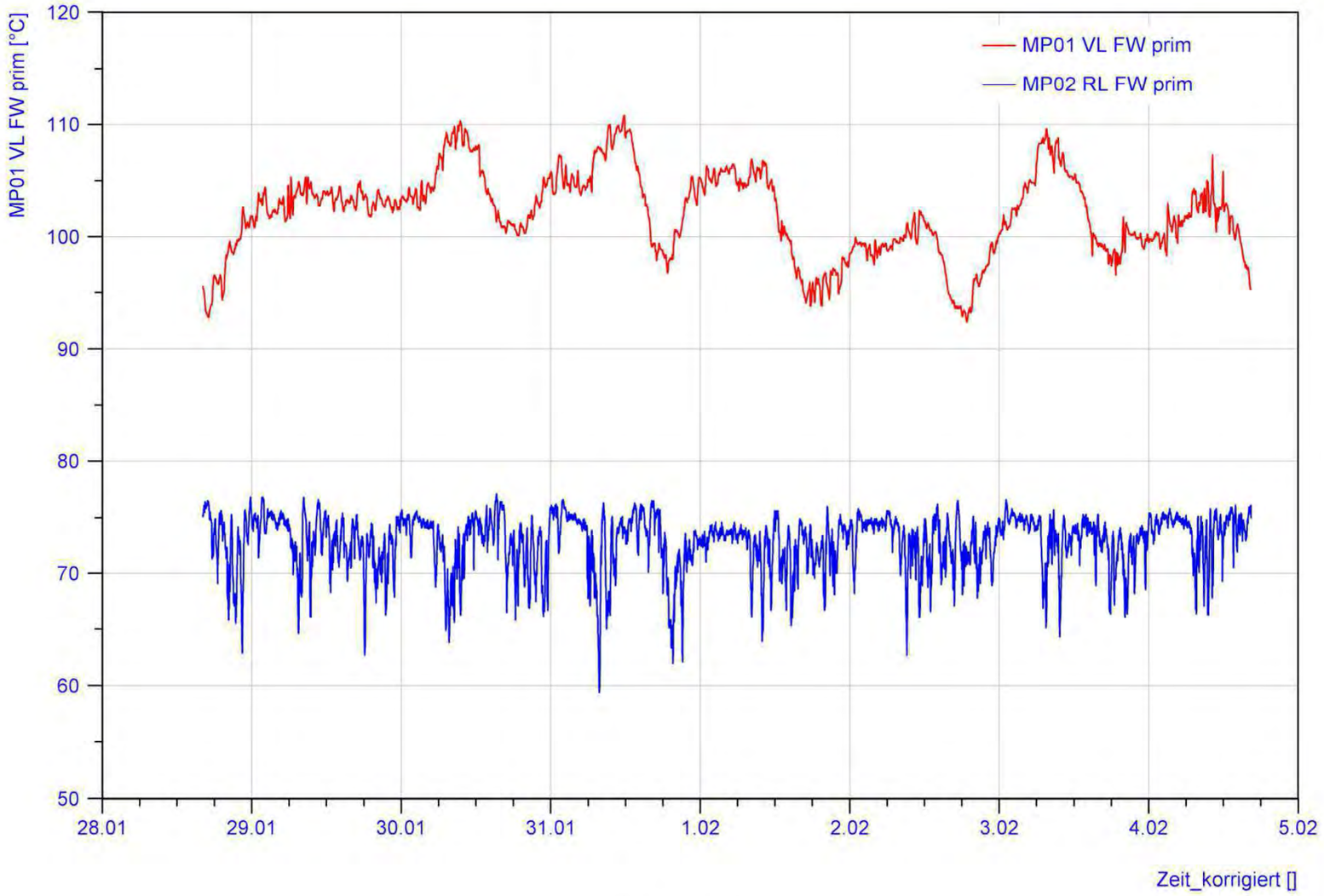

72.5-75.0
70.0-72.5
67.5-70.0
65.0-67.5
62.5-65.0
60.0-62.5
57.5-60.0
55.0-57.5
52.5-55.0
50.0-52.5
47.5-50.0
45.0-47.5
42.5-45.0
40.0-42.5
37.5-40.0
35.0-37.5
MP11 VL WT WWB
MP12 RL WT WWB
MP11 VL WT WWB [°C]
75
70
65
60
55
50
45
40
35
1
2
3
4
5
6
7
Wochentag []
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
Uhrzeit []

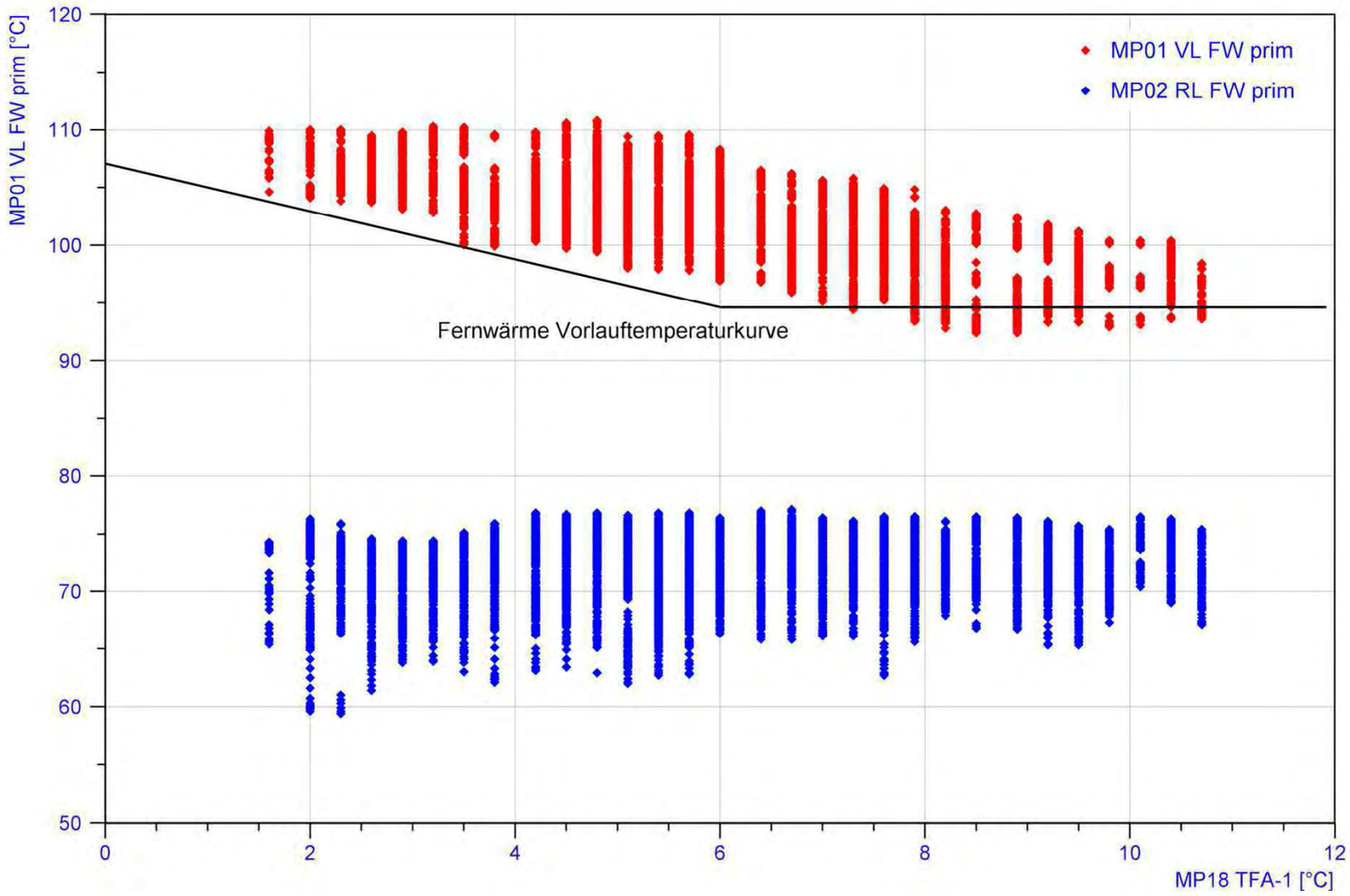

73.1-75.0
71.3-73.1
69.4-71.3
67.5-69.4
65.6-67.5
63.8-65.6
61.9-63.8
60.0-61.9
58.1-60.0
56.3-58.1
54.4-56.3
52.5-54.4
50.6-52.5
48.8-50.6
46.9-48.8
45.0-46.9
MP13 VL TWw
MP14 RL TWw Zirkulation
MP13 VL TWw [°C]
75
70
65
60
55
50
45
1
2
3
4
5
6
7
Wochentag []
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
Uhrzeit []

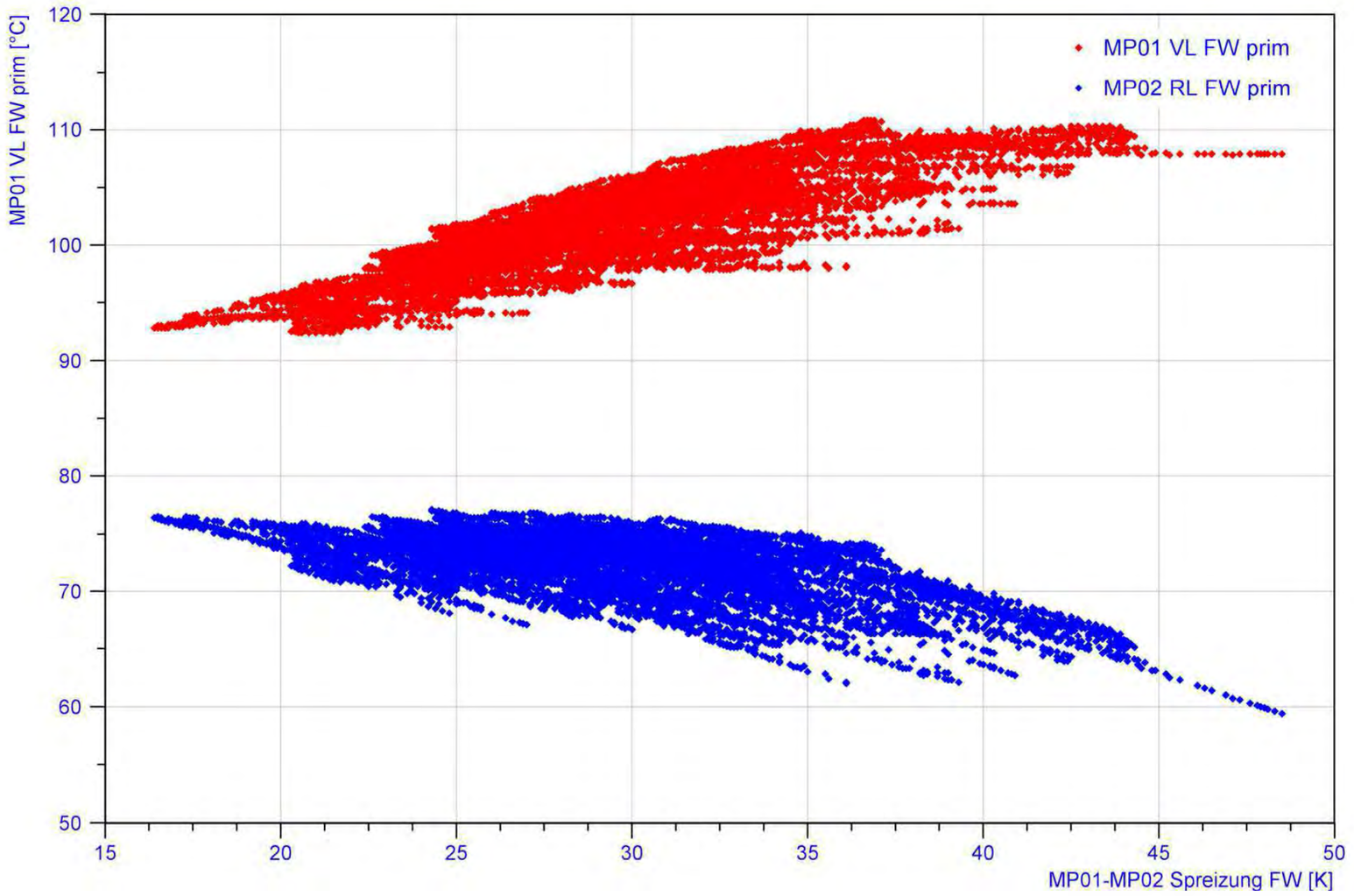
- Haus 3

Seitenname	Seite	Seitenname	Seite
Inhaltsverzeichnis	1	FBH DG_AT	31
AT	2	FBH DG_Spreizung	32
FW Prim	3	FBH DG 24h	33
FW Prim_AT	4	FBH DG_HK	34
FW Prim_Spreizung	5	FBH DG_HK Flaechen	35
FW Prim 24h	6	TWWB	36
FW Prim-Heiz_Sek-Puffer-HK-FBH-TWWB	7	TWWB_Spreizung	37
FW Prim-Heiz_Sek-Puffer-HK-FBH-TWWB Spreizung	8	TWWB 24h	38
Heiz Sek	9	TWWB_TW_Zirk	39
Heiz Sek_AT	10	TWWB_TWw_Zirk Flaeche	40
Heiz Sek_Spreizung	11	TWWB_TWw_Zirk Flaeche_30-01 bis 31-01	41
Heiz Sek 24h	12	TWw Klassenhaeufigkeit	42
Heiz Sek_FW Prim	13	Wochenmatrix FW	43
Heiz_Sek_FW Prim Flaechen	14	Wochenmatrix Heiz sek	44
Puffer	15	Wochenmatrix HK	45
Puffer_AT	16	Wochenmatrix FBH	46
Puffer_Spreizung	17	Wochenmatrix TWWB	47
Puffer 24h	18	Wochenmatrix TWw	48
Puffer_Heiz Sek	19	3D VL-RL-Spreiz FW	49
Puffer_Heiz Sek Flaechen	20	3D VL-RL-Spreiz Heiz Sek	50
Puffer-Verteiler HK-TWWB	21	3D VL-RL-Spreiz Puffer	51
HK	22	3D VL-RL-Spreiz HK	52
HK_AT	23	3D VL-RL-Spreiz FBH	53
HK_Spreizung	24	3D VL-Spreiz FW 24h	54
HK 24h	25	3D VL-Spreiz Puffer 24h	55
HK_Puffer	26	3D VL-Spreiz HK 24h	56
HK_Verteiler	27	3D VL-Spreiz FBH 24h	57
HK_Puffer Flaechen	28	3D VL-Spreiz TWWB 24h	58
FBH DG	29	2D 24h-wd-FW Matrix Carpetplot	59
FBH DG_02-02 bis 03-02	30	2D 24h-wd-FBH Matrix Carpetplot	60

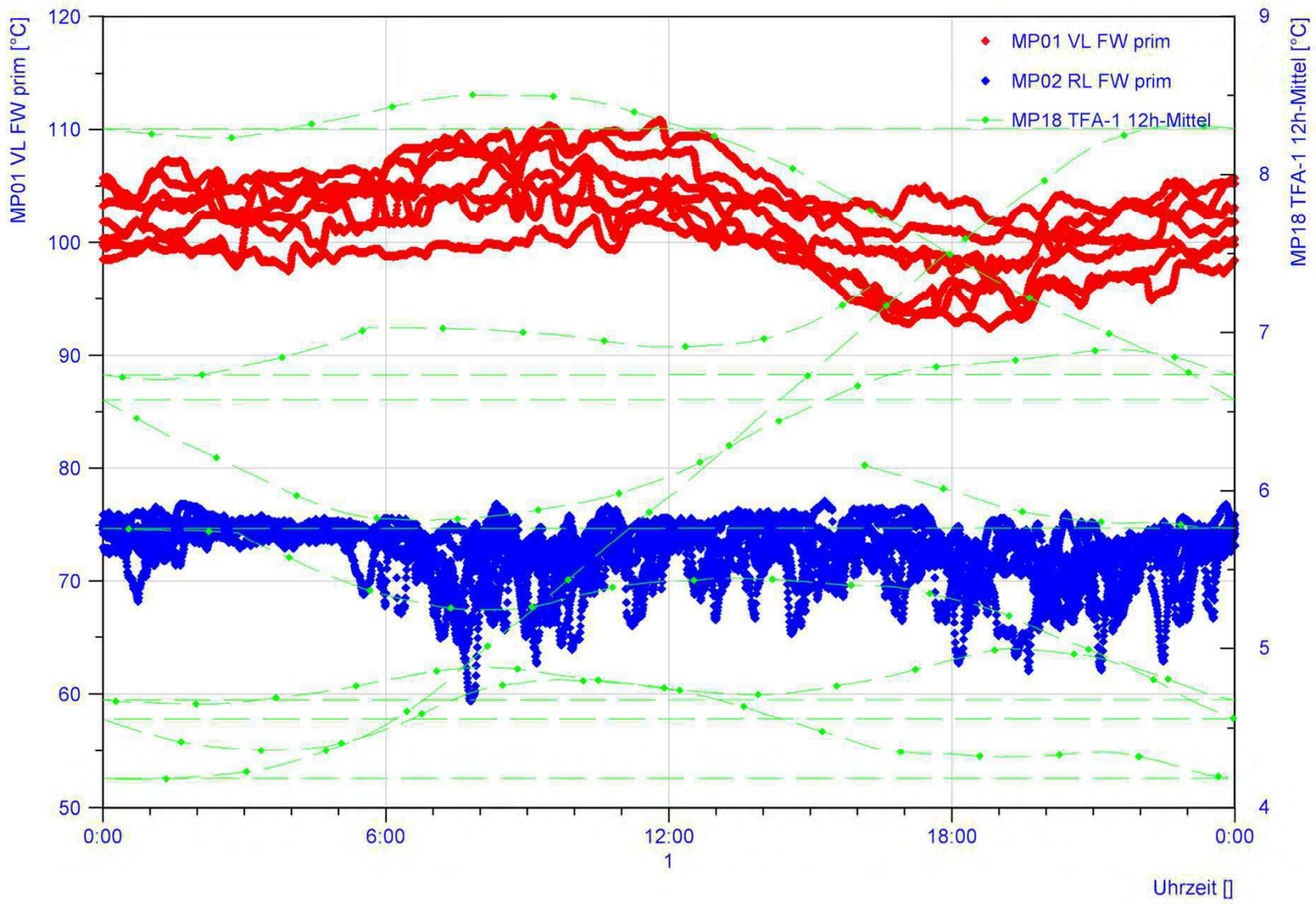

MP18 TFA-1 [°C]
25
20
15
10
5
0
28.01
29.01
30.01
31.01
1.02
2.02
3.02
4.02
5.02
Zeit_korrigiert []
MP18 TFA-1
MP18 TFA-2

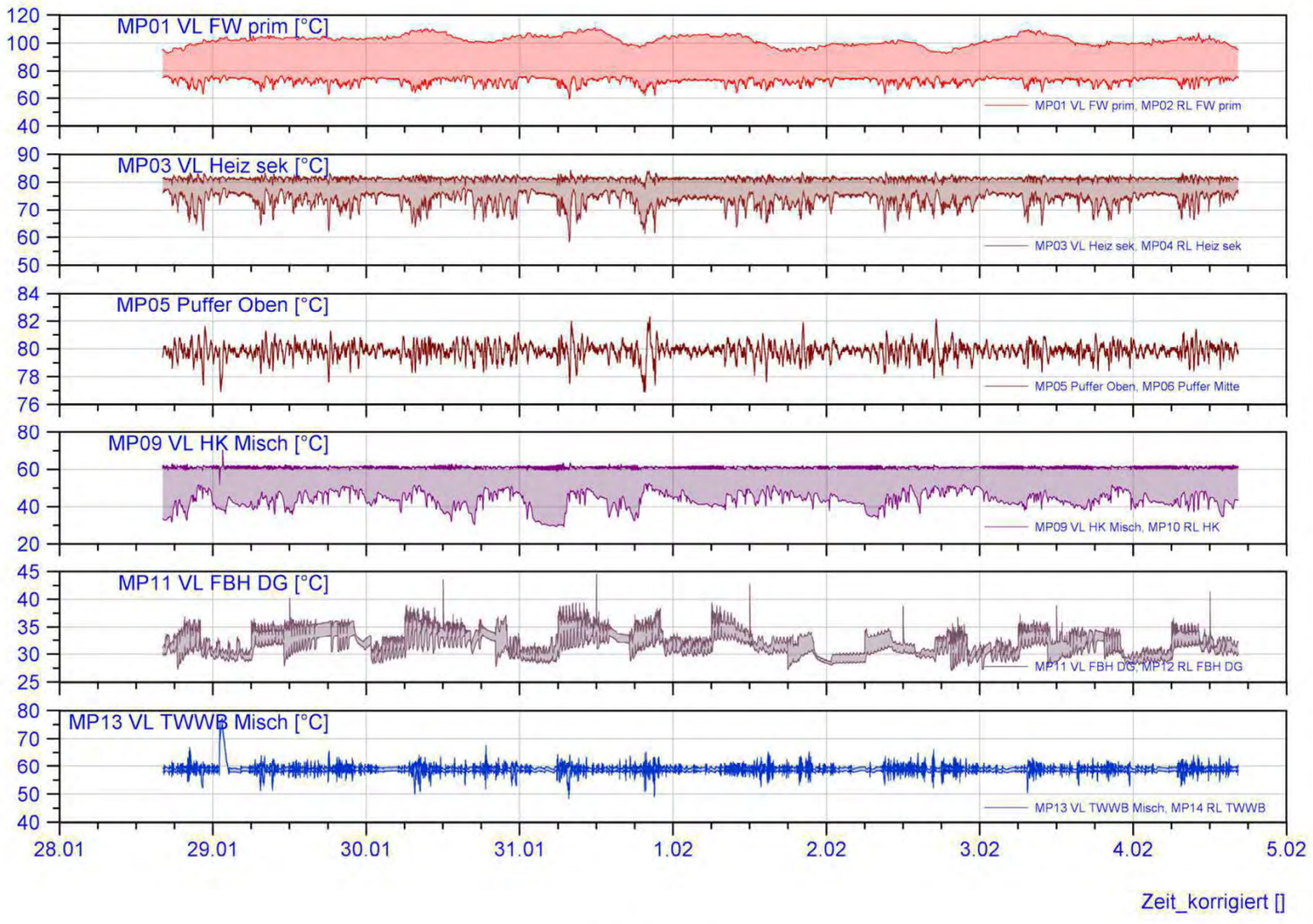

MP01 VL FW prim [°C]
120
110
100
90
80
70
60
50
28.01
29.01
30.01
31.01
1.02
2.02
3.02
4.02
5.02
Zeit_korrigiert []
MP01 VL FW prim
MP02 RL FW prim

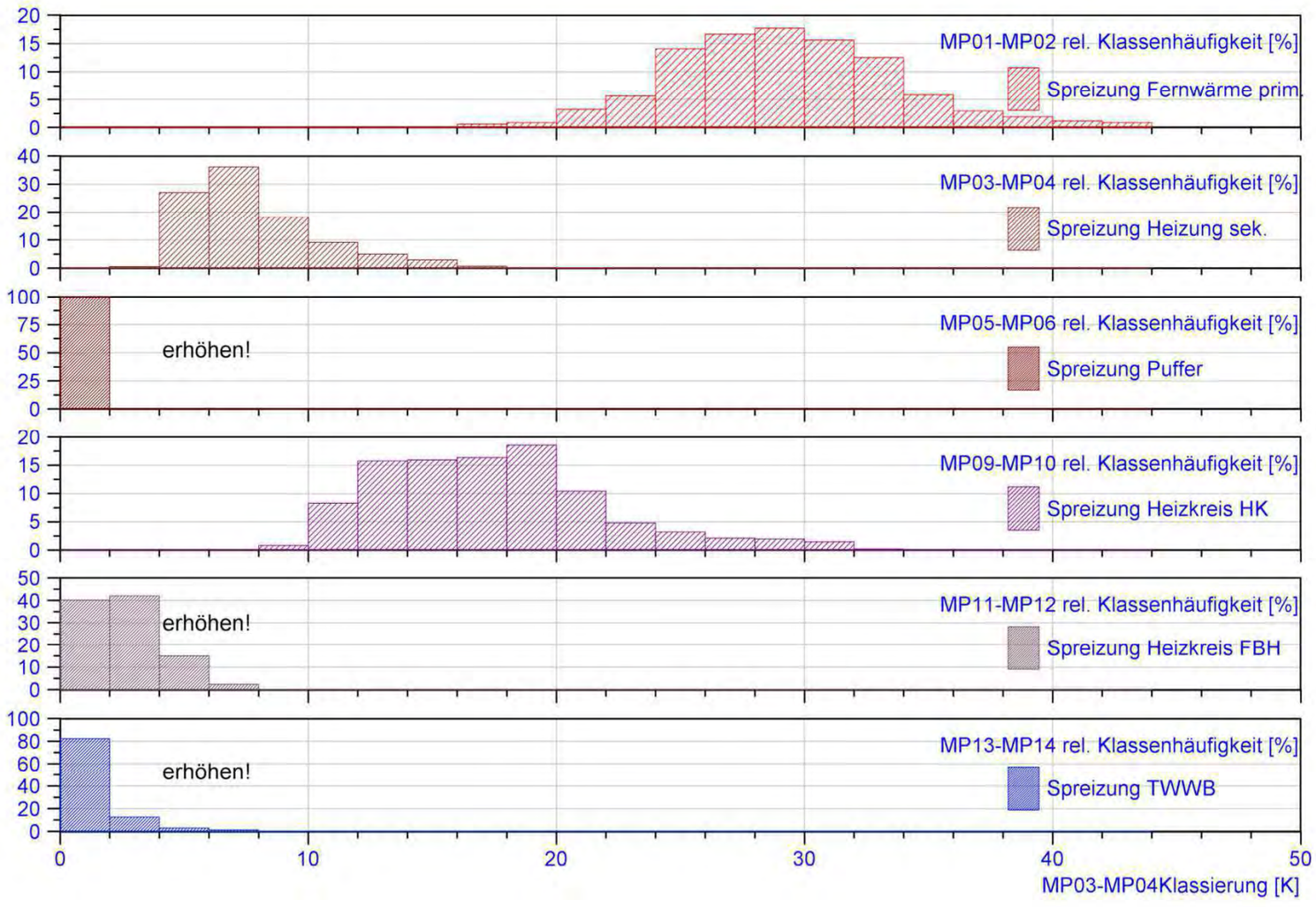

MP01 VL FW prim [°C]
120
110
100
90
80
70
60
50
0
2
4
6
8
10
12
MP18 TFA-1 [°C]
MP01 VL FW prim
MP02 RL FW prim
Fernwärme Vorlauftemperaturkurve

