



¹ Daniel Gößeringer, BSc

Hygrothermische Analyse von unbelüfteten Flachdachaufbauten

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades
Diplom-Ingenieur

Masterstudium
Bauingenieurwissenschaften – Konstruktiver Ingenieurbau

eingereicht an der
Technischen Universität Graz

Betreuer

Univ.-Prof. Dr. Christina Hopfe
Baumeister Dipl.-Ing. Hans Hafellner

Institut für Bauphysik, Gebäudetechnik und Hochbau

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

Datum, Unterschrift

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Menschen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben.

Zuerst möchte ich meiner Familie (meinem Papa Wolfgang, meiner Mama Stefanie, meiner Schwester Michaela und meiner Freundin Katharina) danken. Ohne sie wäre diese Arbeit niemals zustande gekommen. Sie haben mir den Rückhalt und die Unterstützung gegeben, die ich während dieser Zeit brauchte.

Außerdem möchte ich mich bei meinen Freunden bedanken, mit denen ich diese Erfahrung teilen durfte. Ohne deren Hilfe wäre ich ebenfalls nicht hier.

Als Nächstes möchte ich meinen Kommilitonen vom Stahlbauzeichensaal für die schönen und ausgelassenen Stunden danken. Ohne sie wäre diese Zeit um einiges grauer und einsamer geworden.

Natürlich möchte ich mich auch bei meinem Betreuer Johann bedanken, der mir bei jedem Problem mit Rat und Tat zur Seite stand. Herr Prof. Kautsch hat durch seine Lehrveranstaltungen in mir das Interesse des Hochbaus weiter verstärkt.

Kurzfassung

In einem Forschungsprojekt von Isocell wurde ein Versuchsgebäude errichtet, in dem verschiedene Dachaufbauten errichtet wurden und in jedem dieser Aufbauten wurden zahlreiche Sensoren integriert. Diese Sensoren haben über 4 Jahre das Außen- und Innenklima, die Temperatur, die relative Luftfeuchtigkeit und den Wassergehalt in verschiedenen Positionen aufgezeichnet. Die Aufbauten wurden so konzipiert, dass die Schadensanfälligkeit verschiedener Materialien anhand der Messdaten ausgewertet und verglichen werden können. Aus diesen Vergleichen kann in Zukunft die Materialwahl bei der Konzeption von Dachaufbauten optimiert und in weiterer Folge Ressourcen (Geld, Rohstoffe, etc.) eingespart werden.

In dieser Arbeit wurden instationäre Simulationen erstellt, welche dann mit den vorhandenen Messwerten verglichen wurden. Aus diesem Vergleich kann erkannt werden, dass für die Vorgehensweise bei weiteren manuellen Sensitivitätsanalyse anderer Flachdachaufbauten, zumindest zwei statistische Kenngrößen (der Fehler und die Korrelation) notwendig sind. Außerdem sind bei der Betrachtung eines Aufbaus ca. 7 Simulationen durchzuführen, um den ganzen Aufbau zu betrachten. Anschließend wurden die Messwerte der Sensoren (Temperatur-, Wassergehalts- und kombinierte Temperatur- und relative Luftfeuchtigkeitssensoren) dieses Bauteils analysiert, wobei vor allem auf die Beurteilung der Schadenswahrscheinlichkeit eingegangen wurde. Dies beinhaltet die Untersuchung der Schimmelpilz-, die Holzfäulebildung und die Entstehung von Kondensat. In weiterer Folge wurden auch die Wärmeströme analysiert, um z.B.: eine mögliche Durchfeuchtung und die Wärmeverluste festzustellen. Aus diesen Untersuchungen geht hervor, dass es unterhalb der PV-Anlage zu erhöhten Problemen mit Feuchtigkeit und den daraus resultierenden Bildungen von Schimmelpilzen und Holzfäulnis kommt. Auch im Randbereich kommt es allgemein zu einer höheren Schadensanfälligkeit als bei den zentral gelegenen Sensoren. Diese Untersuchungen können genutzt werden, um einen Vergleich zwischen den Sensoren zu ermöglichen.

Eine manuelle Sensitivitätsanalyse ist sehr zeitaufwendig, deswegen wurde ein alternatives Programm herangezogen, womit eine automatische Sensitivitätsanalyse ermöglicht werden kann. Um eine Vergleichsbasis für den Auftraggeber Isocell zu schaffen wurden die beiden Programme anhand eines Bauteils miteinander verglichen. Dabei konnte auf die Unterschiede der hygrothermischen Situation (Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Wassergehalt) in den einzelnen Schichten eingegangen und so eine Vergleichsbasis geschaffen werden. Die beiden Programme zeigen im Vergleich einen Unterschied im Bereich vom Faktor 8 in Bezug auf den Gesamtwassergehalt.

Abstract

As part of an Isocell research project, a test building was built in which various roof structures were erected, and numerous sensors were integrated into each of these structures. These sensors have recorded the outside and inside climate, the temperature, the relative humidity and the water content in different positions over a period of 4 years. The superstructures were designed in such a way that the susceptibility of different materials to damage can be evaluated and compared on the basis of the measurement data. Based on these comparisons, the choice of materials for the design of roof structures can be optimized in the future and resources (money, raw materials, etc.) can be saved.

In this work, non-stationary simulations were created, which were then compared with the existing measured data. From this comparison it can be seen that findings for the procedure for further manual sensitivity analysis of other flat roof structures, at least two statistical parameters (the error and the correlation) are necessary. In addition, when looking at a structure, about 7 simulations have to be carried out in order to consider the entire structure. Then the measured values of the sensors (temperature, water content and combined temperature and relative humidity sensors) of this component were analysed, with the assessment of the probability of damage being discussed in particular. This includes the investigation of mold and wood rot formation and the formation of condensate. Subsequently, the heat flows were also analysed in order to determine e.g., a possible moisture penetration and the heat losses. These investigations show that there are increased problems with moisture and the resulting formation of mold and wood rot below the PV system. Also, in the edge area there is generally a higher susceptibility to damage than with the centrally located sensors. These examinations can be used to enable a comparison between the sensors.

A manual sensitivity analysis is very time-consuming, which is why an alternative program was used, which enables an automatic sensitivity analysis. In order to create a basis for comparison for the client Isocell, the two programs were compared with one another on the basis of a component. The differences in the hygrothermal situation (temperature, relative humidity and water content) in the individual layers could be addressed and a basis for comparison created. In comparison, the two programs show a difference in the range of a factor of 8 in relation to the total water content.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung.....	2
Kurzfassung.....	4
Abstract	5
Inhaltsverzeichnis.....	6
1 Einleitung.....	9
1.1 Einführung in das Themengebiet.....	9
1.2 Ziele und Vorgaben	12
1.3 Forschungsmethodik	13
1.4 Begründung	13
1.5 Leitfaden der Berichterstattung	13
2 Sensitivitätsanalyse mit WUFI.....	15
2.1 Validierung, Sensitivitätsanalyse, Kalibrierung oder Ausgleichsrechnung	16
2.2 Allgemeines zur Sensitivitätsanalyse	17
2.2.1 Wahl der statistischen Kennzahl.....	17
2.2.2 Vorgehensweise	20
2.3 Erste Sensitivitätsanalyse für den Aufbau I51 (CHI ² -Fehler).....	24
2.3.1 Technische Daten des Aufbaus in WUFI.....	25
2.3.2 Grobanpassung 1	32
2.3.3 Feinanpassung 1	33
2.3.4 Überlagerung der Parameter 1	33
2.4 Zweite Sensitivitätsanalyse für den Aufbau I51 (Delta ² -Fehler)	35
2.5 Ergebnisse	36
2.6 Zusammenfassung.....	37
3 Syntax für die Analyse der Daten mit R.....	38
3.1 Syntax für I51_I51T_data_analysis.....	38
3.2 Syntax für I51_I51T_data_analysis.....	50
3.3 Syntax für I51_MC07_data_analysis	64
4 Analyse und Aufbereitung der Daten von Bauteil I51.....	77
4.1 Messtheorie und -instrumente	77
4.2 Analyse der Datensätze des Aufbaus I51	80
4.2.1 Allgemeines über die Wassergehaltssensoren.....	81
4.2.2 Hygrothermische Beurteilung der Sensoren	82
4.3 Wassergehaltssensoren	85
4.3.1 Wassergehaltssensor MC01	85
4.3.2 Wassergehaltssensor MC04	85
4.3.3 Wassergehaltssensor MC07	86
4.3.4 Wassergehaltssensor MC81	86
4.3.5 Wassergehaltssensor MC82 (blau).....	87
4.3.6 Vergleich der Wassergehaltssensoren	88
4.4 Allgemeines über die kombinierten Temperatur- und Luftfeuchtesensoren ..	91
4.4.1 Allgemeine Beurteilung der Sensoren RH03, RH04 und RH05 (vollständiges Verfahren)	91
4.4.2 Vergleich der Sensordaten von RH03, RH04 und RH05.....	103
4.4.3 Beurteilung der Isoplethen der Sensoren RH03, RH04 und RH05	109
4.4.4 Beurteilung des Kondensates der Sensoren RH03, RH04 und RH05.....	126
4.4.5 Sensor RH01 und RH02 (kurzes Verfahren)	133
4.4.6 Sensor RH06 und RH07 (kurzes Verfahren)	141
4.4.7 Sensor RH23, RH24 und RH25	151
4.4.8 Sensor RH21 und RH22.....	159

4.4.9	Sensor RH26 und RH27	167
4.4.10	Sensor RH41, RH42 und RH07	175
4.4.11	Sensor RH61, RH62 und RH01	186
4.5	Temperatursensoren	197
4.5.1	Sensor TR01 und TR02 (rot)	197
4.5.2	Sensor I51T und I51RH (rot)	201
4.6	Wärmestromuntersuchung	202
4.6.1	Wärmestromuntersuchung bei konstantem U-Wert an den Sensorpositionen	202
4.6.2	Wärmestromuntersuchung bei feuchte- und temperaturabhängigen U- Wert an den Sensorpositionen	207
4.7	Zusammenfassung der Ergebnisse	215
4.7.1	Vergleich der außenliegenden Sensoren	215
4.7.2	Vergleich der innenliegenden Sensoren	217
4.7.3	Schimmelpilz-, Holzfäule- und Kondensatbewertung der Sensoren.....	219
4.8	Interpretation der Ergebnisse	225
4.9	Zusammenfassung	227
5	Vergleich von Delphin mit WUFI	228
5.1	Vergleich der Simulationsergebnisse	230
5.2	Schlussfolgerungen	243
5.3	Zusammenfassung	243
6	Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick	244
6.1	Zusammenfassung	244
6.2	Diskussion	245
6.3	Ausblick	246
7	Anhang	247
7.1	Syntax	247
7.1.1	Syntax für den Vergleich der Sensoren (Kurzversion)	247
7.1.2	Syntax für die Wärmestrombetrachtung	266
7.1.3	Syntax für den Vergleich der inneren und der äußeren Sensoren.....	301
7.1.4	Bewertung der Schimmelpilz-, Holzfäule und des Kondensats	305
7.2	Kalibrierungstabellen	315
7.2.1	Kalibrierung 1	315
7.2.1.1	Tabelle der verschatteten Simulation	316
7.2.1.2	Tabelle der unverschatteten Simulation	321
7.2.2	Kalibrierung 2	327
7.2.2.1	Tabelle der verschatteten Simulation	327
7.2.2.2	Tabelle der unverschatteten Simulation	331
7.3	Literaturverzeichnis	336
7.4	Tabellenverzeichnis	337
7.5	Abbildungsverzeichnis	338
7.6	Formelverzeichnis	343

¹ Soweit in diesem Dokument personenbezogene Ausdrücke verwendet werden, umfassen sie Frauen und Männer gleichermaßen

³ www-Adressen aus Textformatierungsgründen ggf. mit eingefügtem Leerzeichen bzw. empfiehlt es sich oft, die Adressen zu kopieren und in die Adressenzeile einzufügen (und nicht als Link zu verwenden)

1 Einleitung

In diesem Kapitel wird zuerst eine Einführung gegeben, danach werden die Ziele und Vorgaben erläutert. Danach wird eine Begründung abgegeben, die die Forschungsmethodik erklärt und dann folgt abschließend der Leitfaden zur Berichterstattung.

1.1 Einführung in das Themengebiet

Die Grundlage für diese Arbeit bildet das Forschungsprojekt, welches von der fh-FGmbH (Forschungsgesellschaft der Fachhochschule Kärnten GmbH) in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen Isocell GmbH mit der Projekt Nr. 828078 und dem Titel „Headquarter: Rotationsströmungen & Schimmelbildung in hochgedämmten Wand- & Dachkonstruktionen, innovative Zelluloseproduktion“ am 07.07.2010 gestartet wurde [1]. Es wurden 16 Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise mit unterschiedlichen Dachauflasten und 10 Wandkonstruktionen in Holzbauweise gebaut und getestet. Diese Aufbauten wurden am Freiland-Prüfstand der fh-FGmbH montiert. Weiters wurden an verschiedenen Positionen in den Bauteilen Sensoren (kapazitive Feuchte- und Temperatursensoren) installiert. Mit Hilfe dieser Sensoren erfolgte die kontinuierliche Erfassung der Messdaten von Bauteiltemperaturen und -feuchten, Wärmeflüsse, etc. sowie der Messdaten des Innen- und Außenklimas (Wetterstation). In Abbildung 1 ist eine Übersicht der 16 Dachaufbauten gegeben und in Abbildung 2 ist ein Übersichtsfoto abgebildet. Die Bezeichnungen dieser Aufbauten beginnen bei I51 und enden bei I66. Die Aufbauten I51 bis I54 sind Foliendächer, I55 bis I58 sind Kiesdächer und I59 bis I66 sind Gründächer. Bei diesen Aufbauten wurden, abgesehen von den unterschiedlichen Decklagen, die Art der Wärmedämmung und die Art der dampfbremmenden Schicht unterschiedlich ausgeführt.

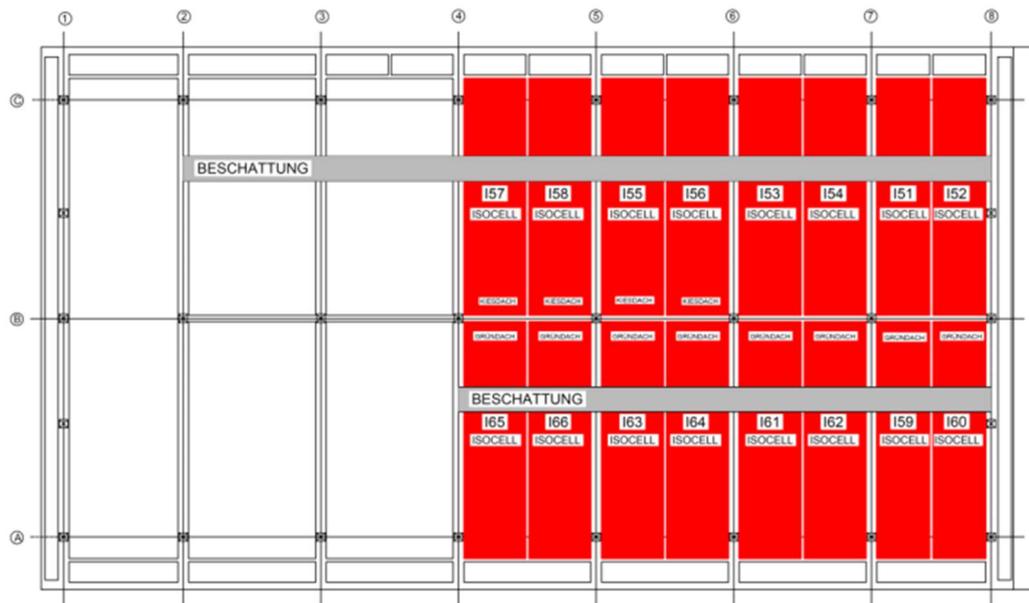


Abbildung 1: Dachaufbauten in der Übersicht [1]



Abbildung 2: Übersichtsfoto der Flachdachaufbauten [1] Diese Sensoren zeichneten in einem Zeitraum von fünf Jahren insgesamt 2055 Datensätze (1 Datensatz = 1 Sensor) auf, in denen insgesamt über 1,57 Mio. Werte gespeichert wurden. In diesen Dateien sind die Aufzeichnungen der jeweiligen Sensoren vorwiegend nach physikalischen Merkmalen (Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit usw.) sortiert. Das bedeutet, dass z.B.: die Daten der kombinierten Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit-Sensoren in einer Datei gespeichert wurden, während die Wassergehaltssensoren in einer anderen Datei gespeichert wurden.

Mithilfe dieser Sensordaten können diese Bauteile über den Aufzeichnungszeitraum analysiert werden. Da durch diese Analyse jedoch nur Aussagen in diesem Aufzeichnungszeitraum getroffen werden können, kann mit einer instationären Simulation erstellt werden, welche ähnliche Randbedingungen hat. Diese Simulation wird anschließend an den real gemessenen Zustand angepasst. Dadurch können Aussagen über die Schadenswahrscheinlichkeit über einen längeren Zeitraum getroffen werden.

1.2 Ziele und Vorgaben

Das Ziel dieser Arbeit ist es, anhand der Messwerte der Sensoren über die Schadenswahrscheinlichkeit der Aufbauten zu urteilen und diese anschließend miteinander zu vergleichen.

Im Speziellen sollen die folgenden drei Vergleiche angestellt werden. I51 soll mit I54 verglichen werden, I55 mit I57 und I57 mit I58 (Tabelle 1). Bei dem Vergleich der Aufbauten geht es in erster Linie darum, die Aufbauten anhand ihrer Schadenswahrscheinlichkeit zu vergleichen und daraus Schlüsse zu ziehen. Die bauphysikalisch relevanten Parameter können Tabelle 7 in Kapitel 2.3 entnommen werden.

Tabelle 1: Aufbauten

Bauteil	Schichten von innen nach außen															
	Schicht 1		Schicht 2		Schicht 3		Schicht 4		Schicht 5		Schicht 6		Schicht 7		Schicht 8	
	Dicke [mm]	Bezeichnung	Dicke [mm]	Bezeichnung	Dicke [mm]	Bezeichnung	Dicke [mm]	Bezeichnung	Dicke [mm]	Bezeichnung	Dicke [mm]	Bezeichnung	Dicke [mm]	Bezeichnung	Dicke [mm]	Bezeichnung
I51	12,5	Fermacell Gipsfaserplatte	25	Lattung (OSB-Steifen)	15	OSB 3, luftdicht Verklebt	300	Isocell Zellulose, eingeblasen	22	OSB 3	-	Trenvlies	-	TPO Folie, lichtgrau	-	-
I54							300	Steico-Zell							-	-
I55							300	Isocell Zellulose, eingeblasen							-	-
I57					-	Dampfbr. Vario KM Duplex, Airstop	-	-								
I58					300	ISOVER MK-KF 034	-	Kiesschüttung								

Die Sensitivitätsanalyse, soll laut Auftraggeber (AG; Isocell) mittels WUFI erfolgen, da dieses Programm von ihnen benutzt wird. Bei einer Sensitivitätsanalyse werden die Messdaten mit den Simulationsdaten verglichen und dann werden einzelne Parameter verändert und anschließend wieder verglichen. Dadurch kann man theoretisch eine optimale Annäherung zwischen den beiden erzeugen. Diese Sensitivitätsanalyse erfolgt mit WUFI was den Vorteil hat, dass durch die gemeinsame Schnittstelle ein leichter Austausch und eine bessere Nachvollziehbarkeit gegeben ist. Außerdem hat der Auftraggeber Erfahrungswerte mit diesem Programm, was bei der Implementation der Berechnungen für die Praxis von Vorteil ist. Der Nachteil dieses Programmes ist, dass die Sensitivitätsanalyse der Simulation allerdings nur manuell möglich ist.

Durch die Anzahl der Aufbauten war es notwendig, die Sensitivitätsanalyse der Simulation so rasch wie möglich zu einer Übereinstimmung zu bringen, um so viele Aufbauten wie möglich anzupassen und so Vergleiche zu schaffen.

1.3 Forschungsmethodik

Im Allgemeinen wird eine quantitative Forschungsmethodik angestrebt. Das bedeutet, dass unter anderem durch Datenanalyse empirische Sachverhalte untersucht werden.

Die Methodik zur Sensitivitätsanalyse erfolgt grundsätzlich über den Vergleich der quantitativen Merkmale der Simulation mit der Realität. Im Speziellen bedeutet dies, dass z.B.: die gemessene Temperatur an einer bestimmten Sensorposition mit der Temperatur an derselben Stelle in der Simulation verglichen wird. Die Kennzahl die für die Anpassung der Datensätze am wichtigsten erscheint, ist der Fehler oder auch das Residuum, welches die Differenz zwischen Messwert und Simulationswert darstellt [19]. Diese Abweichung der beiden Datensätze kann dann aufsummiert werden, um so einen gesamten Fehler pro Datensatz (Sensor) zu erzeugen.

Die Datenanalyse der Sensoren wird nach dem in Kapitel 4.2.2 beschriebenen Muster abgewickelt, wobei zuerst in Kapitel 4.1 die Messtheorie diskutiert wird.

1.4 Begründung

Durch die Untersuchung des Verhaltens eines unbelüfteten Flachdachaufbaus mittels Sensoren können Aussagen über die Schadenswahrscheinlichkeit getätigt werden. Beim Vergleich mehrerer in diesem Projekt vorhandenen Flachdachaufbauten können Materialien hervorgehoben werden, welche weniger schadensanfällig sind. Durch dieses Hervorheben können nachhaltig Ressourcen geschont werden, wenn man in der Praxis die vorteilhafteren Materialien verwenden würde.

Weiters kann durch die Sensitivitätsanalyse ein Vergleich der standardisierten Simulationseinstellungen [2] mit den durch die Anpassung modifizierten Einstellungen getroffen werden.

1.5 Leitfaden der Berichterstattung

Im ersten Teil (siehe Kapitel 2) werden nach den Vorgaben des AG Sensitivitätsanalysendurchgeführt. Um diese rasche Anpassung zu ermöglichen, werden Vereinfachungen getroffen (siehe Kapitel 2.5). Nachdem es bei dieser Vorgehensweise zu

keiner Anpassung der Simulation gekommen ist, wird im zweiten Teil (siehe Kapitel 4) auf eine andere Vorgehensweise gewechselt. Es wird zuerst eine detaillierte Analyse der Daten vorgenommen. Grundsätzlich wird mit den aufbereiteten Messdaten durch Delphin (instationäres Simulationsprogramm) eine automatisierte Sensitivitätsanalyse erzeugt. Zunächst wird geprüft, ob es möglich ist und wie ähnlich sich die beiden Programme (WUFI und Delphin) sind, um für die weiteren Vorgehensweisen eine Vergleichbarkeit für den AG herzustellen. Wenn die Vergleichbarkeit gegeben ist, kann mittels eines Forschungsprojektes dieses Thema weiterbearbeitet werden.