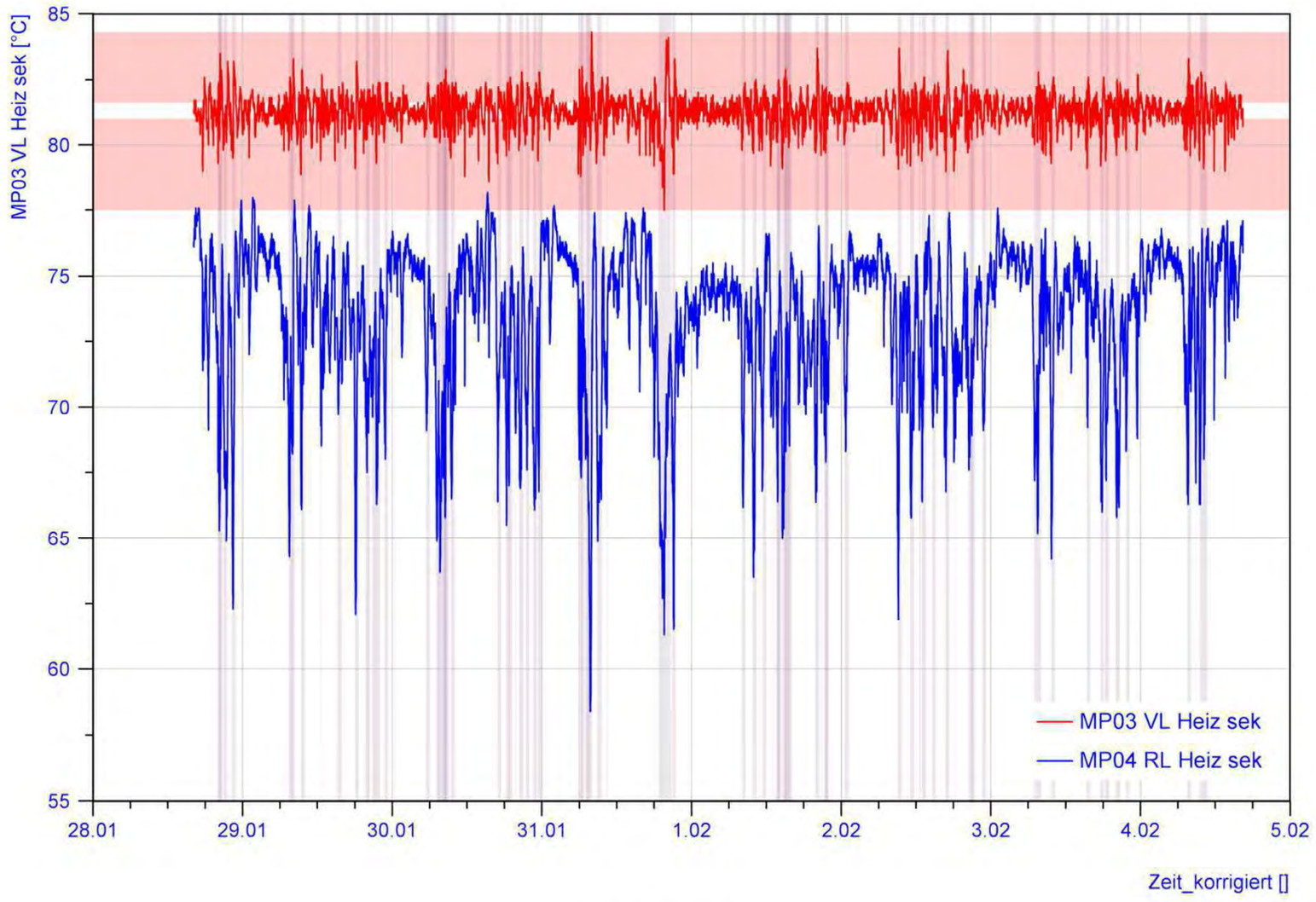


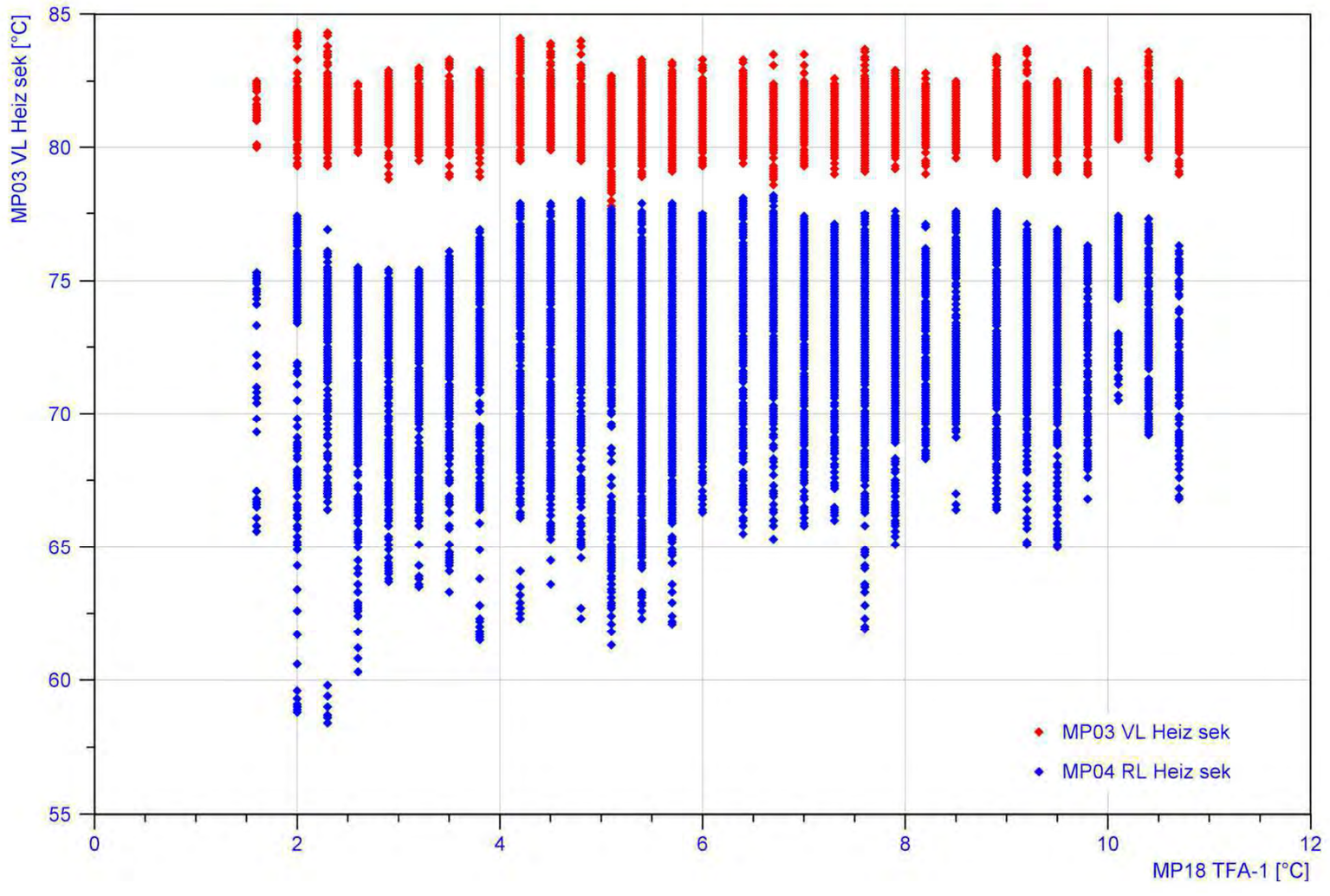
Seite 5 von 60

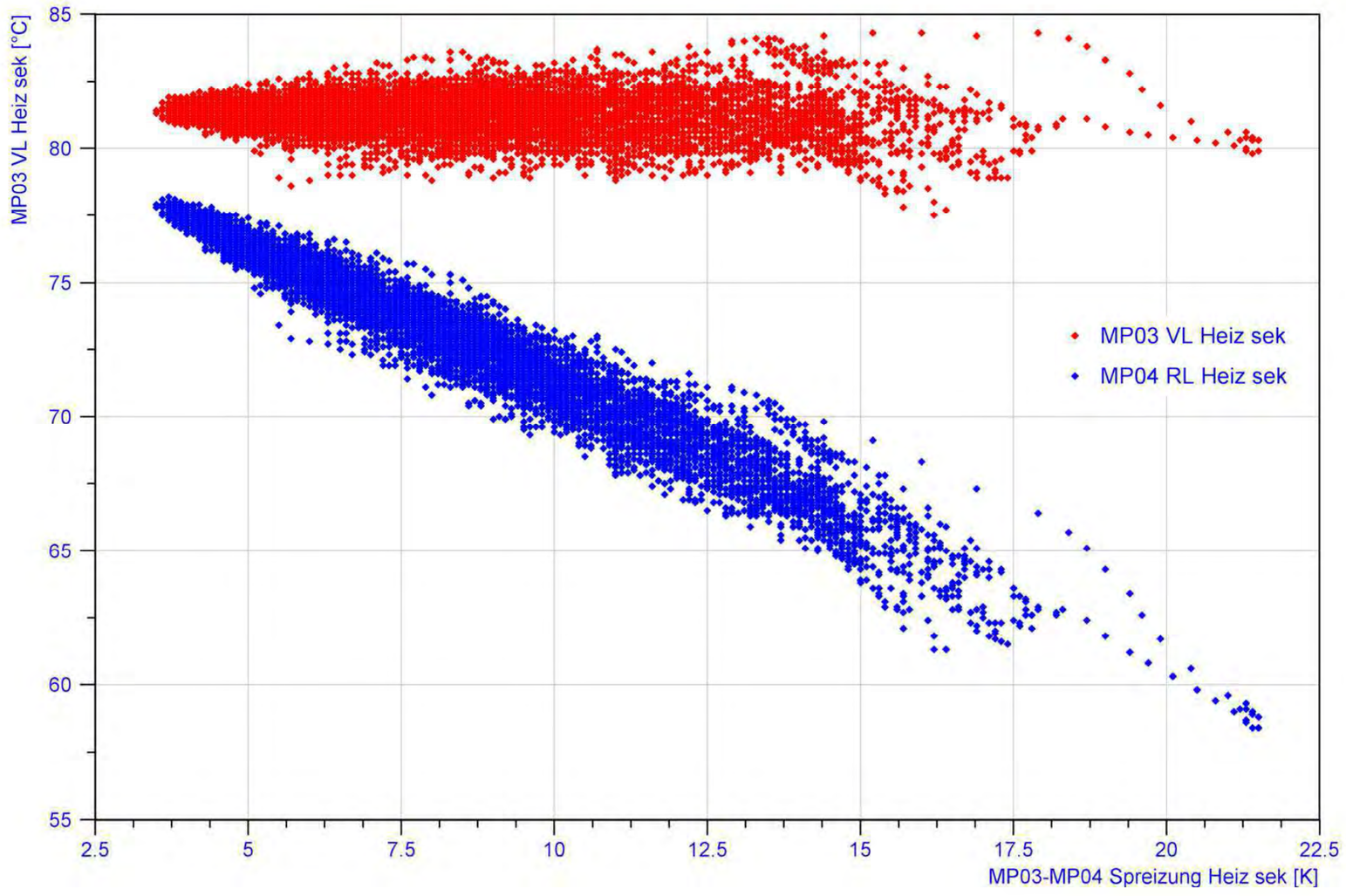

MP01 VL FW prim [°C]
MP18 TFA-1 12h-Mittel [°C]
MP01 VL FW prim
MP02 RL FW prim
MP18 TFA-1 12h-Mittel
120
110
100
90
80
70
60
50
9
8
7
6
5
4
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
1
Uhrzeit []

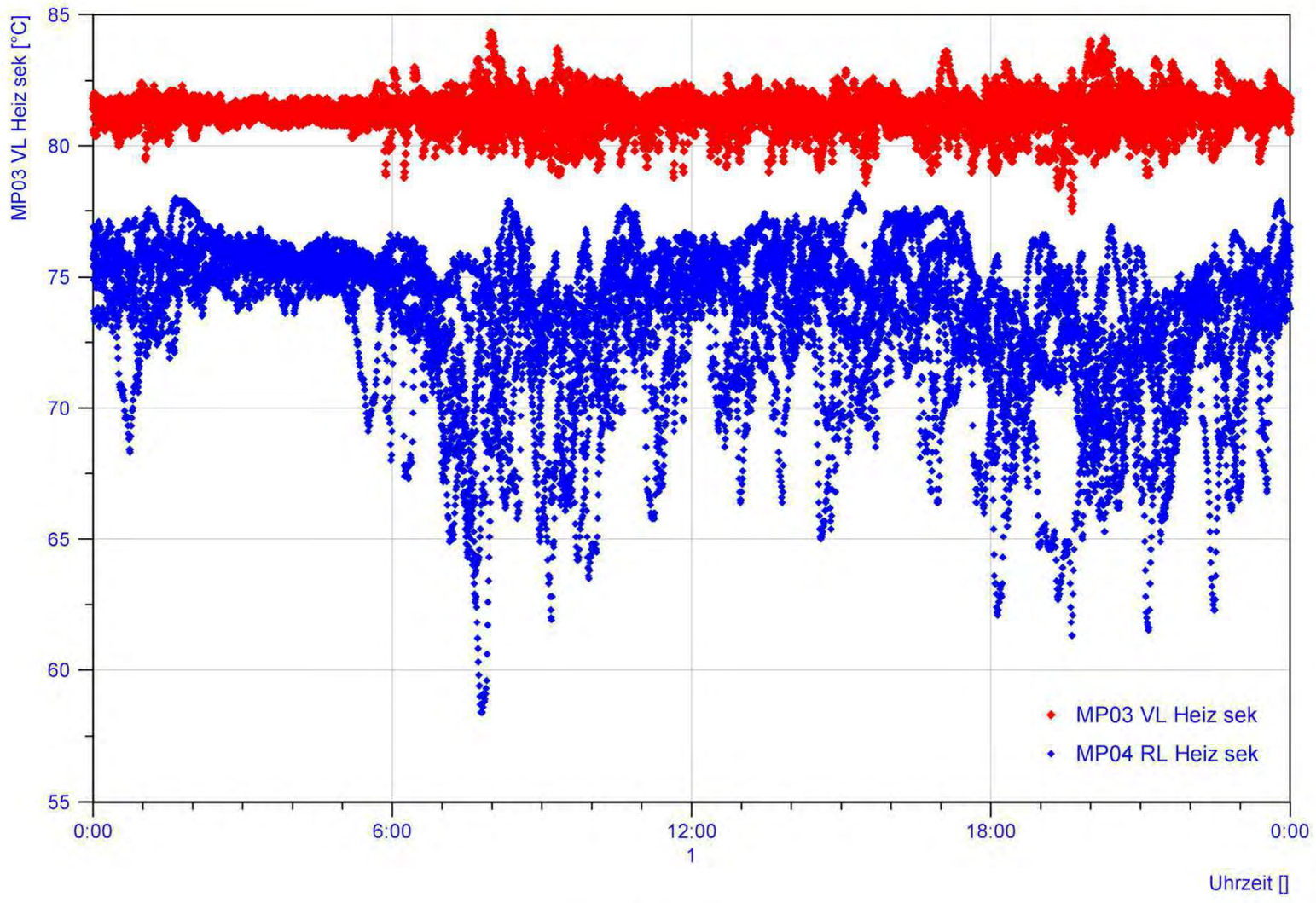

MP01 VL FW prim [°C]
120
100
80
60
40
MP01 VL FW prim, MP02 RL FW prim
MP03 VL Heiz sek [°C]
90
80
70
60
50
MP03 VL Heiz sek, MP04 RL Heiz sek
MP05 Puffer Oben [°C]
84
82
80
78
76
MP05 Puffer Oben, MP06 Puffer Mitte
MP09 VL HK Misch [°C]
80
60
40
20
MP09 VL HK Misch, MP10 RL HK
MP11 VL FBH DG [°C]
45
40
35
30
25
MP11 VL FBH DG, MP12 RL FBH DG
MP13 VL TWWB Misch [°C]
80
70
60
50
40
MP13 VL TWWB Misch, MP14 RL TWWB
28.01
29.01
30.01
31.01
1.02
2.02
3.02
4.02
5.02
Zeit_korrigiert []

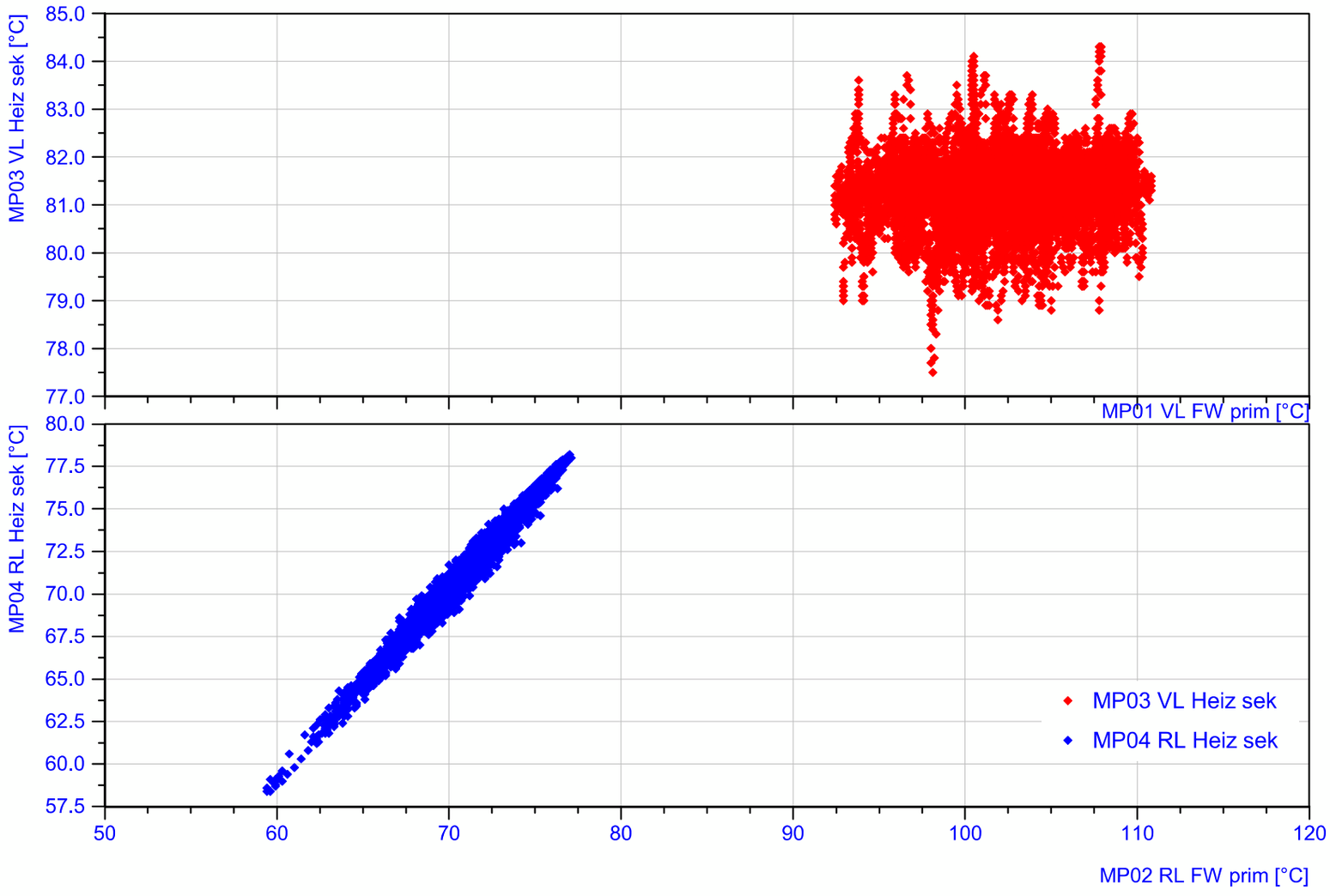

MP01-MP02 rel. Klassenhäufigkeit [%]
Spreizung Fernwärme prim.
MP03-MP04 rel. Klassenhäufigkeit [%]
Spreizung Heizung sek.
MP05-MP06 rel. Klassenhäufigkeit [%]
Spreizung Puffer
erhöhen!
MP09-MP10 rel. Klassenhäufigkeit [%]
Spreizung Heizkreis HK
MP11-MP12 rel. Klassenhäufigkeit [%]
Spreizung Heizkreis FBH
erhöhen!
MP13-MP14 rel. Klassenhäufigkeit [%]
Spreizung TWWB
erhöhen!
MP03-MP04Klassierung [K]

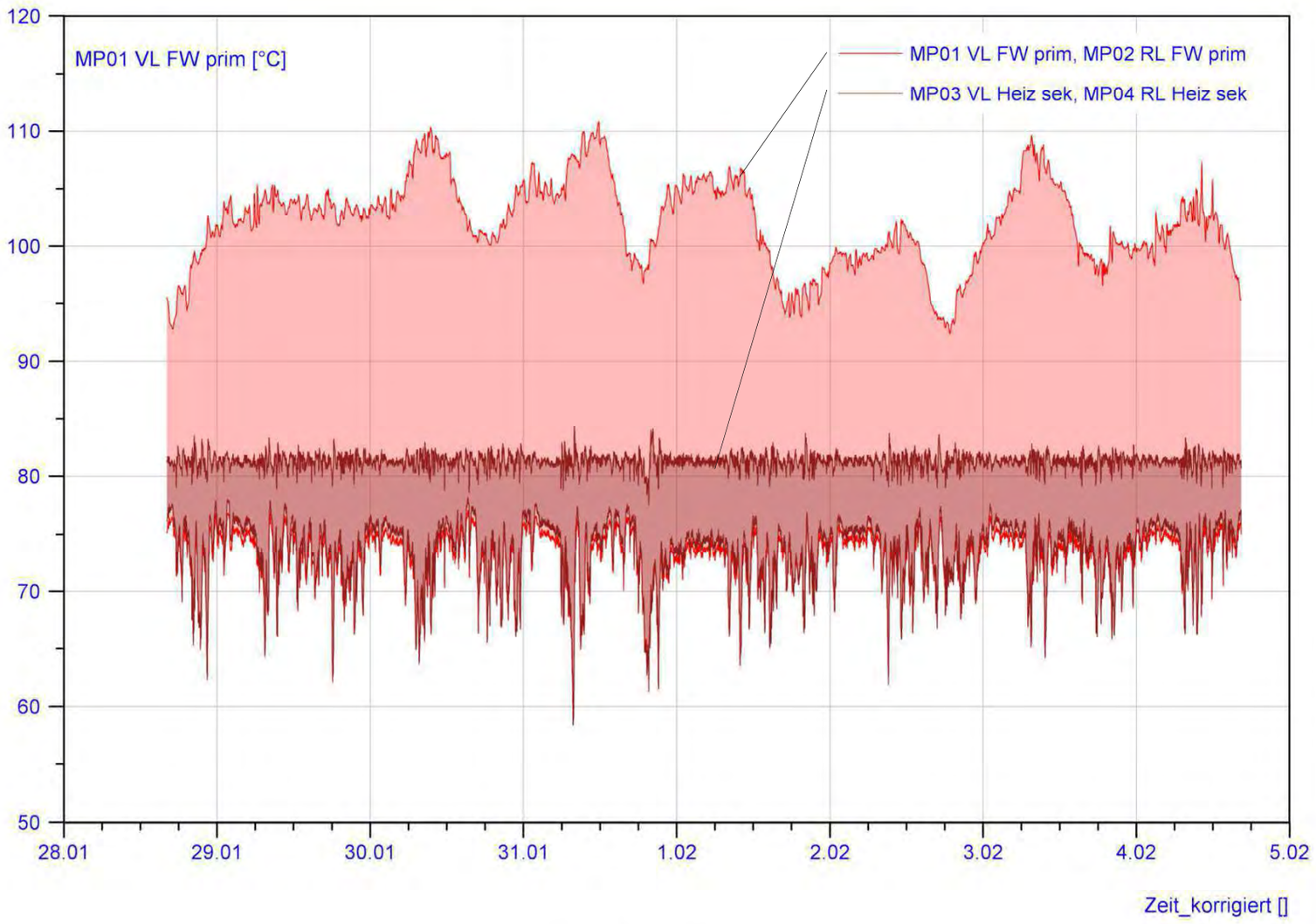

MP03 VL Heiz sek [°C]
85
80
75
70
65
60
55
28.01
29.01
30.01
31.01
1.02
2.02
3.02
4.02
5.02
Zeit_korrigiert []
MP03 VL Heiz sek
MP04 RL Heiz sek

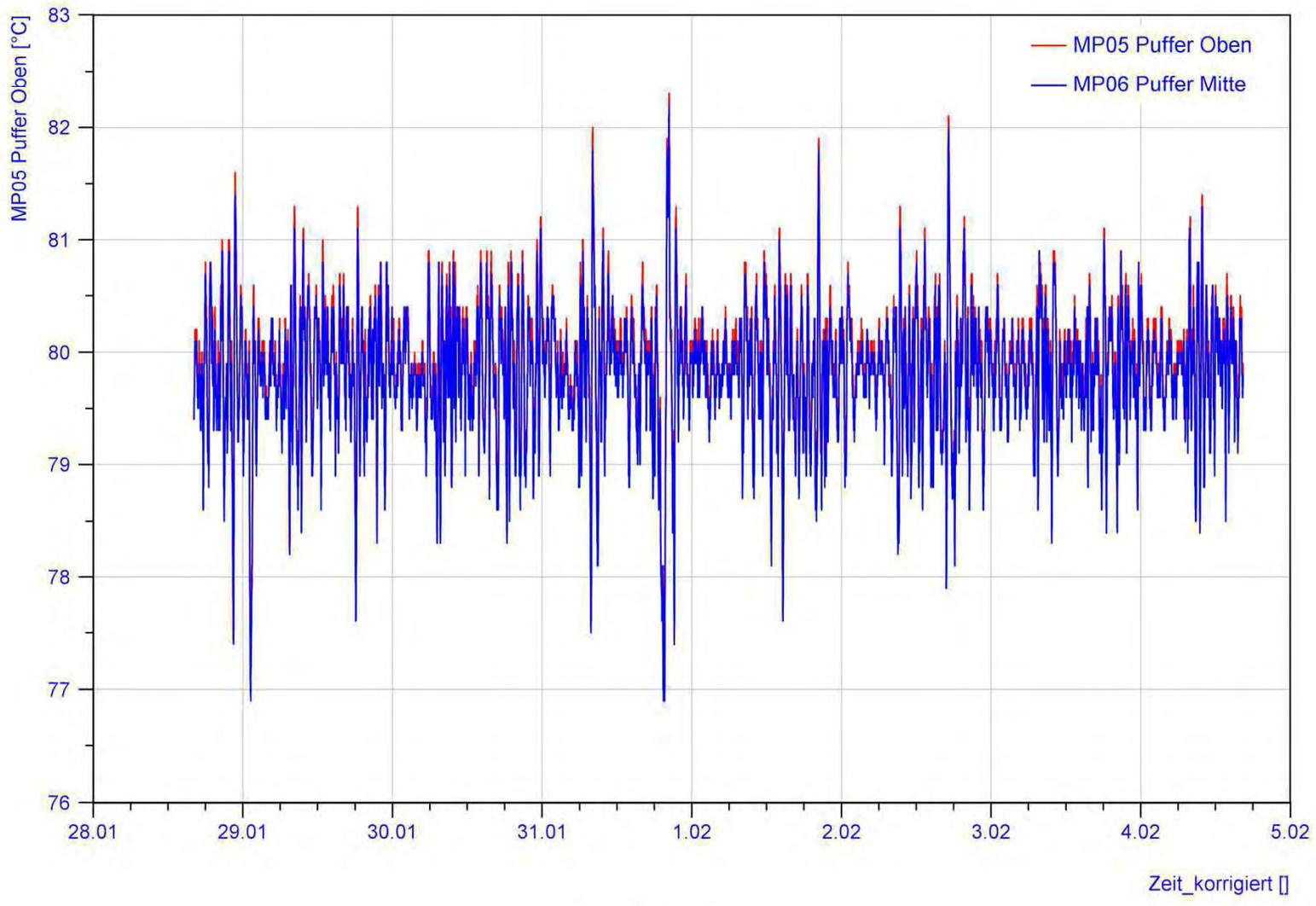

MP03 VL Heiz sek [°C]
85
80
75
70
65
60
55
0
2
4
6
8
10
12
MP18 TFA-1 [°C]
MP03 VL Heiz sek
MP04 RL Heiz sek

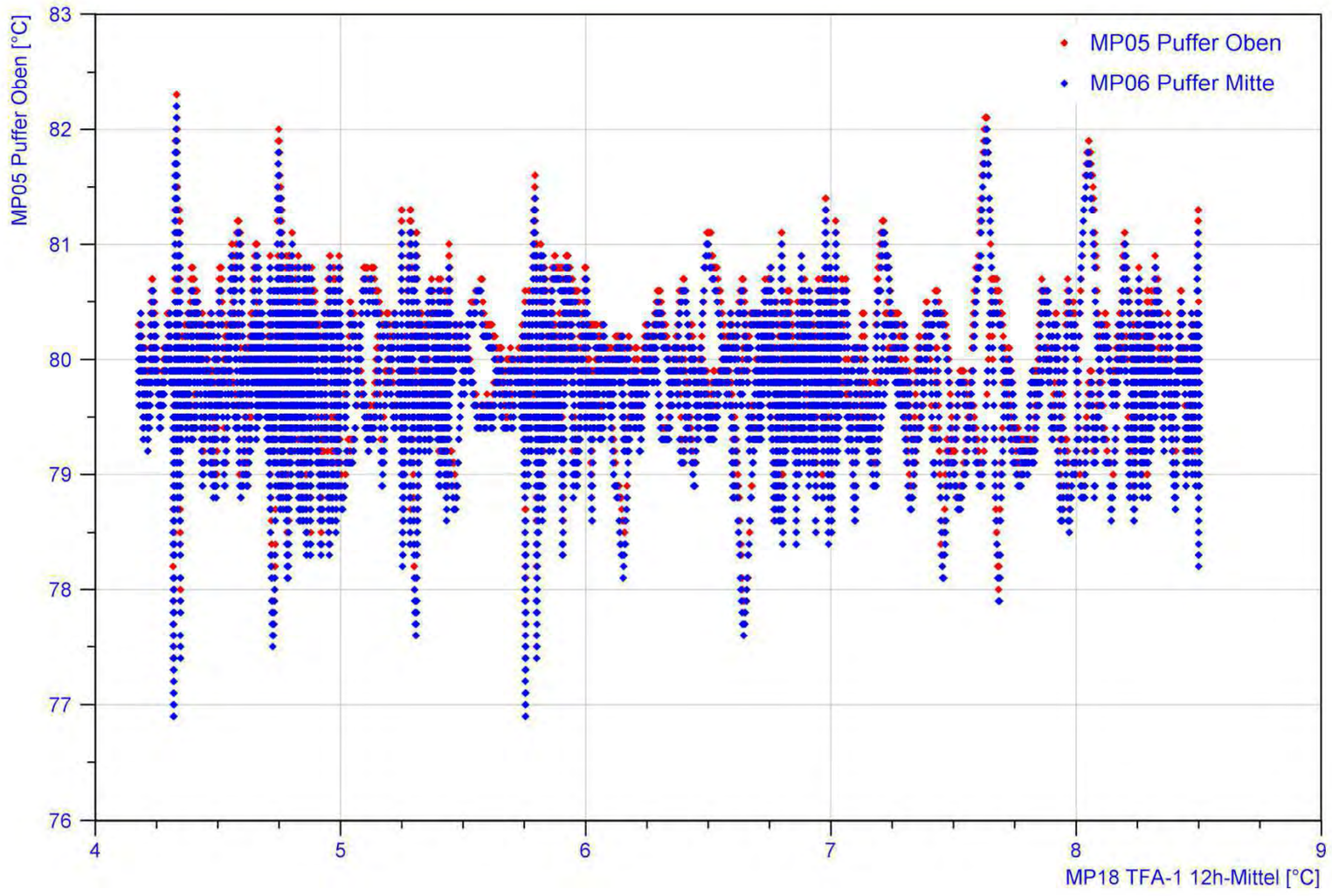

MP03 VL Heiz sek [°C]
85
80
75
70
65
60
55
2.5
5
7.5
10
12.5
15
17.5
20
22.5
MP03-MP04 Spreizung Heiz sek [K]
MP03 VL Heiz sek
MP04 RL Heiz sek