2 Sensitivitätsanalyse mit WUFI

In diesem Teil wird der Prozess der Sensitivitätsanalyse beleuchtet, wobei zunächst die Themen der Kenngröße und der Vorgehensweise abgeklärt werden, um anschließend auf zwei Versuche einzugehen. Schlussendlich werden die Erkenntnisse aus den Sensitivitätsanalyse zusammengefasst.

Die Sensordaten bzw. Messdaten aus dem Projekt wurden als .txt Dateien übergeben. Die Sensordaten der Wassergehaltssensoren wurden stündlich und die restlichen Sensoren alle zehn Minuten aufgezeichnet, da die Simulation nur stündlich betrachtet wird, werden nur die Messwerte zu jeder vollen Stunde betrachtet.

Diese Sensordaten müssen zunächst für die Sensitivitätsanalyse aufbereitet werden. Mehrere Datenreihen können sich auf dieselben Zeitwerte (Zeitstrahl) beziehen. Deshalb werden die Datenreihen der verschiedenen Aufbauten voneinander getrennt und in eine Datei pro Aufbau zusammengeführt. Weiters wird überprüft, ob das Aufzeichnungsintervall stündlich ist und ob zu jeder ganzen Stunde ein Messwert existiert (siehe Tabelle 2:). Ist dies nicht der Fall wird der Zeitwert auf die nächste ganze Stunde gerundet und mögliche doppelte Werte werden gelöscht. Hier zu beachten ist, dass die erste „doppelte“ Zeile behalten wird und die zweite gelöscht wird. Ebenfalls werden Zeitwerte, die nicht in der Simulation vorkommen, gelöscht. Dieser Schritt ist wichtig, da bei der Überprüfung der Korrelationen mittels Korrelationskoeffizienten (siehe Kapitel 2.5) nur die Werte zur gleichen Zeit und derselben Anzahl miteinander verglichen werden dürfen. Nun sind die Sensordaten bereit für die Sensitivitätsanalyse.

Tabelle 2: Beispiel: Aufbereitung der Sensordaten

Stammdatei	Überprüfung auf volle Stunde	Zwischenstand	Überprüfung auf doppelte Werte	Endversion
01.10.2011 13:00	Korrekt	01.10.2011 13:00	letzterer Wert wird	01.10.2011 13:00
01.10.2011 13:10	Nicht korrekt	01.10.2011 13:00	gelöscht	01.10.2011 13:00
01.10.2011 14:00	Korrekt	01.10.2011 14:00	Einmalig	01.10.2011 14:00
01.10.2011 15:00	Korrekt	01.10.2011 15:00	Einmalig	01.10.2011 15:00
01.10.2011 16:00	Korrekt	01.10.2011 16:00	Einmalig	01.10.2011 16:00
01.10.2011 17:00	Korrekt	01.10.2011 17:00	Einmalig	01.10.2011 17:00
01.10.2011 17:55	Nicht korrekt	01.10.2011 18:00	letzterer Wert wird	01.10.2011 18:00
01.10.2011 18:00	Korrekt	01.10.2011 18:00	gelöscht	01.10.2011 18:00
01.10.2011 19:00	Korrekt	01.10.2011 19:00	Einmalig	01.10.2011 19:00
01.10.2011 20:00	Korrekt	01.10.2011 20:00	Einmalig	01.10.2011 20:00
01.10.2011 21:00	Korrekt	01.10.2011 21:00	Einmalig	01.10.2011 21:00
01.10.2011 22:00	Korrekt	01.10.2011 22:00	Einmalig	01.10.2011 22:00

2.1 Validierung, Sensitivitätsanalyse, Kalibrierung oder Ausgleichsrechnung

In diesem Kapitel werden mögliche Verfahren, welche für den Vergleich zwischen Messwerten und Simulationswerten von Interesse sind, diskutiert. Dies erfolgt auf Basis allgemeiner und bauphysikalisch-spezifischer Literatur. Dies ist notwendig, um die unterschiedlichen Begriffe bzw. Verfahren, die in der Forschung Anwendung finden, auf einen Konsens zu bringen und die geeignete Wortwahl bzw. das geeignete Verfahren zu verwenden.

Validierung: Ein Simulationsprogramm bzw. eine Berechnungsmethode wird validiert, indem die rechnerischen Ergebnisse mit experimentellen Untersuchungen verglichen werden. Durch den Vergleich der berechneten Ergebnisse mit sehr einfachen Fällen, für die exakte mathematische Lösungen existieren, kann diese Validierung ebenfalls durchgeführt werden. Die Validierung ist notwendig, um zu prüfen, ob die Berechnungsmethode allgemein eingesetzt werden kann. Die Rand- und Anfangsbedingungen sind dabei sehr gut zu dokumentieren.

„Vergleich zwischen gemessenem und vorausberechnetem Materialverhalten anhand von Experimenten, die nicht zur Kalibrierung herangezogen wurden.“ [25]. Bei diesem Beispiel wurden, aus komplexen thermodynamischen Grundlagen abgeleitete Funktionen mit Kennwerten verknüpft, welche in der Praxis von Ingenieuren angewendet werden, um so ein Materialmodell mit einfacher Handhabung zu erzeugen. Dies erfolgte in drei Stufen: Modellierung, Kalibrierung und Validierung.

Als Validierung wird ein Verfahren bezeichnet, das beurteilt, ob die Ergebnisse aus einem theoretischen Modell mit Messwerten übereinstimmen.

Sensitivitätsanalyse: „Bei einer Sensitivitätsanalyse wird der Beitrag der verschiedenen unsicheren Eingangsgrößen zur Ergebnisunsicherheit untersucht.“ Hier werden oft alle Parameter betrachtet, wobei am häufigsten die sogenannte one at a time (OAT)-Methode angewendet wird. Hier werden die Eingangsgrößen nacheinander vom Nominalwert zu einem Maximalwert verändert, um so ihren Einfluss zu erkennen. Es kann zwischen qualitativen und quantitativen Methoden unterschieden werden. „Bei der qualitativen Sensitivitätsanalyse ist das Ergebnis oft ein Ranking der Einflussgrößen nach ihrem Einfluss auf das Ergebnis.“ Bei einer quantitativen Methode kann berechnet werden, welchen Einfluss in Prozent ein einzelner Parameter auf das Ergebnis hat. [20]

Eine Sensitivitätsanalyse ist also das Zusammenspiel der Veränderung von Eingangsparameter und der daraus entstehenden Varianz der Ergebnisse.

Kalibrierung: Bei der Kalibrierung handelt es sich aus messtechnischer Sicht, um die Feststellung und Dokumentation der Abweichung eines Messgerätes. gegenüber einem anderen Gerät (Kontrollgerät), welches als Normal bezeichnet wird. Im zweiten Schritt der Kalibrierung gehört die Berücksichtigung der ermittelten Abweichungen bei der Benützung des Messgerätes zur Korrektur. Bei diesem Verfahren wird kein Eingriff in das Messgerät durchgeführt [21].

Eine Kalibrierung kann aus bauphysikalischer Sicht die „Bestimmung interner, „nicht sichtbarer“ Funktionsparameter durch Simulation von Laborexperimenten und Optimierung“ sein [25].

Ausgleichsrechnung (Regression, Model Fitting): In der Praxis wird oft der Zusammenhang oder die Beziehung zwischen zwei Zufallsvariablen ausgedrückt, indem man aus einer Stichprobe mit n-Messpunkten eine Regressions- oder Ausgleichskurve bildet. Diese soll den Zusammenhang zwischen den beiden Variablen „optimal“ beschreiben [22]. Eine Methode, um dies durchzuführen, ist die „Gaußsche Methode der kleinsten Quadrate“. Bei diesem Begriff wird ein Fehler z.B.: der Delta²-Fehler berechnet, welcher dann die Abweichung der beiden Kurven voneinander ausdrückt.

Bei einer Ausgleichsrechnung handelt es sich also um eine Methode, mit der der Unterschied von zwei Datensätzen berechnet werden kann, wobei verschiedene Kennwerte verwendet werden können.

Die Methode, welche in den folgenden Kapiteln angewendet wird, kann also als Sensitivitätsanalyse betrachtet werden, welche die Differenz zwischen den beiden Datensätzen mittels Ausgleichsrechnung kalkuliert.

2.2 Allgemeines zur Sensitivitätsanalyse

Die Sensoren zeichneten Daten über einen Zeitraum von ca. 4,5 Jahren auf, wobei in dieser Zeit die vorhandene Situation betrachtet werden kann, für die Zukunft können jedoch nur Trends, also grobe Entwicklungen erahnt werden. Eine 10- bis 15-jährige Analyse der Bauteile soll ausreichende Informationen dazu liefern. Dies soll durch Simulationen mit dem Programm WUFI (Wärme und Feuchte instationär) erfolgen. Damit diese Simulationen aussagekräftige Ergebnisse liefern, müssen diese an die Messwerte angepasst werden. Diese Anpassung erfolgt mittels Sensitivitätsanalyse, wobei diese in drei Schritte (Grob-, Feinanpassung und Überlagerung) eingeteilt werden.

2.2.1 Wahl der statistischen Kennzahl

Dieses Kapitel und die Erkenntnisse daraus wurden im Zuge der Sensitivitätsanalyse I51 entwickelt.

Die Veränderungen der Simulation während der Sensitivitätsanalyse sollen gemessen und mit den Messwerten verglichen werden. Dies kann qualitativ durch den Vergleich der Messwerte (MW) mit den Simulationsergebnissen (SIM) in Form eines Graphen geschehen und quantitativ durch den Vergleich des Messwertes mit dem zur selben Zeit entstehenden Simulationenswert.

Grundsätzlich ist der wechselseitige stochastische Zusammenhang zwischen zwei Zufallsgrößen (MW und SIM) von Interesse. Durch den Fehler, also MW – SIM können Aussagen über die funktionale Modellierung des durchschnittlichen Zusammenhangs getroffen werden. Die Grundidee der Schätzung der Parameter besteht in der Minimierung der Summe der Differenzen zwischen MW und SIM [3]. Eine Methode die hierfür angewendet werden kann ist die Methode der kleinsten Quadrate. Bei dieser wird die Differenz von MW und SIM quadriert und anschließend über die Anzahl der Messwerte aufsummiert (siehe Formel 1).

Formel 1: Summe der Abweichungsquadrate (Δ^2)

$$\sum_{i=1}^n (MW_i - SIM_i)^2$$

Eine weitere Kennzahl die angewendet werden kann ist die Prüfgröße des Chi-Quadrat-Anpassungstest (siehe Formel 2).

Formel 2: Chi-Quadrat Kenngröße (CHI^2)

$$\sum_{i=1}^n \frac{(SIM_i - MW_i)^2}{MW}$$

Zusätzlich zu diesen beiden wird die Kennzahl des Betrags der Differenz (siehe Formel 3) im späteren Beispiel beleuchtet, um anhand einer Kennzahl mit dem Exponenten Eins, die Wirkung des erhöhten Exponenten festzustellen.

Formel 3: Betrag der Differenz ($|\Delta|$)

$$\sum_{i=1}^n |(MW_i - SIM_i)|$$

Die Kenngrößen werden mittels eines Beispiels miteinander verglichen. Es werden 10 Datensätze sowohl der Messwerte als auch der Simulationsergebnisse eingetragen. Die Messwerte haben bei diesem Beispiel mit 10 Einträgen einen Wert von 5 (Abbildung 3) und die Simulationsergebnisse werden in „Einser-Schritten“ in positive als auch negative Richtung vom Ausgangswert ausgelenkt. Dann werden die drei Kenngrößen ($|\Delta|$, Δ^2 und CHI^2) gebildet. Von den Kenngrößen wird dann die prozentuelle Verteilung, bezogen auf die Summe, ermittelt und von der prozentuellen Aufteilung wird die Varianz ermittelt. Δ^2 und CHI^2 bilden dieselben, relativen Werte (Abbildung 4) ab und haben auch dieselbe Varianz, geschuldet durch die Quadrierung der Werte. Hier werden größere Fehler stärker bewertet. Die größere Varianz gibt an, dass die Werte stärker gestreut sind als beim Betrag der Differenz. Die Streuung des CHI^2 -Fehlers gilt aber nur, wenn die Messwertfunktion (konstante Funktion mit dem Wert Fünf) konstant ist und hängt prinzipiell vom Bezugsmesswert ab. Die Streuung der Differenz zum Quadrat hingegen ist konstant und hängt nur von der Differenz ab.

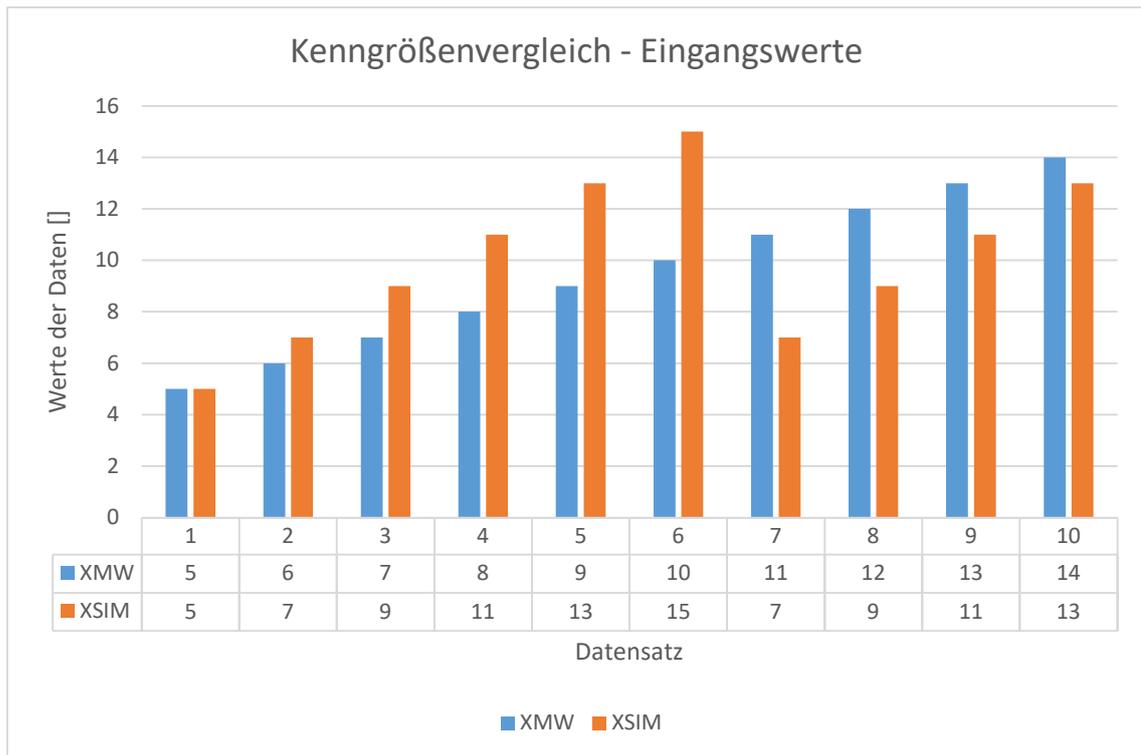


Abbildung 3: Kenngrößenvergleich - Diagramm der Eingangswerte

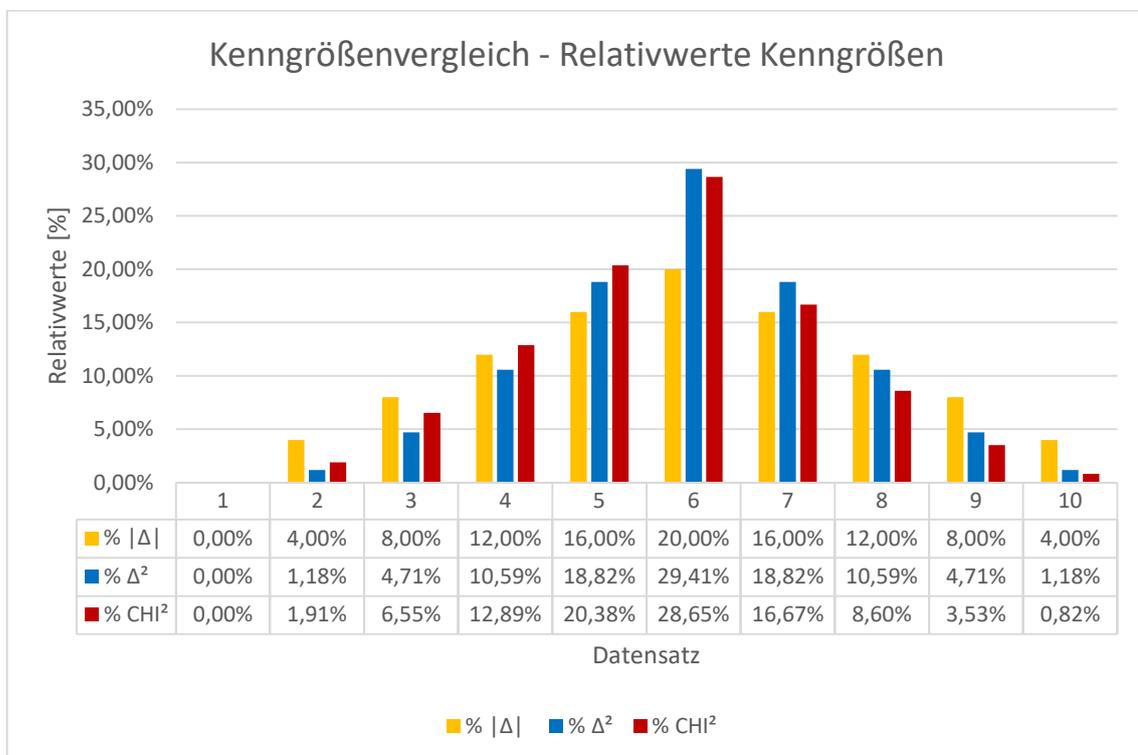


Abbildung 4: Kenngrößenvergleich - Diagramm der Relativwerte

In Tabelle 3 zu sehen sind die relativen Abweichungen der einzelnen Kenngrößen von den Messwerten bei einem großen Fehler. Die Streuung der Werte ist hier gut ersichtlich.

Tabelle 3: Kenngrößenvergleich mit einem großen Fehler

i	XMW	XSIM	\Delta	% \Delta	\Delta^2	% \Delta^2	CHI^2	% CHI^2
1	5	5	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
2	5	5	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
3	5	5	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
4	5	5	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
5	5	10	5	100,00%	25	100,00%	5	100,00%
6	5	5	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
7	5	5	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
8	5	5	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
9	5	5	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
10	5	5	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Ergebnis (Summe/Var)			5	10,00%	25	10,00%	5	10,00%

In Tabelle 4 ist der Kenngrößenvergleich dieses Beispiels bei mehreren kleinen Fehlern mit derselben Gesamtdifferenz zu sehen, wie in Tabelle 3 zu sehen.

Tabelle 4: Kenngrößenvergleich mit mehreren kleinen Fehlern

i	XMW	XSIM	\Delta	% \Delta	\Delta^2	% \Delta^2	CHI^2	% CHI^2
1	5	6	1	20,00%	1	20,00%	0,2	20,00%
2	5	6	1	20,00%	1	20,00%	0,2	20,00%
3	5	6	1	20,00%	1	20,00%	0,2	20,00%
4	5	6	1	20,00%	1	20,00%	0,2	20,00%
5	5	6	1	20,00%	1	20,00%	0,2	20,00%
6	5	5	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
7	5	5	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
8	5	5	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
9	5	5	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
10	5	5	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Ergebnis (Summe/Var)			5	1,11%	5	1,11%	1	1,11%

Durch den linearen Zusammenhang beim Betrag der Differenz werden alle Fehler unabhängig von der Größe gewichtet. Ob es viele kleine Fehler oder nur einen großen gibt, bei denen die Summe der Abweichungen gleich sind, spielt somit keine Rolle. Bei dem Quadrat der Differenz und beim Chi-Quadrat-Fehler hingegen wirken sich wenige große Fehler stärker aus als viele kleine Fehler. Es sollen jedoch die Abweichungen so gering wie möglich gehalten werden. Wenn nun einzelne große Abweichungen stärker bewertet, stattdessen aber viele kleinere Abweichungen nicht so stark, kann man mittels eines Faktors, welcher mit allen Werten eines Datensatzes multipliziert wird, die Aussagekraft dieser Daten steigern. Im umgekehrten Falle wäre die Anpassung der Daten möglich, indem die Spitzenwerte, z.B.: die oberen 2%, geändert werden.

2.2.2 Vorgehensweise

In der **Grobanpassung**, dem ersten Schritt der Sensitivitätsanalyse, werden die Eingabeparameter sowohl in positive als auch in negative Richtung stark ausgelenkt. Nach

jeder Auslenkung werden die Ergebnisse der Simulation exportiert und in einer Excel-Tabelle integriert. Dort werden zu jeder vollen Stunde die Chi-Quadrat-Fehler gebildet. Diese Fehler werden pro Datenreihe aufsummiert, um einen Wert für die gesamte Simulationsdauer zu erhalten. Die aufsummierten Fehler werden mit dem zugehörigen Parameter und der Parametergröße, welche verändert wurde, dokumentiert. Dies wird für alle in Tabelle 5 vorhandenen Parameter wiederholt. In dieser Tabelle ist in der ersten Spalte die Nummerierung nach der die Sensitivitätsanalyse erfolgt und in der zweite Spalte die ausgeschriebenen Bezeichnungen des Parameters angeführt. In der dritten Spalte sind die abgekürzten Bezeichnungen, die in der Tabelle der Sensitivitätsanalyse vorhanden sind angeführt. In der vierten und fünften Spalte sind die Bereiche in denen der Parameter verändert wird angeführt und in der sechsten Spalte wird auf die Einheit verwiesen. Die Parameter und die Einheiten wurden aus [4] entnommen.