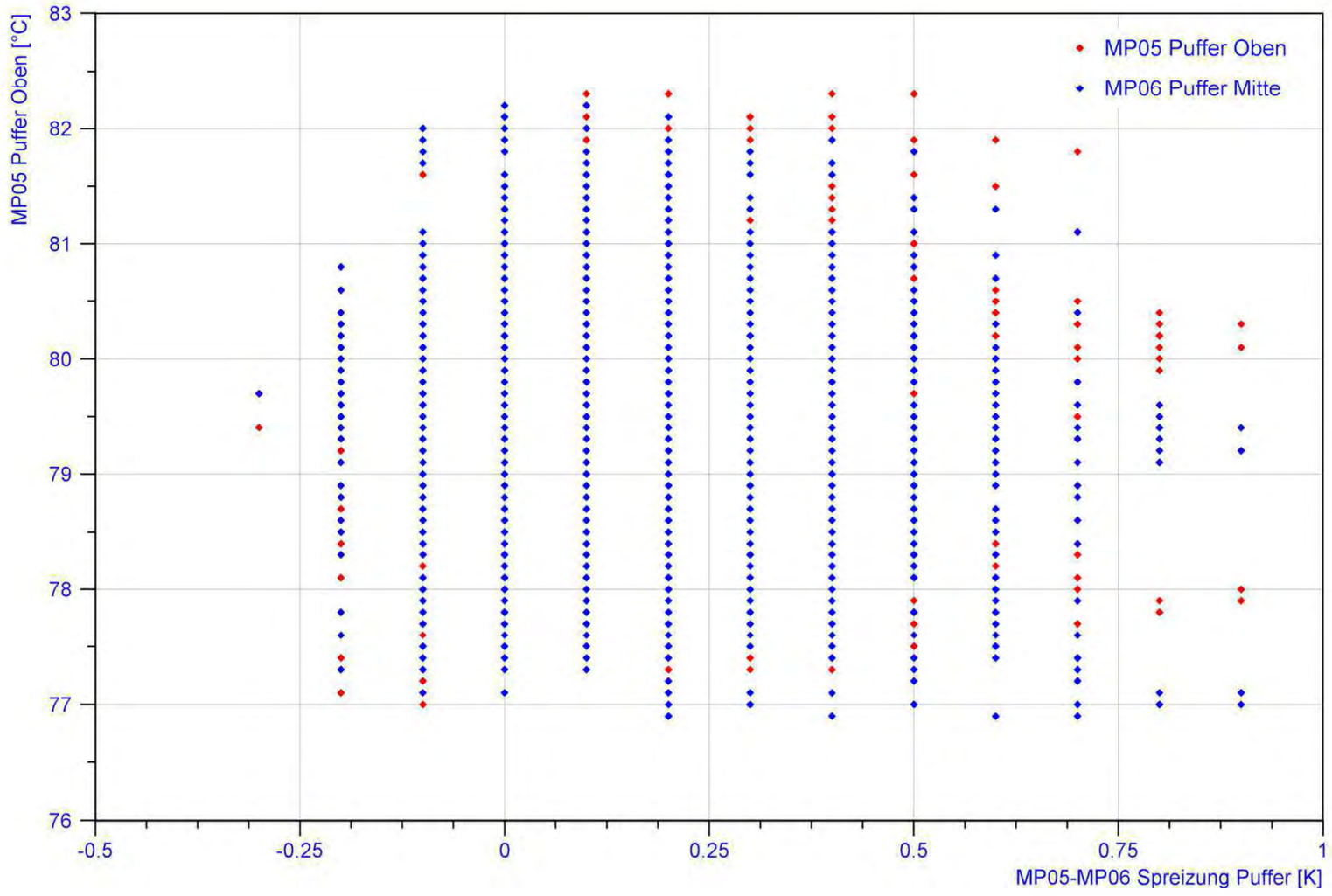

MP03 VL Heiz sek [°C]
85
80
75
70
65
60
55
0:00
6:00
12:00
1
18:00
0:00
Uhrzeit []
MP03 VL Heiz sek
MP04 RL Heiz sek

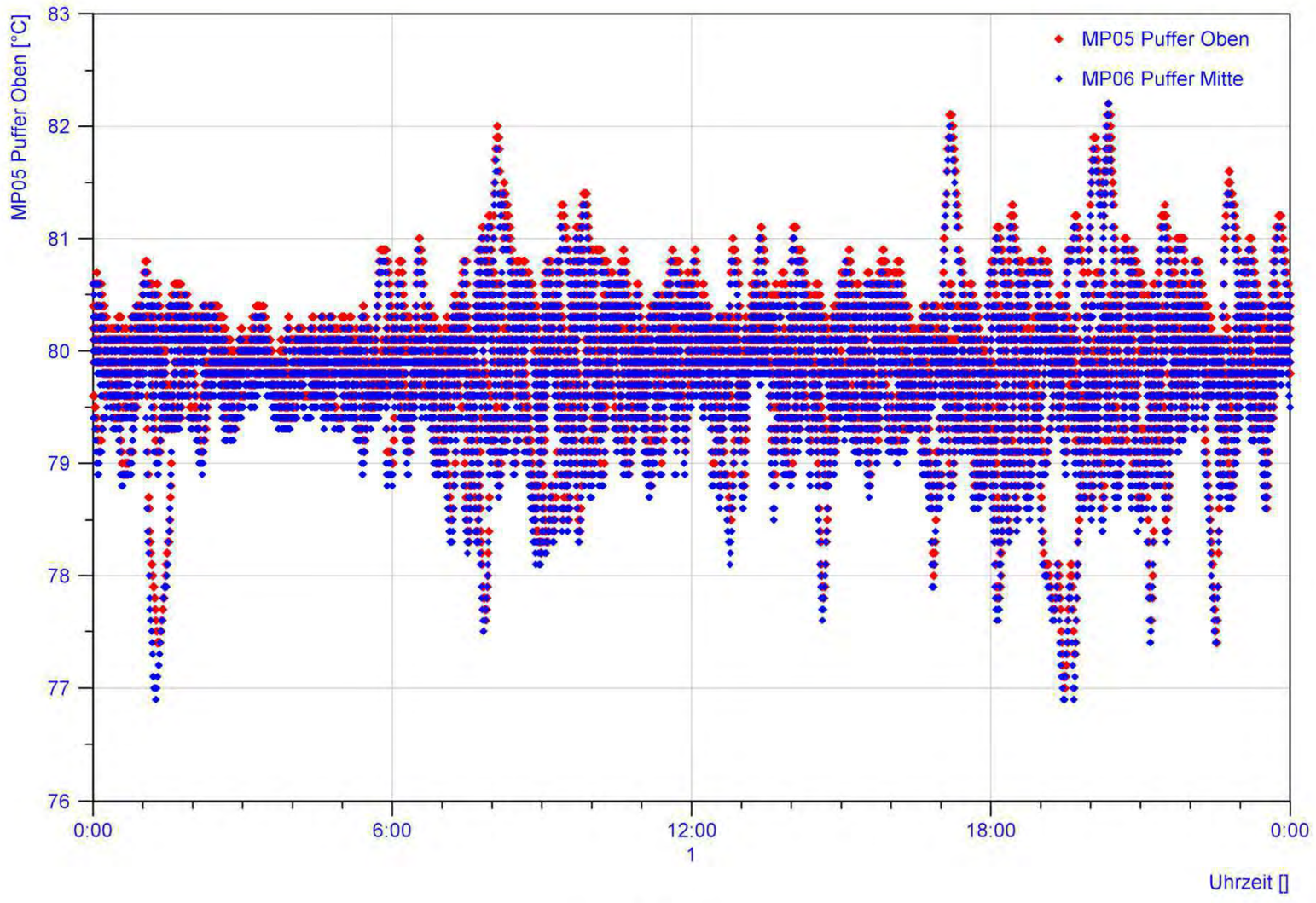

MP03 VL Heiz sek [°C]
85.0
84.0
83.0
82.0
81.0
80.0
79.0
78.0
77.0
MP01 VL FW prim [°C]
MP04 RL Heiz sek [°C]
80.0
77.5
75.0
72.5
70.0
67.5
65.0
62.5
60.0
57.5
50
60
70
80
90
100
110
120
MP02 RL FW prim [°C]
MP03 VL Heiz sek
MP04 RL Heiz sek

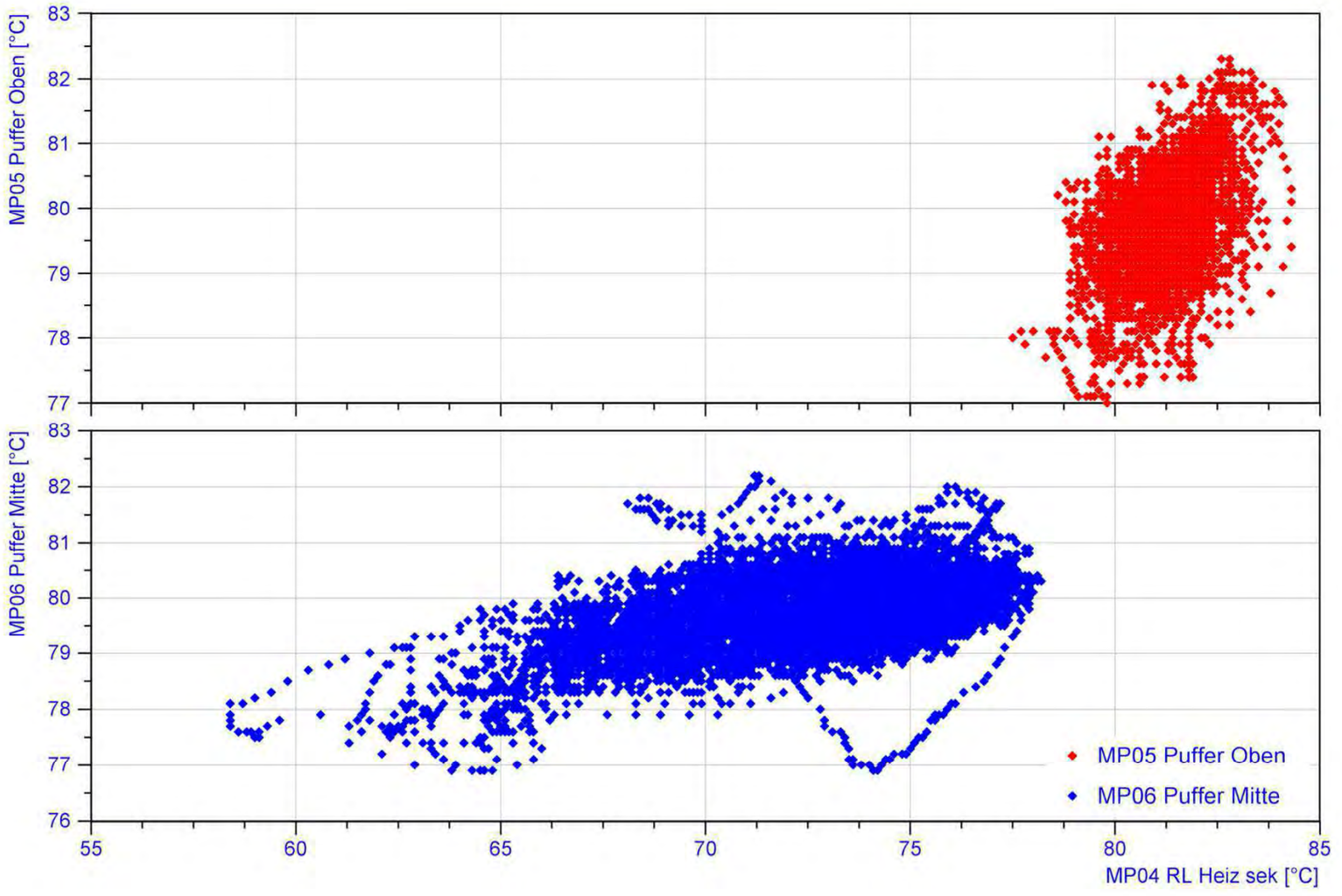

MP01 VL FW prim [°C]
MP01 VL FW prim, MP02 RL FW prim
MP03 VL Heiz sek, MP04 RL Heiz sek
120
110
100
90
80
70
60
50
28.01
29.01
30.01
31.01
1.02
2.02
3.02
4.02
5.02
Zeit_korrigiert []

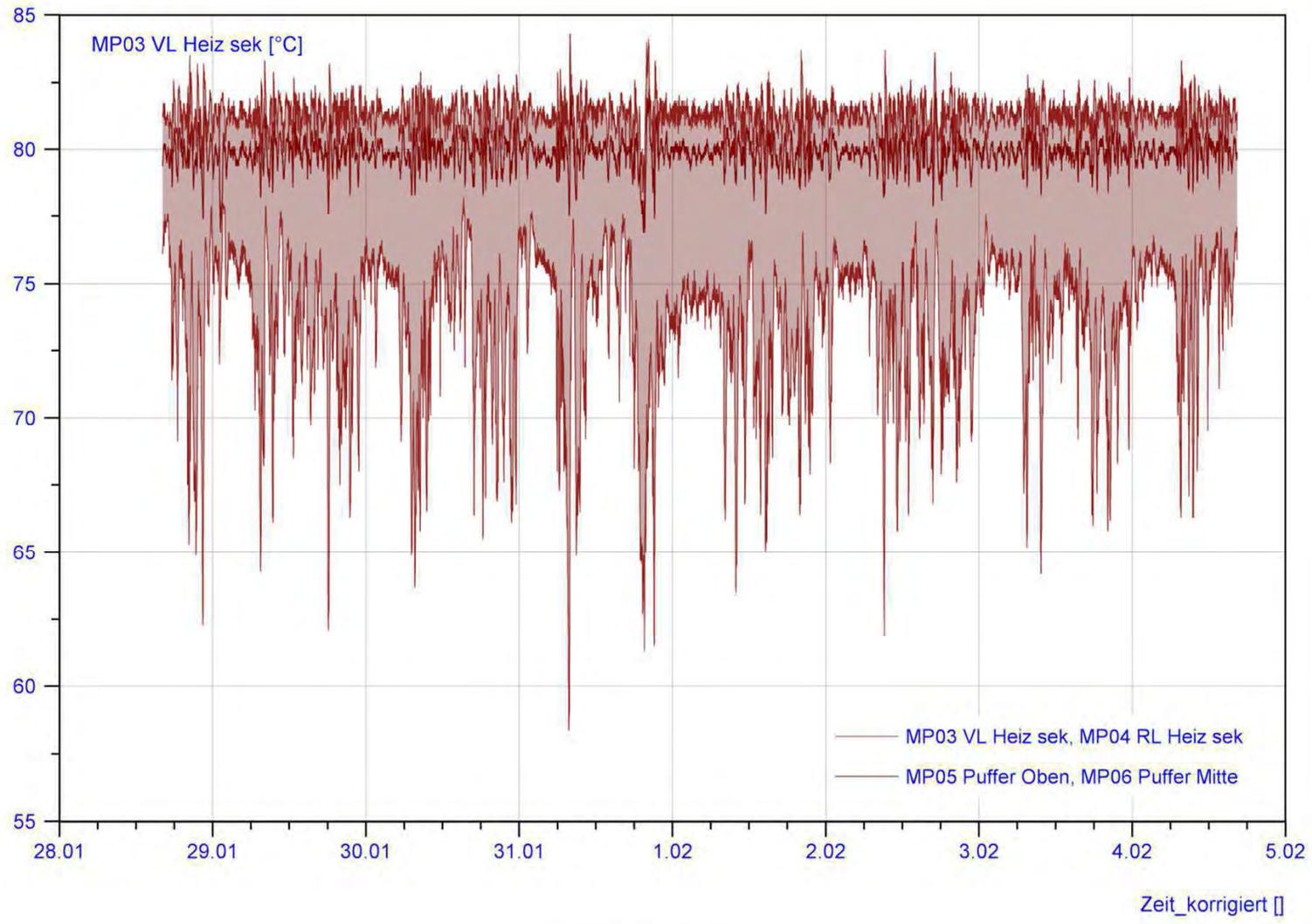

MP05 Puffer Oben [°C]
83
82
81
80
79
78
77
76
28.01
29.01
30.01
31.01
1.02
2.02
3.02
4.02
5.02
Zeit_korrigiert []
MP05 Puffer Oben
MP06 Puffer Mitte

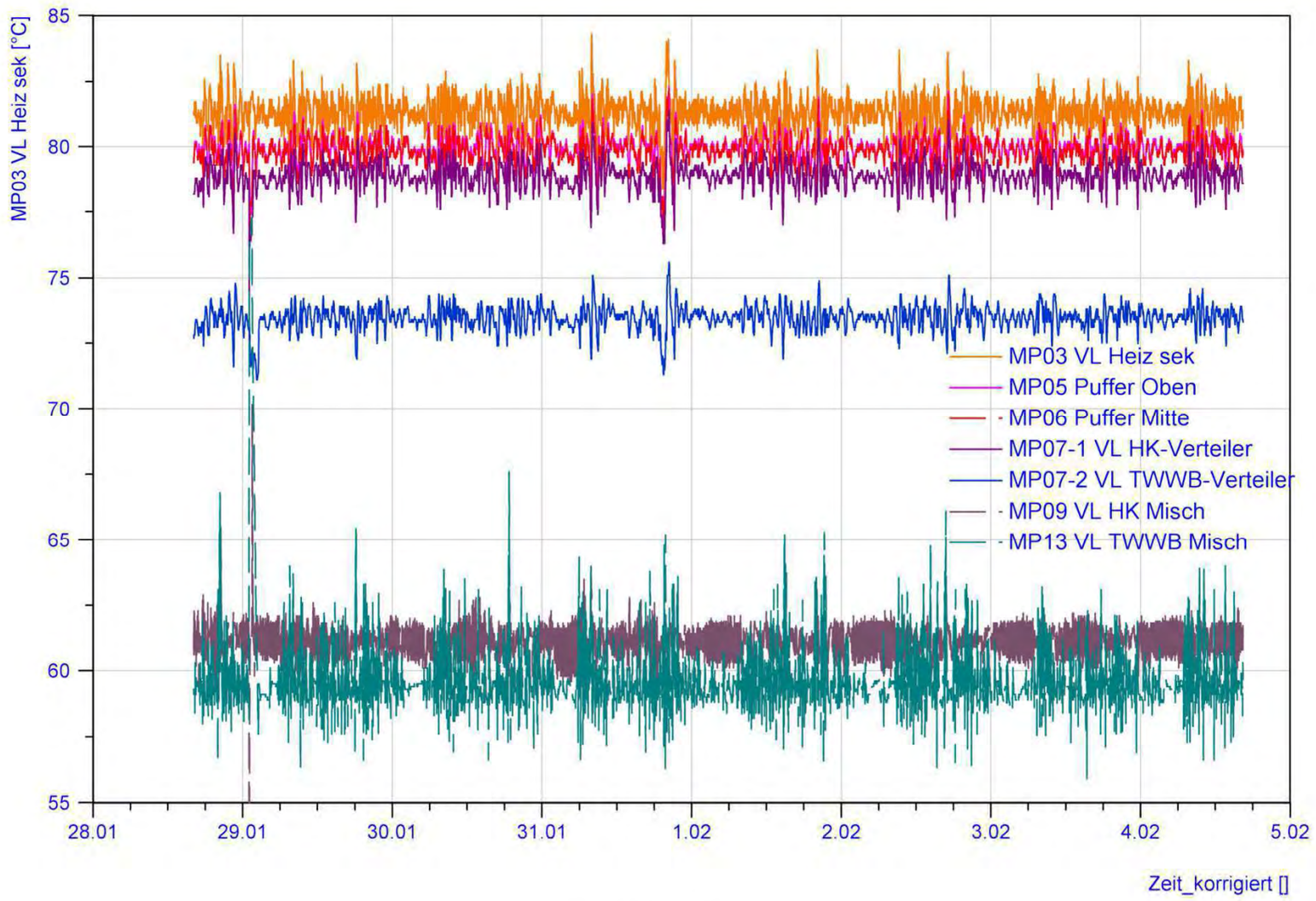

MP05 Puffer Oben [°C]
83
82
81
80
79
78
77
76
4
5
6
7
8
9
MP18 TFA-1 12h-Mittel [°C]
MP05 Puffer Oben
MP06 Puffer Mitte

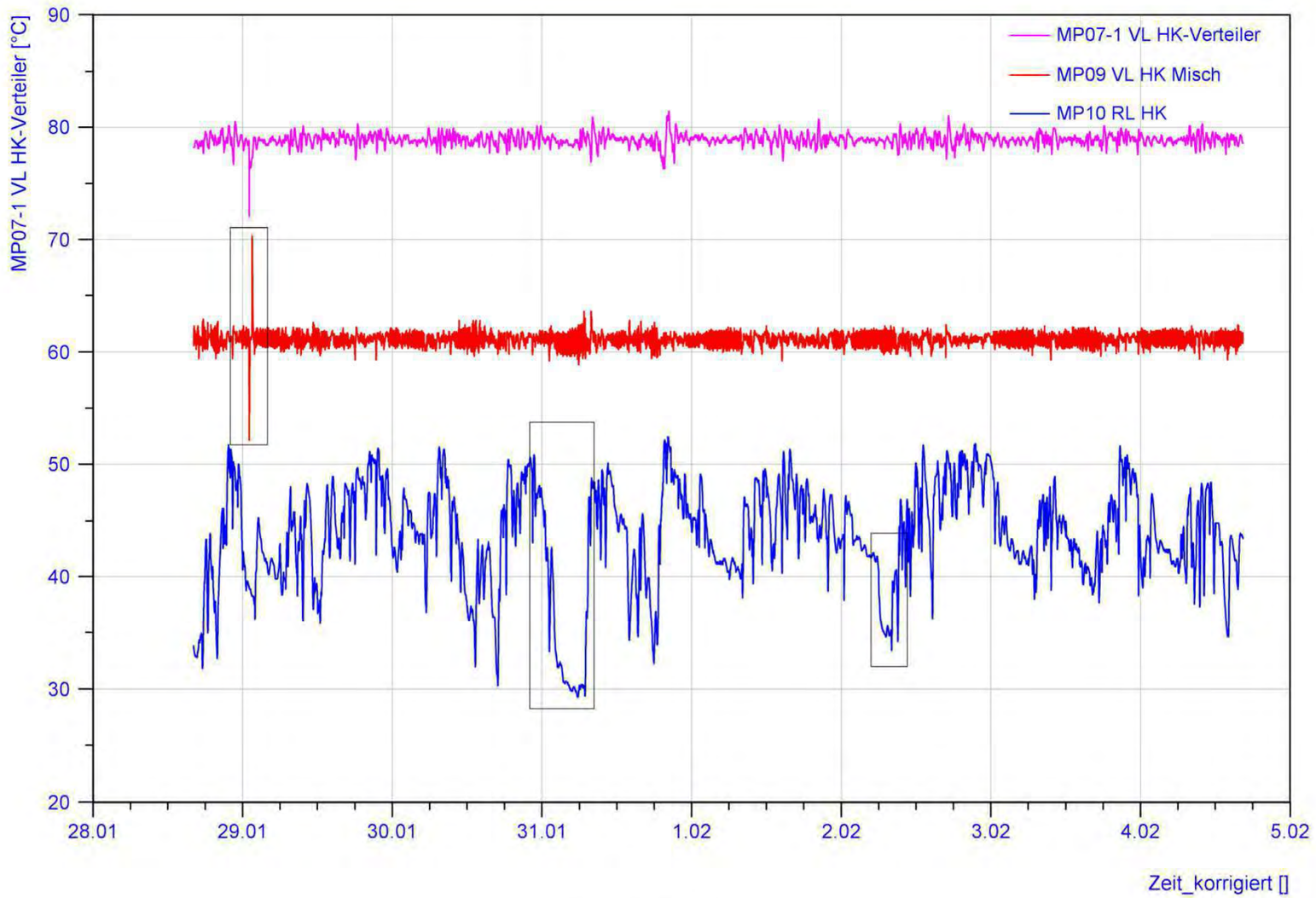

MP05 Puffer Oben [°C]
83
82
81
80
79
78
77
76
-0.5
-0.25
0
0.25
0.5
0.75
1
MP05-MP06 Spreizung Puffer [K]
MP05 Puffer Oben
MP06 Puffer Mitte

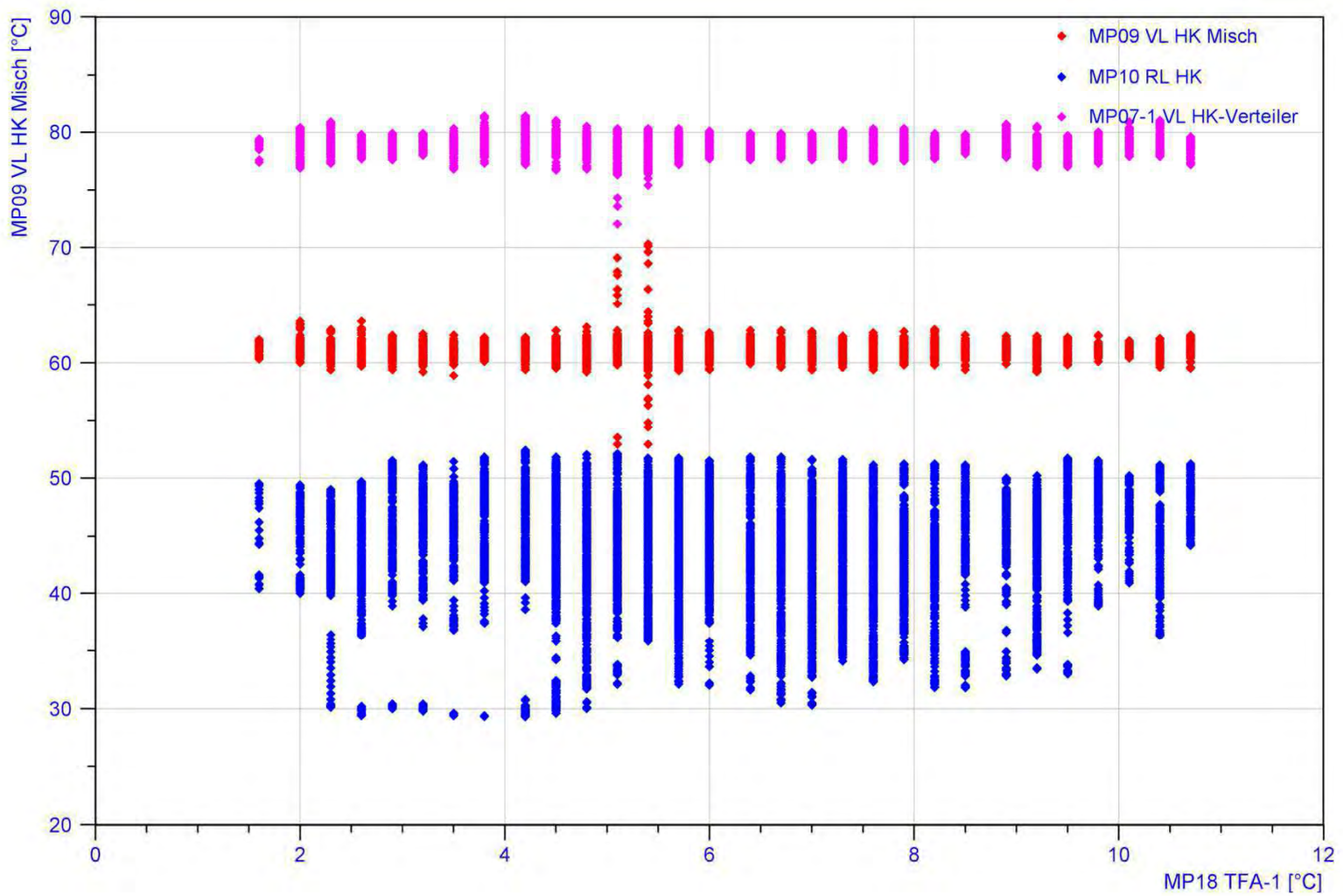

MP05 Puffer Oben [°C]
83
82
81
80
79
78
77
76
MP05 Puffer Oben
MP06 Puffer Mitte
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
1
Uhrzeit []

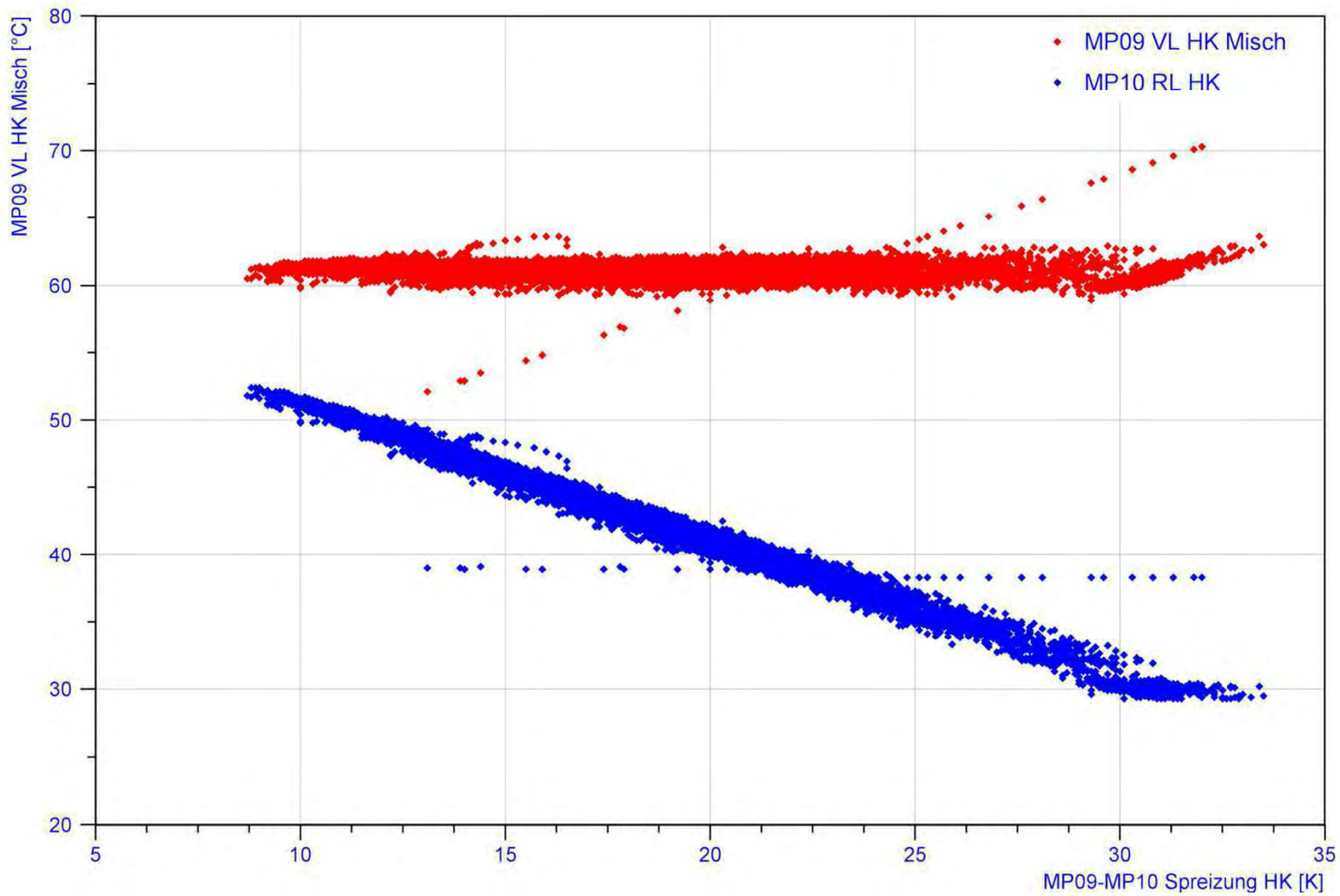

MP05 Puffer Oben [°C]
83
82
81
80
79
78
77
MP06 Puffer Mitte [°C]
83
82
81
80
79
78
77
76
55
60
65
70
75
80
85
MP04 RL Heiz sek [°C]
MP05 Puffer Oben
MP06 Puffer Mitte