Tabelle 5: Liste aller im Zuge der Sensitivitätsanalyse veränderten Parameter

Nr.	Parameter	Benennung laut Validierungstabelle	größte Veränderung des Parameters		Einheit
			Von	Bis	
59	PV Emissionszahl	<i>PV Emissionszahl</i>	0	1	[-]
58	PV Absorptionszahl	<i>PV Absorptionszahl</i>	0	1	[-]
57	adaptive Zeitschrittsteuerung	<i>adaptive Zeitschrittsteuerung</i>	einschalten (3, 5)		[]
56	Verschiebung der Außentemperatur um	<i>AUßENTEMP Verschiebung</i>	-10	10	[°C]
55	Verschiebung der Innentemperatur um	<i>INNENTEMP Verschiebung</i>	-10	10	[°C]
54	Gipsfaserplatte Wasserdampfdiffusionswiderstand	<i>GFP Wasserdampfdiff</i>	0,1	100000	[-]
53	Gipsfaserplatte Wärmeleitfähigkeit	<i>GFP Wärmeleitföh.</i>	0,1	10000	[W/mK]
52	Gipsfaserplatte spezifische Wärmekapazität	<i>GFP spez WK</i>	1	100000	[J/kgK]
51	Gipsfaserplatte Porosität	<i>GFP Porosität</i>	0,75	0,999	[m³/m³]
50	Gipsfaserplatte Rohdichte	<i>GFP Rohdichte</i>	1	100000	[kg/m³]
49	Luftschicht Wasserdampfdiffusionswiderstand	<i>LUFT Wasserdampfdiff</i>	0,01	100	[-]
48	Luftschicht Wärmeleitfähigkeit	<i>LUFT Wärmeleitföh</i>	0,001	100	[W/mK]
47	Luftschicht spezifische Wärmekapazität	<i>LUFT spez WK</i>	0,01	1	[J/kgK]
46	Luftschicht Porosität	<i>LUFT Porosität</i>	0,001	0,5	[m³/m³]
45	Luftschicht Rohdichte	<i>LUFT Rohdichte</i>	0,01	1000	[kg/m³]
44	innere OSB-Platte Wasserdampfdiffusionswiderstand	<i>OSB INNEN Wasserdampfdiff</i>	0,01	100000	[-]
43	innere OSB-Platte Wärmeleitfähigkeit	<i>OSB INNEN Wärmeleitf</i>	0,01	10000	[W/mK]
42	innere OSB-Platte spezifische Wärmekapazität	<i>OSB INNEN spez WK</i>	1	10000	[J/kgK]
41	innere OSB-Platte Porosität	<i>OSB INNEN Porosität</i>	0,65	1	[m³/m³]
40	innere OSB-Platte Rohdichte	<i>OSB INNEN Rohdichte</i>	5	10000	[kg/m³]
39	ISOCELL Zellulose-Dämmung Wasserdampfdiffusionswiderstand	<i>ZELL Dampfdiffwid</i>	0,01	10000	[-]
38	ISOCELL Zellulose-Dämmung Wärmeleitfähigkeit	<i>ZELL Wärmeleitf.</i>	0,01	10	[W/mK]
37	ISOCELL Zellulose-Dämmung spezifische Wärmekapazität	<i>ZELL spez WK</i>	5	100000	[J/kgK]
36	ISOCELL Zellulose-Dämmung Porosität	<i>ZELL Porosität</i>	0,65	1	[m³/m³]
35	ISOCELL Zellulose-Dämmung Rohdichte	<i>ZELL Rohdichte</i>	0,01	50000	[kg/m³]
34	äußere OSB-Platte Wärmeleitfähigkeit temperaturabhängigkeit	<i>OSB AUßEN Wärmeleitf. Temp</i>	0,00001	0,001	[W/m²K]
33	äußere OSB-Platte Wärmeleitfähigkeit feuchtigkeitsabhängigkeit	<i>OSB AUßEN Wärmeleitf. Feucht</i>	1,5	3	[%/M.-%]
32	äußere OSB-Platte Flüssigkeitstransport WL	<i>OSB AUßEN Flüssigkeitstransp WL</i>	generieren		[]
31	äußere OSB-Platte Feuchtespeicherfunktion	<i>OSB AUßEN Feuchtespeicherfkt</i>	Approximieren		[]
30	äußere OSB-Platte Wasserdampfdiffusionswiderstand	<i>OSB AUßEN Wasserdampfdiffwid</i>	0,01	10000	[-]
29	äußere OSB-Platte Wärmeleitfähigkeit	<i>OSB AUßEN Wärmeleitfähigkeit</i>	0,01	10	[W/mK]
28	äußere OSB-Platte spezifische Wärmekapazität	<i>OSB AUßEN Spez Wärmekapa</i>	100	10000	[J/kgK]
27	äußere OSB-Platte Porosität	<i>OSB AUßEN Porosität</i>	0,7	0,9	[m³/m³]
26	äußere OSB-Platte Rohdichte	<i>OSB AUßEN ROHDICHTE</i>	5	3500	[kg/m³]
25	Luftinfiltrationsmodell IBP Höhe der Luftsäule	<i>FQ LDKlasse A Luftsäule</i>	0,5	99	[m]
24	Luftinfiltrationsmodell IBP Luftschichtdichtigkeitsklasse	<i>FQ Luftdichtigkeitsklasse</i>	C	A	[]
23	Anfangswassergehalt der Gipsfaserplatte	<i>Gipsfaserplatte</i>	0	500	[kg/m³]
22	Anfangswassergehalt der 25mm starken Luftschichtschicht	<i>Luftschicht 25mm</i>	0	5	[kg/m³]
21	Anfangswassergehalt der inneren OSB-Platte	<i>OSB Innen</i>	0	60	[kg/m³]
20	Anfangswassergehalt der ISOCELL Zellulose-Dämmung	<i>ISOCELL ZELL</i>	0	10	[kg/m³]
19	Anfangswassergehalt der äußeren OSB-Platte	<i>OSB Außen</i>	0	500	[kg/m³]
18	konstante Bauteilfeuchte	<i>Bauteilfeuchte konstant</i>	0	0,9	[-]
17	Höhe/Schlagregenkoeffizient R2	<i>R2</i>	0	1	[s/m]
16	Höhe/Schlagregenkoeffizient R1	<i>R1</i>	0	1	[-]
15	Neigung	<i>Neigung</i>	0	5	[°]
14	Orientierung	<i>Orientierung</i>	Süd	Nord	[]
13	Anfangstemperatur	<i>Anfangstemperatur</i>	-20	20	[°C]
12	Bewölkungsgrad	<i>Bewölkungsgrad</i>	0	1	[-]
11	terrestrischer langwelliger Reflexionsgrad	<i>expl SB; terr lw Reflgrad</i>	0	0,1	[-]
10	terrestrischer langwelliger Emmisionsgrad	<i>expl SB; terr lw Emmgrad</i>	0	1	[-]
9	innerer sd-Wert	<i>sd-Wert Innen</i>	0,5	10000	[m]
8	terrestrischer kurzwelliger Reflexionsgrad	<i>terr kw RG</i>	0	1	[-]
7	langwellige Strahlungsabsorptionszahl	<i>lw SAZ</i>	0	1	[-]
6	kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl	<i>kw SAZ</i>	0	1	[-]
5	innerer Wärmeübergangskoeffizient	<i>WÜK Innen</i>	1	5000	[-]
4	äußerer sd-Wert	<i>sd-Wert Außen</i>	1	10000	[m]
3	Wärmeübergangskoeffizient und langwellige Strahlungsanteile	<i>WÜK und langw. Strahl</i>	0;0	500;100	[W/m²K]
2	langwellige Strahlungsanteile	<i>langwellige Strahlungsanteile</i>	0	19	[W/m²K]
1	Wärmeübergangskoeffizient	<i>Wärmeübergangskoeff (WÜK)</i>	100	500	[W/m²K]

Im zweiten Schritt, der **Feinanpassung**, werden die Parameter, deren Chi-Quadrat-Fehler verbessert werden kann, betrachtet. Diese Parameter werden nun im kleineren Ausmaß ausgelenkt, um die Höhe des Parameters zu finden, in der die Annäherung an die Messwerte am größten ist.

Im dritten Schritt, der **Überlagerung**, werden die einzelnen Parameter gleichzeitig betrachtet. Zunächst wird der Parameter gewählt, welcher die größte Verbesserung der Chi-Quadrat-Fehler aller Messreihen auslöst. Dann wird der Parameter mit der zweitgrößten Verbesserung hinzugefügt. Nach jedem hinzugefügten Parameter wird simuliert und dokumentiert. Diese Vorgehensweise soll ermöglichen, die größte Annäherung an die Messwerte schnell zu erreichen. Allerdings kann es durch ein nicht vorhersehbares Zusammenspiel der Parameter zu einer größeren Abweichung, also einer Verschlechterung, der Messwerte kommen. Parameter, bei denen dies der Fall ist, werden von der Überlagerung ausgenommen.

Die Sensitivitätsanalyse wird als abgeschlossen angesehen, wenn eine ausreichend genaue Annäherung erfolgt ist. Dies wird einerseits durch die Chi-Quadrat-Fehler der einzelnen Messreihen erreicht und andererseits durch die grafische Darstellung des Verlaufs der Messwerte und der Simulationsergebnisse jeder Messreihe. Die grafische Darstellung (Abbildung 5) ist nötig, da manche Parameter zwar die Fehler verringern, aber den Verlauf so verzerren, dass die Ergebnisse an Aussagekraft verlieren.

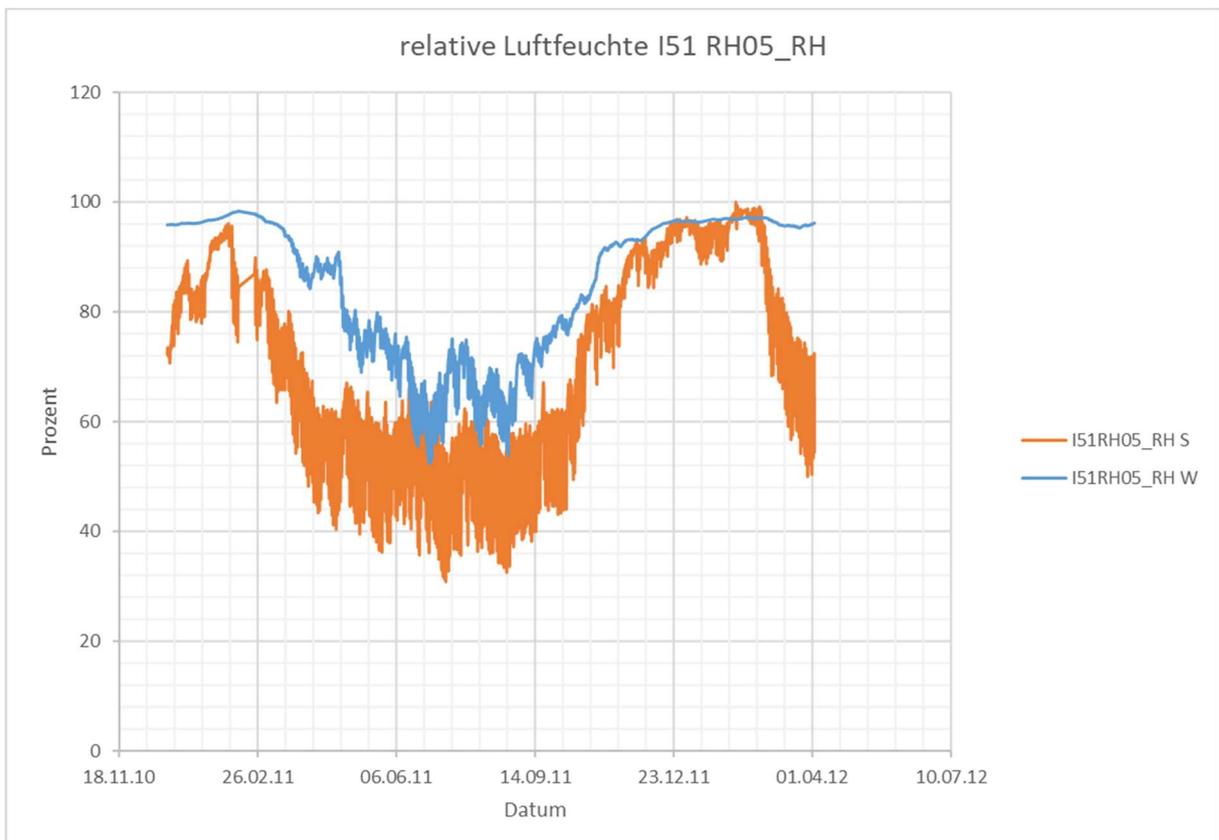


Abbildung 5: grafischer Vergleich der Werte des Sensors RH05_RH mit den der Simulation

2.3 Erste Sensitivitätsanalyse für den Aufbau I51 (CHI²-Fehler)

Die erste Methode der Sensitivitätsanalyse mit WUFI wurde mit Hilfe der Tabelle im Anhang 7.2.1.1 und 7.2.1.2 durchgeführt.

Bei den, in den folgenden Kapiteln aufgeführten, Kalibrierungen werden folgende Sensoren (Abbildung 6) betrachtet. Die folgenden Sensoren werden für die Simulationen der verschatteten Bereiche untersucht:

- RH05 T und RH
- RH25 T und RH
- MC81 und
- TR02

Beobachtet, welche mit den entsprechenden, aus den Simulationen entstandenen Werten verglichen und Kennwerte gebildet werden. Die folgenden Sensoren werden für die Simulationen der unverschatteten Bereiche untersucht:

- RH03 T und RH
- RH04 T und RH
- RH23 T und RH
- RH24 T und RH
- TR01
- I51T
- I51RH T und RH

Für die unverschattete Simulation sind somit 11 Datensätze vorhanden, während für die verschattete 6 Datensätze vorhanden sind, also zusammen 17. Die, in Abbildung 6 enthaltenen Sensoren, sind farblich gekennzeichnet, wobei die roten Sensoren die Temperatur aufzeichnen, die blauen den Gesamtwassergehalt und die grünen zeichnen die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit. Die Abmessungen eines Feldes betragen Schätzungsweise ca. 4,50 m Länge und 1,50 m Breite.

Element I51

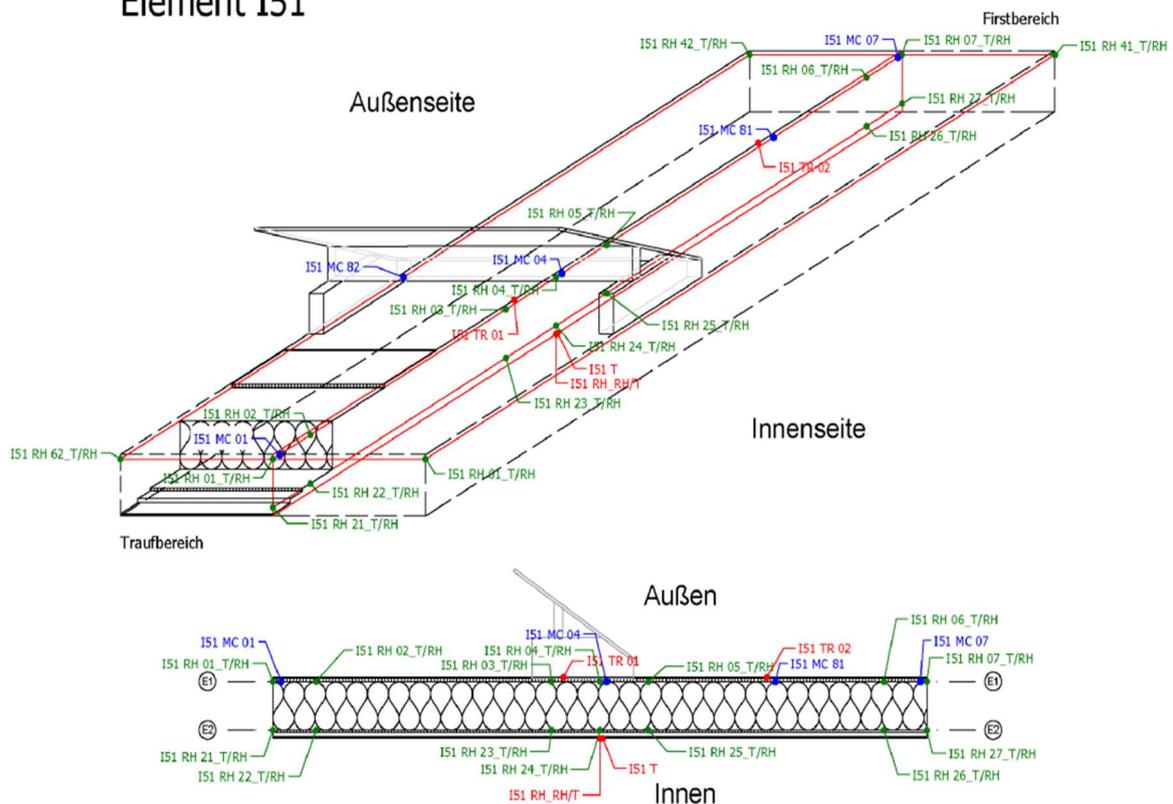


Abbildung 6: Bauteil I51 Sensorpositionen in der Konstruktion[1]

2.3.1 Technische Daten des Aufbaus in WUFI

Für die Kalibrierung ist es wichtig, dass die Eingabe-Parameter der Konstruktion stimmen. Die Materialien, die für die Konstruktion verwendet werden, stammen aus der in WUFI integrierten Material Bibliothek. Der Aufbau ist als Grafik in Abbildung 7 und in Tabellenform in Abbildung 8 zu sehen. Das Trennvlies und die TPO Flachdachfolie sind in diesen Abbildungen nicht zu sehen, da sie als sd-Wert und als kurz- und langwellige Strahlungsabsorption in den Optionen der Oberflächenübergangskoeffizienten integriert werden. Die weiteren Einstellungen, die nötig sind, um die Simulation korrekt durchzuführen bis auf das, werden aus [2] entnommen und werden in Tabelle 6, Tabelle 7 und Tabelle 8 dargestellt. In Tabelle 6 werden die Randbedingungen in Bezug auf die Orientierung, Neigung und Höhe, die Anfangsbedingungen und die Steuerung der Simulation dargestellt. In Tabelle 7 wird auf die Eingangswerte der Materialkenngrößen eingegangen und in Tabelle 8 wird vorwiegend auf die Oberflächenübergangskoeffizienten der Außen- und Innenoberfläche eingegangen.

Tabelle 6: Parametertabelle 1 des Ausgangszustandes der WUFI Simulationen

Parametertabelle 1		Parameter	Einheit	Wert	Anmerkung
Orientierung, Neigung und Höhe		Orientierung		Nord	
		Neigung		0	
		Regenbelastung		Deaktiviert	
Anfangsbedingungen		Anfangsfeuchte in den			
		Anfangs- temperatur im Bauteil konstant [°C]		20	
Steuerung	Rechendauer/ Profile	Start	[dd.mm.yyyy]	01.10.2020	
		Ende	[dd.mm.yyyy]	01.10.2024	
		Rechenschritt	[h]	1	
	Numerik	Berechnungsart		Alle Aktiviert	
		hygrothermische Sondereinstellungen		Alle Deaktiviert	
		Numerische Parameter		Alle Aktiviert	
		adaptive Zeitschrittsteuerung		Deaktiviert	
		Geometrie		Kartesisch	

Tabelle 7: Tabelle der Material-Eingangsgrößen

Name		Materialtabelle			
		OSB-Platte	Luftschicht 25 mm (horizontal)	Zellulose Einblas- dämmung	Gipsfaser- platte
Schichtdicke	[m]	0,022	0,025	0,3	0,0125
Rohdichte	[kg/m ³]	615	1,9	50	1153
Porosität	[m ³ /m ³]	0,9	0,999	0,95	0,52
Wärme- kapazität	[J/kgK]	1400	1000	2110	1200
Wärmeleit- fähigkeit	[W/mK]	0,13	0,155	0,037	0,32
μ	[-]	175	0,51	1,8	16
typische Baufeuchte	[kg/m ³]	92	0,01	5	15,8
Anfangs- wassergehalt	[kg/m ³]				
hygro- thermische Funktionen	[]	Materialstandard laut Wufi			

Tabelle 8: Parametertabelle 2 des Ausgangszustandes der WUFI Simulationen

Parametertabelle 2					
		Parameter	Einheit	Wert	Anmerkung
Oberflächen- übergangs- koeffizienten	Außenoberfläche	Wärme- übergangskoeff.	[W/m ² K]	19	Dach
		beinhaltet langwellige Strahlungs- anteile	[W/m ² K]	6,5	Dach
		Wind-abhängig		Deaktiviert	
		sd-Wert	[m]	300	Abdichtung
		kurzwellige Strahlungs- absorptions-zahl	[]	0,6	grauer Farbton der Abdichtung
		langwellige Strahlungs- absorptions-zahl	[]	0,9	grauer Farbton der Abdichtung
		Abminderungs- faktoren wegen der Verschattung			
		auf Absorptionszahl	[]	1	keine Verschattung
		auf Emissionszahl	[]	1	keine Verschattung
		explizite Strahlungsbilanz		Aktiviert	
		<i>Terrestrischer langwelliger Emissions-grad</i>	[]	0,9	
		<i>Terrestrischer langwelliger Reflexions-grad</i>	[]	0,1	
		<i>Bewölkungs- grad</i>	[]	0,66	
		Terrestr. kurzwelliger	[]	0,2	
		Anhaftender Teil des Regens	[]	-	keine Regenwasser absorption
	Innenoberfläche	Wärme- übergangs- koeffizient	[W/m ² K]	8	Dach
		sd-Wert	[m]	-	keine Beschichtung

Die Schichten in Abbildung 7 sind von links nach rechts (von außen nach innen) geordnet dargestellt und werden in Abbildung 8 tabellarisch abgebildet. Die Kameras in dieser Abbildung zeigen Punkte, an denen Ausgabedaten der Temperatur und der relativen Luftfeuchte erfolgen. Dies kann im Bauteil erfolgen oder auch an den Oberflächen der Außen- und Innenseite.



Abbildung 7: Grafik des Aufbaus I51 in WUFI

Aufbau		
Nr.	Schicht/Material (von außen nach innen)	Dicke [m]
1	OSB-Platte (Dichte: 615 kg/m ³) - entriegelt	0,022
2	ISOCELL Zellulosedämmstoff - entriegelt	0,3
3	OSB-Platte (Dichte: 615 kg/m ³) - entriegelt	0,015
4	Luftschicht 25 mm - entriegelt	0,025
5	FERMACELL Gipsfaser-Platte - entriegelt	0,0125

Abbildung 8: Tabellarische Ansicht des Aufbaus I51

Bei dieser Simulation werden keine Klimamodelle verwendet, sondern es wird das Außenklima (Abbildung 9) von der Wetterstation vor Ort und das Innenklima (Abbildung 10) aus den Sensoren des Raumes verwendet. Die fehlerhaften Werte des Außenklimas werden entfernt. In den folgenden Abbildungen (Abbildung 9 und Abbildung 10) ist im obersten Diagramm der Verlauf der Temperatur und im mittleren der Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit zu sehen. Das unterste Diagramm beinhaltet bei Abbildung 9 die Globalstrahlung und bei Abbildung 10 das Histogramm der Temperatur. Diese Klimadaten haben eine Laufzeit von vier Jahren. Bei der Globalstrahlung ist eine Sinuswelle erkennbar, welche Spitzenwerte bei knapp unter 1200 W/m² haben und Tiefstwerte die bei knapp über 200 W/m² liegen.