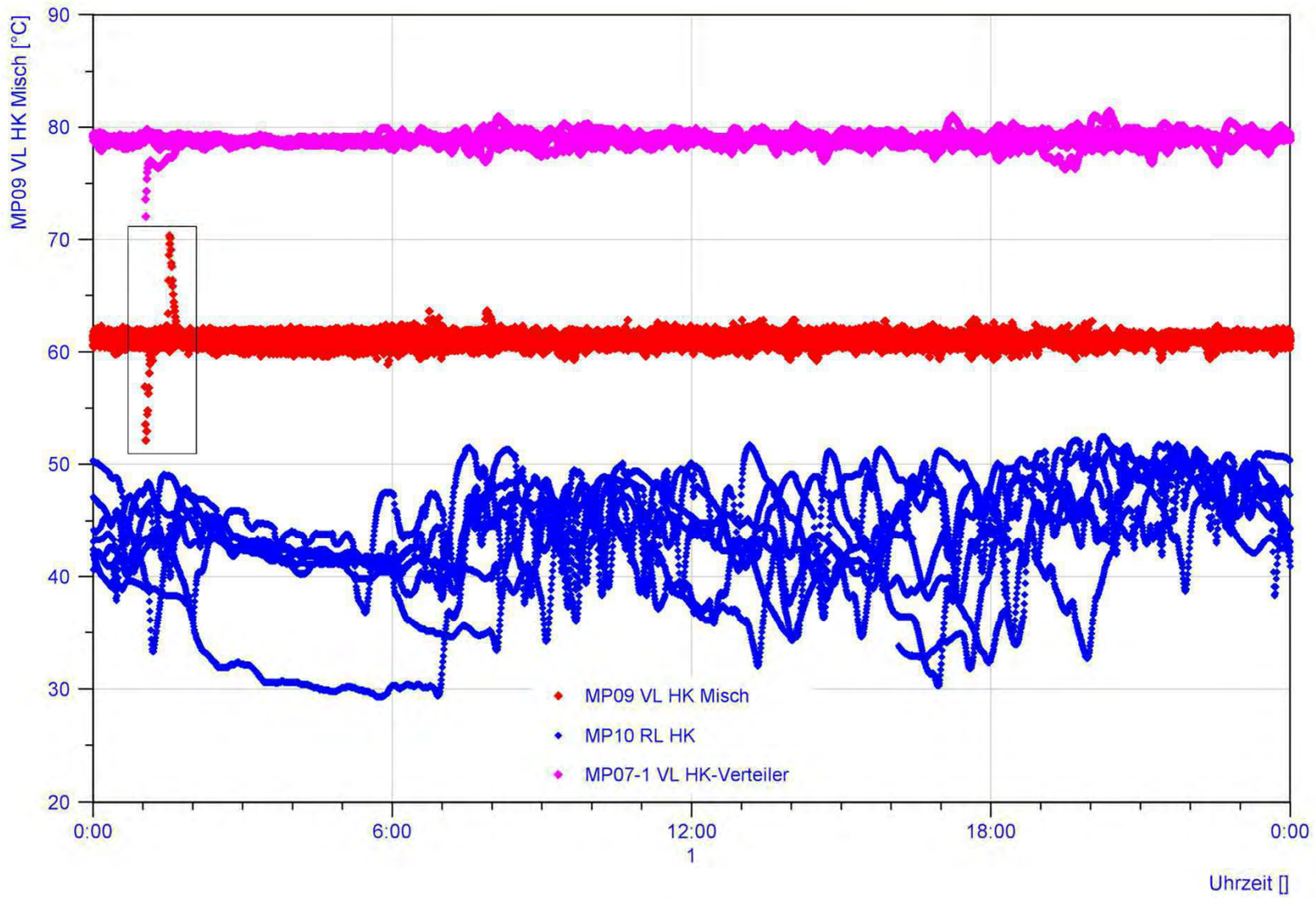

MP03 VL Heiz sek [°C]
85
80
75
70
65
60
55
28.01
29.01
30.01
31.01
1.02
2.02
3.02
4.02
5.02
MP03 VL Heiz sek, MP04 RL Heiz sek
MP05 Puffer Oben, MP06 Puffer Mitte
Zeit_korrigiert []

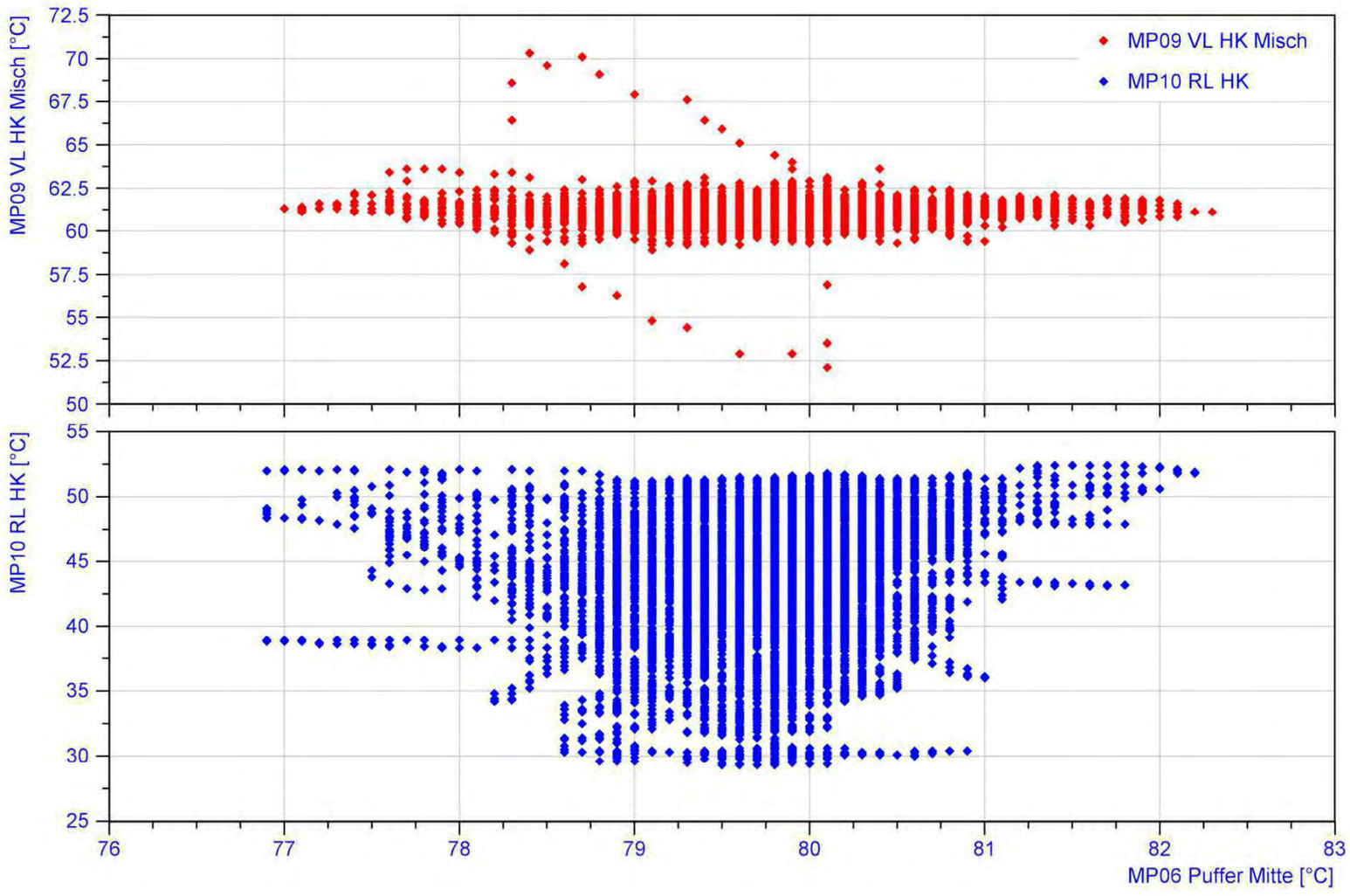

MP03 VL Heiz sek [°C]
85
80
75
70
65
60
55
28.01
29.01
30.01
31.01
1.02
2.02
3.02
4.02
5.02
Zeit_korrigiert []
MP03 VL Heiz sek
MP05 Puffer Oben
MP06 Puffer Mitte
MP07-1 VL HK-Verteiler
MP07-2 VL TWWB-Verteiler
MP09 VL HK Misch
MP13 VL TWWB Misch

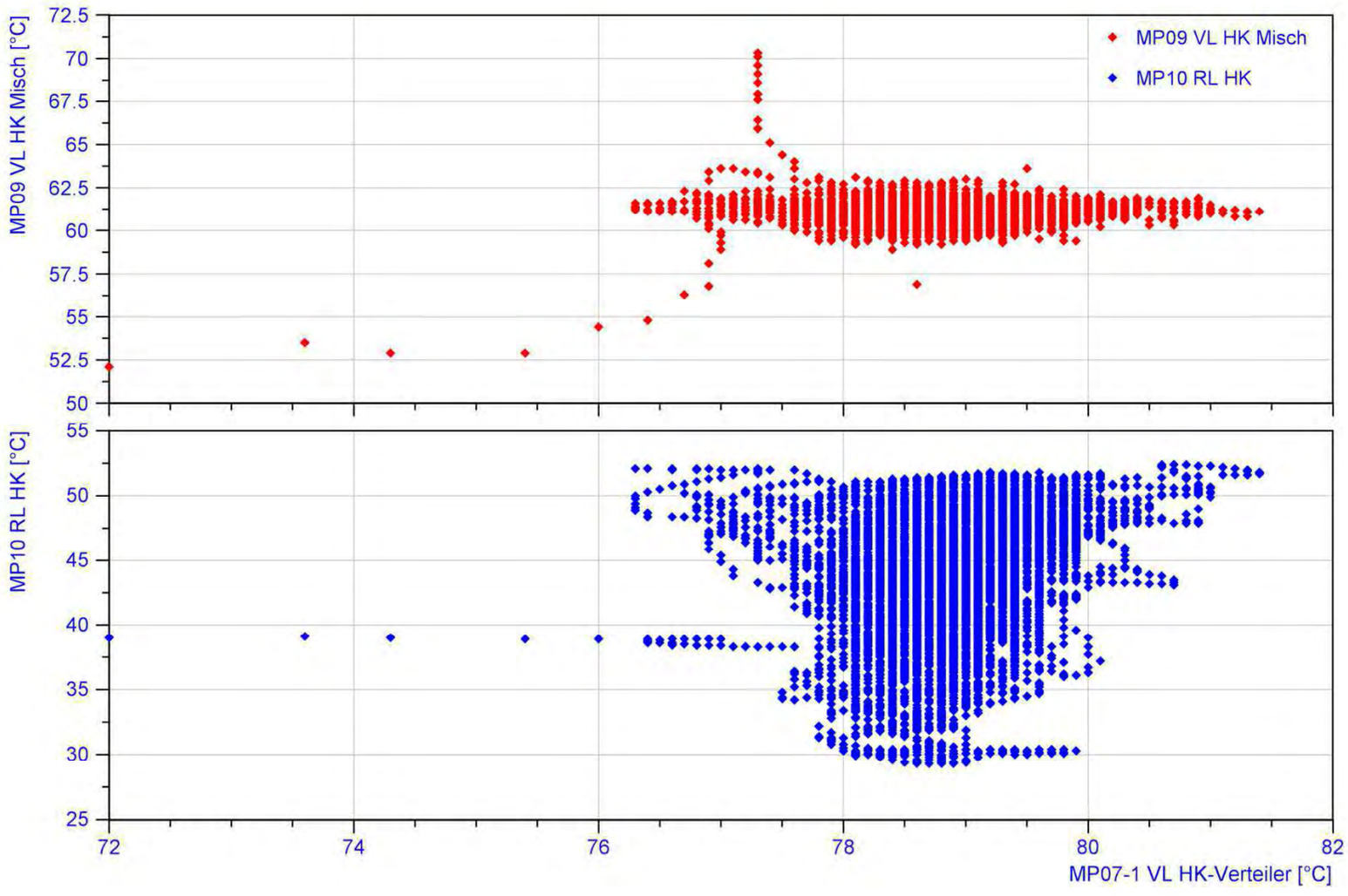

MP07-1 VL HK-Verteiler [°C]
90
80
70
60
50
40
30
20
28.01
29.01
30.01
31.01
1.02
2.02
3.02
4.02
5.02
Zeit_korrigiert []
MP07-1 VL HK-Verteiler
MP09 VL HK Misch
MP10 RL HK

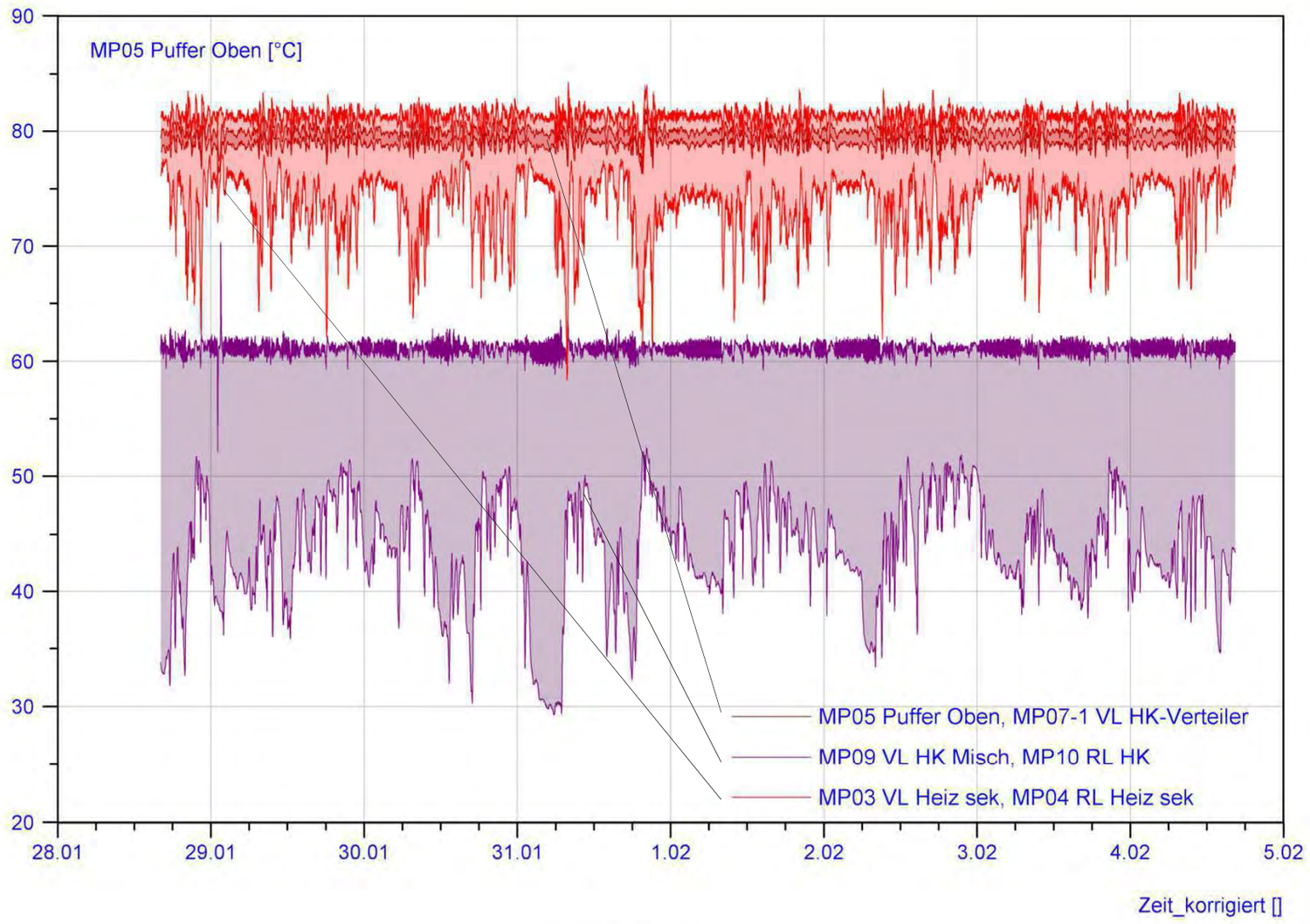

MP09 VL HK Misch [°C]
90
80
70
60
50
40
30
20
0
2
4
6
8
10
12
MP18 TFA-1 [°C]
MP09 VL HK Misch
MP10 RL HK
MP07-1 VL HK-Verteiler

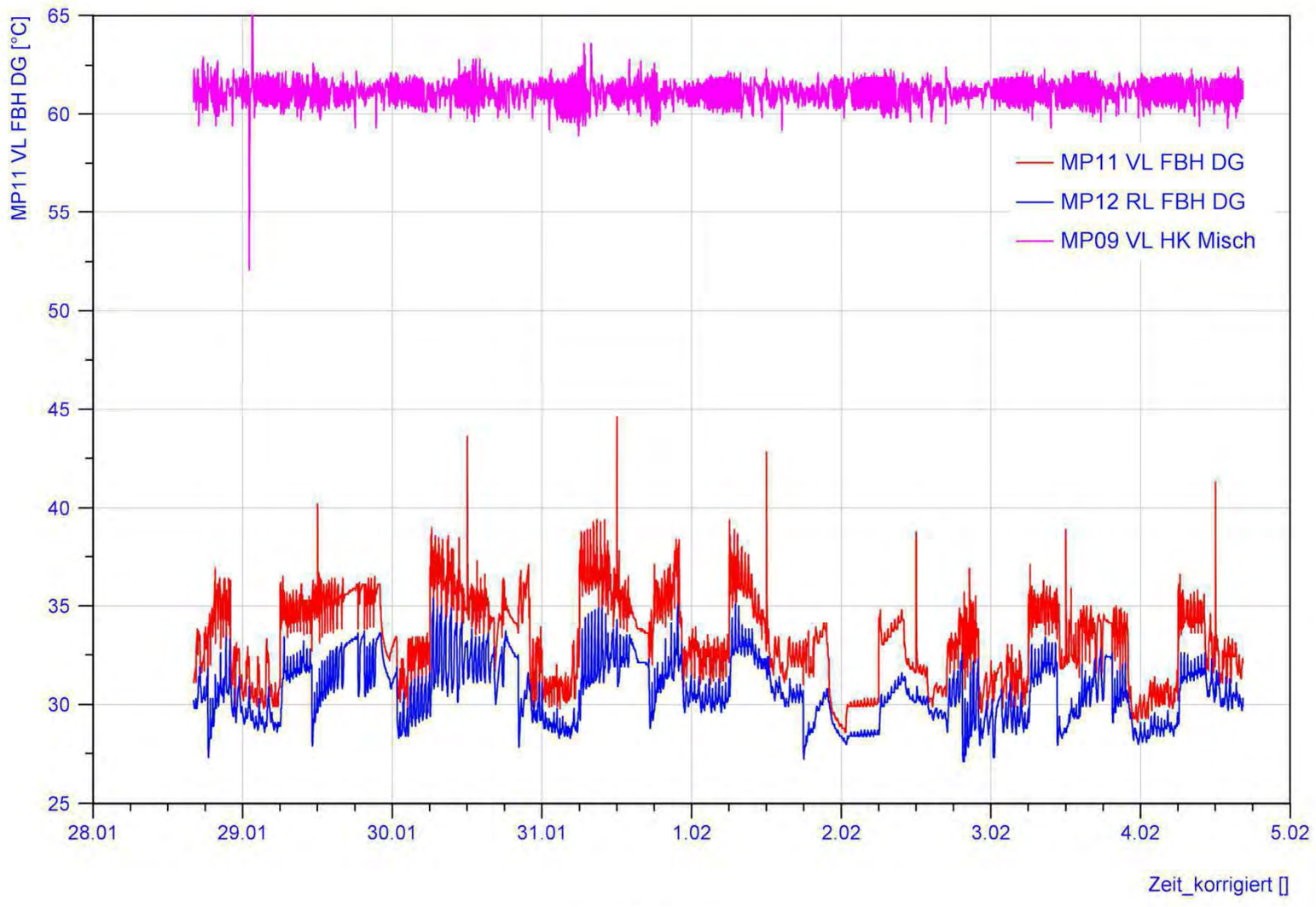

MP09 VL HK Misch [°C]
80
70
60
50
40
30
20
5
10
15
20
25
30
35
MP09-MP10 Spreizung HK [K]
MP09 VL HK Misch
MP10 RL HK

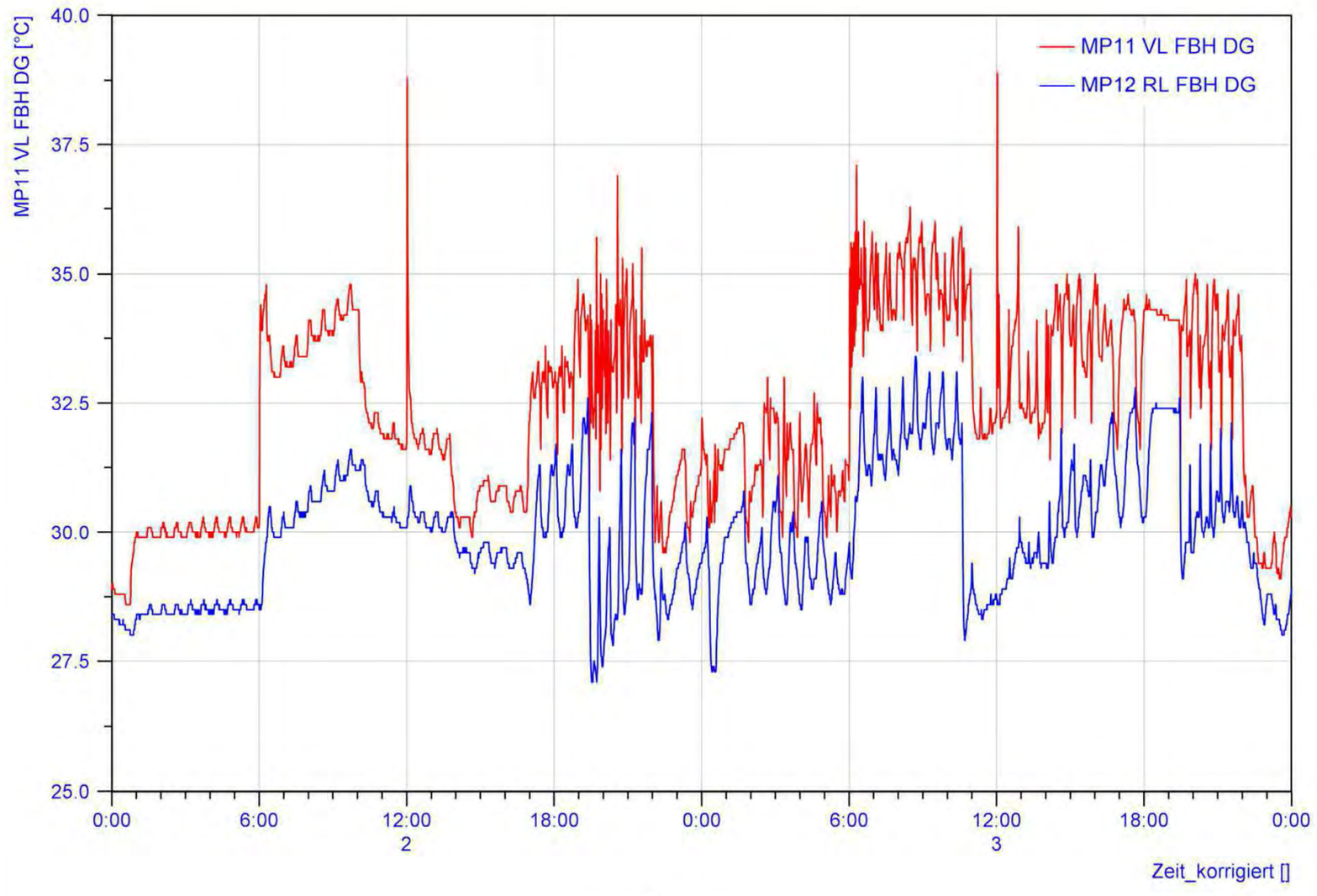

MP09 VL HK Misch [°C]
90
80
70
60
50
40
30
20
0:00
6:00
12:00
1
18:00
0:00
Uhrzeit []
MP09 VL HK Misch
MP10 RL HK
MP07-1 VL HK-Verteiler

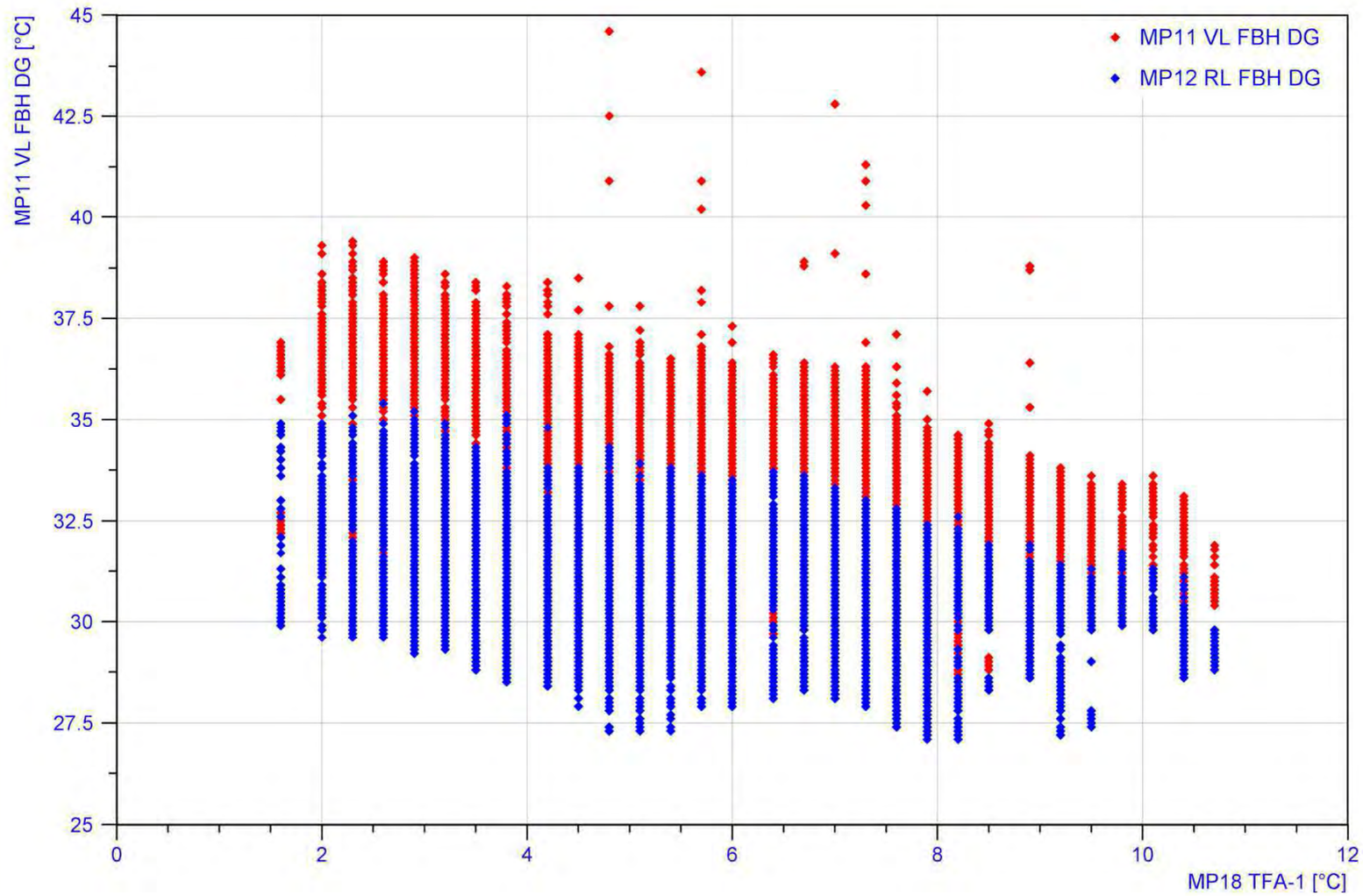

MP09 VL HK Misch
MP10 RL HK
MP09 VL HK Misch [°C]
MP10 RL HK [°C]
MP06 Puffer Mitte [°C]
72.5
70
67.5
65
62.5
60
57.5
55
52.5
50
55
50
45
40
35
30
25
76
77
78
79
80
81
82
83

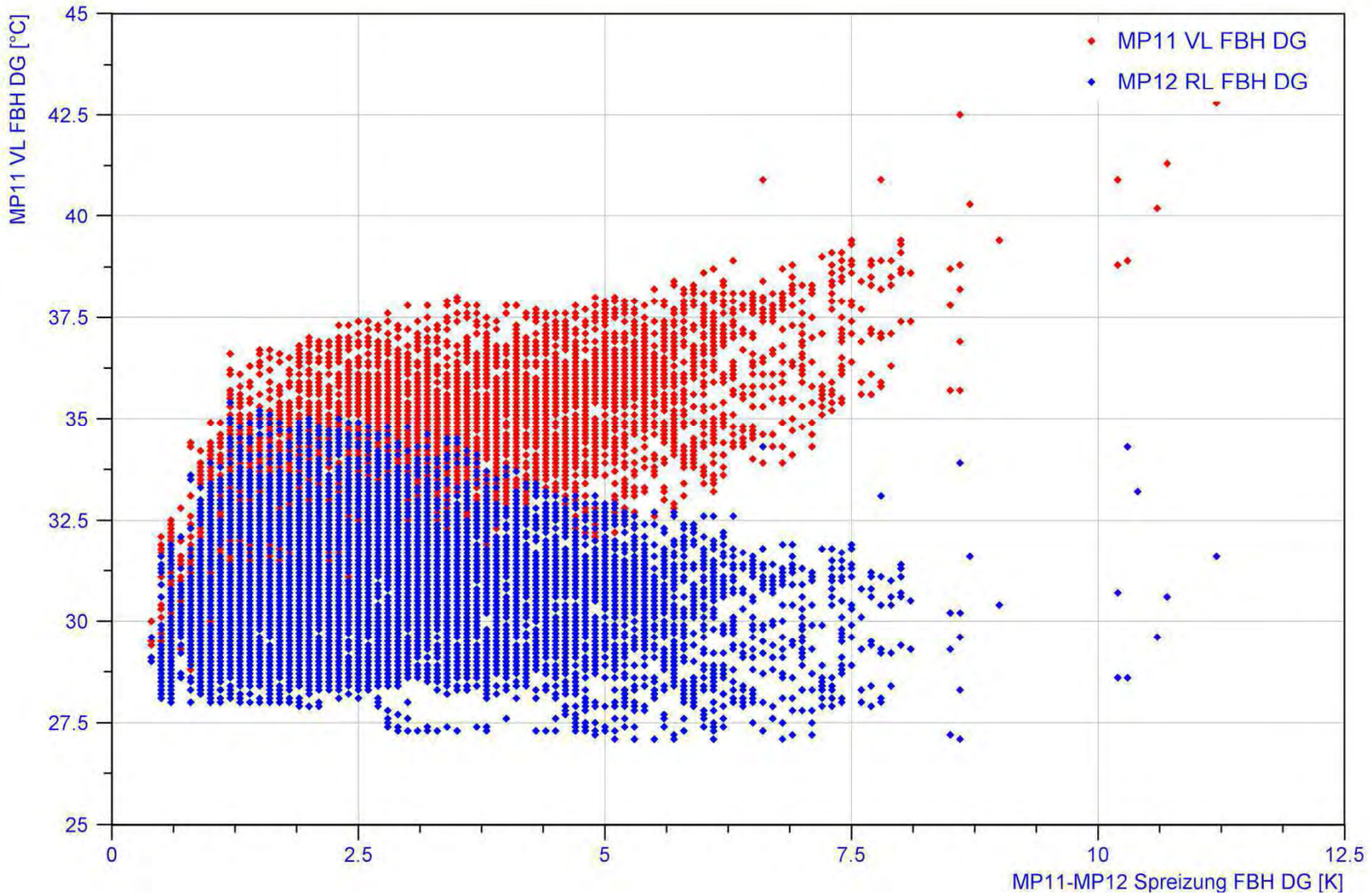

MP09 VL HK Misch [°C]
72.5
70
67.5
65
62.5
60
57.5
55
52.5
50
MP09 VL HK Misch
MP10 RL HK
MP10 RL HK [°C]
55
50
45
40
35
30
25
72
74
76
78
80
82
MP07-1 VL HK-Verteiler [°C]