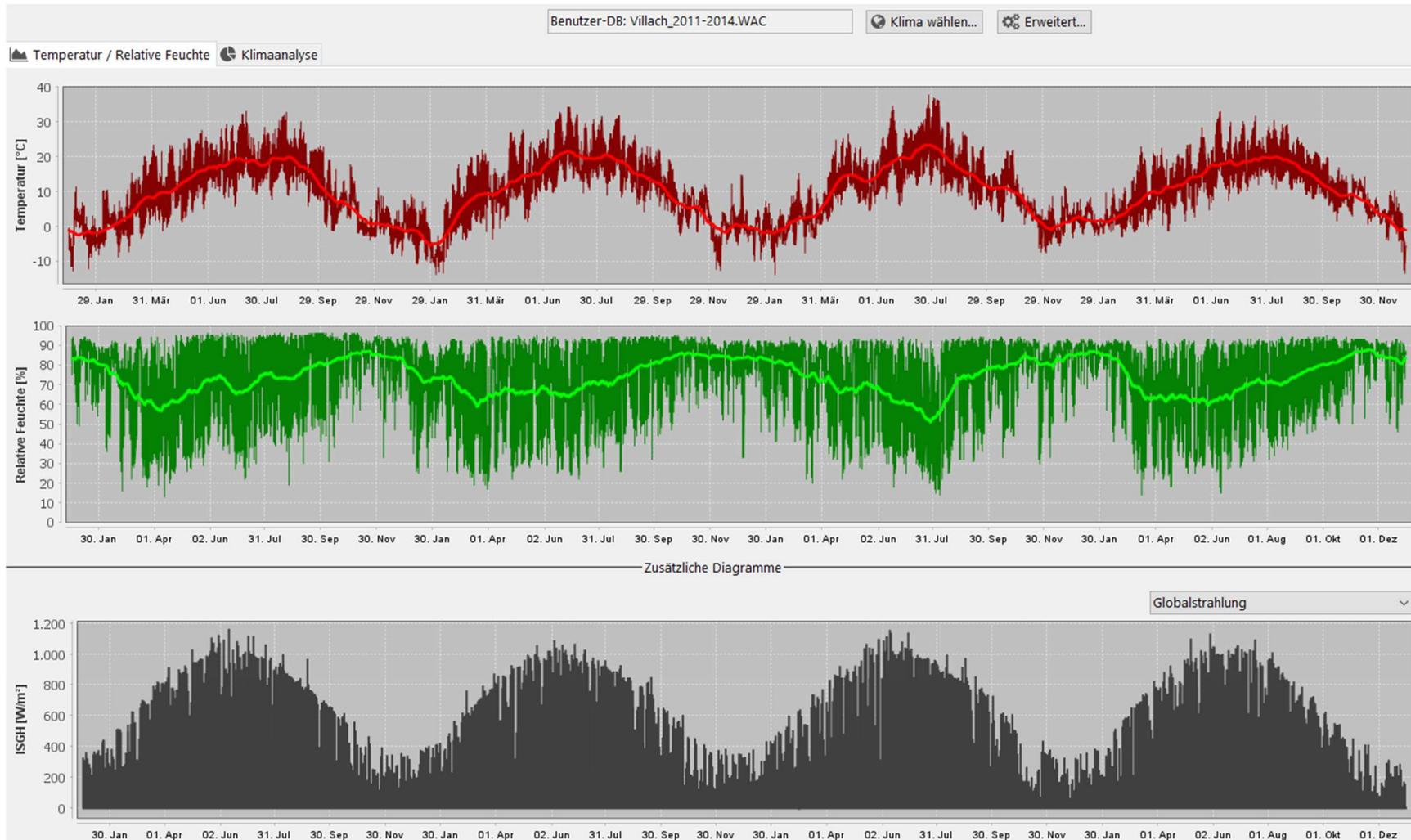


Abbildung 9: Außenklimadaten Villach 2011 bis 2014 aus WUFI

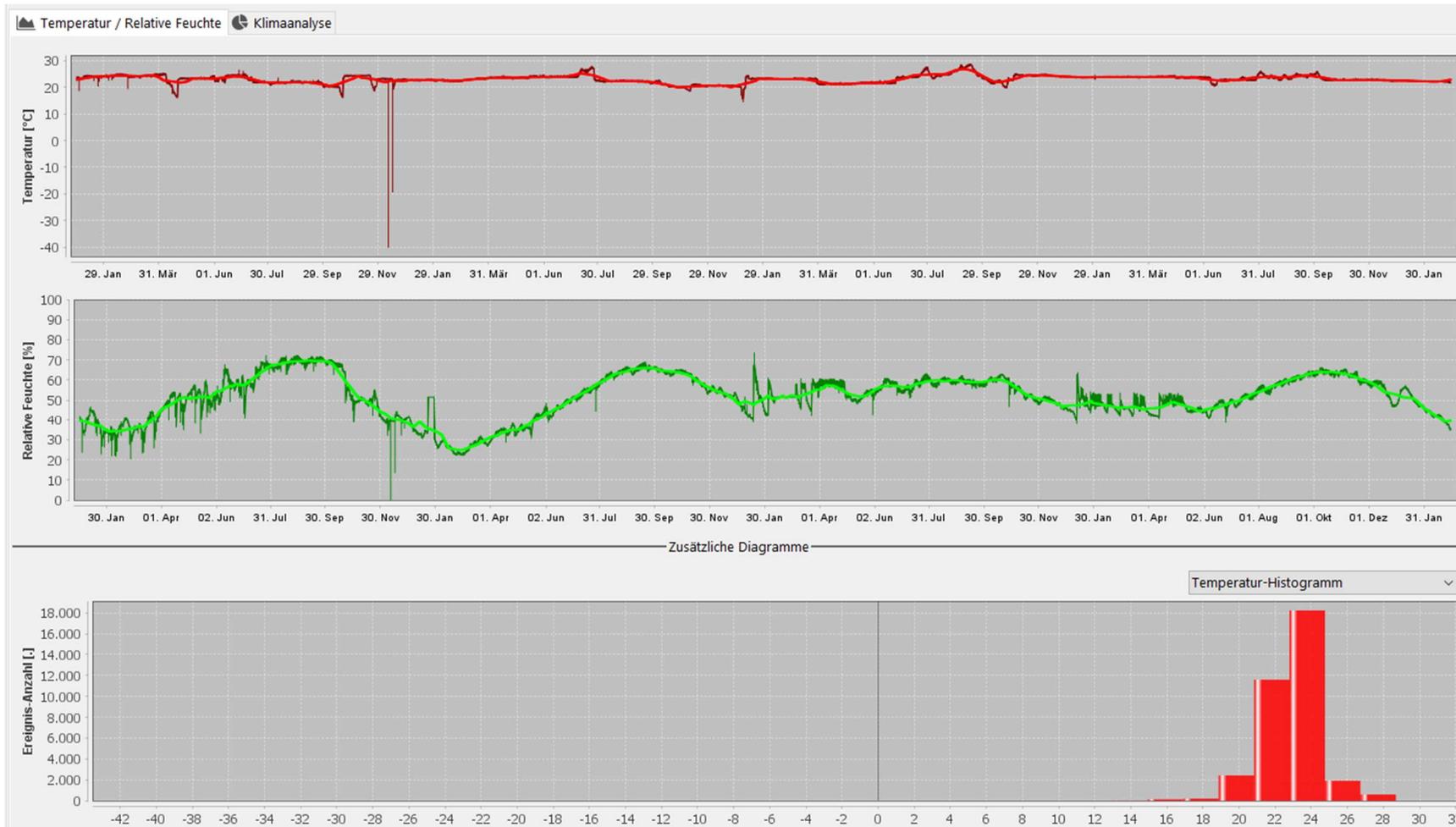


Abbildung 10: Innenklimadaten gemessen im Gebäude aus WUFI

In Abbildung 11: Diffuse Solarstrahlung des Außenklimas ist die diffuse Solarstrahlung erkennbar, welche ebenfalls eine Sinuswelle beschreibt. Bei dieser sind jedoch einige deutliche Ausreißer erkennbar die bei über 500 W/m² liegen. Der Höchstwert ohne Ausreißer liegt bei 450 W/m² und der Tiefstwert bei ca. 150 W/m².

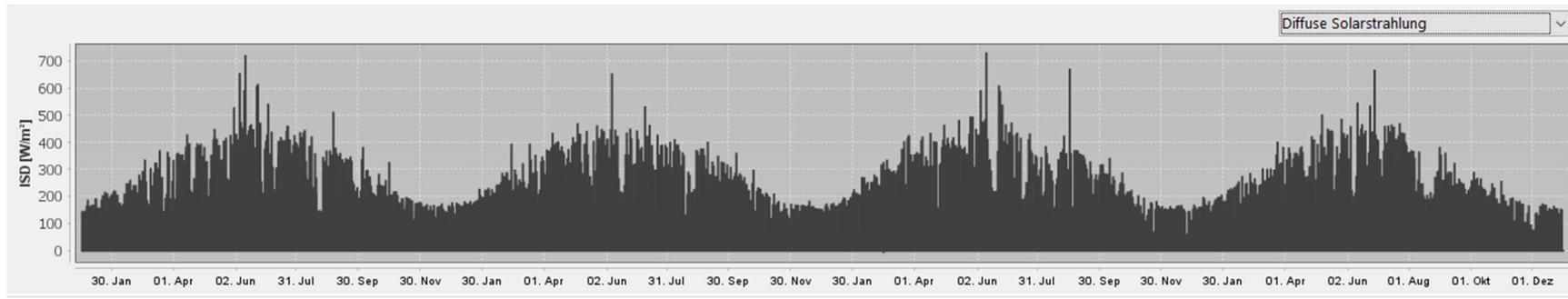


Abbildung 11: Diffuse Solarstrahlung des Außenklimas in WUFI

Außerdem ist noch der Normalregen, also der Regen welcher auf einer horizontalen Fläche gesammelt wurde, in der Außenklimadatei für WUFI berücksichtigt. In dieser sind Werte bis zu 30 l/m² vorhanden.

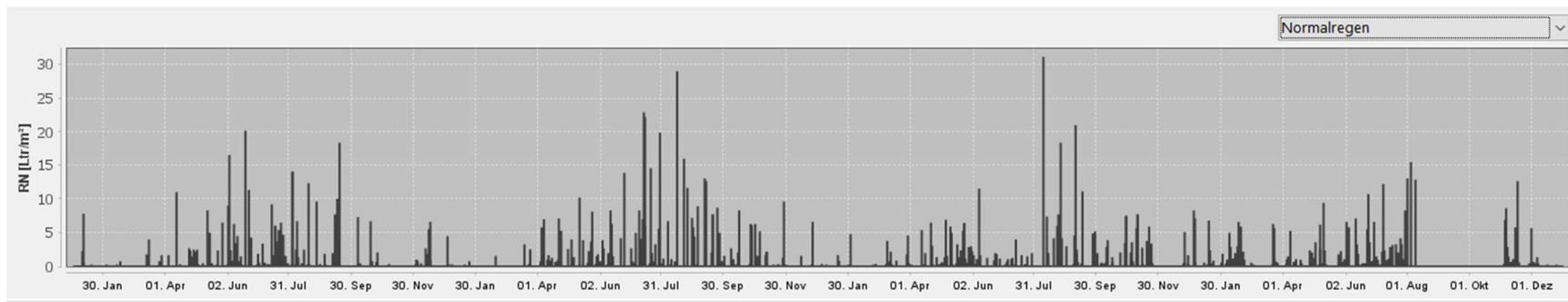


Abbildung 12: Normalregen des Außenklimas in WUFI

2.3.2 Grobanpassung 1

Im ersten Schritt werden die Ergebnisse des Ausgangszustandes der WUFI Simulation des zu betrachtenden Aufbaus exportiert. Diese Werte stellen die Startwerte dar. Ob es zu einer Verbesserung oder Verschlechterung kommt, wird durch einen Faktor dargestellt, der sich auf die Startwerte bezieht. Der Veränderungs-Faktor (VF) 1,0 zeigt an, dass es zu keiner Veränderung des Fehlers, in diesem Fall der CHI²-Fehler, kommt. Dieser VF wird für jeden Sensor und jede Simulation erzeugt. Zusätzlich wird ein Gesamtveränderungsfaktor (GF) durch Multiplikation aller VFs erzeugt. Dieser zeigt die Tendenz der gesamten Simulation an und zwar, ob es zu einer Annäherung der Simulationswerte an die Messwerte kommt. Der GF ist stark abhängig von der gewählten statistischen Kenngröße (siehe Kapitel Wahl der statistischen Kenngröße).

Mit dem Startwert, also der Kennwert (z.B.: Delta²-Fehler) der pro Sensor aus den Ergebnissen des Ausgangszustandes entstanden ist, werden zusätzlich verschiedene Schwellenwerte erzeugt, siehe Tabelle 9. Diese werden herangezogen, um die Veränderung der statistischen Kenngröße farblich abzubilden, um die Veränderungen ersichtlicher zu machen. Je nach Veränderung des Wertes verändert sich die Farbe. Wenn der Wert zwischen 0 und 25 % liegt wird die Zelle weiß gefärbt und wenn der Wert über 100 % liegt wird die Zelle rot gefärbt.

Tabelle 9: Skala der Schwellenwerte

Delta ² -Fehler	100,00%	75,00%	50,00%	25,00%	0,00%	-25,00%	-50,00%	-75,00%	-100,00%
I51_RH05_RH	2 980 596,57	2 235 447,43	1 490 298,28	745 149,14	0,00	-745 149,14	-1 490 298,28	-2 235 447,43	-2 980 596,57
I51_RH05_T	696 053,39	522 040,05	348 026,70	174 013,35	0,00	-174 013,35	-348 026,70	-522 040,05	-696 053,39
I51_RH25_RH	1 141 462,85	856 097,14	570 731,42	285 365,71	0,00	-285 365,71	-570 731,42	-856 097,14	-1 141 462,85
I51_RH25_T	92 393,95	69 295,46	46 196,97	23 098,49	0,00	-23 098,49	-46 196,97	-69 295,46	-92 393,95
I51_MC_81	26 639 662,67	19 979 747,01	13 319 831,34	6 659 915,67	0,00	-6 659 915,67	-13 319 831,34	-19 979 747,01	-26 639 662,67
I51_TR_02	912 434,83	684 326,12	456 217,42	228 108,71	0,00	-228 108,71	-456 217,42	-684 326,12	-912 434,83

Bei der Grobanpassung der Kalibrierung wird damit begonnen, einzelne Parameter im Verhältnis zum Startwert zuerst stark in positive Richtung und danach in negative Richtung auszulernen. Die Ergebnisse der Simulation werden auf Konvergenzfehler geprüft. Die Konvergenzfehler liefern eine Aussage über die Schwierigkeit bzw. die Dauer der Gleichungslösung, wobei gilt: je größer desto schwieriger bzw. länger dauert die Berechnung. Die Bilanzen des Wasserinhaltes und des Feuchteflusses geben ebenfalls Auskunft über die Gleichungslösung: je größer der Unterschied desto schwieriger wurde die Gleichung gelöst. Wenn die Bilanzen und die Konvergenzfehler in einem Rahmen sind, der die Aussage der Simulation nicht in Frage stellt, werden die Ergebnisse exportiert und in Excel betrachtet. Bei den Bilanzen wird es kritisch, wenn diese nicht übereinstimmen, wobei der Grundsatz gilt, dass es mit zunehmender Differenz das Vertrauen in die Rechenergebnisse sinkt. Dies hängt jedoch wieder vom Gesamtwassergehalt ab. Wenn der Gesamtwassergehalt im Vergleich mit den Bilanzen bzw. deren Unterschied sehr gering sind, dann können die Rechenergebnisse als plausibel angesehen werden. Bei den Konvergenzfehlern ist es ähnlich, denn je höher sie sind, desto weniger kann man den Rechenergebnissen vertrauen.

Als erstes werden die Oberflächenübergangskoeffizienten betrachtet und dann wird der Reihenfolge nach, wie in Tabelle 5 abgebildet, vorgegangen. Bei den Parametern wird

darauf geachtet, ob es zu einer und welche Größenordnung die Veränderung des Fehlers des Sensors kommt. Wenn es zu signifikanten Veränderungen der Fehler, also größer als z.B.: $\pm 1\%$ kommt, dann werden diese Werte näher betrachtet.

2.3.3 Feinanpassung 1

Bei der Feinanpassung werden die Parameter, welche die Kalibrierung positiv beeinflussen betrachtet. Diese Parameter werden so lange verändert bis sich eine optimale Reduzierung der Fehler einstellen kann. Die optimale Reduzierung wird als größte Verbesserung des Gesamtveränderungsfaktor, ohne gleichzeitiges, zu großes, Verschlechtern eines einzelnen Parameters angesehen.

2.3.4 Überlagerung der Parameter 1

Bei der Überlagerung oder auch Kombination werden dann die in der Feinanpassung betrachteten Werte stufenweise überlagert. Begonnen wird bei dem Parameter, der die größte Verbesserung zeigt. Danach wird der Parameter mit der nächstgrößten Verbesserung betrachtet und bis sämtliche Parameter abgehandelt wurden. Am Ende dieser Überlagerung wurde eine Verbesserung um 50% erreicht. Bei dem Vergleich der gemessenen mit den simulierten Verläufen fällt allerdings auf, dass die Verläufe, vor allem der relativen Luftfeuchtigkeitssensoren, nach der Überlagerung eine deutlich schlechtere Übereinstimmung aufweisen (siehe Abbildung 13 und Abbildung 14) als zuvor. Durch den CHI^2 -Fehler kann es außerdem zu einer Verfälschung dieses Fehlers bei dem Temperaturdurchgang kommen. Der Zähler in Formel 2 ist durch das Quadrat immer positiv, wenn nun der Zähler jedoch negativ ist, bekommt die Kenngröße ein negatives Vorzeichen. Dieser negative Fehler würde den gesamten Fehler, wenn dieser vorwiegend im positiven Bereich liegt reduzieren. Der Gesamtfehler wird geringer und könnte theoretisch sogar 0 werden, obwohl sich die Kurven nicht stärker annähern. Einfach dadurch, dass ein Teil des Fehlers negativ ist und ein anderer Teil positiv ist. Aus diesem Grund wird der Kennwert für die nächste Sensitivitätsanalyse geändert, um diese Möglichkeit zu vermeiden.

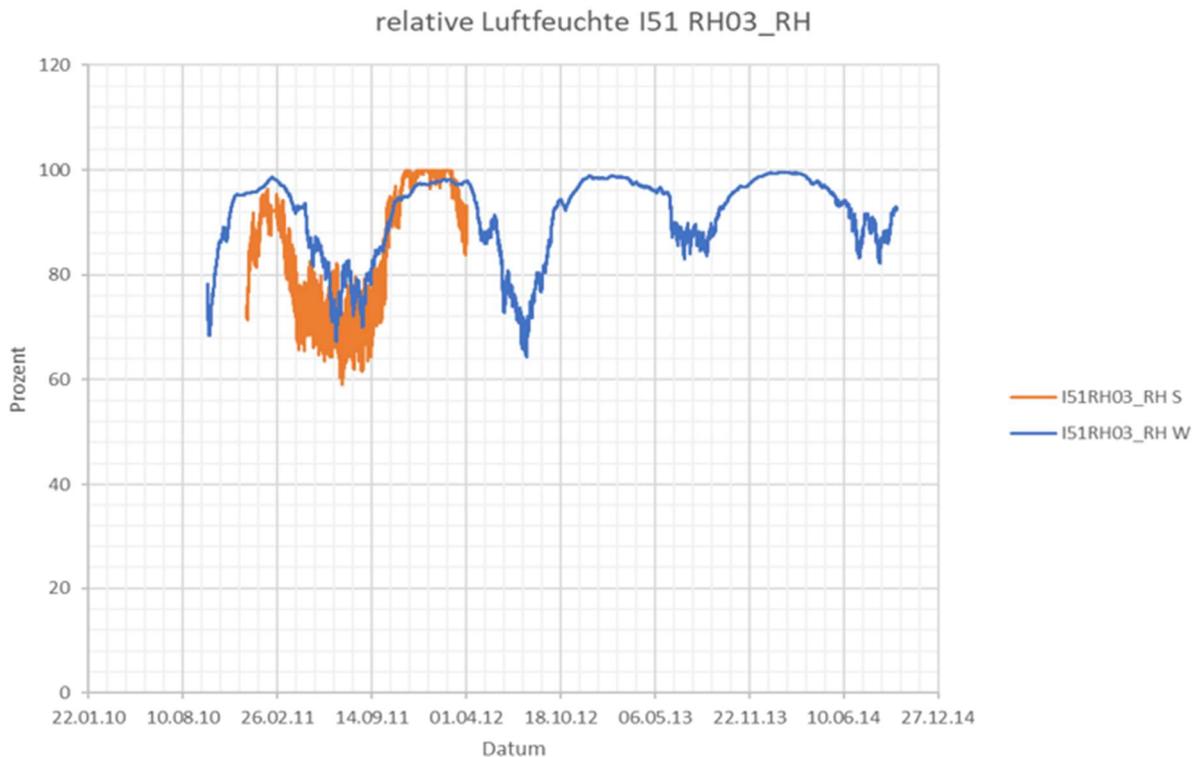


Abbildung 13: Verlauf des Sensors RH03_RH vor Kalibrierung

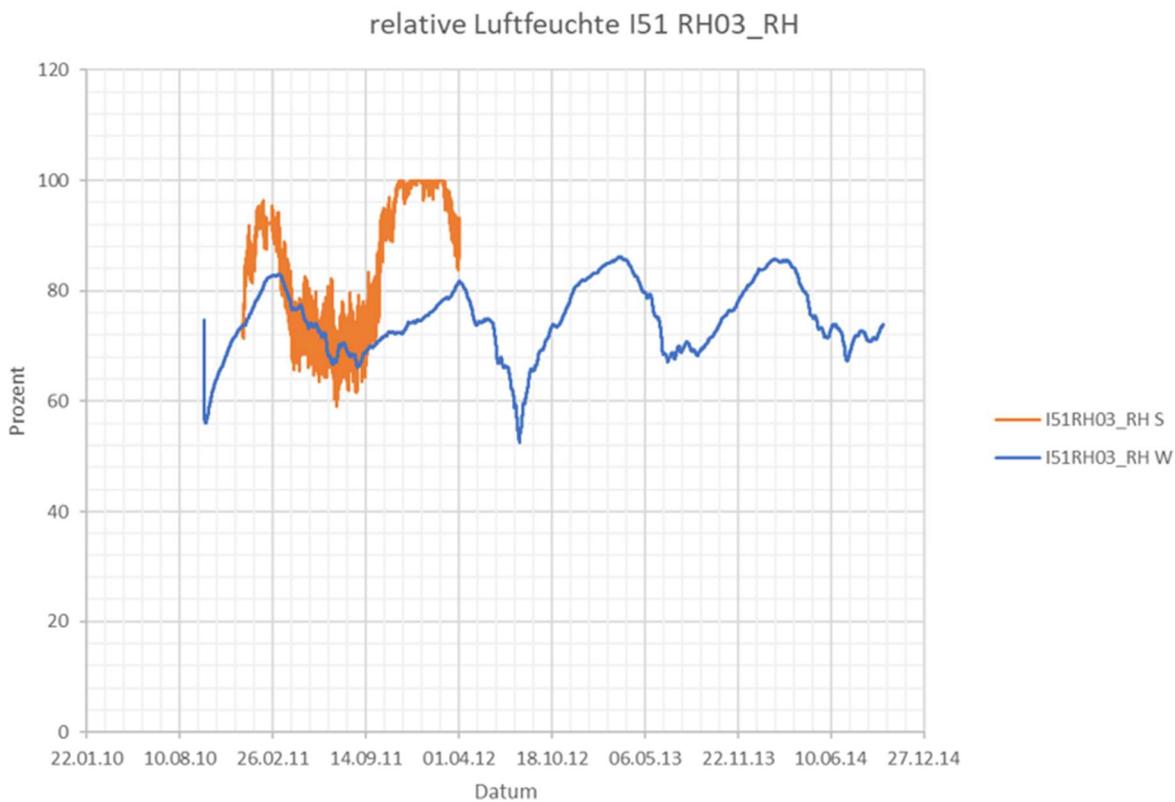


Abbildung 14: Verlauf des Sensors RH03_RH nach der Kalibrierung

Die Kalibrierung wird, nachdem diese Erkenntnisse festgestellt wurden, abgebrochen.

2.4 Zweite Sensitivitätsanalyse für den Aufbau I51 (Delta²-Fehler)

Bei dieser Kalibrierung wird als Indikator für die Annäherung der zwei Datensätze der Delta²-Fehler herangezogen. Diese Veränderung sollte die kumulierten Verläufe besser an die Verläufe der Messdaten anpassen. Die weitere Vorgehensweise bleibt vorwiegend dieselbe, jedoch werden nun zusätzlich die Verläufe laufend kontrolliert und fließen in die Bewertung, zwar nur qualitativ also ohne numerisches Ergebnis, mit ein. Das bedeutet, dass auf die Ähnlichkeit der Form der Kurve geachtet wurde, da eine Formähnlichkeit auf eine hohe Korrelation zwischen den beiden Kurven deuten würde.

Die Grobanpassung, Feinanpassung und die Überlagerung dieser Kalibrierung erfolgten wieder nach den gleichen Prinzipien. Diese wurde erneut durchgeführt, da aufgrund der großen Datenmengen nur die kumulierten Fehlerwerte pro Sensor der letzten Kalibrierung gespeichert werden konnten, weshalb jede Simulation erneut durchgeführt werden musste. Sie können 7.2.2.1 7.2.2.2 entnommen werden. Die Problematik, welche durch Abbildung 13 und Abbildung 14 schon erläutert wurde, trat erneut ein und somit wurde der Kalibrierungsversuch beendet.

2.5 Ergebnisse

Die zwei Versuche der Kalibrierung haben einige Problematiken der Maßnahmen der hier angeführten Vorgehensweise aufgezeigt. Die Verwendung von WUFI wurde vom Auftraggeber als Voraussetzung für die Durchführung dieser Arbeit angegeben, da diese das Programm ist mit dem Sie arbeiten und dadurch ein leichter Datenaustausch mit Ihnen ermöglicht werden kann. Außerdem können Aussagen über die Anpassung der Simulation direkt übernommen werden.

Das erste und sehr bedeutende Problem ist, dass zu viele Sensoren gleichzeitig betrachtet wurden. Die Kalibrierung konnte dadurch nicht erfolgreich durchgeführt werden. Die Vorgehensweise, dass so viele Sensoren betrachtet wurden, war Produkt des Wunsches einerseits so rasch wie möglich eine Übereinstimmung zwischen Simulation und Messung zu erhalten und andererseits die in Kapitel 1.2 beschriebenen Ziele in der Zeit einer Masterarbeit abzuwickeln. Ein weiterer Punkt ist, dass es zu keiner Aussage über das Schadenspotentials der PV-Anlage allein kommen kann, wenn die Kalibrierung erfolgreich wäre. Diese Aussagen könnten nur dann getroffen werden, wenn mehrere Simulationen (einmal verschattet und unverschattet) pro Sensorposition durchgeführt werden. Konkret bedeutet dies, dass es für dieses Bauteil sieben mögliche Positionen gibt, an denen es sinnvoll wäre, eine Simulation durchzuführen. Wenn man den Einfluss aus der PV-Anlage untersuchen möchte, sind die Positionen 3, 4 und 5 (siehe Abbildung 56) zu betrachten, da diese in der unmittelbaren Umgebung der PV-Anlage sind und jeweils 2 Simulationen (einmal verschattet und einmal unverschattet) durchzuführen, also in Summe sechs. Die Positionen 1 und 2 können Aussagen über den Anschluss der Wand an die Decke liefern und die Positionen 6 und 7 über die Auswirkung der Attika und den unterschiedlichen Aufbauten. Diese könnten dann kalibriert werden, um längerfristige Aussagen treffen zu können. Um dies bei den fünf Aufbauten durchzuführen und im Weiteren diese miteinander zu vergleichen, wären 30 Simulationen nötig. Der Aufwand einer solchen Kalibrierung beträgt hier ca. 40h reine Simulationszeit. In Summe wären somit 1200 Stunden für die Kalibrierung notwendig. Mögliche Positionen der durchzuführenden Simulationen des Aufbaus I51 können Abbildung 15 entnommen werden.

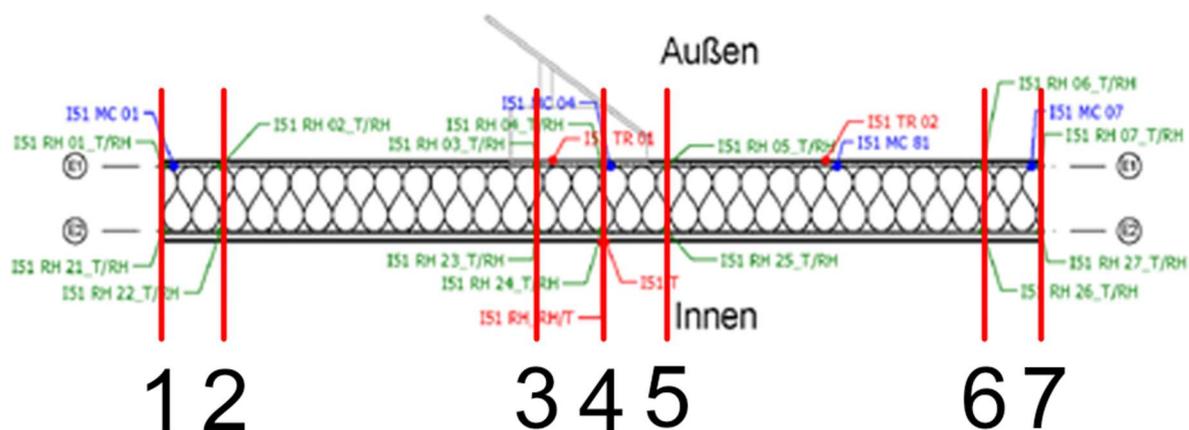


Abbildung 15: mögliche Anzahl an Simulationen des Aufbaus I51

Eine weitere mögliche Verbesserung wäre, nicht nur die Fehler zu betrachten, sondern auch die Korrelation der beiden Datensätze im Auge zu behalten. Die Korrelation ist wichtig, da durch diese der Einfluss der Kurvenform beobachtet werden würde. Die Korrelation stellt die wechselseitige Beziehung zwischen den Kurven da, während der Fehler nur den

Unterschied zweier Punkte darstellt. Der Fehler allein zeigt zwar die numerische Ähnlichkeit der Summe der Punkte, jedoch sind diese, wenn die Form (Basis) der Kurve (z.B.: quadratisch, linear, etc.) sich nicht ähnelt, von untergeordneter Bedeutung. Dies ergibt sich dadurch, dass die Funktionen auf denen sich die Kurven beziehen, bei einem Formunterschied, von Grund auf unterschiedlich sind.

Die genaue Analyse der vorhandenen Datensätze sollte ebenfalls eine weitere Hilfestellung für die Kalibrierung bieten. Denn wenn hier Daten betrachtet werden, obwohl sie fehlerhaft, unvollständig oder kaputt sind, wirkt sich das stark auf das Ergebnis der Kalibrierung aus. Aus diesen Gründen wurde nun ein anderer Weg eingeschlagen. Zuerst wurde eine sorgfältige Analyse der Sensoren in einem Aufbau durchgeführt. Diese Analyse soll genau zeigen, welche Daten bei der Kalibrierung sinnvoll sind, welche ergänzt oder verbessert werden sollten. Nach dieser Analyse soll es nicht zu einer manuellen Kalibrierung kommen, sondern zu einer automatisierten. Dadurch kann der zeitliche Aufwand erheblich reduziert werden. Dieser Weg ist mit WUFI leider nicht bestreitbar, da der Quellcode nicht einsehbar ist und somit keine Automatisierung programmiert werden kann.

2.6 Zusammenfassung

Hier wird folgend eine kurze Zusammenfassung der Erkenntnisse dieses Kapitels angeführt. Wenn diese Angaben an Ausführlichkeit nicht ausreichend sind, dann können nähere Angaben den einzelnen Unterkapiteln entnommen werden.

Ein entscheidender Punkt der manuellen Sensitivitätsanalyse ist die Wahl der statistischen Kenngrößen. Zuerst wurde hier nur eine Kenngröße, nämlich der Fehler (Chi²-Fehler und Delta²-Fehler), betrachtet. Dies führte zu Problemen, da sich diese durch die Sensitivitätsanalyse zwar verringerten, jedoch lagen die Werte der Simulation zunehmend unter denen der Messwerte. Dieser Effekt kann durch das Einführen einer zweiten Kennzahl, dem Korrelationskoeffizienten, verringert werden. Dennoch bestand nun das Problem darin, diese beiden Kennzahlen für mehrere Sensoren zu betrachten.

Ein zweiter Punkt ist die Auswahl der zu betrachteten Sensoren pro Sensitivitätsanalyse. Denn eine ganzheitliche Betrachtung aller Sensoren in einer Sensitivitätsanalyse hat sich als nicht sinnvoll erwiesen, da die Simulation nur eindimensional berechnet. Aus diesem Grund ist es sinnvoll und möglich, pro Bauteil, welches analysiert werden soll, sieben Sensitivitätsanalysen durchzuführen.

Aus diesen beiden Gründen wird die manuelle Sensitivitätsanalyse abgebrochen und es werden nun die einzelnen Sensoren genau analysiert, um diese auf die automatische Sensitivitätsanalyse vorzubereiten.

3 Syntax für die Analyse der Daten mit R

Für die allgemeine Beurteilung der Sensoren werden Prozesse ermittelt und festgelegt, die eine Struktur für die Prüfung der Sensoren vorgeben sollen. Diese Struktur soll für jede Art von Sensor (Materialfeuchtigkeits-, relative Luftfeuchtigkeits- und Temperatursensor) erfolgen. Mit diesen Dateien wird die Vorbereitung der Daten für die Analyse, die Analyse der Daten und die Vorbereitung der Daten für die Kalibrierung erzeugt.

Diese Musterdateien werden in R erstellt und mittels R Markdown als Word-Dokument ausgegeben. Die ersten drei Musterdokumente, welche die allgemeine Datenanalyse abbilden, werden mit Beschreibung und numerischem Output eingefügt. Die restlichen Dateien, welche für die Beurteilung der Sensoren benutzt wurden, werden ohne Output und ohne Beschreibung abgebildet. Der Output aus den Abbildungen entsteht hier nicht behandelt, da dieser durch den Syntax und die Ausgangsdaten ableitbar ist.

Die Syntax, die in diesem Kapitel sind, werden samt einer Erklärung abgebildet, um die allgemeine Vorgehensweise zu erklären. Die restlichen Syntax werden im Anhang (Kapitel 7.1) ohne Erklärung abgebildet. Die Erklärung dient dem Zweck die Vorgehensweise eines R Syntax zu beleuchten, da dies in den folgenden drei Syntax beispielhaft erfolgt ist, wird der restliche Syntax nicht mehr erklärt.

3.1 Syntax für I51_I51T_data_analysis

In diesem Dokument wird der Sensor I51RH_RH behandelt, welcher die relative Luftfeuchtigkeit auf der Innenseite des Aufbaus misst, und für die Kalibrierung vorbereitet.

Zuerst werden wieder die nötigen Pakete mit Pacman installiert und aus der Bibliothek geladen.

```
@Gößeringer Daniel
```

```
{
  library(datasets, data.table)
pacman::p_load(pacman, dplyr, GGally, ggplot2, ggthemes,
              ggvis, httr, lubridate, plotly, rio, rmarkdown, shiny,
              stringr, tidyr, tidyverse, psych, nortest, dgof, zoo, tinytex,
x, latexpdf)
}
```

Danach wird die Sensordatei aus dem angegebenen Pfad mit der Überschrift und dem Trennzeichen Beistrich importiert. Hier sind zwei Pfade ersichtlich, da auf zwei verschiedenen Geräten gearbeitet wurde.

```
data <- import('C:/Users/Daniel/Desktop/MA Temp/Data analysis/Aufbau I 51 s
eparated/Aufbau I51 timestamp 3 bis 5 .csv',header = TRUE, dec = ",")
```

Der erste Schritt ist die Überprüfung ob Fehler, welche z.B.: als -999 im Datensatz vorkommen, vorhanden sind. Dies geschieht mit der Funktion `any(is.na())`. Die FALSE Meldung zeigt an, dass hier keine Fehler im Datensatz vorhanden sind.

```
any(is.na(data$I51RH_RH))
```

```
## [1] FALSE
```

Diese Datei enthält vier Spalten (V1, timestamp, I51RH_RH und I51RH_T). Die erste Spalte V1 ist der Index, welcher explizit bei der Daten-Transformation ausgegeben wurde und die Klasse character besitzt. Die Spalte timestamp enthält die Daten und Uhrzeiten der jeweiligen Messungen und besitzt die Klasse character. Die dritte Spalte ist die relative Luftfeuchtigkeit des Sensors I51RH_RH dieser wird der Klasse numeric zugeordnet. Die vierte Spalte ist die Temperatur des Innenraumes I51RH_T und gehört ebenfalls der Klasse numeric an. Es gibt 65535 Objekte der vier Variablen.

```
str(data)
```

```
## 'data.frame':    65535 obs. of  4 variables:
## $ V1          : int  1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ...
## $ timestamp: chr  "24.12.2010 11:00" "24.12.2010 11:10" "24.12.2010 11:
20" "24.12.2010 11:30" ...
## $ I51RH_RH   : num  58.4 58.3 58.5 58.4 58.5 ...
## $ I51RH_T    : num  21.6 21.8 21.8 21.8 21.9 ...
```

Die Zusammenfassung wird wieder über summary geliefert. Durch das Minimum, Maximum, das erste, zweite und dritte Quantil und den Mittelwert könnten wieder Aussagen über die Verteilung getätigt werden. Hier werden keine Auffälligkeiten der Verteilung gesichtet.

```
summary(data$I51RH_RH)
```

```
##      Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
##      0.10  35.29   46.03   45.93   60.11   75.05
```

Die Beschreibung der Datei liefert Informationen in Form der Standardabweichung, der Schiefe und der Kurtosis.

```
describe(data)
```

```
##           vars      n    mean      sd  median trimmed      mad    min
## V1           1 65535 32768.00 18918.47 32768.00 32768.00 24290.92  1.0
## timestamp*  2 65535 32768.00 18918.47 32768.00 32768.00 24290.92  1.0
## I51RH_RH     3 65535   45.93   18.14   46.03   47.58   18.16   0.1
## I51RH_T      4 65535   18.01   15.53   22.10   22.07    1.13 -40.1
##           max    range skew kurtosis    se
## V1           65535.00 65534.00  0.00   -1.20 73.90
## timestamp*  65535.00 65534.00  0.00   -1.20 73.90
## I51RH_RH     75.05   74.95 -0.75    0.36  0.07
## I51RH_T      26.88   66.98 -3.45   10.00  0.06
```

Die Varianz wird mittels der Funktion var berechnet.

```
var(data$I51RH_RH)
```

```
## [1] 329.1994
```

Die Quantile und der Interquantilbereich (IQR) können über die folgende Formel berechnet werden.

Der Sensor I51RH_RH kann nun mittels Scatterplot betrachtet werden. Es werden circa eineinhalb Jahre abgebildet, wobei ein sinusähnlicher Verlauf erkennbar ist. Gegen Ende des ersten Quartals 2011 gibt es fehlerhafte Werte bei 0°C. Gegen Ende von 2011 gibt es einen Bereich in dem keine werte aufgezeichnet wurden.

```
plot(zoo(data$I51RH_RH, as.Date(data$timestamp, "%d.%m.%Y %H:%M")),
     col = "red",
     pch = 16,
     lwd = 1,
     xlab = "Zeitstrahl",
     ylab = "I51RH_RH Luftfeuchtigkeit in %",
     main = "relative Luftfeuchtigkeit I51RH_RH" )
```

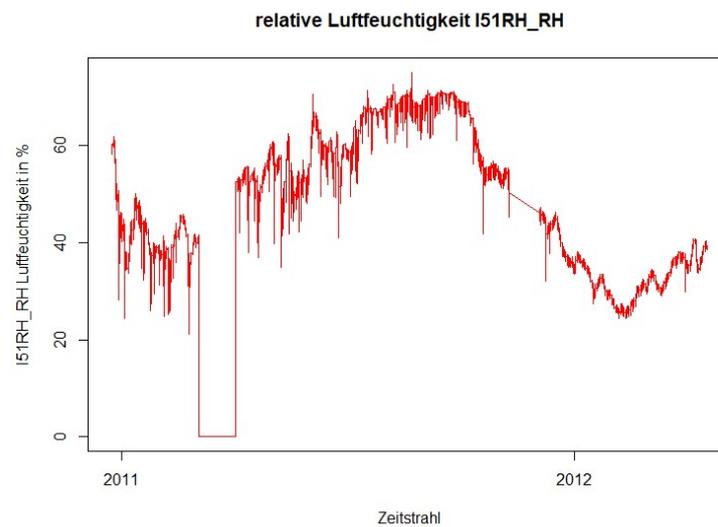


Abbildung 16: relative Luftfeuchtigkeit-Zeit-Diagramm I51RH_RH

Aus dem Histogramm kann man die Fehlerwerte deutlich erkennen. Über eine Verteilungsform kann keine Aussage getätigt werden.

```
data$I51RH_RH <- as.numeric(as.character(data$I51RH_RH))
hist(data$I51RH_RH,
     col = "white",
     main = "Histogramm I51RH_RH",
     ylab = "Summe der relativen Luftfeuchtigkeiten",
     xlab = "relative Luftfeuchtigkeit in %",
     freq = T)
```

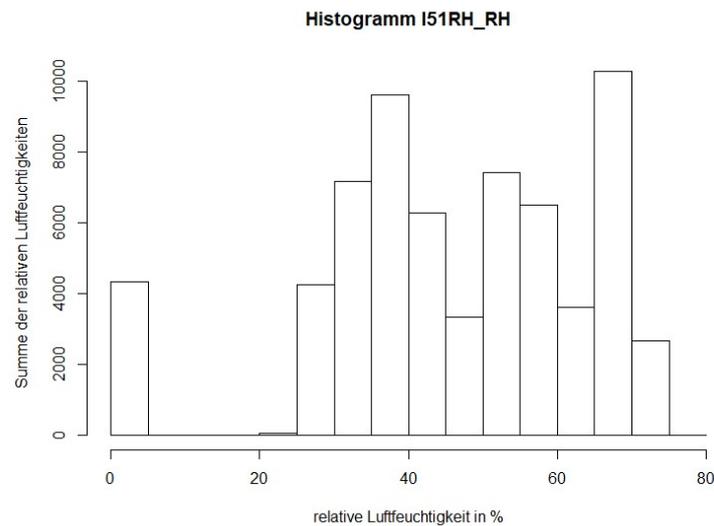


Abbildung 17: Histogramm I51RH_RH

Wenn man die Normalverteilung über das Histogramm legt, bestätigt sich das keine Normalverteilung vorliegt.

```
{hist(data$I51RH_RH,  
      col = "white",  
      ylab = "relative Häufigkeit der Luftfeuchtigkeit",  
      xlab = "relative Luftfeuchtigkeit in %",  
      breaks = 50,  
      freq = FALSE,  
      main = "Histogramm und normalverteilte Kurve I51RH_RH",  
      xlim = c(0,100)  
  )  
  curve(dnorm(x, mean = mean(data$I51RH_RH), sd = sd(data$I51RH_RH)),  
        type = "l",  
        col = "red",  
        lwd = 2,  
        add = TRUE)  
}
```

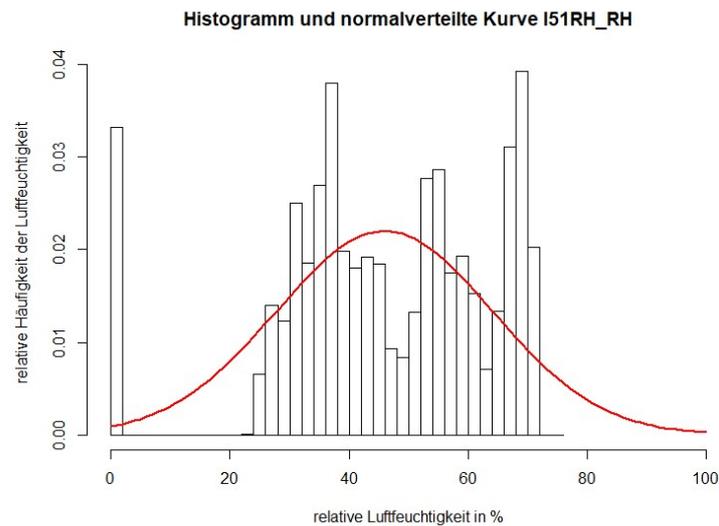


Abbildung 18: Histogramm mit normalverteilter Kurve I51RH_RH

Die kumulierte Verteilungsfunktion:

```
plot(data$I51RH_RH,
      pnorm(data$I51RH_RH, mean = mean(data$I51RH_RH), sd = sd(data$I51RH_RH
)),
      ylab = "relative Häufigkeit",
      xlab = "I51RH_RH relative Luftfeuchtigkeit in %",
      main = "kumulierte Verteilungsfunktion I51RH_RH")
```