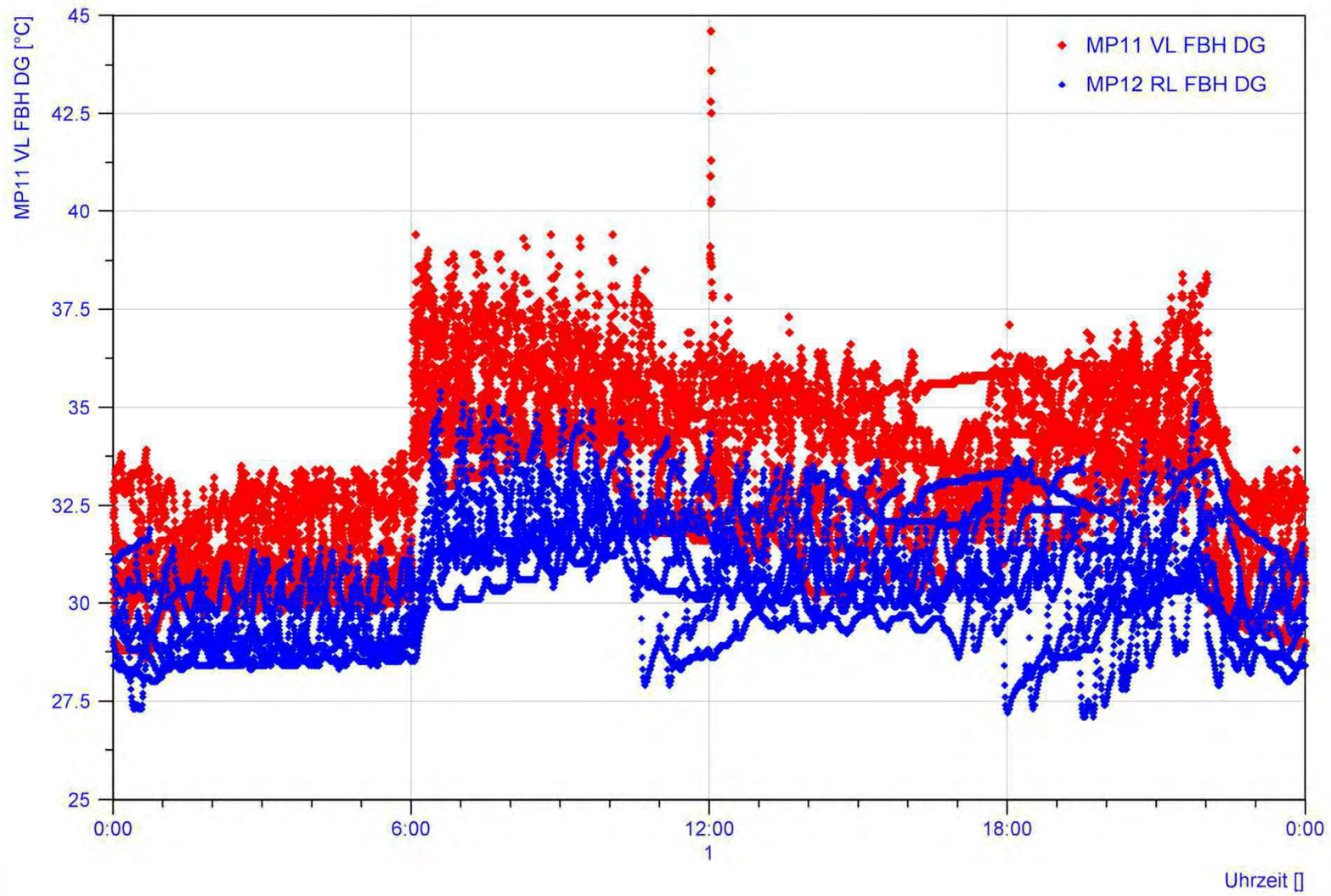

MP05 Puffer Oben [°C]
90
80
70
60
50
40
30
20
28.01
29.01
30.01
31.01
1.02
2.02
3.02
4.02
5.02
MP05 Puffer Oben, MP07-1 VL HK-Verteiler
MP09 VL HK Misch, MP10 RL HK
MP03 VL Heiz sek, MP04 RL Heiz sek
Zeit_korrigiert []

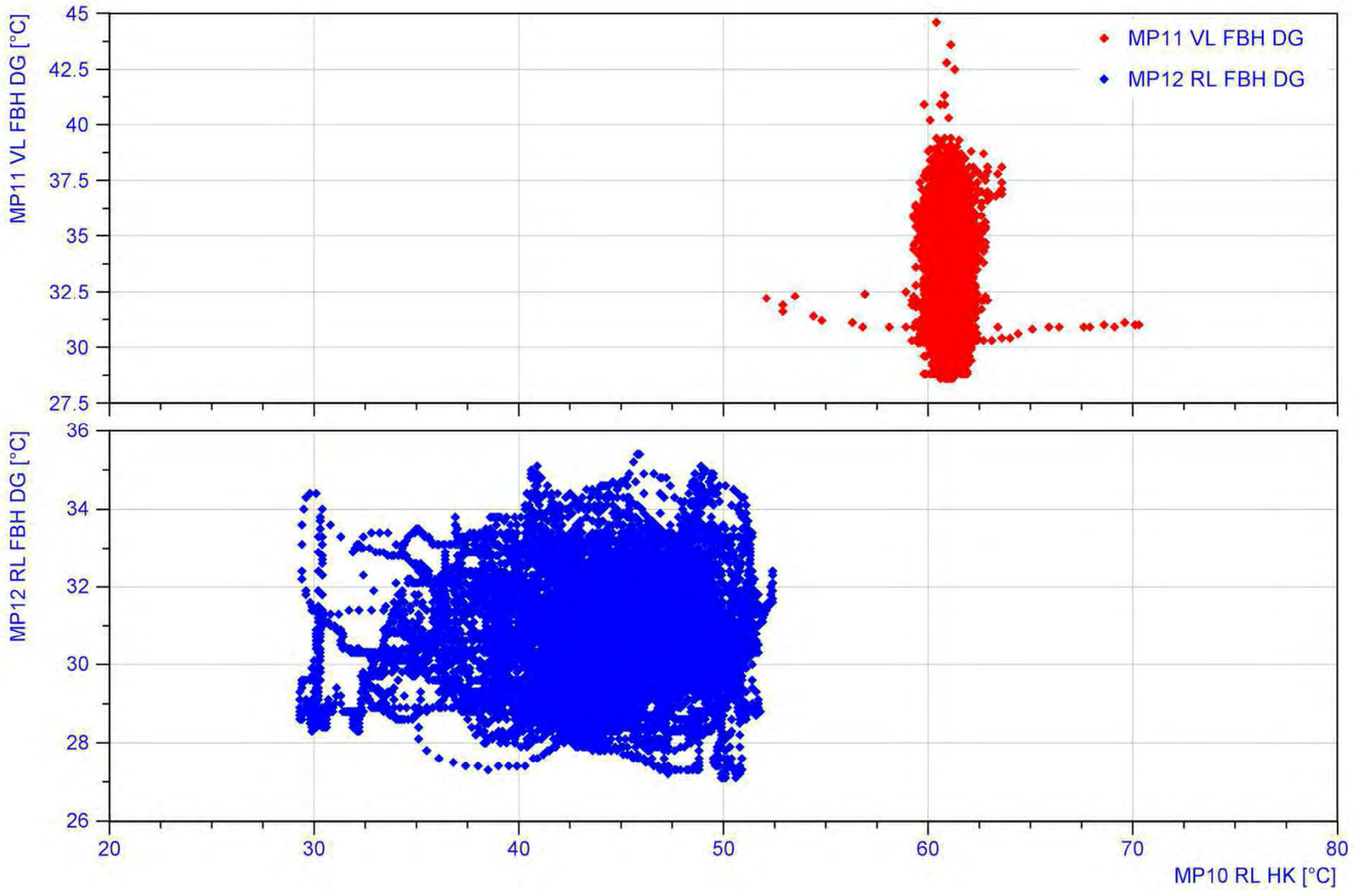

MP11 VL FBH DG [°C]
65
60
55
50
45
40
35
30
25
28.01
29.01
30.01
31.01
1.02
2.02
3.02
4.02
5.02
Zeit_korrigiert []
MP11 VL FBH DG
MP12 RL FBH DG
MP09 VL HK Misch

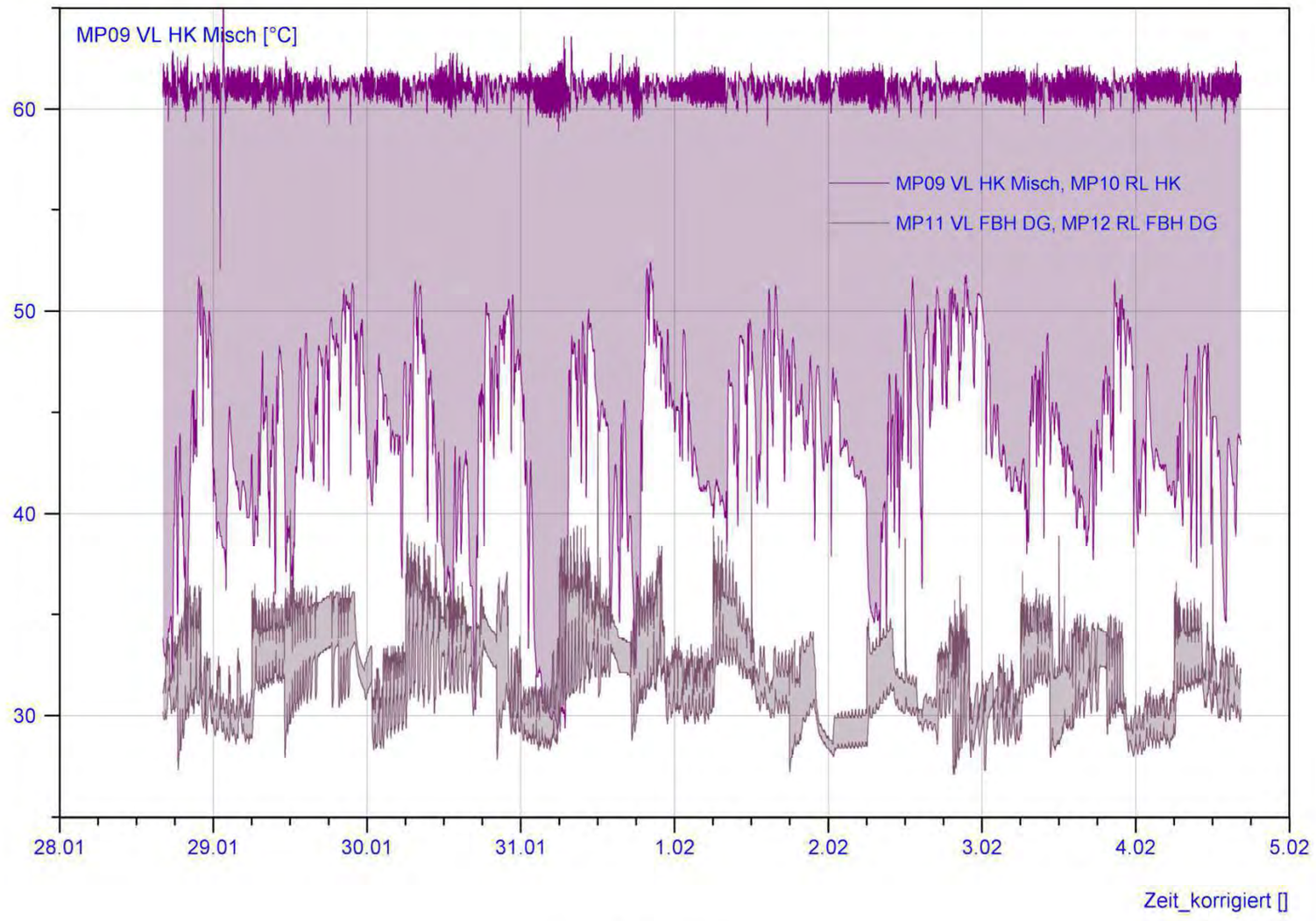

MP11 VL FBH DG [°C]
40.0
37.5
35.0
32.5
30.0
27.5
25.0
MP11 VL FBH DG
MP12 RL FBH DG
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
2
3
Zeit_korrigiert []

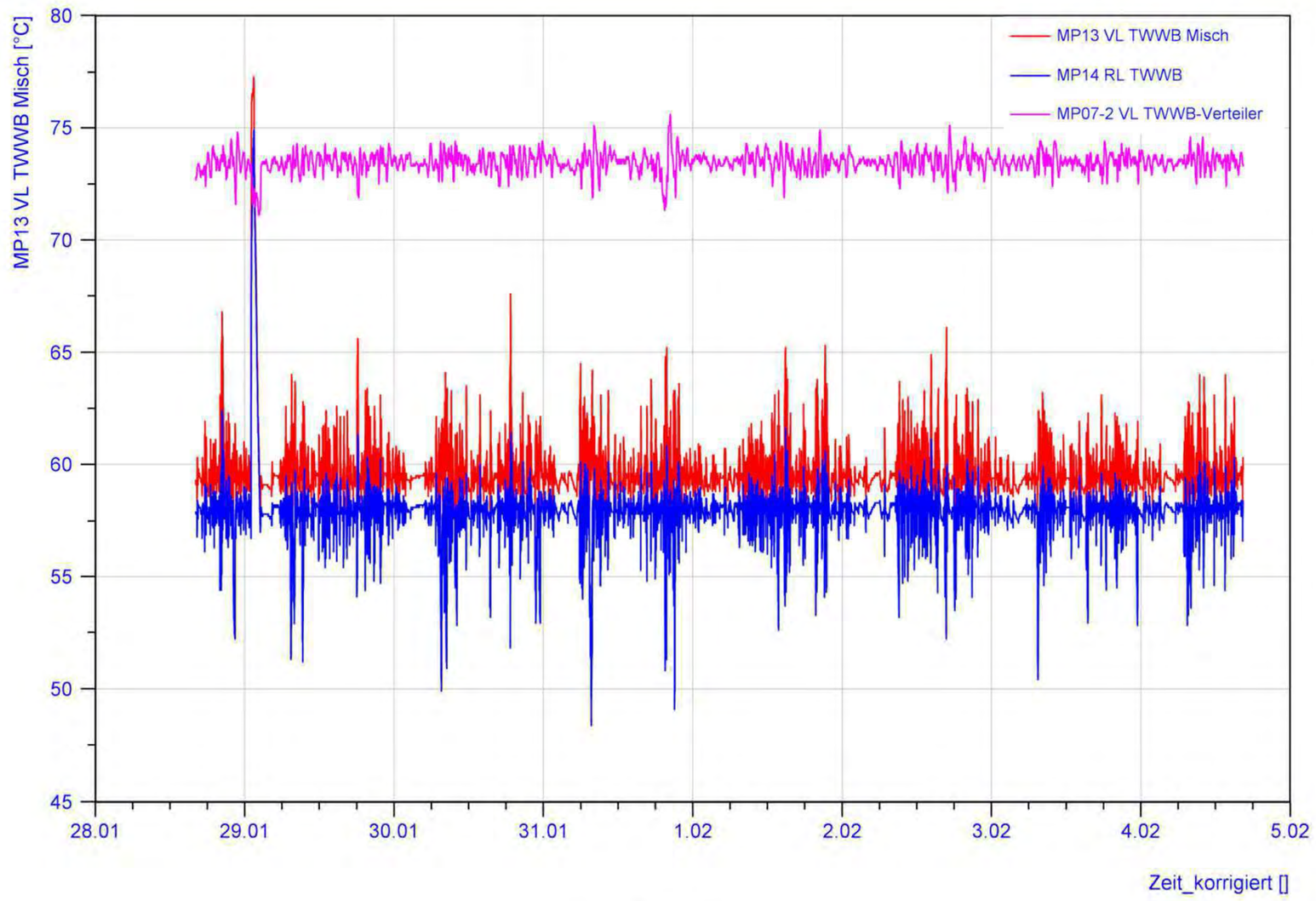

MP11 VL FBH DG [°C]
45
42.5
40
37.5
35
32.5
30
27.5
25
0
2
4
6
8
10
12
MP18 TFA-1 [°C]
MP11 VL FBH DG
MP12 RL FBH DG

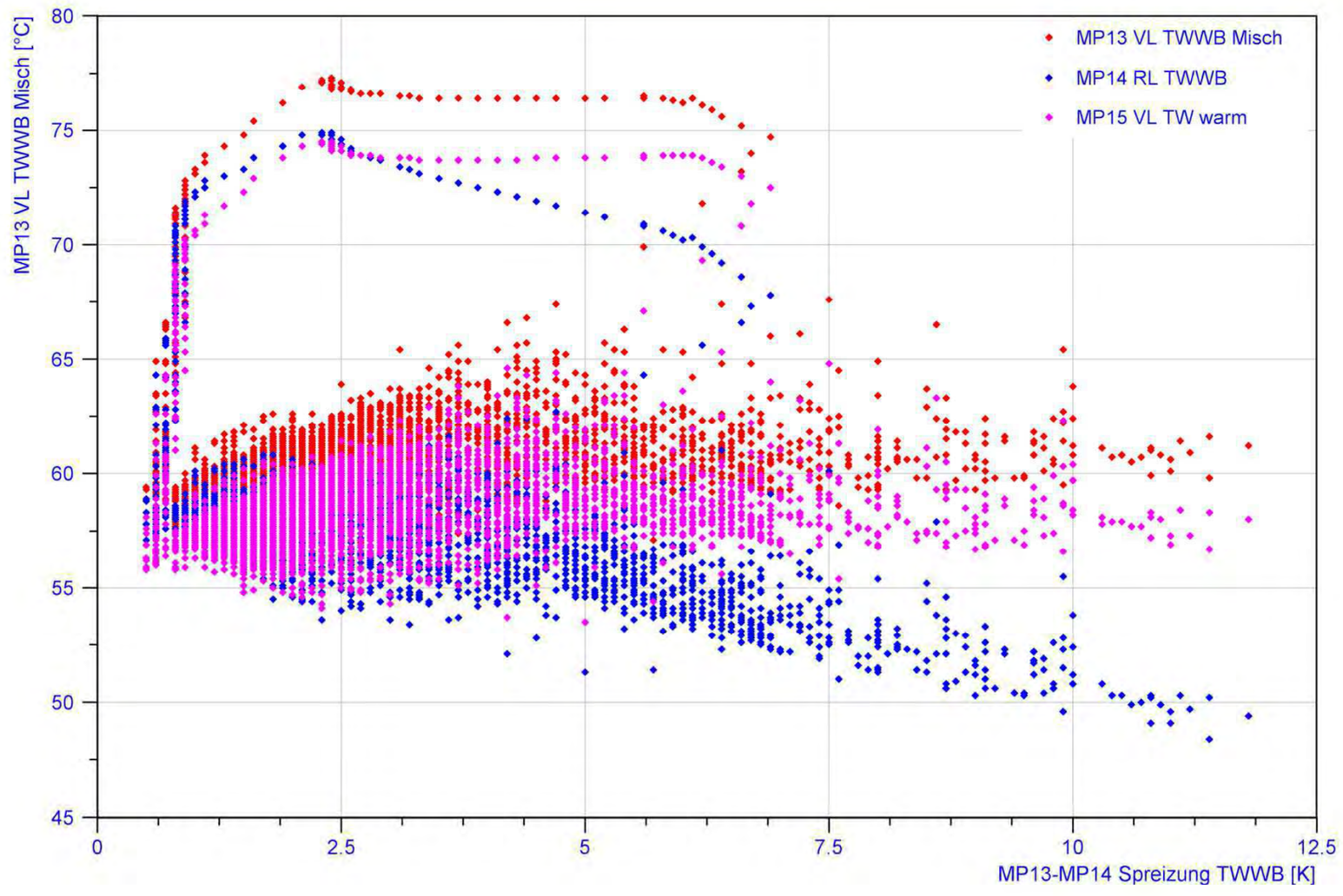

MP11 VL FBH DG [°C]
45
42.5
40
37.5
35
32.5
30
27.5
25
0
2.5
5
7.5
10
12.5
MP11-MP12 Spreizung FBH DG [K]
MP11 VL FBH DG
MP12 RL FBH DG

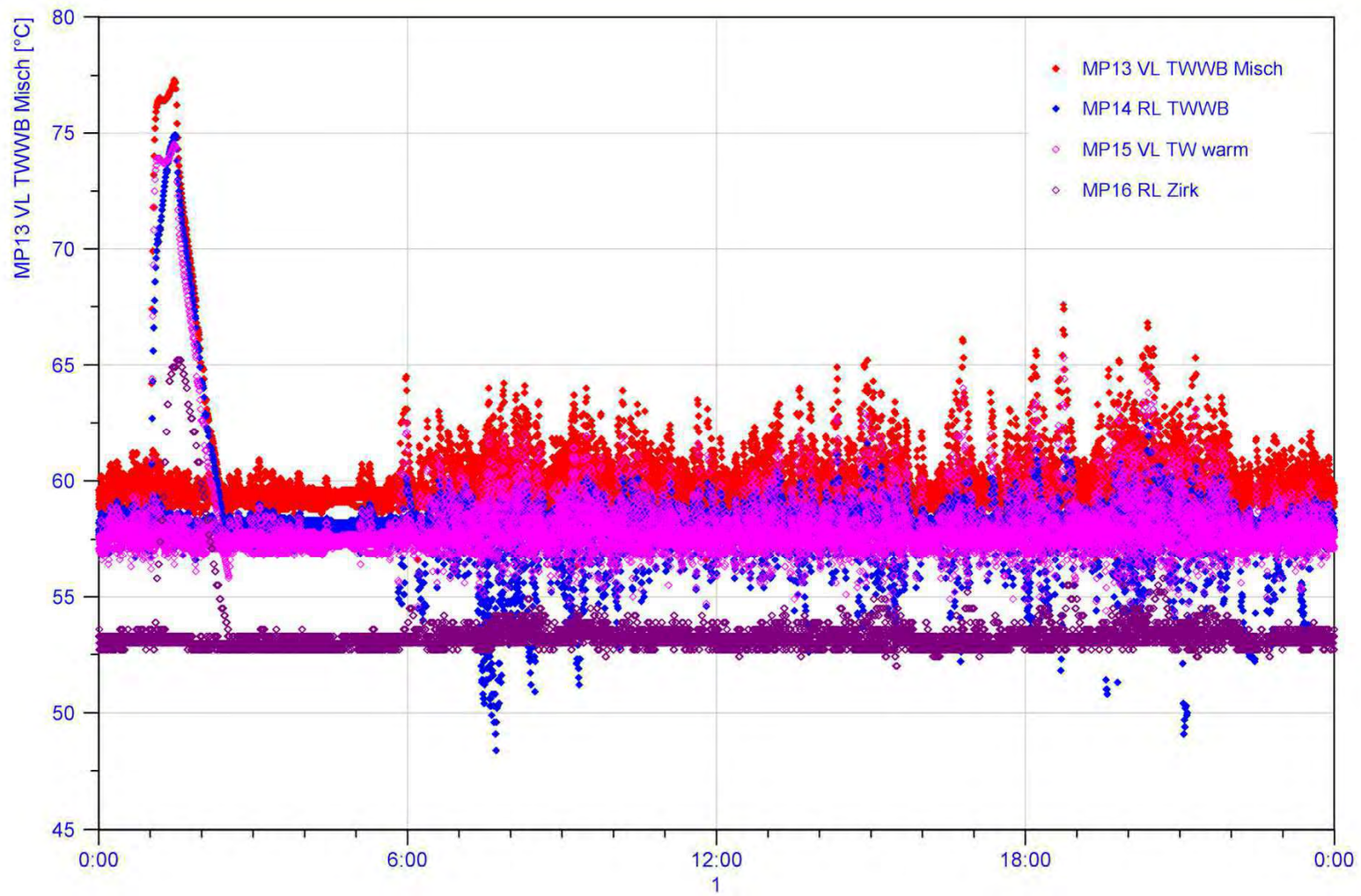

MP11 VL FBH DG [°C]
45
42.5
40
37.5
35
32.5
30
27.5
25
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
1
Uhrzeit []
MP11 VL FBH DG
MP12 RL FBH DG

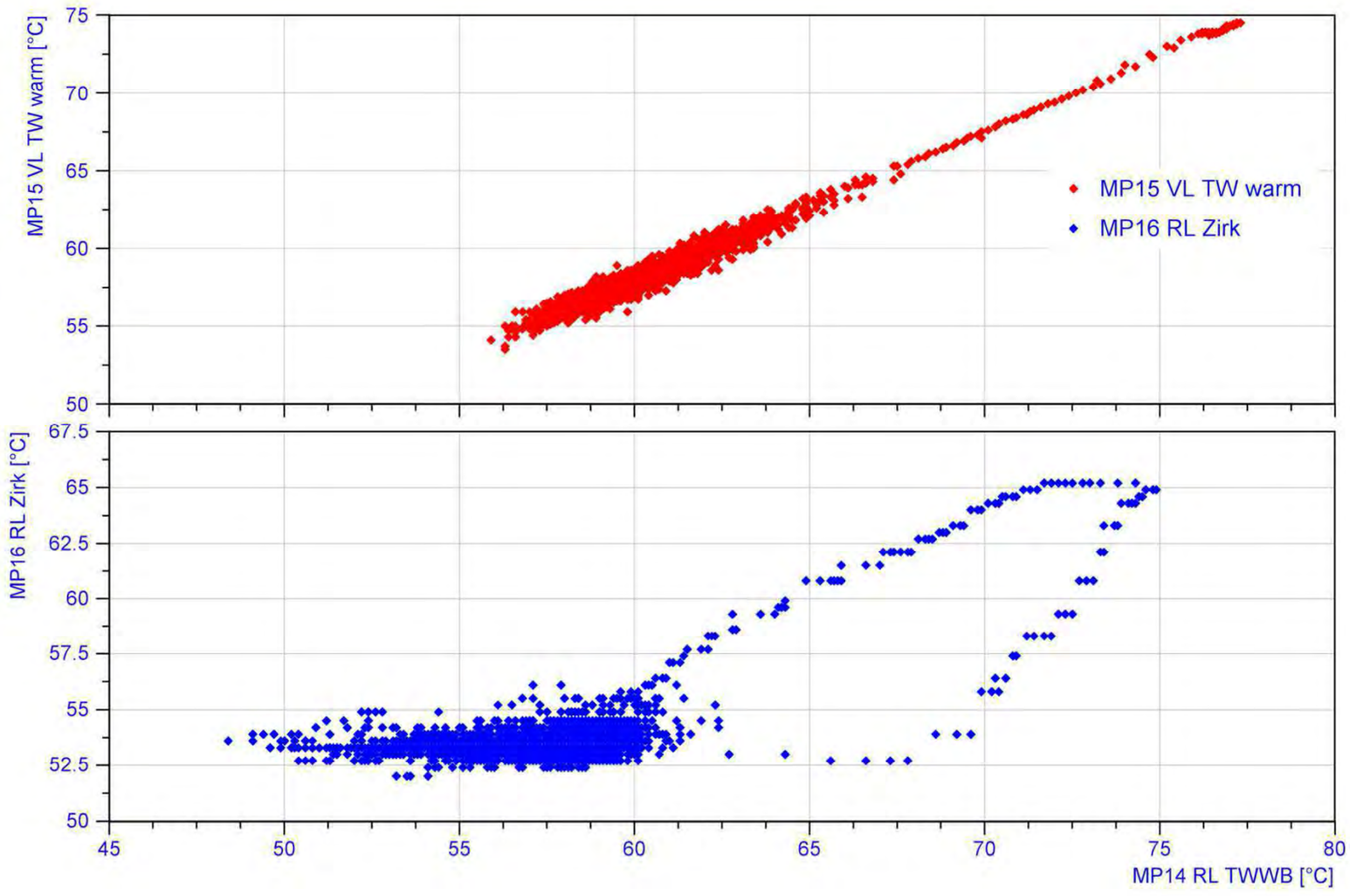

MP11 VL FBH DG
MP12 RL FBH DG
MP11 VL FBH DG [°C]
45
42.5
40
37.5
35
32.5
30
27.5
MP12 RL FBH DG [°C]
36
34
32
30
28
26
20
30
40
50
60
70
80
MP10 RL HK [°C]