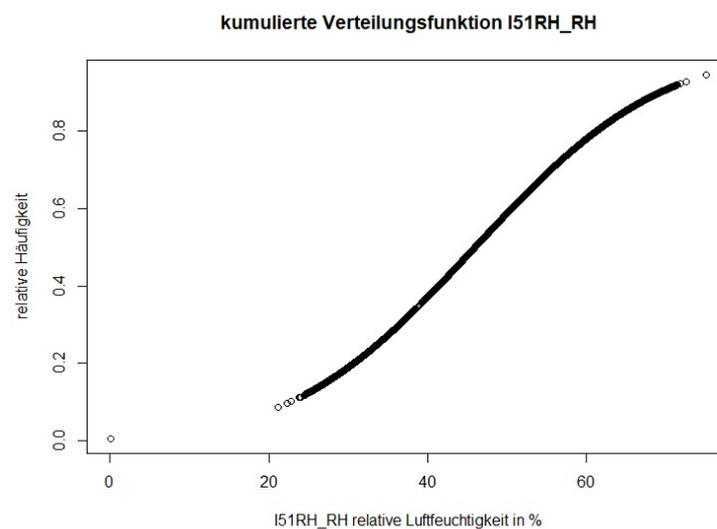


Abbildung 19: kumulierte Verteilungsfunktion I51RH_RH

Im Boxplot erkennbar ist, dass es keine Ausreißer gibt, wobei der linke (untere) Whisker sehr weit vom 25% Quantil entfernt zustande kommt.

```
boxplot(data$I51RH_RH,
        varwidth = F,
        xlab = "I51RH_RH relative Luftfeuchtigkeit in %",
        notch = F,
```

```
col = "lightyellow",
main = "Boxplot I51RH_RH",
horizontal = T
)
```

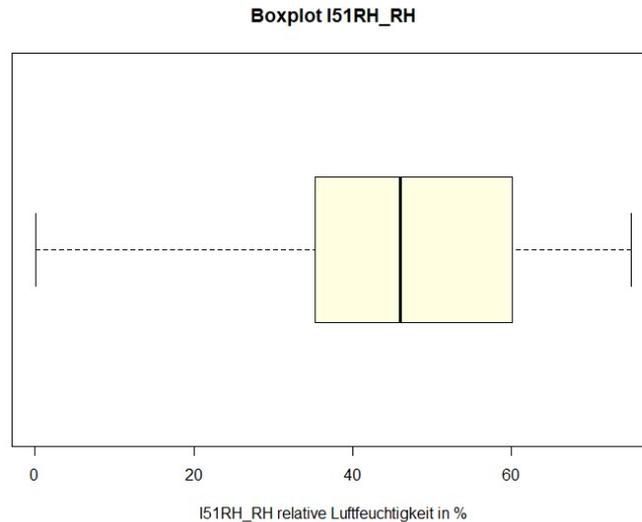


Abbildung 20: Boxplot I51RH_RH

Hier nochmal die vier aussagekräftigsten Plots in der Übersicht.

```
{
  par(mfrow =c(2,2))

  plot(zoo(data$I51RH_RH, as.Date(data$timestamp, "%d.%m.%Y %H:%M")),
        col = "red",
        pch = 16,
        lwd = 1,
        xlab = "Zeitstrahl",
        ylab = "I51RH_RH Luftfeuchtigkeit in %",
        main = "relative Luftfeuchtigkeit I51RH_RH" )

  {hist(data$I51RH_RH,
        col = "white",
        ylab = "relative Häufigkeit der Luftfeuchtigkeit",
        xlab = "relative Luftfeuchtigkeit in %",
        breaks = 50,
        freq = FALSE,
        main = "Histogramm und normalverteilte Kurve I51RH_RH",
        xlim = c(0,100)
        )
    curve(dnorm(x, mean = mean(data$I51RH_RH), sd = sd(data$I51RH_RH)),
          type = "l",
          col = "red",
          lwd = 2,
          add = TRUE)
  }
}
```

```

plot(data$I51RH_RH,
      pnorm(data$I51RH_RH, mean = mean(data$I51RH_RH), sd = sd(data$I51RH_RH
)),
      ylab = "relative Häufigkeit",
      xlab = "I51RH_RH relative Luftfeuchtigkeit in %",
      main = "kumulierte Verteilungsfunktion I51RH_RH")

boxplot(data$I51RH_RH,
         varwidth = F,
         xlab = "I51RH_RH relative Luftfeuchtigkeit in %",
         notch = F,
         col = "lightyellow",
         main = "Boxplot I51RH_RH",
         horizontal = T
         )
    }
    
```

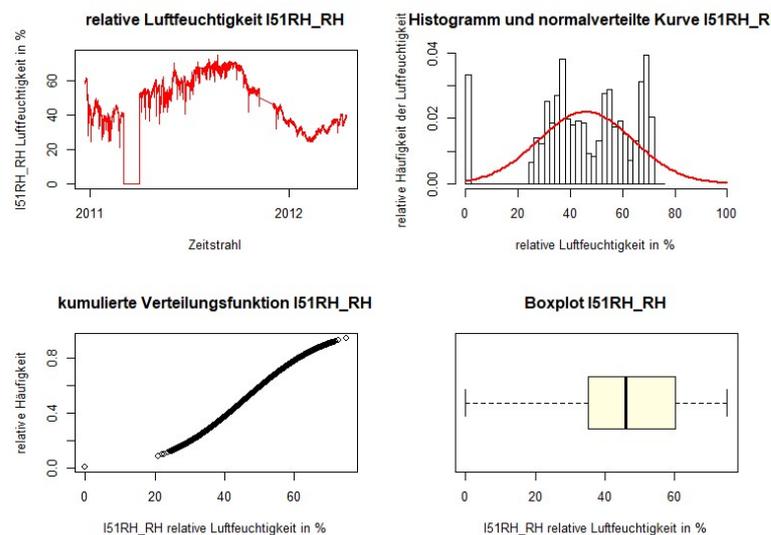


Abbildung 21: Überblick I51RH_RH

Nun werden die fehlerhaften Werte aussortiert und nur die Werte über 20% relativer Luftfeuchtigkeit betrachtet.

```

{
  par(mfrow =c(2,2))
  data_c <- filter(data, data$I51RH_RH > 20) #data_c == data_cleaned

  plot(zoo(data_c$I51RH_RH, as.Date(data_c$timestamp, "%d.%m.%Y %H:%M")),
        col = "red",
        pch = 16,
        lwd = 1,
        xlab = "Datum und Uhrzeit",
        ylab = "rel. Luftfeuchtigkeit ",
        main = "Innenraumtemperatur I51RH_RH_korr" )

  {hist(data_c$I51RH_RH,
        col = "white",
        ylab = "relative Häufigkeit",
    }
    
```

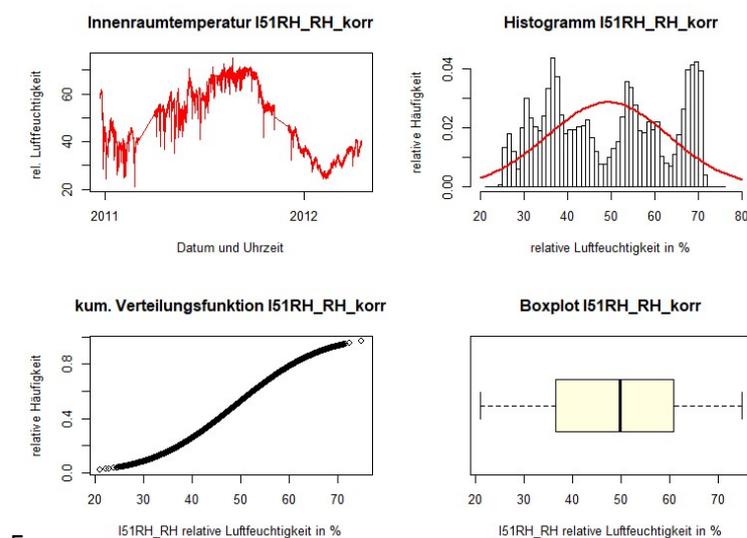
```

xlab = "relative Luftfeuchtigkeit in %",
breaks = 50,
freq = FALSE,
main = "Histogramm I51RH_RH_korr",
xlim = c(20,80)
)
curve(dnorm(x, mean = mean(data_c$I51RH_RH), sd = sd(data_c$I51RH_RH)),
      type = "l",
      col = "red",
      lwd = 2,
      add = TRUE)
}

plot(data_c$I51RH_RH,
      pnorm(data_c$I51RH_RH, mean = mean(data_c$I51RH_RH), sd = sd(data_c$I51RH_RH)),
      ylab = "relative Häufigkeit",
      xlab = "I51RH_RH relative Luftfeuchtigkeit in %",
      main = "kum. Verteilungsfunktion I51RH_RH_korr")

boxplot(data_c$I51RH_RH,
        varwidth = F,
        xlab = "I51RH_RH relative Luftfeuchtigkeit in %",
        notch = F,
        col = "lightyellow",
        main = "Boxplot I51RH_RH_korr",
        horizontal = T
        )
}

```



5

Abbildung 22: Überblick I51RH_RH_korrigiert

Es kann mittels multipler Regression nun aus den Datensätzen eine Funktion gebildet werden. Hier wird als Basis die allgemeine Sinusfunktion gewählt ($y = a + b \cdot \sin(c \cdot \pi \cdot \text{Time} + d)$). Die Grafik wird nun durch histogramm-ähnliche vertikale Linien (rot) mit Überlagerung der Sinusfunktion (schwarz) geplottet.

```

time_col <- as.POSIXct(data_c$timestamp, format = "%d.%m.%Y %H:%M", tz = "C
ET") #converts String to time
num_time_col <- as.numeric(time_col)

RH <- data_c$I51RH_RH
Time <- num_time_col
#print(Length(Time))

fit <- nls(RH ~ a + b * sin(c * pi * Time + d),
          start = list(a = 51, b = 1.70, c = 0.000000007, d = -25.2),
          control = list(maxiter = 50000, tol = 1e-05, minFactor = 1/10000
000000000))

new.data <- data.frame(Time = seq(min(Time),max(Time), length = 61191))

{
plot(Time, RH,
     col = "red",
     pch = 2,
     lwd = 1,
     type = "h",
     xlab = "Datum und Uhrzeit",
     ylab = "rel. Luftfeuchtigkeit in %",
     main = "relative Luftfeuchtigkeit I51RH_RH_korr" )

lines(new.data$Time,predict(fit,newdata = new.data), col = "black")
}

```

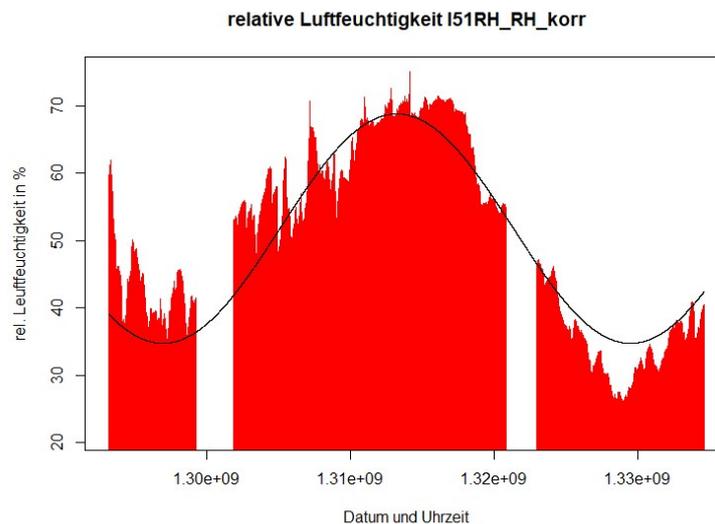


Abbildung 23: eraltive Luftfeuchtigkeit-Zeit-Diagramm (Histogramm) mit Sinus-Kurve aus der multiplen Regression

Die fit Variable kann nun auch durch summary ausgelesen werden. Die Estimate Spalte gibt an, welche Werte für die Parameter bei der Iteration herauskommen. Zusätzlich wird die Standardabweichung des Parameters, als auch der t-Wert ausgegeben.

```
summary(fit)
```

```
##
## Formula: RH ~ a + b * sin(c * pi * Time + d)
##
## Parameters:
##   Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## a  5.176e+01  2.330e-02  2221.7  <2e-16 ***
## b  1.702e+01  2.982e-02   570.6  <2e-16 ***
## c  6.145e-08  6.439e-11   954.4  <2e-16 ***
## d -2.520e+02  2.658e-01  -947.8  <2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 5.395 on 61187 degrees of freedom
##
## Number of iterations to convergence: 24
## Achieved convergence tolerance: 8.451e-06
```

Mit print können die genauen parameter (a bis d) ausgelesen werden, welche durch die Iteration entstanden sind. Die nls (non-linear regression) Methode arbeitet mit den Differenzen zum Quadrat, wobei hier die Summe angegeben ist. Die Anzahl der Iterationen bis zur und die Konvergenz werden auch angegeben.

print(fit)

```
## Nonlinear regression model
## model: RH ~ a + b * sin(c * pi * Time + d)
## data: parent.frame()
##      a          b          c          d
## 5.176e+01 1.702e+01 6.145e-08 -2.520e+02
## residual sum-of-squares: 1781239
##
## Number of iterations to convergence: 24
## Achieved convergence tolerance: 8.451e-06
```

Vergleiche:

Zuerst können die zwei Boxplots miteinander verglichen werden.

```
boxplot(data_c$I51RH_RH,
        data$I51RH_RH,
        varwidth = F,
        xlab = "rel. Luftfeuchtigkeit in %",
        notch = F,
        col = "lightyellow",
        main = "Boxplot I51RH_RH",
        horizontal = T
        )
```

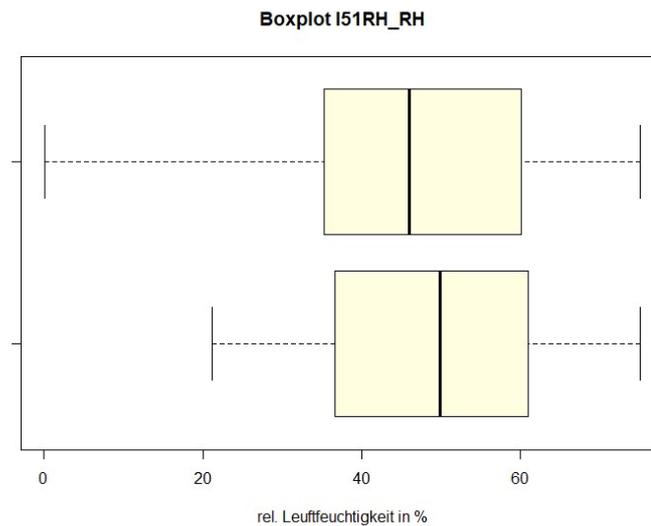


Abbildung 24: Boxplots von I51RH_RH und I51RH_RH korrigiert

Dann die Scatterplots.

```
{par(mfrow =c(2,1))

plot(zoo(data$I51RH_RH, as.Date(data$timestamp, "%d.%m.%Y %H:%M")), #Original
     col = "red",
     pch = 16,
     lwd = 1,
     xlab = "Datum und Uhrzeit",
     ylab = "rel. Luftfeuchtigkeit in %",
     main = "relative Luftfeuchtigkeit I51RH_RH" )

plot(zoo(data_c$I51RH_RH, as.Date(data_c$timestamp, "%d.%m.%Y %H:%M")), #Korrigiert
     col = "red",
     pch = 16,
     lwd = 1,
     xlab = "Datum und Uhrzeit",
     ylab = "rel. Luftfeuchtigkeit in %",
     main = "relative Luftfeuchtigkeit I51RH_RH_korr" )
}
©Gößeringer Daniel
```

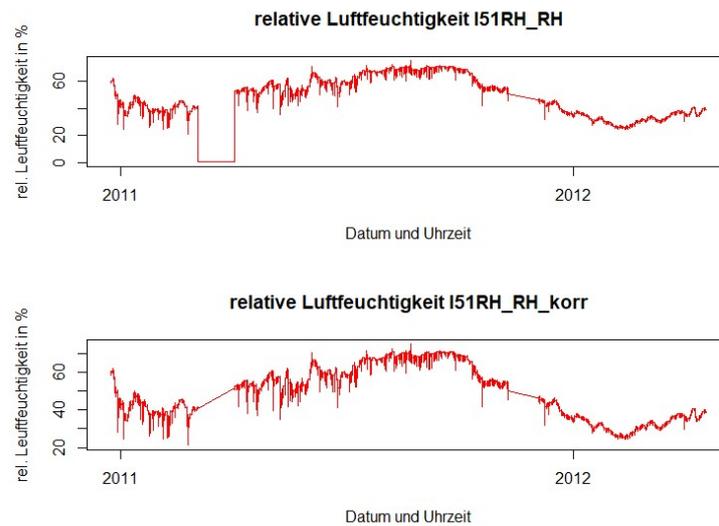


Abbildung 25: Vergleich der Verläufe von I51RH_RH und I51RH_RH korrigiert

Mittels der multiplen Regression können nun die fehlenden Werte im korrigierten Datensatz mit einer gewissen Streuung ergänzt werden. Dadurch kann der Datensatz vollständig und nur mit einer kleinen Streuung für die Kalibrierung mir Delphin genutzt werden.

3.2 Syntax für I51_I51T_data_analysis

In diesem Dokument wird der Temperatursensor I51_I51T behandelt und für die Kalibrierung vorbereitet. Dieser Sensor misst die Innenraumtemperaturen im Versuchsgebäude.

Zuerst werden die nötigen Pakete mit Pacman installiert und aus der Bibliothek geladen.

@Gößeringer Daniel

```
{library(datasets, data.table)
pacman::p_load(pacman, dplyr, GGally, ggplot2, ggthemes,
               ggvis, httr, lubridate, plotly, rio, rmarkdown, shiny,
               stringr, tidyr, tidyverse, psych, nortest, dgof, zoo, tinytex,
               x, latexpdf)
}
```

Danach wird die Sensordatei aus dem angegebenen Pfad mit der Überschrift und dem Trennzeichen Beistrich importiert. Hier sind zwei Pfade ersichtlich, da auf zwei verschiedenen Geräten gearbeitet wurde.

```
#data <- import('C:/Users/Nutzer/Desktop/MA Temp/Data analysis/Aufbau I 51
separated/Aufbau I51 timestamp 1 bis 2 .csv',header = TRUE, dec = ",")
data <- import('C:/Users/Daniel/Desktop/MA Temp/Data analysis/Aufbau I 51 s
eparated/Aufbau I51 timestamp 1 bis 2 .csv',header = TRUE, dec = ",")
```

Der erste Schritt ist die Überprüfung ob Fehler, welche z.B.: als -999 im Datensatz vorkommen, vorhanden sind. Dies geschieht mit der Funktion `any(is.na())`. Die FALSE Meldung zeigt an, dass hier keine Fehler im Datensatz sind.

```
any(is.na(data$I51T))
```

```
## [1] FALSE
```

Als Nächstes wird ein Überblick über die Sensordaten I51T geschaffen. Dies kann quantitativ, über die Kenngrößen, und qualitativ, über Diagramme, geschehen. Zuerst werden die Daten kurz qualitativ beleuchtet, wobei auch die zur Analyse benötigten Befehle betrachtet werden.

Mit dem Befehl `str()` kann man die Struktur der Daten betrachten.

```
str(data)
```

```
## 'data.frame':   65535 obs. of  3 variables:
## $ V1          : int  1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ...
## $ timestamp: chr  "27.12.2010 13:12" "27.12.2010 13:22" "27.12.2010 13:
32" "27.12.2010 13:42" ...
## $ I51T       : num  23.4 23.6 23.2 23.4 23.4 23.2 23.3 23.1 23.1 23 ...
```

Das importierte Objekt I51_I51T enthält 3 Spalten. Die erste Spalte V1 ist der hier explizit angegebene Index. Dieser Index wurde bei der Trennung der zum Aufbau I51 gehörenden Sensordaten, erzeugt und wird nicht mehr benötigt. Entfernt kann diese Spalte über den Befehl `data$V1 <- NULL` werden. Die zweite Spalte timestamp beinhaltet das Datum und die Uhrzeit als character(character sind die Strings von R). In der Struktur von I51T kann jetzt timestamp nicht nur als character sondern auch als POSIXct-Format ausgegeben. Mit

diesem Format kann gerechnet werden, da hier eine Zahl für jedes Datum mit zugehöriger Uhrzeit hinterlegt ist, damit kann z.B.: die Differenz von zwei Uhrzeiten gebildet werden.

```
data$V1 <- NULL
str(data)

## 'data.frame':    65535 obs. of  2 variables:
## $ timestamp: chr  "27.12.2010 13:12" "27.12.2010 13:22" "27.12.2010 13:
32" "27.12.2010 13:42" ...
## $ I51T      : num  23.4 23.6 23.2 23.4 23.4 23.2 23.3 23.1 23.1 23 ...
```

Mit `summary()` kann man quantitative Eigenschaften aus `I51T` ausgeben. Den kleinsten, größten Wert, das erste, zweite und dritte Quantil und der Mittelwert werden dann ausgegeben.

```
summary(data$I51T)

##      Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
##      0.00  21.00   22.00   21.79  22.70   26.70
```

Die `describe()`-Funktion gibt zusätzlich zum Minimum, Maximum, Median und Mittelwert auch die Anzahl der Reihen und Spalten, die Schiefe, die Kurtosis und die Standard-Abweichung aus.

```
describe(data$I51T)

##   vars      n mean   sd median trimmed  mad min  max range  skew kurtos
is  se
## X1     1 65535 21.79 1.37     22   21.87 1.19   0 26.7  26.7 -1.16    5.
45 0.01
```

Die Varianz wird mit dem Befehl `var()` erzeugt.

```
var(data$I51T)

## [1] 1.869243
```

Über die Funktion `sd()` kann die Standardabweichung ausgegeben werden.

```
sd(data$I51T)

## [1] 1.367203
```

Die Quantile können über die Funktion `quantile()` ausgegeben werden, wobei darauf zu achten ist, dass nicht eine Zahl, als Prozentposition, sondern eine Sequenz.

```
quantile(data$I51T, probs = seq(0, 1, 1/4))

##   0%   25%   50%   75%  100%
##   0.0  21.0  22.0  22.7  26.7
```

Das 25%, 75% Quantil und die IQR (Interquantilrange) kann mit diesen Befehlen ausgegeben werden. Mit Hilfe des Interquantilbereiches (IQR) kann man einen Boxplot manuell erzeugen, wobei hierfür eine Funktion bereits implementiert ist `boxplot()`.

```
quantil_25 <- quantile(data$I51T, probs = 0.25)
quantil_75 <- quantile(data$I51T, probs = 0.75)
IQR <- IQR(data$I51T)
```

Die grafische Beurteilung der Sensordaten erfolgt über Diagramme, wobei die Wahl des Diagramms erheblichen Einfluss auf die mögliche Beurteilung hat. Zuerst wird ein Scatterplot der Temperaturen und des Datums erzeugt.

```
plot(zoo(data$I51T, as.Date(data$timestamp, "%d.%m.%Y %H:%M")),
     col = "red",
     pch = 16,
     lwd = 1,
     xlab = "Datum und Uhrzeit",
     ylab = "I51 Innenraumtemperatur in °C",
     main = "Innenraumtemperatur I51_I51T" )
```

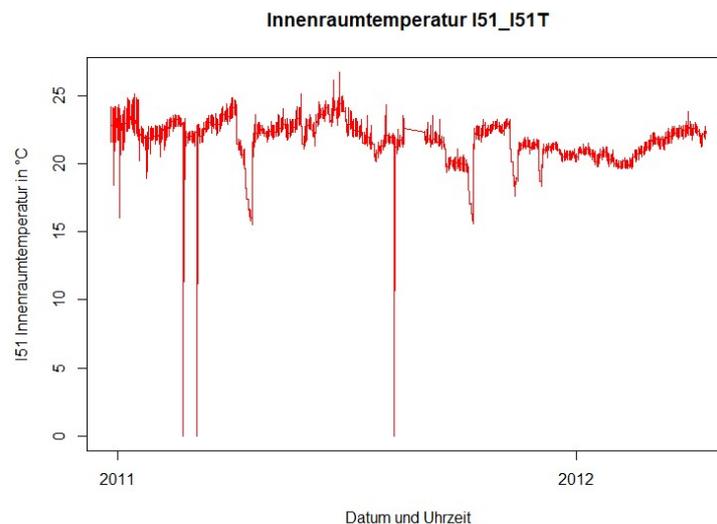


Abbildung 26: Temperatur-Zeit-Diagramm I51T

Hier erkennbar sind 3 Punkte, welche eine Temperatur von 0°C darstellen. Diese stechen hervor, da der Abstand zu den nächst höheren Werten größer als 15°C und zum Median 22°C sind. Diese Werte sind offenbar fehlerhaft und werden in dem neuen Datensatz `data_c` (`data_cleared`) nicht betrachtet.