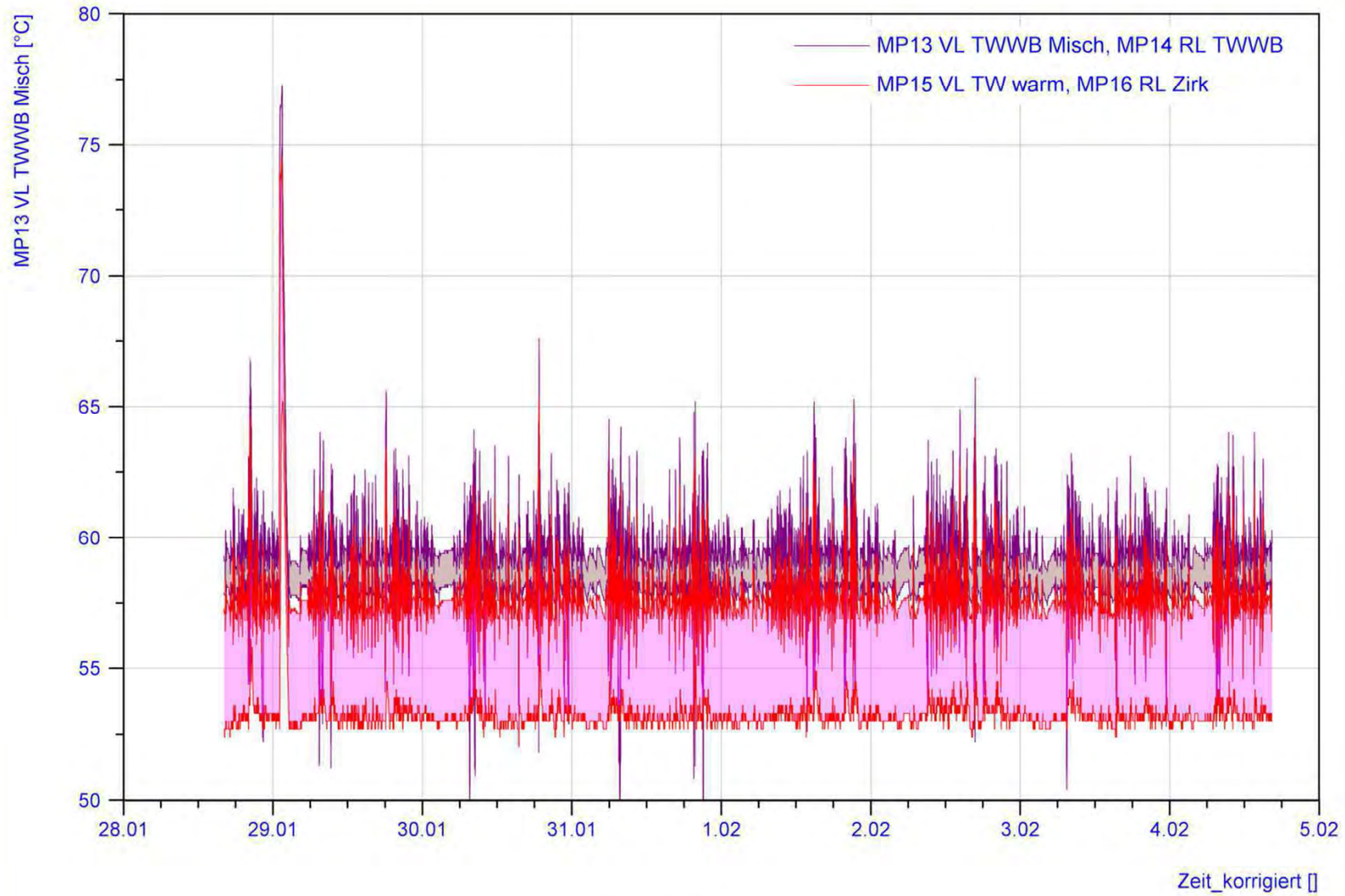

MP09 VL HK Misch [°C]
60
50
40
30
MP09 VL HK Misch, MP10 RL HK
MP11 VL FBH DG, MP12 RL FBH DG
28.01
29.01
30.01
31.01
1.02
2.02
3.02
4.02
5.02
Zeit_korrigiert []

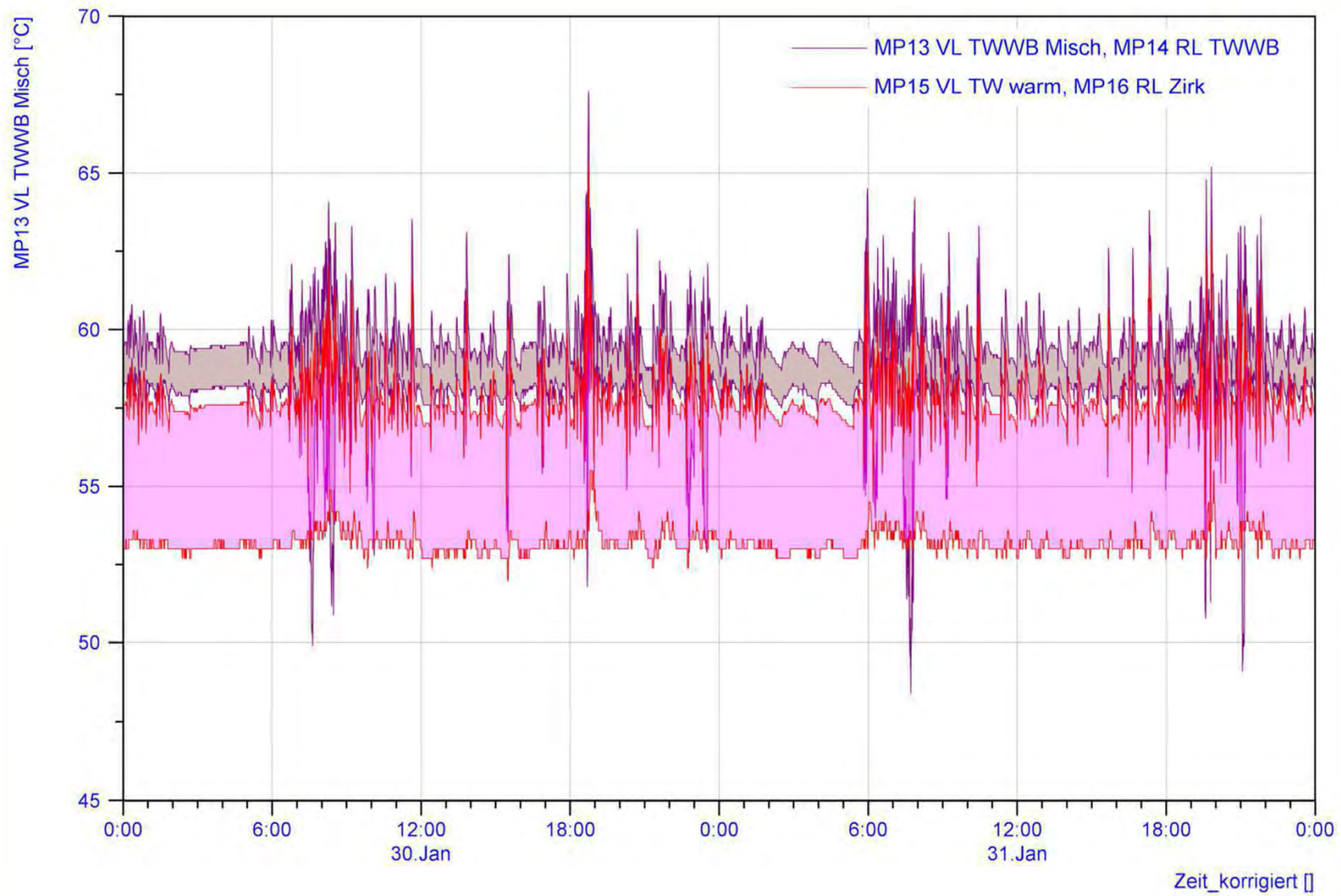

MP13 VL TWWB Misch [°C]
80
75
70
65
60
55
50
45
28.01
29.01
30.01
31.01
1.02
2.02
3.02
4.02
5.02
Zeit_korrigiert []
MP13 VL TWWB Misch
MP14 RL TWWB
MP07-2 VL TWWB-Verteiler

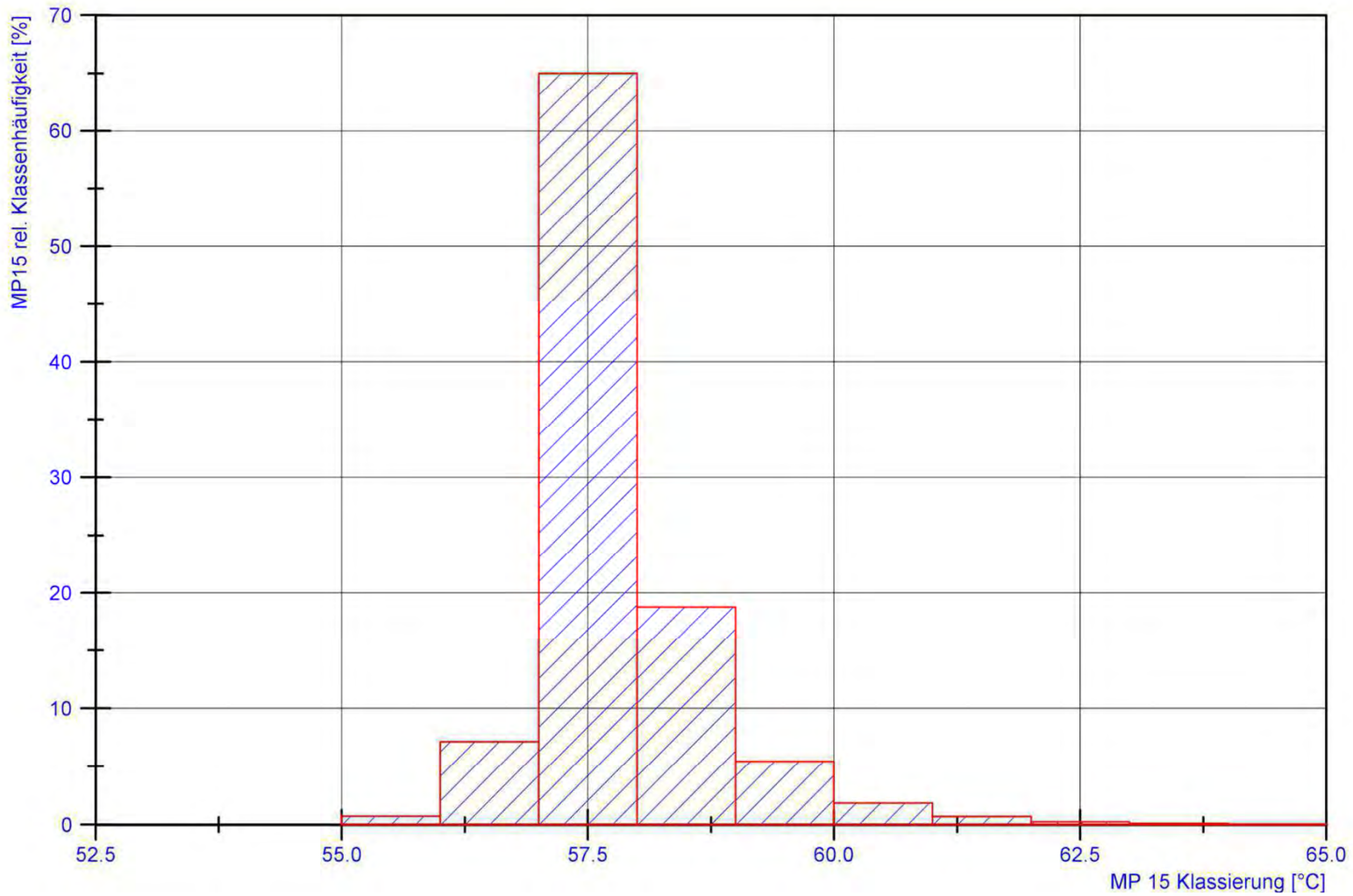

MP13 VL TWWB Misch [°C]
80
75
70
65
60
55
50
45
0
2.5
5
7.5
10
12.5
MP13-MP14 Spreizung TWWB [K]
MP13 VL TWWB Misch
MP14 RL TWWB
MP15 VL TW warm

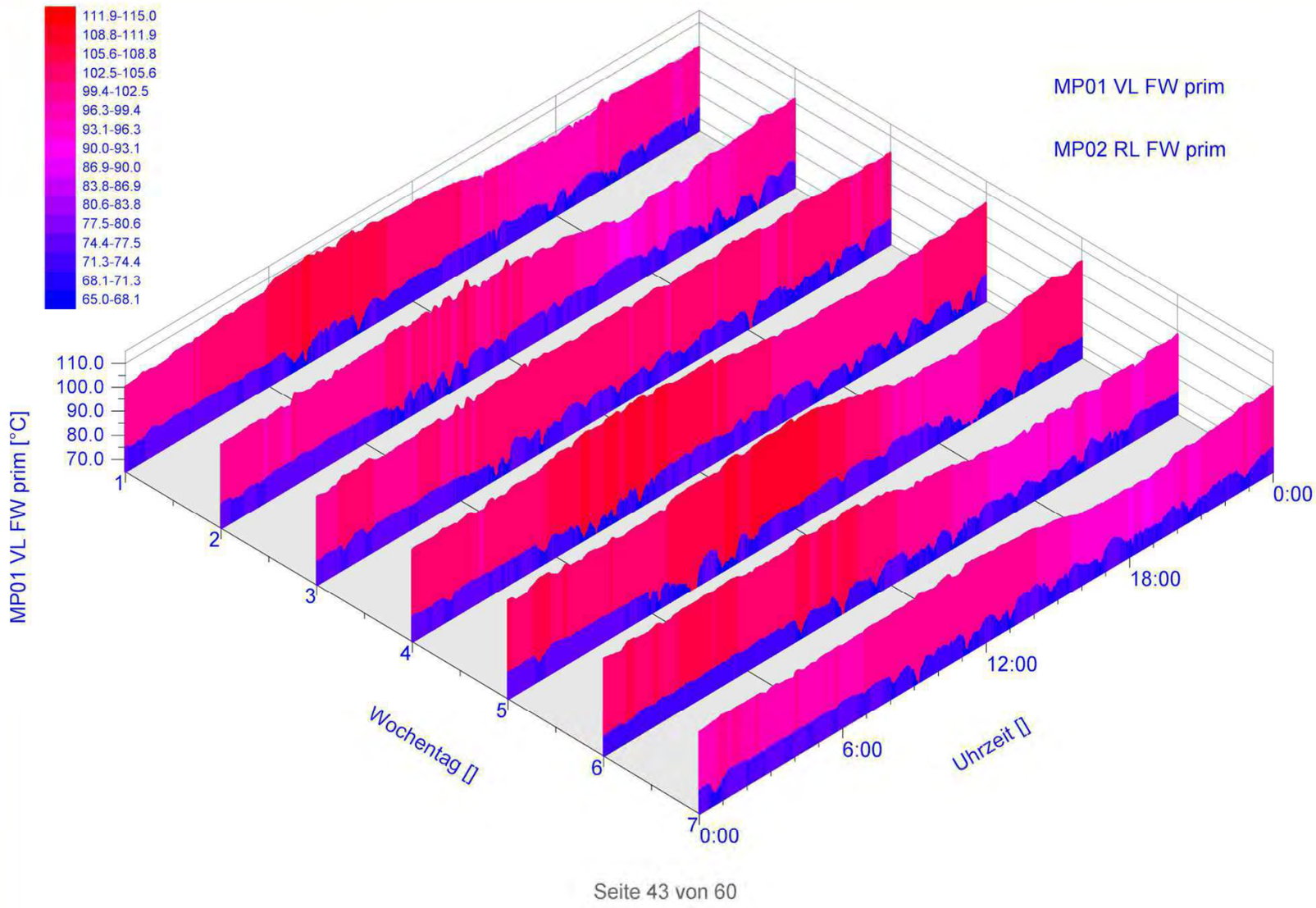

MP13 VL TWWB Misch [°C]
80
75
70
65
60
55
50
45
0:00
6:00
12:00
1
18:00
0:00
Uhrzeit []
MP13 VL TWWB Misch
MP14 RL TWWB
MP15 VL TW warm
MP16 RL Zirk

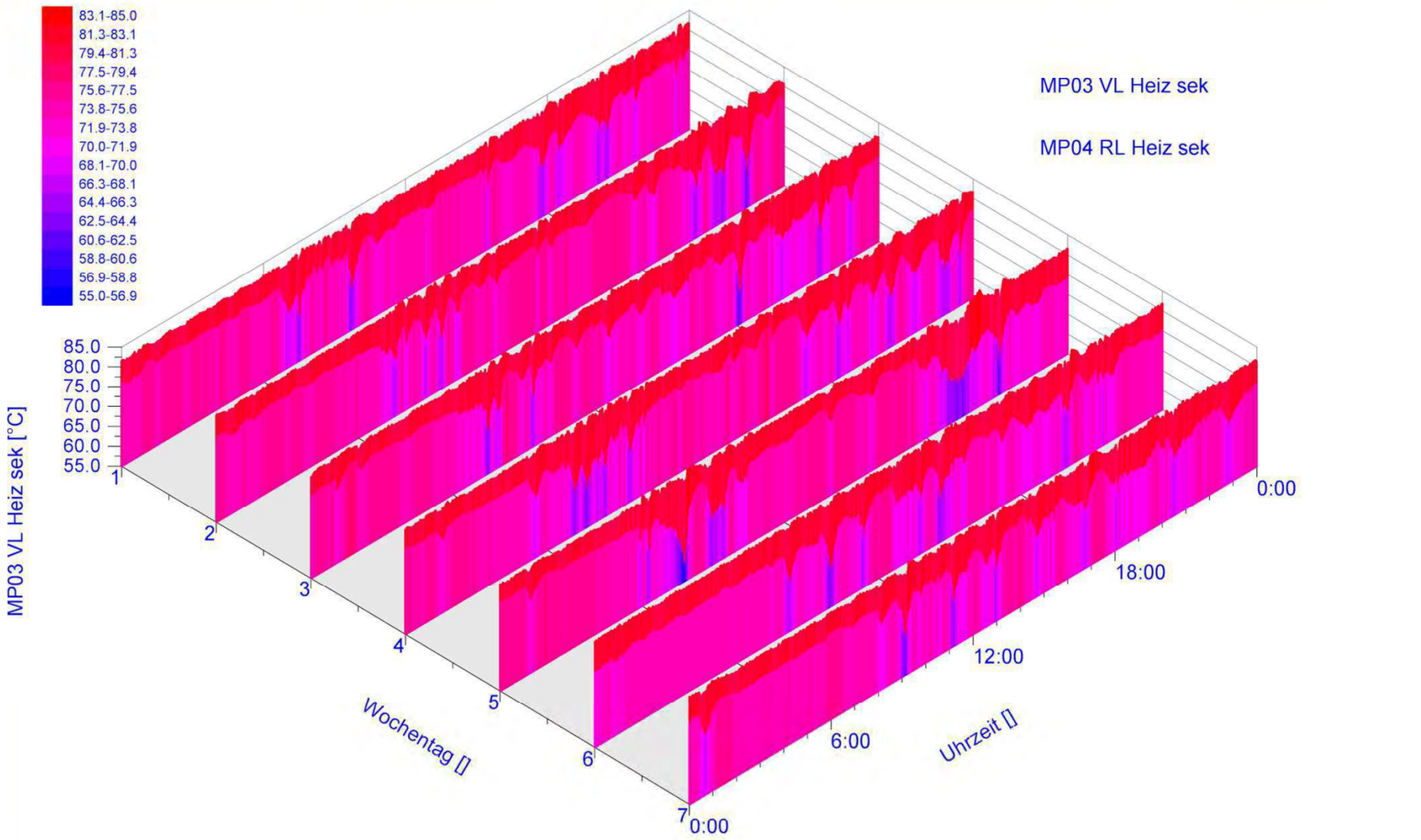

MP15 VL TW warm [°C]
75
70
65
60
55
50
MP15 VL TW warm
MP16 RL Zirk
MP16 RL Zirk [°C]
67.5
65
62.5
60
57.5
55
52.5
50
45
50
55
60
65
70
75
80
MP14 RL TWWB [°C]

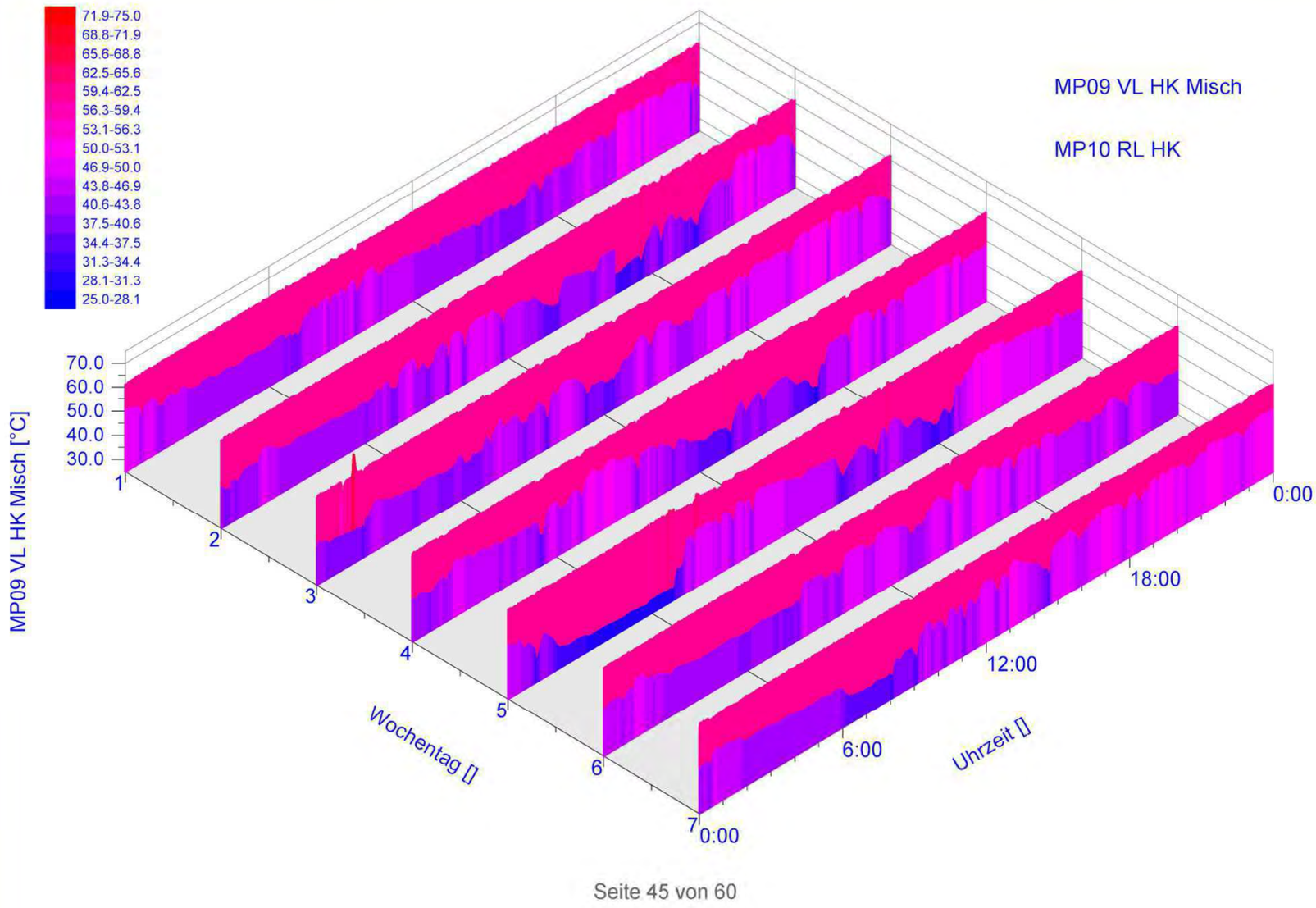

MP13 VL TWWB Misch [°C]
80
75
70
65
60
55
50
MP13 VL TWWB Misch, MP14 RL TWWB
MP15 VL TW warm, MP16 RL Zirk
28.01
29.01
30.01
31.01
1.02
2.02
3.02
4.02
5.02
Zeit_korrigiert []

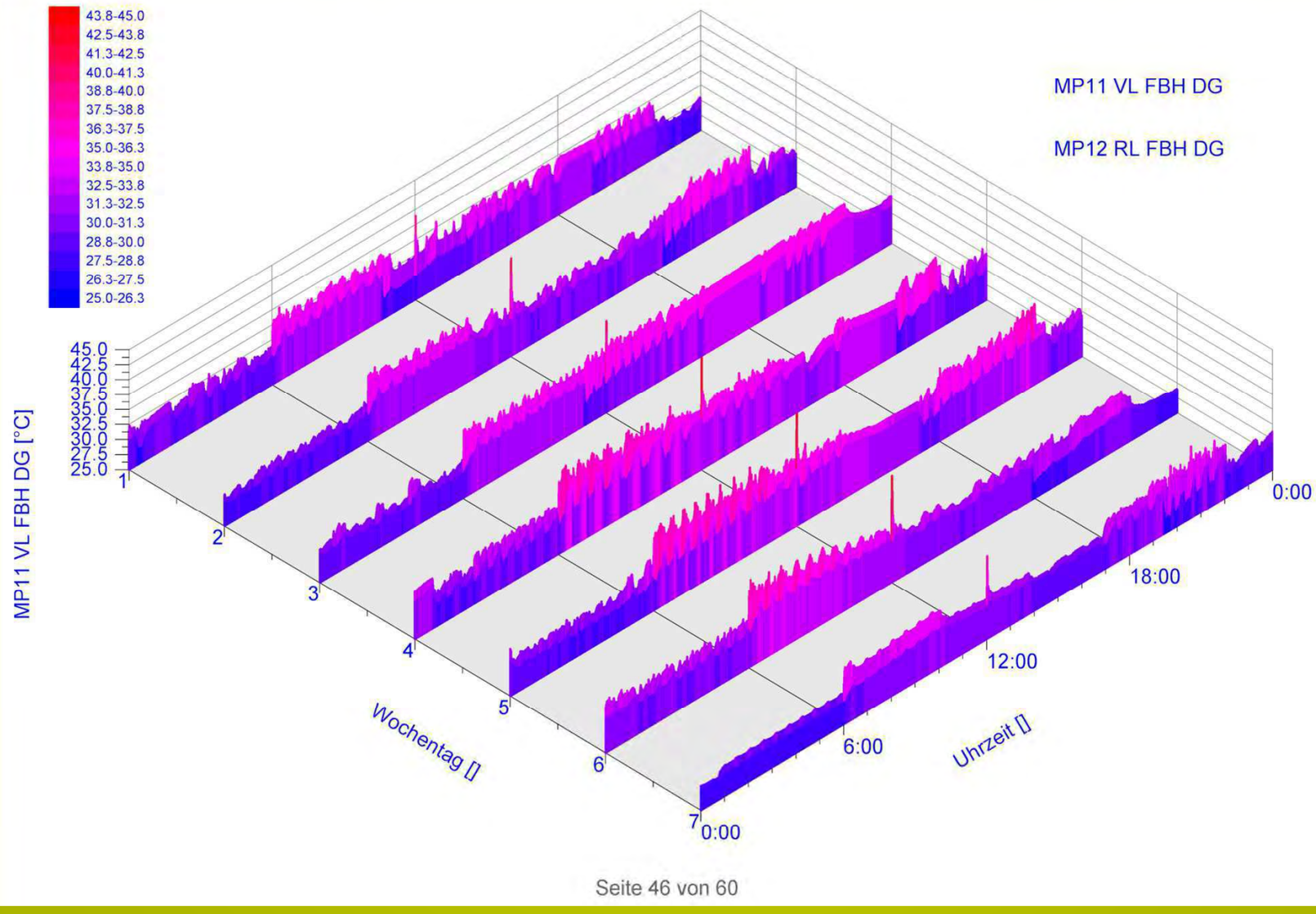

MP13 VL TWWB Misch [°C]
70
65
60
55
50
45
MP13 VL TWWB Misch, MP14 RL TWWB
MP15 VL TW warm, MP16 RL Zirk
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
30.Jan
31.Jan
Zeit_korrigiert []

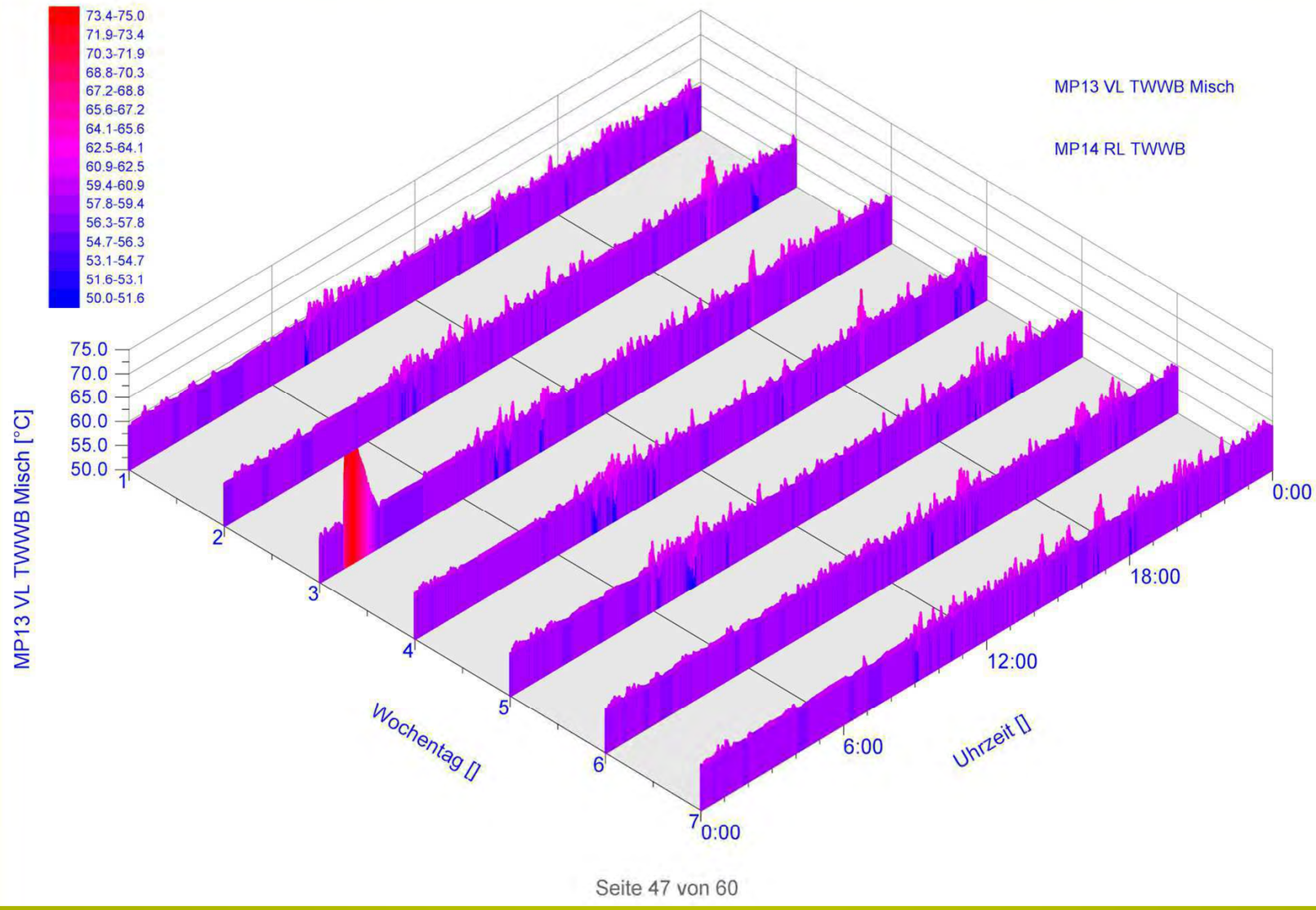

MP15 rel. Klassenhäufigkeit [%]
70
60
50
40
30
20
10
0
52.5
55.0
57.5
60.0
62.5
65.0
MP 15 Klassierung [°C]

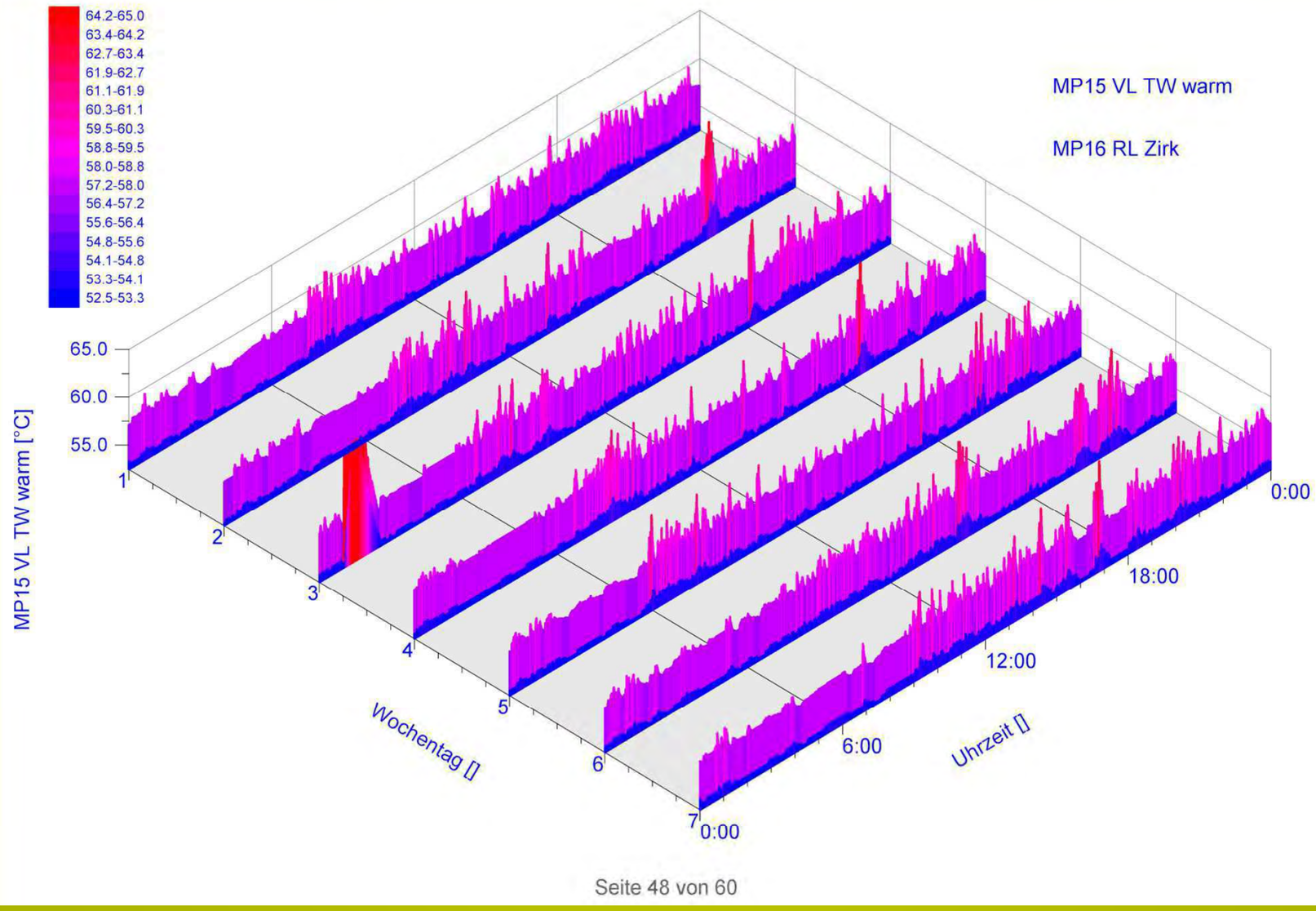

111.9-115.0
108.8-111.9
105.6-108.8
102.5-105.6
99.4-102.5
96.3-99.4
93.1-96.3
90.0-93.1
86.9-90.0
83.8-86.9
80.6-83.8
77.5-80.6
74.4-77.5
71.3-74.4
68.1-71.3
65.0-68.1
MP01 VL FW prim
MP02 RL FW prim
MP01 VL FW prim [°C]
110.0
100.0
90.0
80.0
70.0
1
2
3
4
5
6
7
Wochentag []
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
Uhrzeit []

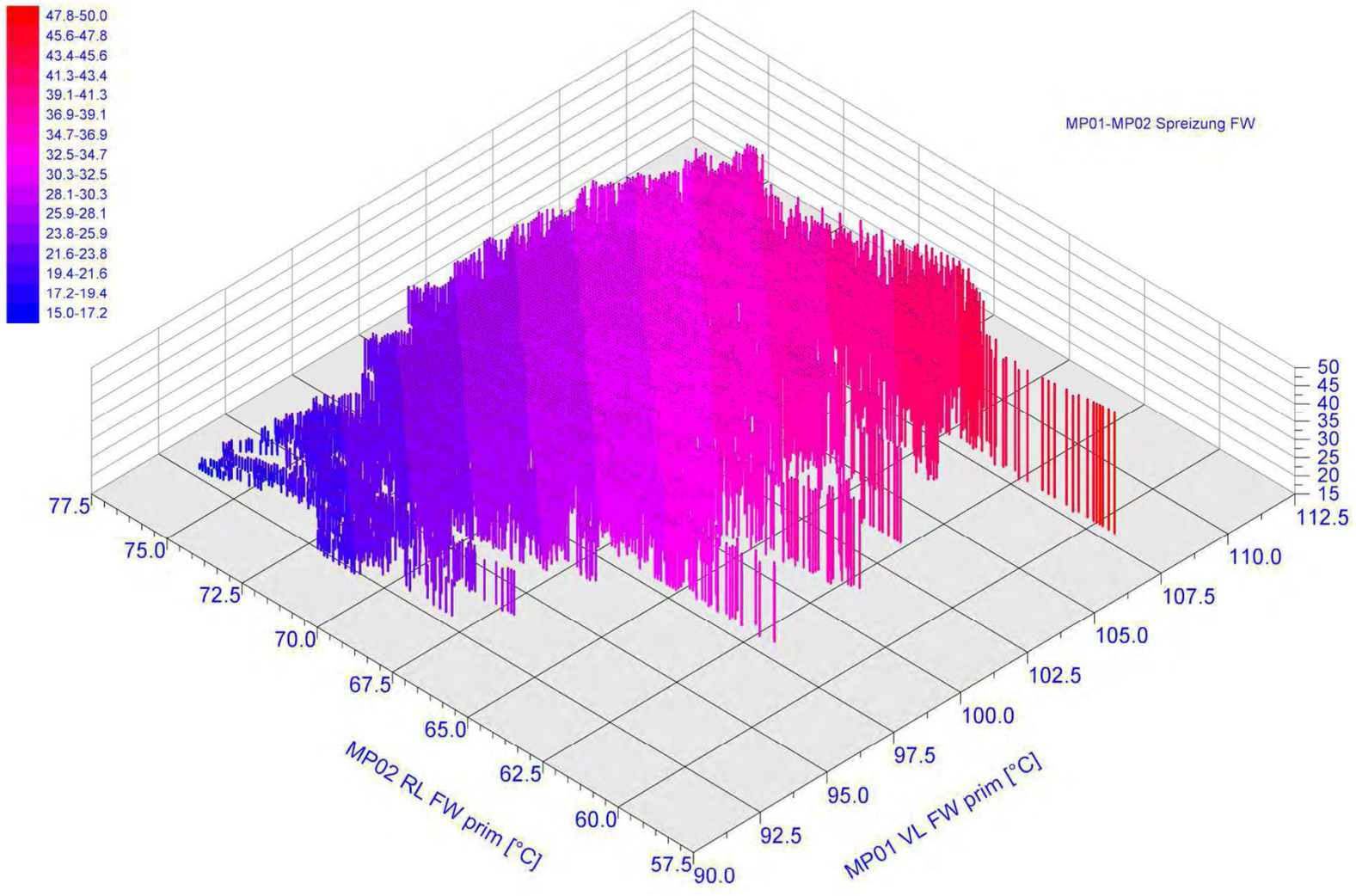

83.1-85.0
81.3-83.1
79.4-81.3
77.5-79.4
75.6-77.5
73.8-75.6
71.9-73.8
70.0-71.9
68.1-70.0
66.3-68.1
64.4-66.3
62.5-64.4
60.6-62.5
58.8-60.6
56.9-58.8
55.0-56.9
MP03 VL Heiz sek
MP04 RL Heiz sek
MP03 VL Heiz sek [°C]
85.0
80.0
75.0
70.0
65.0
60.0
55.0
1
2
3
4
5
6
7
Wochentag []
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
Uhrzeit []

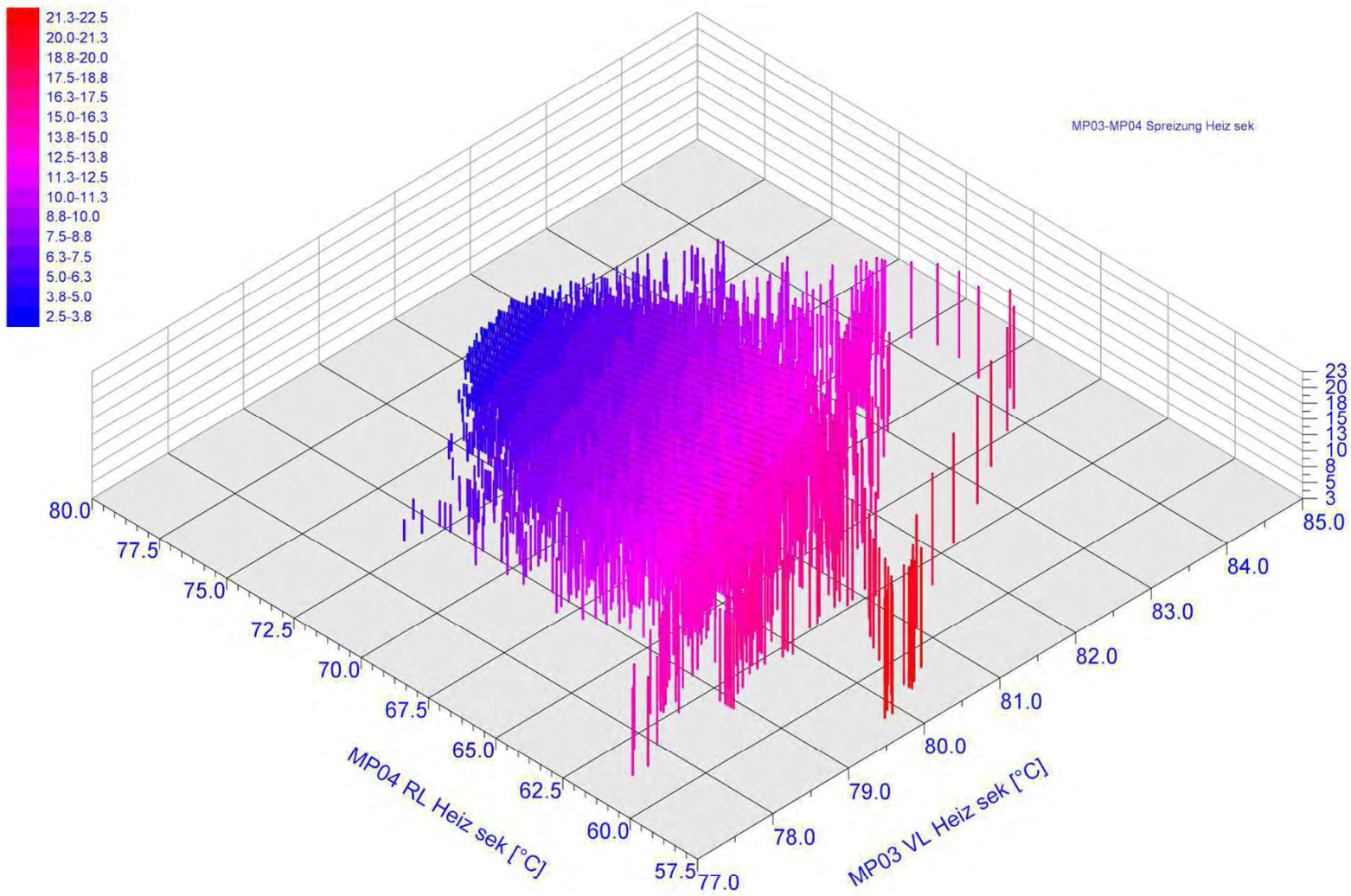

71.9-75.0
68.8-71.9
65.6-68.8
62.5-65.6
59.4-62.5
56.3-59.4
53.1-56.3
50.0-53.1
46.9-50.0
43.8-46.9
40.6-43.8
37.5-40.6
34.4-37.5
31.3-34.4
28.1-31.3
25.0-28.1
MP09 VL HK Misch
MP10 RL HK
MP09 VL HK Misch [°C]
70.0
60.0
50.0
40.0
30.0
1
2
3
4
5
6
7
Wochentag []
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
Uhrzeit []

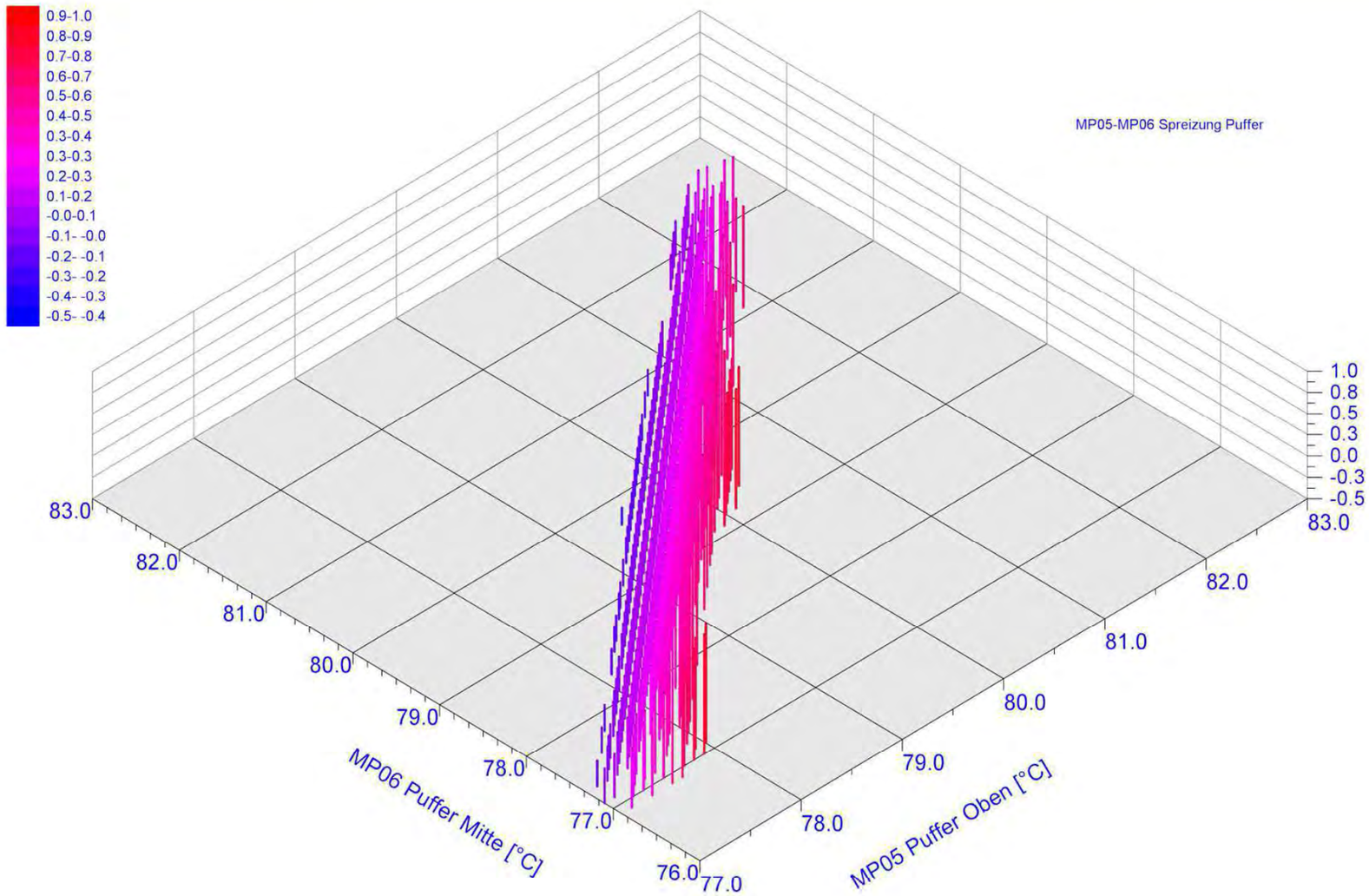

43.8-45.0
42.5-43.8
41.3-42.5
40.0-41.3
38.8-40.0
37.5-38.8
36.3-37.5
35.0-36.3
33.8-35.0
32.5-33.8
31.3-32.5
30.0-31.3
28.8-30.0
27.5-28.8
26.3-27.5
25.0-26.3
MP11 VL FBH DG
MP12 RL FBH DG
MP11 VL FBH DG [°C]
45.0
42.5
40.0
37.5
35.0
32.5
30.0
27.5
25.0
1
2
3
4
5
6
7
Wochentag []
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
Uhrzeit []

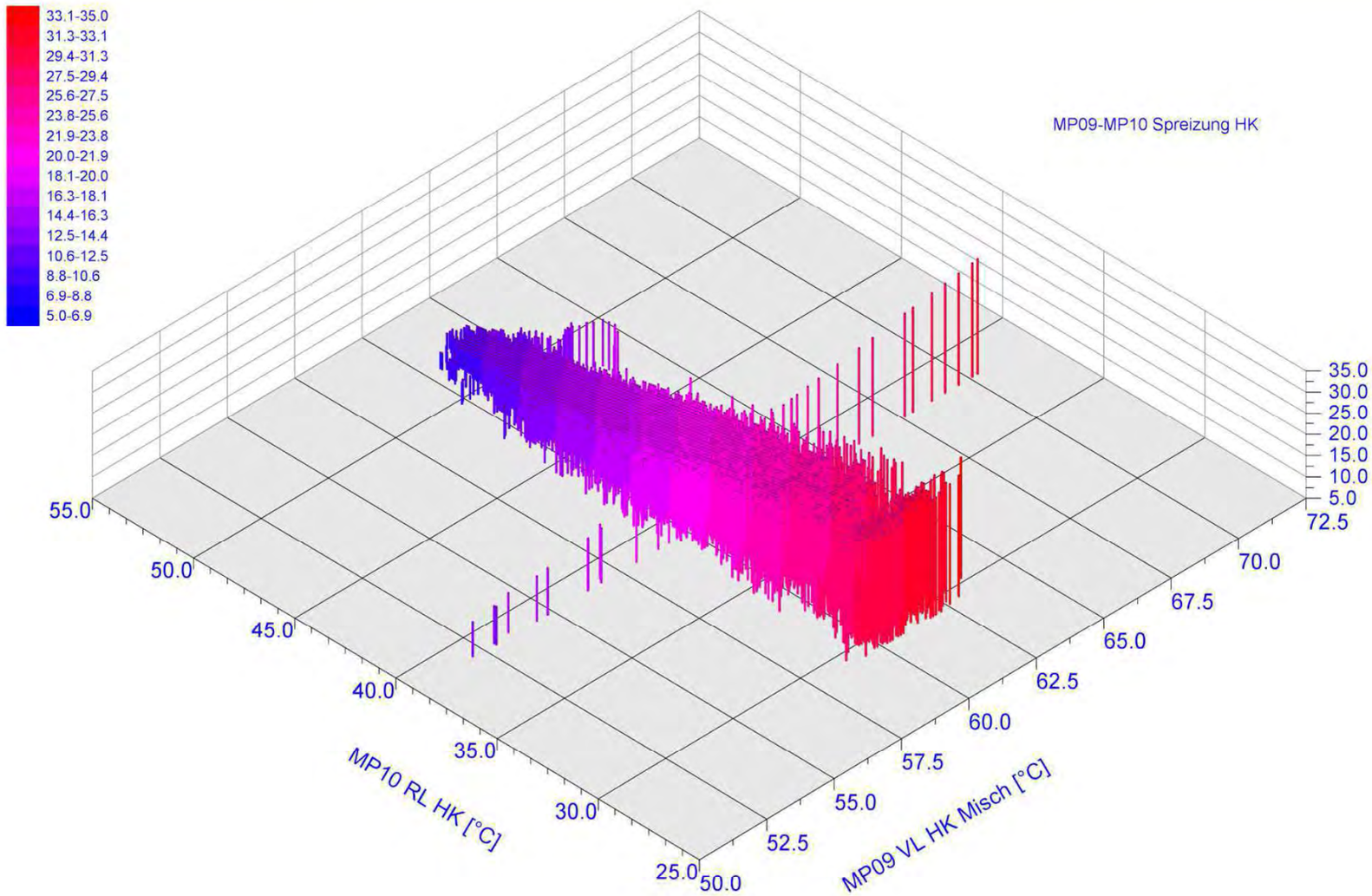

73.4-75.0
71.9-73.4
70.3-71.9
68.8-70.3
67.2-68.8
65.6-67.2
64.1-65.6
62.5-64.1
60.9-62.5
59.4-60.9
57.8-59.4
56.3-57.8
54.7-56.3
53.1-54.7
51.6-53.1
50.0-51.6
MP13 VL TWWB Misch
MP14 RL TWWB
MP13 VL TWWB Misch [°C]
75.0
70.0
65.0
60.0
55.0
50.0
1
2
3
4
5
6
7
Wochentag []
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
Uhrzeit []

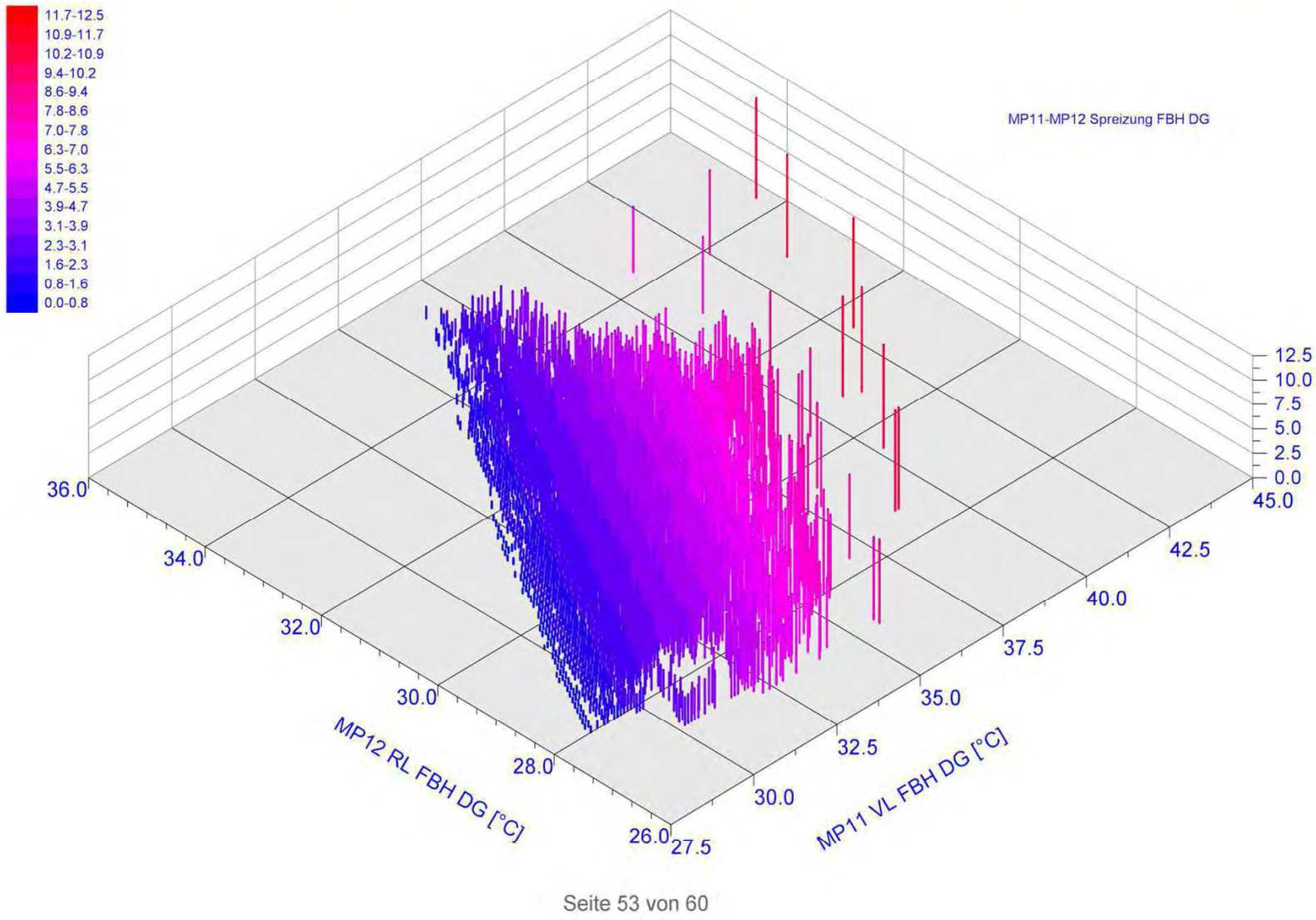

64.2-65.0
63.4-64.2
62.7-63.4
61.9-62.7
61.1-61.9
60.3-61.1
59.5-60.3
58.8-59.5
58.0-58.8
57.2-58.0
56.4-57.2
55.6-56.4
54.8-55.6
54.1-54.8
53.3-54.1
52.5-53.3
MP15 VL TW warm
MP16 RL Zirk
MP15 VL TW warm [°C]
65.0
60.0
55.0
1
2
3
4
5
6
7
Wochentag []
0:00
6:00
12:00
18:00
0:00
Uhrzeit []

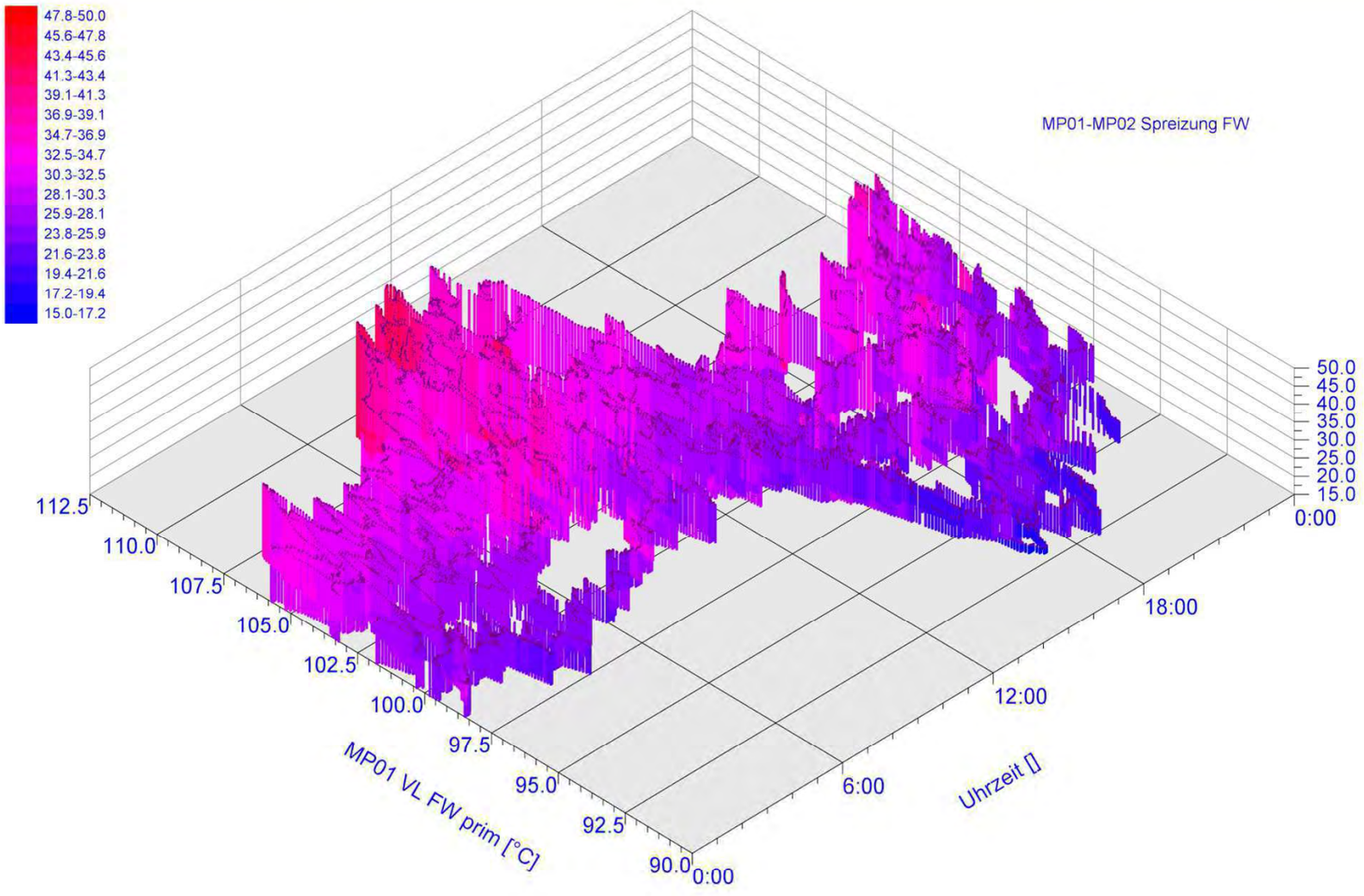

47.8-50.0
45.6-47.8
43.4-45.6
41.3-43.4
39.1-41.3
36.9-39.1
34.7-36.9
32.5-34.7
30.3-32.5
28.1-30.3
25.9-28.1
23.8-25.9
21.6-23.8
19.4-21.6
17.2-19.4
15.0-17.2
MP01-MP02 Spreizung FW
77.5
75.0
72.5
70.0
67.5
65.0
62.5
60.0
57.5
MP02 RL FW prim [°C]
90.0
92.5
95.0
97.5
100.0
102.5
105.0
107.5
110.0
112.5
MP01 VL FW prim [°C]
50
45
40
35
30
25
20
15