Im Balkendiagramm kann die Häufigkeit des Auftretens einzelner Temperaturen abgebildet werden. Auf der Ordinate befindet sich die absolute Häufigkeit der Temperaturen und auf der Abszisse die Temperaturen.

```
Temp <- table(data$I51T) #Zuerst eine Tabelle erzeugen
barplot(Temp,
        col = "white",
        main = "Balkendiagramm I51_I51T",
        ylab = "Summe der Temperaturen",
        xlab = "Temperaturen in °C") #dann plotten
```

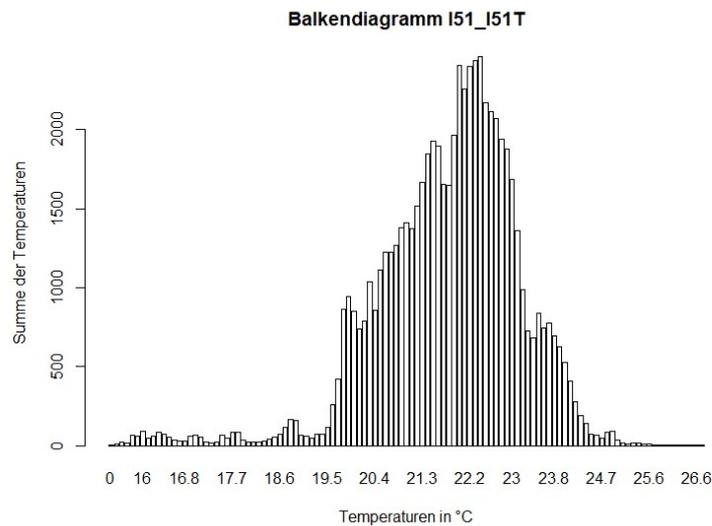


Abbildung 27: Balkendiagramm I51T

Das Histogramm stellt ebenfalls die Häufigkeiten dar. Nur diesmal gröber gegliedert, wobei diese je nach Wünschen eingestellt werden kann. Auf der Ordinate befindet sich die relative Häufigkeit der Werte und auf der Abszisse die Temperaturen.

```
data$I51T <- as.numeric(as.character(data$I51T))
hist(data$I51T,
      breaks = 50,
      col = "white",
      main = "Histogramm I51_I51T",
      ylab = "Summe der Temperaturen",
      xlab = "Temperaturen °C in 0,1°C Schritten",
      freq = FALSE)
```

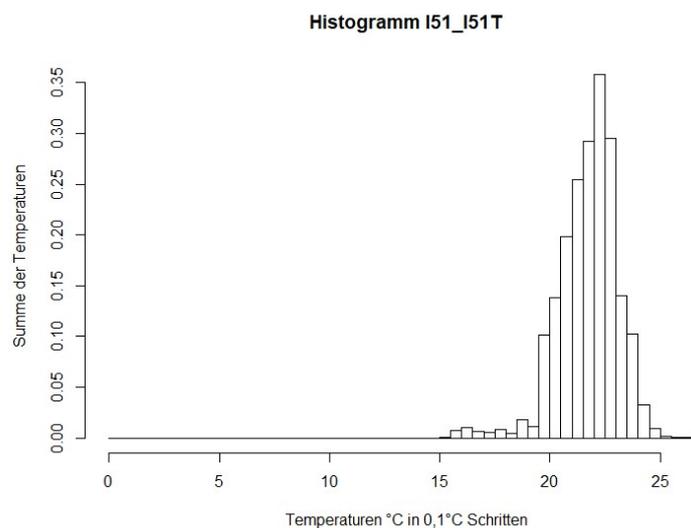


Abbildung 28: Histogramm I51T

Durch das Überlagern einer normalverteilten Kurve, welche auf dem Temperaturverlauf von I51T beruht, sieht man, dass I51T annähernd normalverteilt sind. Die

Normalverteilung kann auch über Tests geprüft werden (siehe Anderson-Darling-Test). Gut erkennbar sind wieder die Ausreißer um die 0°C herum.

```
{hist(data$I51T,
      col = "white",
      ylab = "Dichte",
      xlab = "Temperaturen I51T_korr in °C",
      breaks = 50,
      freq = FALSE,
      main = "Histogramm und normalverteilte Kurve I51_I51T"
  )
  curve(dnorm(x, mean = mean(data$I51T), sd = sd(data$I51T)),
        type = "l",
        col = "red",
        lwd = 2,
        add = TRUE)
}
```

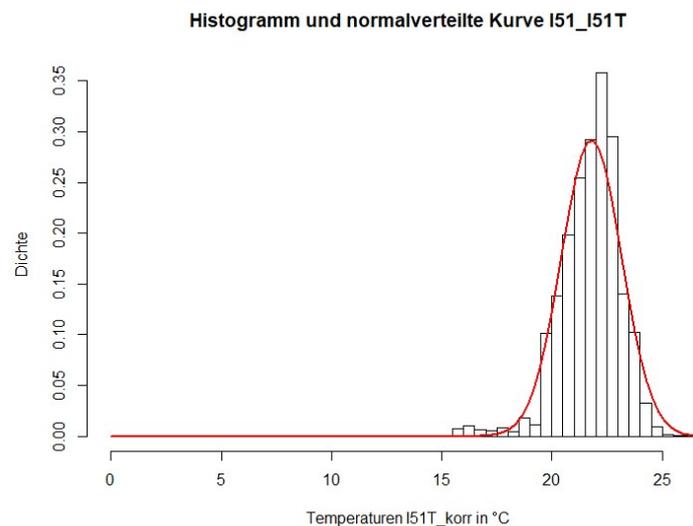


Abbildung 29: Histogramm und normalverteilte Kurve I51T

Die kumulierte Verteilungsfunktion liefert zusätzliche Auskünfte über die mögliche Verteilung der Daten. Hier wird auf der Ordinate die relative Häufigkeit der Temperaturen abgebildet und auf der Abszisse die Temperatur in °C.

```
plot(data$I51T,
      pnorm(data$I51T, mean = mean(data$I51T), sd = sd(data$I51T)),
      ylab = "relative Häufigkeit",
      xlab = "I51T Temperaturen in °C",
      main = "kumulierte Verteilungsfunktion I51_I51T")
```

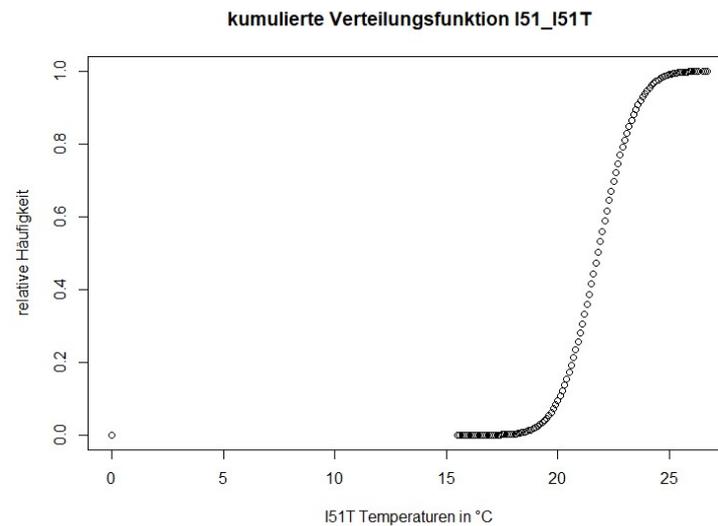


Abbildung 30: kumulierte Verteilungsfunktion I51T

Der Boxplot zeigt, dass es einige Ausreißer gibt, also Werte die nicht zwischen dem unteren und oberen Whisker liegen. Die Whisker sind das 25% Quantil - ($1,50 * \text{Interquantilrange(IQR)}$) und das 75% Quantil + ($1,50 * \text{IQR}$). Diese Ausreißer können gefiltert werden, um sich der Normalverteilung anzunähern.

```
boxplot(data$I51T,  
        varwidth = F,  
        xlab = "Temperaturen in °C",  
        notch = F,  
        col = "lightyellow",  
        main = "Boxplot I51_I51T",  
        horizontal = T  
)
```

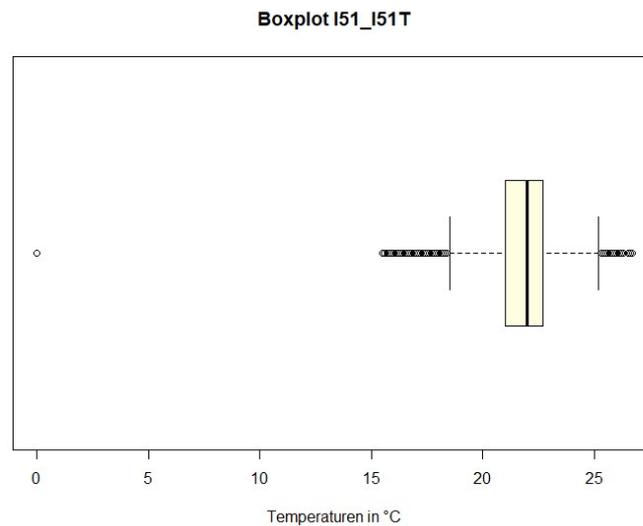


Abbildung 31: Boxplot I51T

Der Scatterplot, das, mit der Normalverteilung überlagerte, Histogramm, die kumulierte Verteilungsfunktion und der Boxplot können in einer Grafik dargestellt werden. Mit dem Befehl `par()` können vier Diagramme `mfrow = c(2,2)` in einem Bild dargestellt werden. Dies liefert in einer Grafik einen guten Überblick über die Daten.

```
{
  par(mfrow =c(2,2))

  plot(zoo(data$I51T, as.Date(data$timestamp, "%d.%m.%Y %H:%M")),
       col = "red",
       pch = 16,
       lwd = 1,
       xlab = "Datum und Uhrzeit",
       ylab = "I51 Innenraumtemperatur in °C",
       main = "Innenraumtemperatur I51_I51T" )

  {hist(data$I51T,
       col = "white",
       ylab = "Dichte",
       xlab = "Temperaturen I51_I51T in °C",
       breaks = 50,
       freq = FALSE,
       main = "Histogramm und normalverteilte Kurve I51_I51T"
       )
    curve(dnorm(x, mean = mean(data$I51T), sd = sd(data$I51T)),
          type = "l",
          col = "red",
          lwd = 2,
          add = TRUE)
  }

  plot(data$I51T,
       pnorm(data$I51T, mean = mean(data$I51T), sd = sd(data$I51T)),
```

```
ylab = "relative Häufigkeit",
xlab = "I51T Temperaturen in °C",
main = "kumulierte Verteilungsfunktion I51_I51T")
```

```
boxplot(data$I51T,
  varwidth = F,
  xlab = "Temperaturen in °C",
  notch = F,
  col = "lightyellow",
  main = "Boxplot I51_I51T",
  horizontal = T
)
}
```

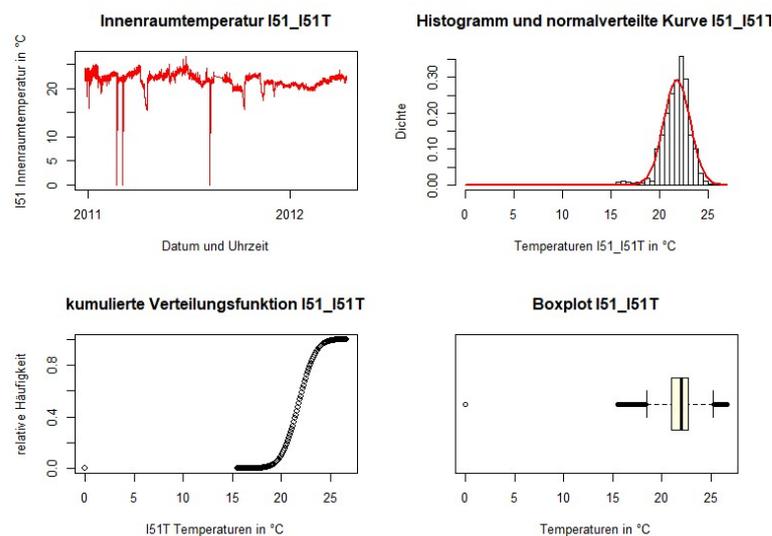


Abbildung 32: Überblick I51T

Die Temperaturwerte, die bei 0°C sind, werden als Fehler angesehen und können herausgefiltert werden. Mit der Funktion `filter` des Paketes `dplyr` werden alle Temperaturwerte unter 15°C aus dem Datensatz entfernt. Nun kann der Scatterplot des korrigierten Temperaturverlaufes (`I51_I51T_korr`) ausgegeben werden.

```
data_c <- filter(data, I51T > 15) #data_c == data_cLeaned
```

```
plot(zoo(data_c$I51T, as.Date(data_c$timestamp, "%d.%m.%Y %H:%M")),
  col = "red",
  pch = 16,
  lwd = 1,
  xlab = "Datum und Uhrzeit",
  ylab = "I51 Innenraumtemperatur in °C",
  main = "Innenraumtemperatur I51_I51T_korr" )
```

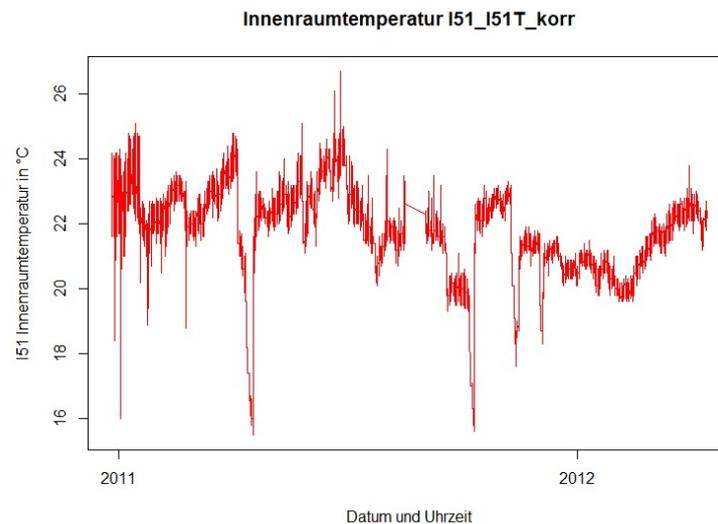


Abbildung 33: Temperatur-Zeit-Diagramm I51T korrigiert

Zusätzlich können auch die Ausreißer, wie im Boxplot zu erkennen ist, gefiltert werden. Das Filtern der Ausreißer wird wie folgt abgewickelt. Die Whiskers (top und bottom) werden explizit erzeugt und als Randbedingungen des Filters angegeben. Danach werden die gefilterten Daten wieder dargestellt.

```
{
whisker_top <- quantil_75 + (1.50 * IQR)
whisker_bot <- quantil_25 - (1.50 * IQR)
data_f <- filter(data_c, data_c$I51T > whisker_bot & data_c$I51T < whisker_top)
plot(zoo(data_f$I51T, as.Date(data_f$timestamp, "%d.%m.%Y %H:%M")),
     col = "red",
     pch = 16,
     lwd = 1,
     xlab = "Datum und Uhrzeit",
     ylab = "I51 Innenraumtemperatur in °C",
     main = "Innenraumtemperatur I51T_filt" )
}
```

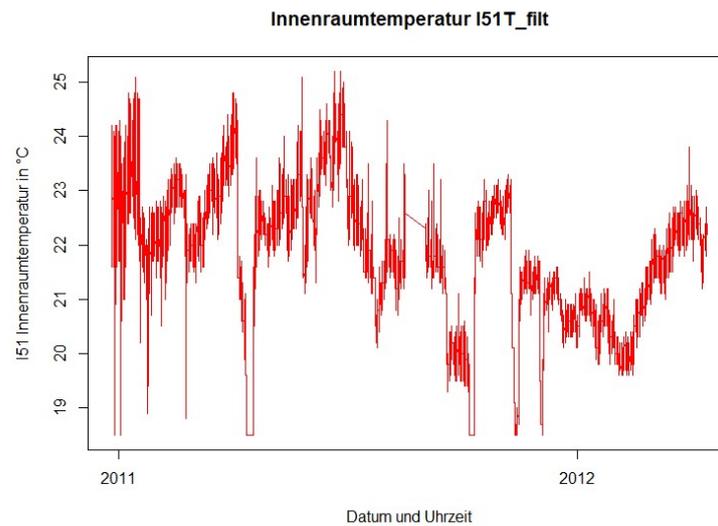


Abbildung 34: Temperatur I51_T gefiltert

Wenn man nun wieder die normalverteilte Kurve über das Histogramm legt, sieht man noch eindeutiger, dass sie mit der Normalverteilung annähernd übereinstimmt.

```
{hist(data_f$I51T,  
      col = "white",  
      ylab = "Dichte",  
      xlab = "Temperaturen I51T_filt in °C",  
      breaks = 50,  
      freq = FALSE,  
      main = "Histogramm und normalverteilte Kurve I51T_filt"  
  )  
  curve(dnorm(x, mean = mean(data_f$I51T), sd = sd(data_f$I51T)),  
        type = "l",  
        col = "red",  
        lwd = 2,  
        add = TRUE)  
}
```

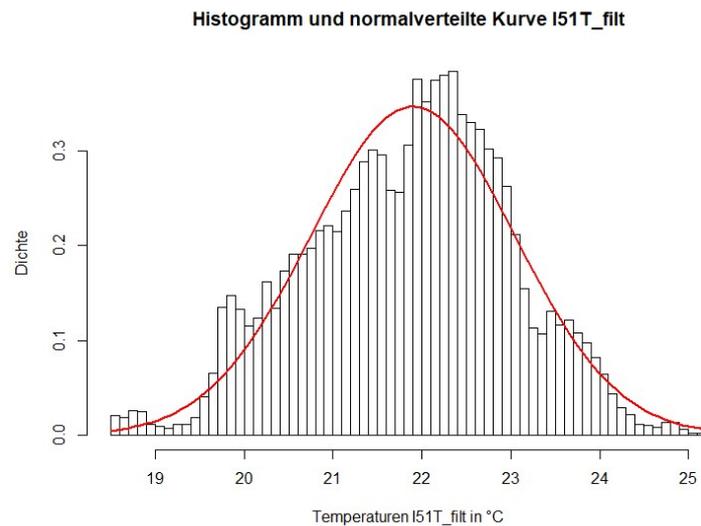


Abbildung 35: Histogramm mit normalverteilter Kurve I51T gefiltert

Aus der kumulierten Verteilungsfunktion der gefilterten Daten kann die Normalverteilung deutlich erkannt werden.

```
plot(data_f$I51T,
      pnorm(data_f$I51T, mean = mean(data_f$I51T), sd = sd(data_f$I51T)),
      ylab = "relative Häufigkeit",
      xlab = "I51T Temperaturen in °C",
      main = "kumulierte Verteilungsfunktion I51T_filt")
```

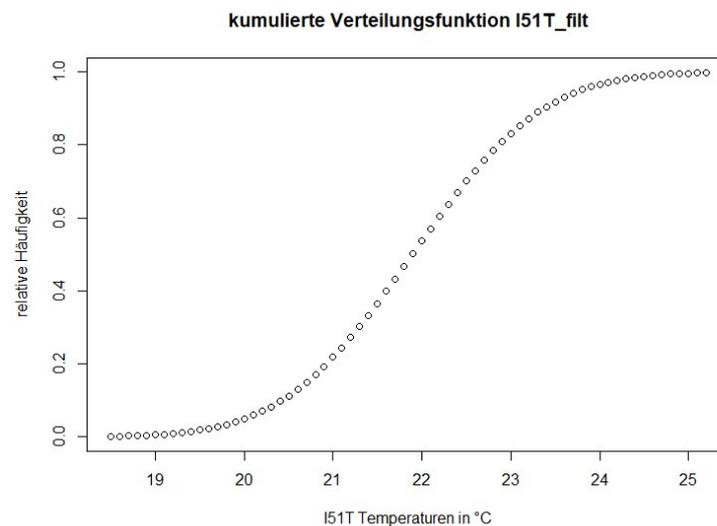


Abbildung 36: kumulierte Verteilungsfunktion I51T gefiltert

Bei diesem Boxplot zu sehen ist, dass es wieder zu Ausreißern kommt. Dies ergibt sich aus der Tatsache, dass der nun betrachtete Wertebereich wieder andere Whisker-grenzen erzeugt hat. Diese könnten wieder gefiltert werden.

```

boxplot(data_f$I51T,
        varwidth = F,
        xlab = "Temperaturen in °C",
        notch = F,
        col = "lightyellow",
        main = "Boxplot I51T_filt",
        horizontal = T
        )