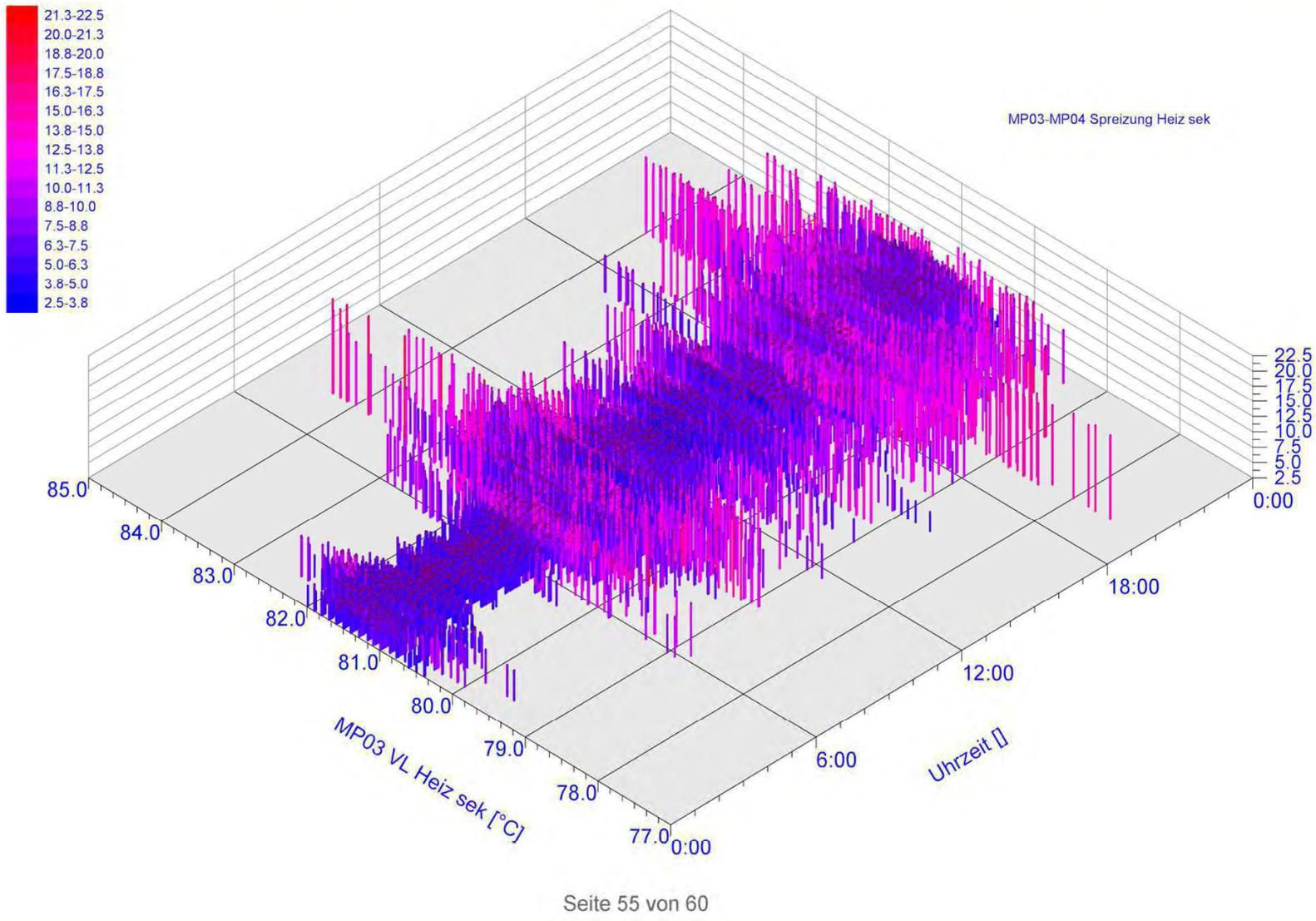

21.3-22.5
20.0-21.3
18.8-20.0
17.5-18.8
16.3-17.5
15.0-16.3
13.8-15.0
12.5-13.8
11.3-12.5
10.0-11.3
8.8-10.0
7.5-8.8
6.3-7.5
5.0-6.3
3.8-5.0
2.5-3.8
MP03-MP04 Spreizung Heiz sek
23
20
18
15
13
10
8
5
3
80.0
77.5
75.0
72.5
70.0
67.5
65.0
62.5
60.0
57.5
MP04 RL Heiz sek [°C]
77.0
78.0
79.0
80.0
81.0
82.0
83.0
84.0
85.0
MP03 VL Heiz sek [°C]

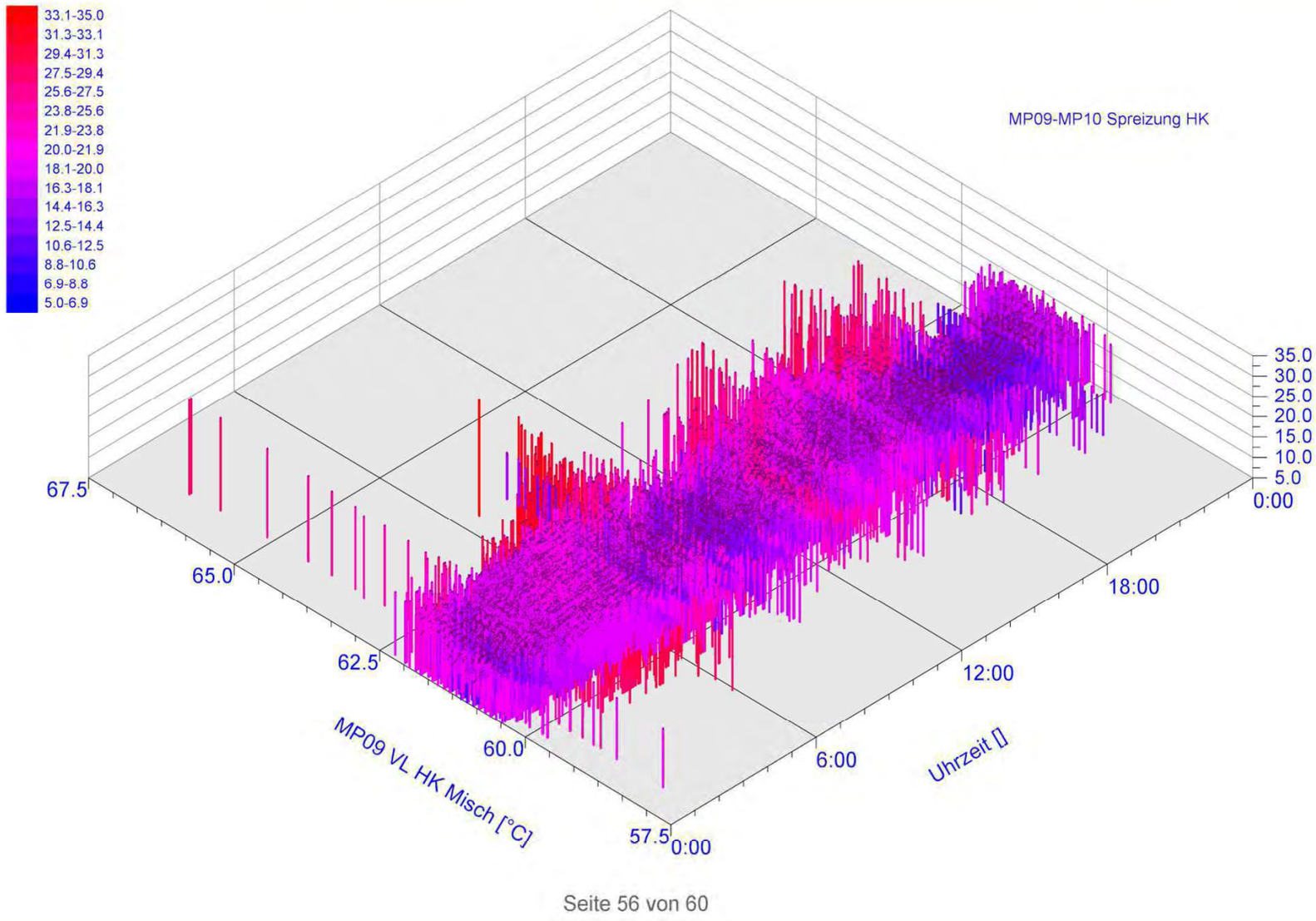

0.9-1.0
0.8-0.9
0.7-0.8
0.6-0.7
0.5-0.6
0.4-0.5
0.3-0.4
0.3-0.3
0.2-0.3
0.1-0.2
-0.0-0.1
-0.1- -0.0
-0.2- -0.1
-0.3- -0.2
-0.4- -0.3
-0.5- -0.4
MP05-MP06 Spreizung Puffer
1.0
0.8
0.5
0.3
0.0
-0.3
-0.5
83.0
82.0
81.0
80.0
79.0
78.0
77.0
76.0
MP06 Puffer Mitte [°C]
77.0
78.0
79.0
80.0
81.0
82.0
83.0
MP05 Puffer Oben [°C]

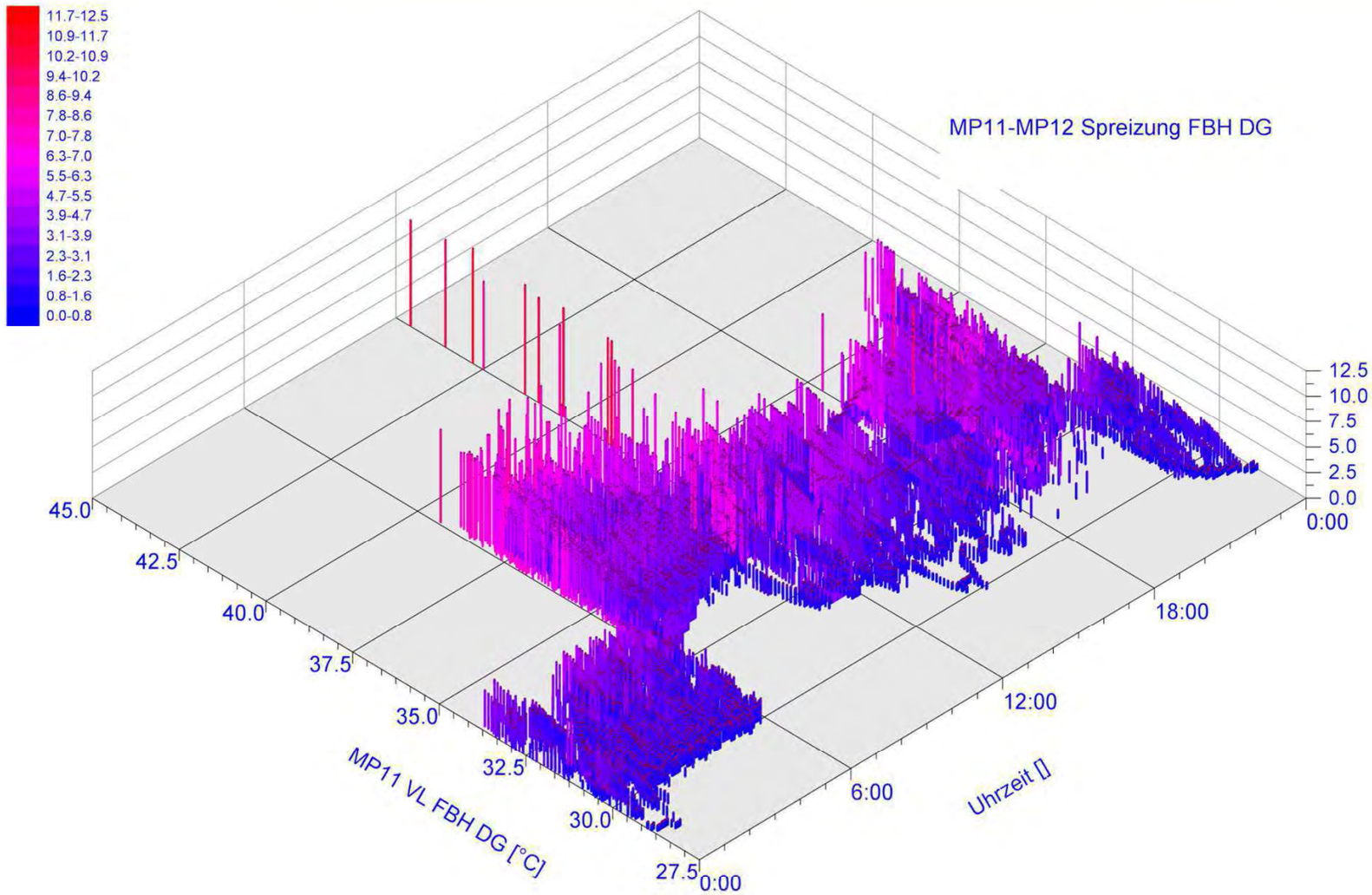

33.1-35.0
31.3-33.1
29.4-31.3
27.5-29.4
25.6-27.5
23.8-25.6
21.9-23.8
20.0-21.9
18.1-20.0
16.3-18.1
14.4-16.3
12.5-14.4
10.6-12.5
8.8-10.6
6.9-8.8
5.0-6.9
MP09-MP10 Spreizung HK
35.0
30.0
25.0
20.0
15.0
10.0
5.0
55.0
50.0
45.0
40.0
35.0
30.0
25.0
MP10 RL HK [°C]
50.0
52.5
55.0
57.5
60.0
62.5
65.0
67.5
70.0
72.5
MP09 VL HK Misch [°C]

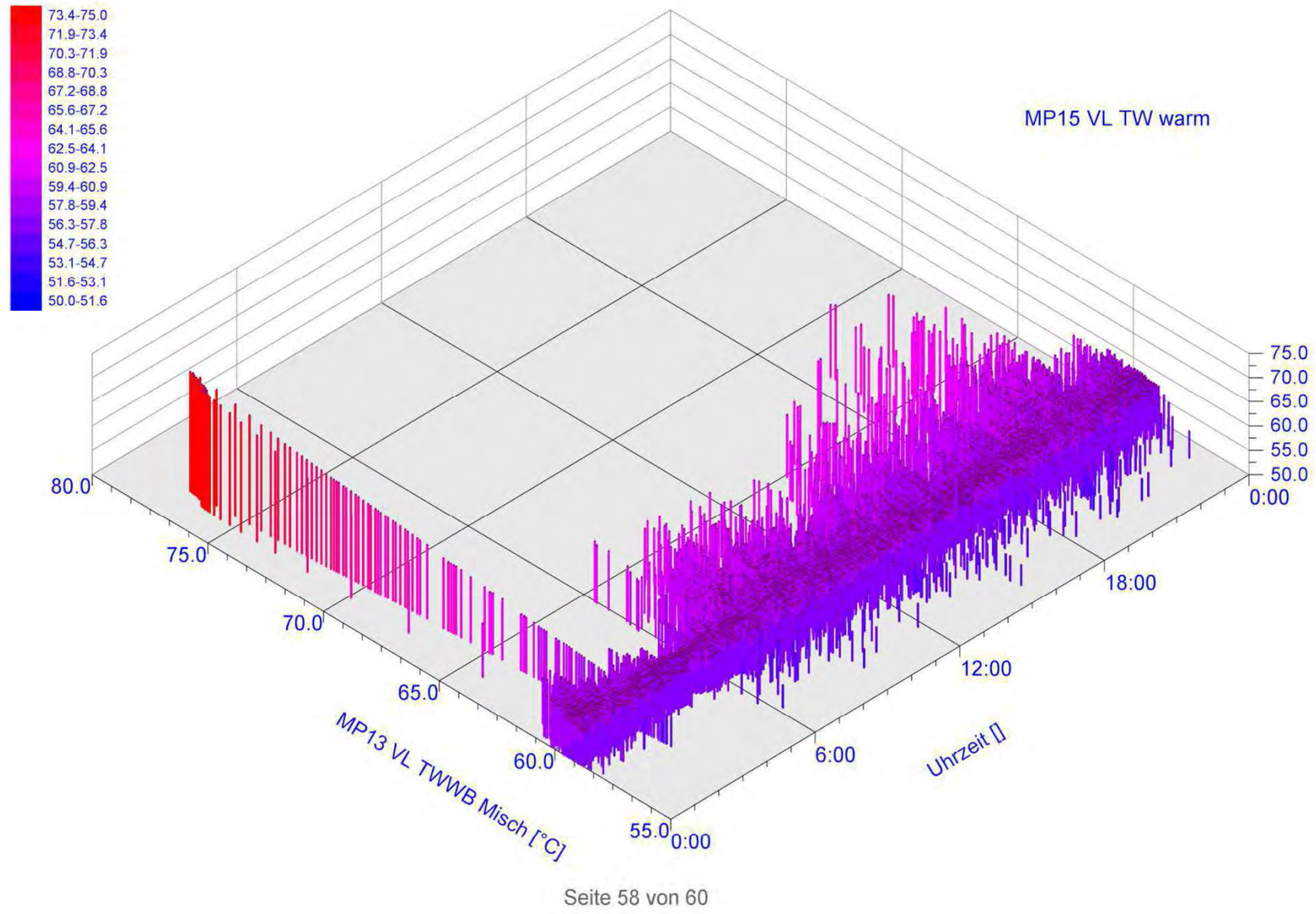

11.7-12.5
10.9-11.7
10.2-10.9
9.4-10.2
8.6-9.4
7.8-8.6
7.0-7.8
6.3-7.0
5.5-6.3
4.7-5.5
3.9-4.7
3.1-3.9
2.3-3.1
1.6-2.3
0.8-1.6
0.0-0.8
MP11-MP12 Spreizung FBH DG
12.5
10.0
7.5
5.0
2.5
0.0
36.0
34.0
32.0
30.0
28.0
26.0
MP12 RL FBH DG [°C]
27.5
30.0
32.5
35.0
37.5
40.0
42.5
45.0
MP11 VL FBH DG [°C]

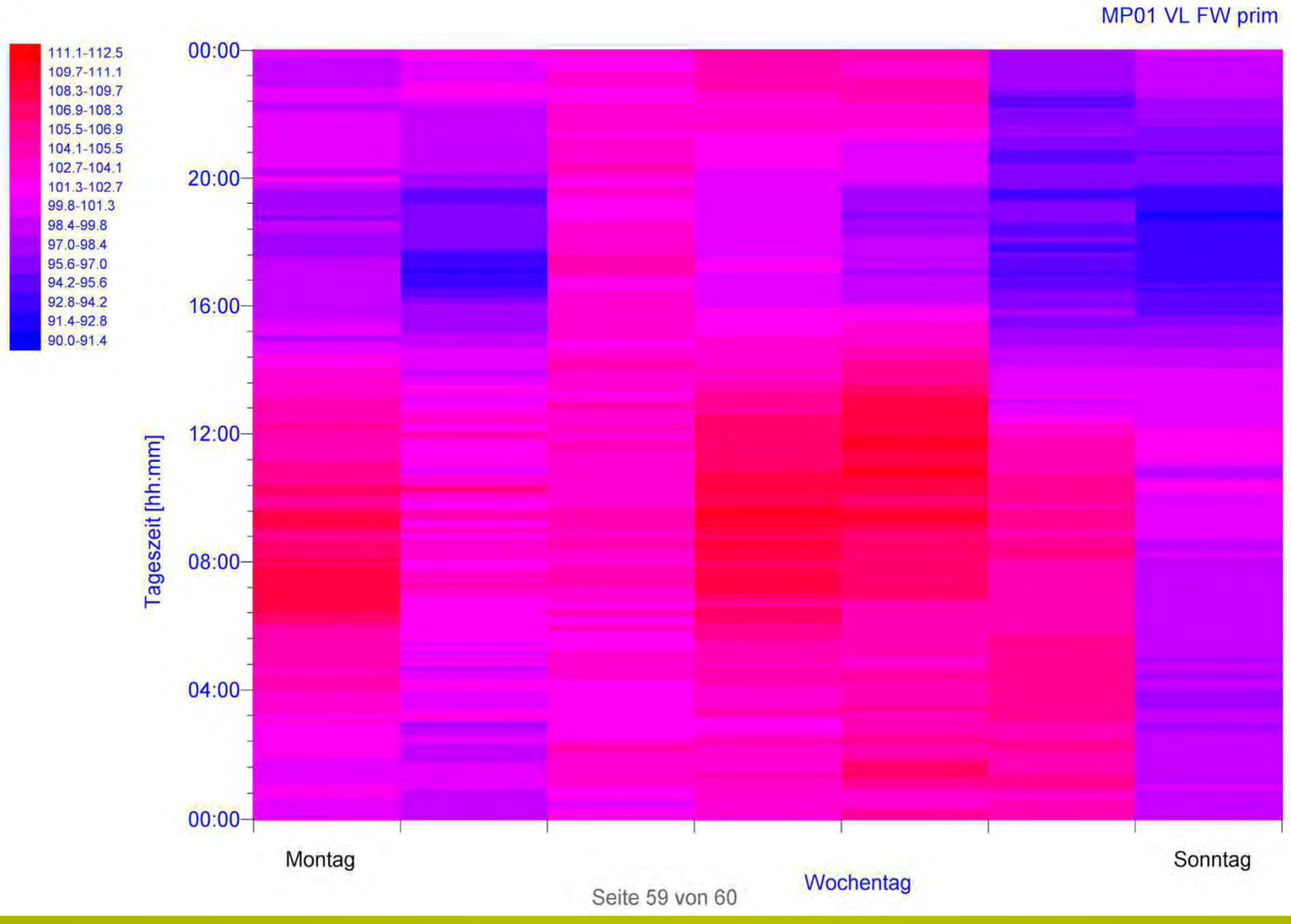

47.8-50.0
45.6-47.8
43.4-45.6
41.3-43.4
39.1-41.3
36.9-39.1
34.7-36.9
32.5-34.7
30.3-32.5
28.1-30.3
25.9-28.1
23.8-25.9
21.6-23.8
19.4-21.6
17.2-19.4
15.0-17.2
MP01-MP02 Spreizung FW
50.0
45.0
40.0
35.0
30.0
25.0
20.0
15.0
112.5
110.0
107.5
105.0
102.5
100.0
97.5
95.0
92.5
90.0
MP01 VL FW prim [°C]
0:00
6:00
12:00
18:00
Uhrzeit []

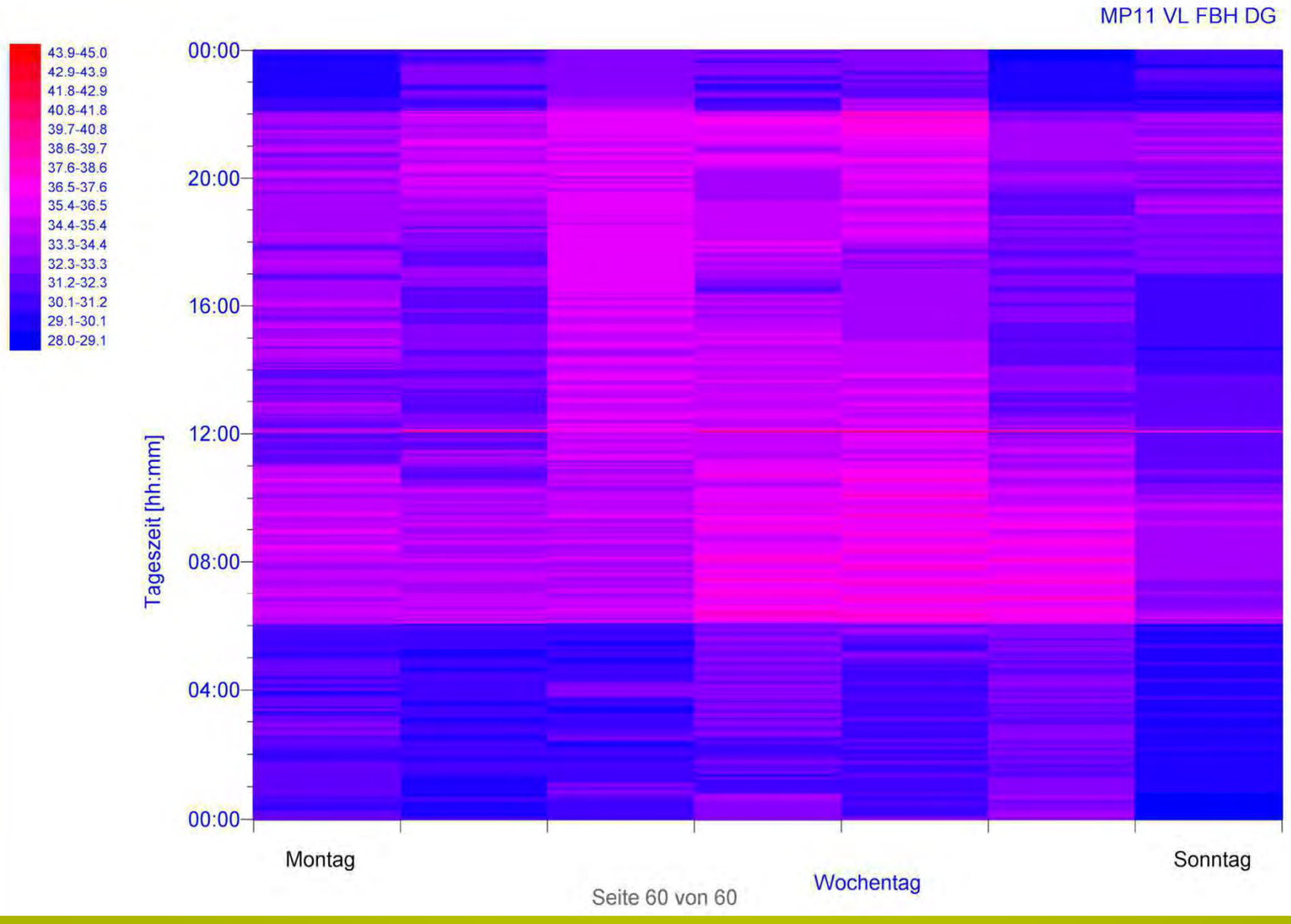

21.3-22.5
20.0-21.3
18.8-20.0
17.5-18.8
16.3-17.5
15.0-16.3
13.8-15.0
12.5-13.8
11.3-12.5
10.0-11.3
8.8-10.0
7.5-8.8
6.3-7.5
5.0-6.3
3.8-5.0
2.5-3.8
MP03-MP04 Spreizung Heiz sek
22.5
20.0
17.5
15.0
12.5
10.0
7.5
5.0
2.5
85.0
84.0
83.0
82.0
81.0
80.0
79.0
78.0
77.0
MP03 VL Heiz sek [°C]
0:00
6:00
12:00
18:00
Uhrzeit []


33.1-35.0
31.3-33.1
29.4-31.3
27.5-29.4
25.6-27.5
23.8-25.6
21.9-23.8
20.0-21.9
18.1-20.0
16.3-18.1
14.4-16.3
12.5-14.4
10.6-12.5
8.8-10.6
6.9-8.8
5.0-6.9
MP09-MP10 Spreizung HK
35.0
30.0
25.0
20.0
15.0
10.0
5.0
0:00
18:00
12:00
6:00
0:00
Uhrzeit []
67.5
65.0
62.5
60.0
57.5
MP09 VL HK Misch [°C]


11.7-12.5
10.9-11.7
10.2-10.9
9.4-10.2
8.6-9.4
7.8-8.6
7.0-7.8
6.3-7.0
5.5-6.3
4.7-5.5
3.9-4.7
3.1-3.9
2.3-3.1
1.6-2.3
0.8-1.6
0.0-0.8
MP11-MP12 Spreizung FBH DG
45.0
42.5
40.0
37.5
35.0
32.5
30.0
27.5
MP11 VL FBH DG [°C]
0:00
6:00
12:00
18:00
Uhrzeit []
12.5
10.0
7.5
5.0
2.5
0.0
0:00


73.4-75.0
71.9-73.4
70.3-71.9
68.8-70.3
67.2-68.8
65.6-67.2
64.1-65.6
62.5-64.1
60.9-62.5
59.4-60.9
57.8-59.4
56.3-57.8
54.7-56.3
53.1-54.7
51.6-53.1
50.0-51.6
MP15 VL TW warm
75.0
70.0
65.0
60.0
55.0
50.0
0:00
18:00
12:00
6:00
Uhrzeit []
80.0
75.0
70.0
65.0
60.0
55.0
MP13 VL TWWB Misch [°C]


MP01 VL FW prim
111.1-112.5
109.7-111.1
108.3-109.7
106.9-108.3
105.5-106.9
104.1-105.5
102.7-104.1
101.3-102.7
99.8-101.3
98.4-99.8
97.0-98.4
95.6-97.0
94.2-95.6
92.8-94.2
91.4-92.8
90.0-91.4
Tageszeit [hh:mm]
00:00
20:00
16:00
12:00
08:00
04:00
00:00
Montag
Sonntag
Wochentag


MP11 VL FBH DG
43.9-45.0
42.9-43.9
41.8-42.9
40.8-41.8
39.7-40.8
38.6-39.7
37.6-38.6
36.5-37.6
35.4-36.5
34.4-35.4
33.3-34.4
32.3-33.3
31.2-32.3
30.1-31.2
29.1-30.1
28.0-29.1
Tageszeit [hh:mm]
00:00
20:00
16:00
12:00
08:00
04:00
00:00
Montag
Sonntag
Wochentag
Seite 60 von 60