```

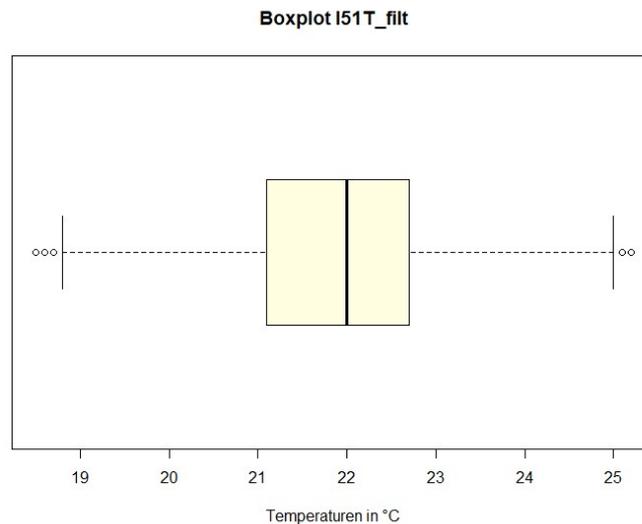


Abbildung 37: Boxplot I51T gefiltert

Abschließend das kombinierte Diagramm des korrigierten und gefilterten Datensatzes.

```

{par(mfrow =c(2,2))

plot(zoo(data_f$I51T, as.Date(data_f$timestamp, "%d.%m.%Y %H:%M")),
     col = "red",
     pch = 16,
     lwd = 1,
     xlab = "Datum und Uhrzeit",
     ylab = "I51 Innenraumtemperatur in °C",
     main = "Innenraumtemperatur I51_I51T_filt" )

{hist(data_f$I51T,
      col = "white",
      ylab = "Dichte",
      xlab = "Temperaturen I51_I51T_filt in °C",
      breaks = 50,
      freq = FALSE,
      main = "Histogramm und normalverteilte Kurve I51_I51T_filt"
      )
  curve(dnorm(x, mean = mean(data_f$I51T), sd = sd(data_f$I51T)),
        type = "l",
        col = "red",
        lwd = 2,
        add = TRUE)
}
}

```

```

plot(data_f$I51T,
      pnorm(data_f$I51T, mean = mean(data_f$I51T), sd = sd(data_f$I51T)),
      ylab = "relative Häufigkeit",
      xlab = "I51T Temperaturen in °C",
      main = "kumulierte Verteilungsfunktion I51_I51T_filt")

boxplot(data_f$I51T,
        varwidth = F,
        xlab = "Temperaturen in °C",
        notch = F,
        col = "lightyellow",
        main = "Boxplot I51_I51T_filt",
        horizontal = T
        )
}

```

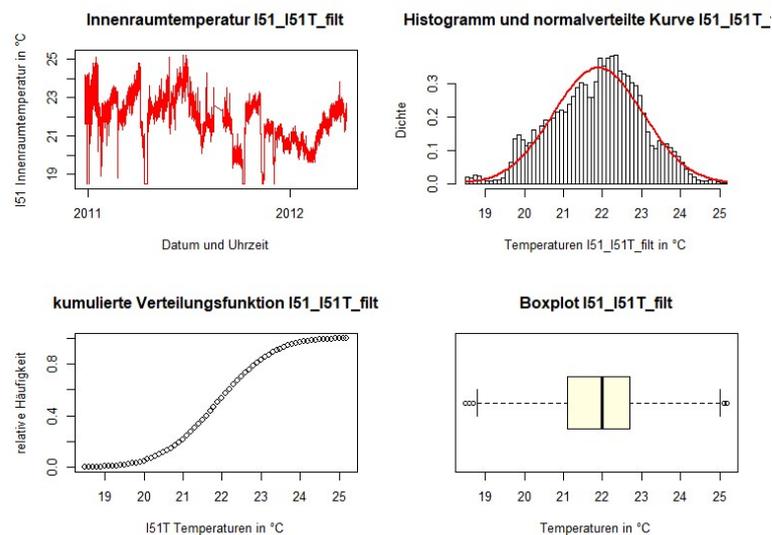


Abbildung 38: Überblick I51T gefiltert

```
par(mfrow=c(1,1))
```

Die Normalverteilung kann mittels Anderson-Darling-Test (AD-Test) getestet werden. Ein P-Wert unter 0,05 sagt, dass die Nullhypothese verworfen wird und die Alternativhypothese angenommen werden kann. Die Alternativhypothese ist die These, dass die Daten normal verteilt sind und die Nullhypothese besagt, dass die Daten nicht normalverteilt sind.

```
ad.test(data_f$I51T)
```

```

##
## Anderson-Darling normality test
##
## data:  data_f$I51T
## A = 130.42, p-value < 2.2e-16

```

Die Analyse dieses Datensatzes ist beendet. Nachfolgend werden noch die Boxplots und die Scatterplots zwischen dem importierten , dem korrigierten und dem gefilterten Datensatz verglichen.

Darstellung der drei Boxplots aus den Daten vor Korrektur nach Korrekter und nach Filterung der Ausreißer.

```
boxplot(data_f$I51T,
        data_c$I51T,
        data$I51T,
        varwidth = F,
        xlab = "Temperaturen in °C",
        notch = F,
        col = "lightyellow",
        main = "Boxplot I51T_filt",
        horizontal = T
    )
```

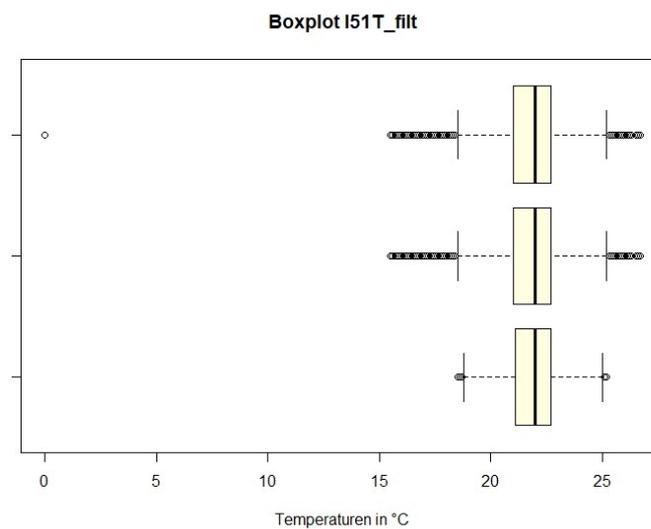


Abbildung 39: Vergleich der Boxplots I51T, I51T korrigiert und I51T gefiltert

Hier können die drei Scatterplots (original, korrigierter und gefilterter Verlauf) direkt miteinander verglichen werden.

```
{par(mfrow =c(3,1))
```

```
plot(zoo(data$I51T, as.Date(data$timestamp, "%d.%m.%Y %H:%M")), #Original
     col = "red",
     pch = 16,
     lwd = 1,
     xlab = "Datum und Uhrzeit",
     ylab = "Temperatur in °C",
     main = "Innenraumtemperatur I51_I51T" )
```

```
plot(zoo(data_c$I51T, as.Date(data_c$timestamp, "%d.%m.%Y %H:%M")), #Korrigiert
     col = "red",
     pch = 16,
     lwd = 1,
     xlab = "Datum und Uhrzeit",
     ylab = "Temperatur in °C",
     main = "Innenraumtemperatur I51_I51T_korr" )
```

```

plot(zoo(data_f$I51T, as.Date(data_f$timestamp, "%d.%m.%Y %H:%M")), #Gefiltert
     col = "red",
     pch = 16,
     lwd = 1,
     xlab = "Datum und Uhrzeit",
     ylab = "Temperatur in °C",
     main = "Innenraumtemperatur I51_I51T_filt" )
}

```

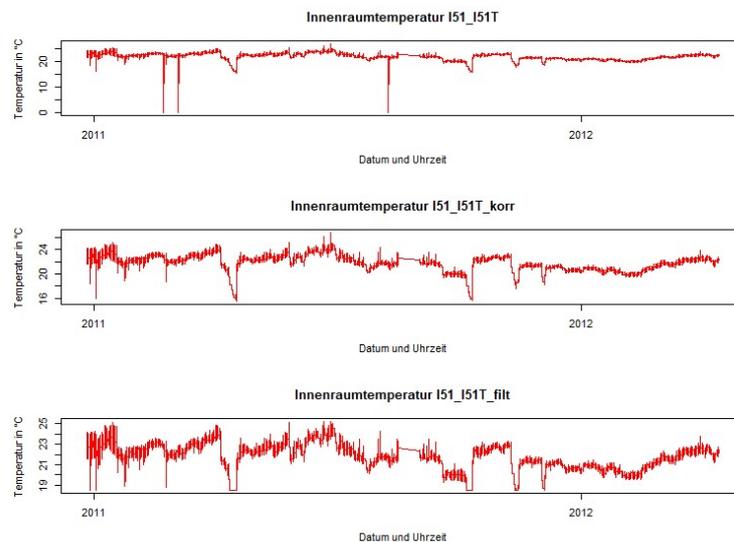


Abbildung 40: Vergleich der Temperatur-Verläufe I51T, I51T korrigiert und I51T gefiltert

3.3 Syntax für I51_MC07_data_analysis

In diesem Dokument wird der Sensor I51_MC07 behandelt, welcher den Wassergehalt der äußeren Innenseite der OSB-Platte bestimmt, und für die Kalibrierung vorbereitet.

Zuerst werden wieder die nötigen Pakete mit Pacman installiert und aus der Bibliothek geladen.

@Gößeringer Daniel

```

{
library(datasets, data.tDable, RColorBrewer)
pacman::p_load(pacman, dplyr, GGally, ggplot2, ggthemes,
               ggvis, httr, lubridate, plotly, rio, rmarkdown, shiny,
               stringr, tidyr, tidyverse, psych, nortest, dgof, zoo, tnyte
               x, latexpdf, reshape)
}

```

Danach wird die Sensordatei aus dem angegebenen Pfad mit der Überschrift und dem Trennzeichen Beistrich importiert. Hier sind zwei Pfade ersichtlich, da auf zwei verschiedenen Geräten gearbeitet wurde.

```
#data_NA <- import('C:/Users/Nutzer/Desktop/MA Temp/Data analysis/Aufbau I
51 separated/Aufbau I51 timestamp 6 bis 8 .csv',header = TRUE, dec = ",")
)
data_NA <- import('C:/Users/Daniel/Desktop/MA Temp/Data analysis/Aufbau I 5
1 separated/Aufbau I51 timestamp 6 bis 8 .csv',header = TRUE, dec = ",")
```

Der erste Schritt ist die Überprüfung ob Fehler, welche z.B.: als -999 im Datensatz vorkommen, vorhanden sind. Dies geschieht mit der Funktion `any(is.na())`. Die TRUE Meldung zeigt an, dass hier Fehler im Datensatz vorhanden sind.

```
any(is.na(data_NA$I51MC07))
```

```
## [1] TRUE
```

Mit der Funktion `complete.cases` können die fehlerhaften Werte entfernt werden. Die Überprüfung, ob die Funktion auch korrekt ausgeführt wurde, wird wieder durch die Funktion `is.na()` durchgeführt. Die FALSE Meldung zeigt an, dass die Fehler entfernt wurden.

```
data <- data_NA[complete.cases(data_NA),]
any(is.na(data$I51MC07))
```

```
## [1] FALSE
```

Ein Überblick über die Daten soll, zuerst durch statistische Kenngrößen und danach durch Grafiken geschehen. Es gibt in dieser Datei 4 Spalten, wobei die erste Spalte V1 der nochmal explizit ausgegebene Index mit der Klasse Integer ist. Die zweite Spalte ist der timestamp (Zeitstempel) mit der Klasse character und zwei Materialfeuchten I51MC01 und I51MC07 des Aufbaus I51 mit der Klasse numeric. Es gibt 65535 Objekte, also Zeilen, in dieser Datei, welche als `data.frame` Objekt importiert wurden.

```
str(data_NA)
```

```
## 'data.frame':    65535 obs. of  4 variables:
## $ V1          : int  1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ...
## $ timestamp: chr  "15.09.2011 15:38" "15.09.2011 16:00" "15.09.2011 17:
01" "15.09.2011 18:01" ...
## $ I51MC01   : num  83.3 83.3 83.3 83.3 83.3 ...
## $ I51MC07   : num  83.3 83.3 83.3 83.3 83.3 ...
```

Die Zusammenfassung der Datei liefert Informationen über die Verteilung der Daten. Durch das Minimum, Maximum, das erste, zweite und dritte Quantil und den Mittelwert kann man einiges über die Verteilung herauslesen. Z.B.: Beim Sensor I51MC07 gleichen sich das dritte Quantil und das Maximum. Daraus kann man schließen, dass der Boxplot keinen oberen Whisker hat und am Maximum abschließt.

```
summary(data)
```

```
##           V1           timestamp           I51MC01           I51MC07
## Min.      :    1   Length:11979   Min.       :19.14   Min.       : 2.074
## 1st Qu.: 2996   Class :character   1st Qu.:83.33   1st Qu.:15.646
## Median : 5990   Mode  :character   Median :83.33   Median :40.403
```

```
## Mean      : 5990          Mean      :81.92   Mean      :48.286
## 3rd Qu.: 8984          3rd Qu.:83.33   3rd Qu.:83.333
## Max.     :11979        Max.      :83.33   Max.      :83.333
```

Die Beschreibung der Datei gibt zusätzliche Informationen in Form der Standardabweichung, der Schiefe und der Kurtosis.

```
describe(data)
```

```
##          vars      n   mean      sd median trimmed      mad   min
## max
## V1          1 11979 5990.00 3458.18 5990.00 5990.00 4440.39  1.00 1197
## 9.00
## timestamp*  2 11979 5990.00 3458.18 5990.00 5990.00 4440.39  1.00 1197
## 9.00
## I51MC01     3 11979   81.92    7.36   83.33   83.33    0.00 19.14   8
## 3.33
## I51MC07     4 11979   48.29   32.33   40.40   49.09   48.11  2.07   8
## 3.33
##          range skew kurtosis   se
## V1      11978.00  0.00   -1.20 31.60
## timestamp* 11978.00  0.00   -1.20 31.60
## I51MC01     64.19 -5.48   30.04  0.07
## I51MC07     81.26  0.02   -1.80  0.30
```

Die Kenngröße, welche noch nicht betrachtet wurde, ist die Varianz. Diese kann durch das Quadrieren der Standardabweichung berechnet werden oder durch die Funktion `var`.

```
var(data$I51MC07)
```

```
## [1] 1044.929
```

Nun wird der Sensor I51MC07 grafisch mittels Scatterplot betrachtet. Der Bereich von 2012 bis Anfang 2013 ähnelt einem gedeckelten Sinusverlauf. Nachfolgend im ersten Drittel von 2013 ist ein linearer Verlauf, was darauf schließen lässt, dass dort keine Daten vorhanden sind. Mitte 2013 ist ein kurzer Zeitraum in dem wieder Werte vorhanden sind. Danach befinden sich bis Mitte 2015 wieder keine Daten. Dann ist wieder ein kurzer Bereich im unteren Wassergehaltsbereich.

```
plot(zoo(data$I51MC07, as.Date(data$timestamp, "%d.%m.%Y %H:%M")),
     col = "blue",
     pch = 16,
     lwd = 1,
     xlab = "Datum und Uhrzeit",
     ylab = "Wassergehalt in kg/m³",
     main = "Wassergehalt I51_MC07" )
```

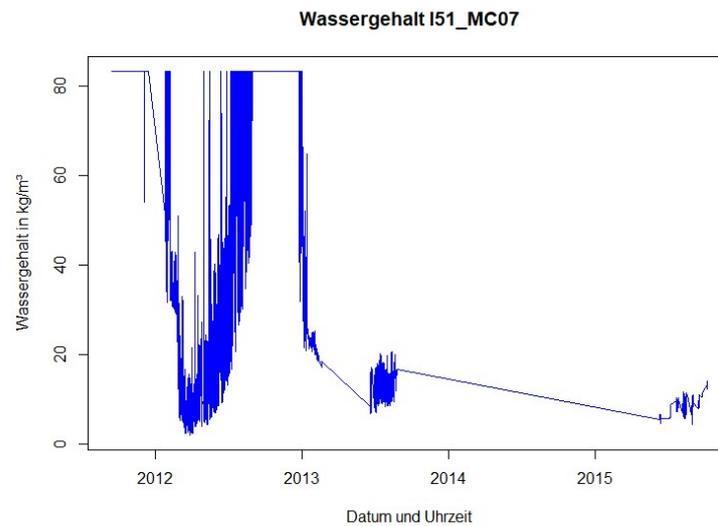


Abbildung 41: Wassergehalt-Zeit Diagramm MC07

Im Histogramm klar zu erkennen ist, dass der gedeckelte Wert von 83,33 kg/m³ Feuchtigkeit, mit großer Häufigkeit vorkommt. Die normalverteilte Kurve (rot) zeigt eindeutig, dass hier keine Normalverteilung stattfindet.

```
#data$I51MC07 <- as.numeric(as.character(data$I51MC07))
{hist(data$I51MC07,
      col = "white",
      main = "Histogramm I51_MC07",
      ylab = "Summe des wassergehaltes",
      xlab = "Wassergehalt in kg/m³",
      freq = FALSE)

  curve(dnorm(x, mean = mean(data$I51MC07), sd = sd(data$I51MC07)),
        type = "l",
        col = "red",
        lwd = 2,
        add = TRUE)
}
```

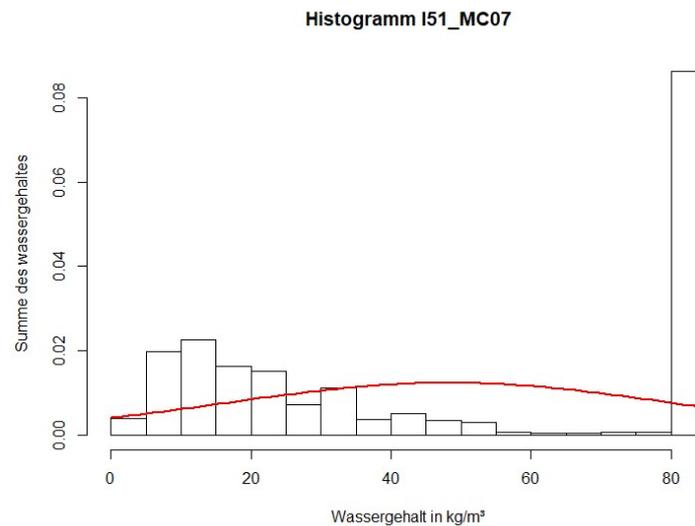


Abbildung 42: Histogramm MC07

Die kumulierte Verteilungsfunktion zeigt im unteren Bereich eine hohe Dichte an Werten und im oberen Bereich, ab 55 kg/m³, eine geringere Dichte.

```
plot(data$I51MC07,
      pnorm(data$I51MC07, mean = mean(data$I51MC07), sd = sd(data$I51MC07)),
      ylab = "relative Häufigkeit",
      xlab = "Wassergehalt in kg/m³",
      main = "kumulierte Verteilungsfunktion I51_MC07",
      ylim=c(0,1))
```

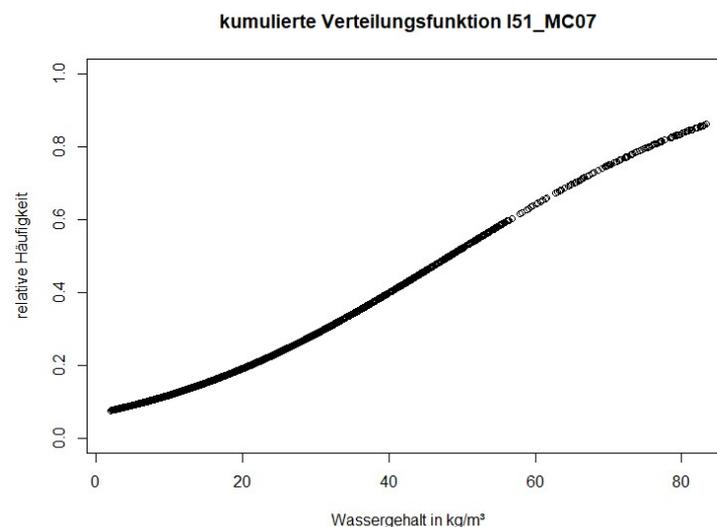


Abbildung 43: kumulierte Verteilungsfunktion MC07

Der Boxplot bestätigt, die vorher ausgedrückten Vermutungen. Der maximale Wert gleicht dem 75% Quantil und dem oberen Whisker. Es gibt keine Ausreißer in diesem Datensatz, wodurch eine Filterung der Daten nicht nötig ist.

```
boxplot(data$I51MC07,
        varwidth = F,
```

```
xlab = "Wassergehalt in kg/m³",
notch = F,
col = "lightyellow",
main = "Boxplot I51_MC07",
horizontal = T
)
```

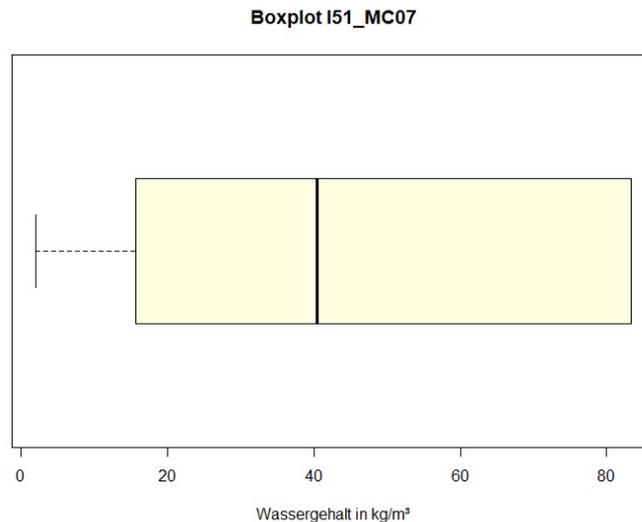


Abbildung 44: Boxplot MC07

Nun werden wieder die vier aussagekräftigsten Abbildungen zusammengefasst, um eine Grafik zu erzeugen. Wenn man das Histogramm mit der kumulierten Verteilungsfunktion vergleicht, kann man erkennen, dass die Werte über 80 kg/m³ als Fehler betrachtet werden können. Im Histogramm haben sie eine hohe Häufigkeit während sie in der kumulierten Verteilungsfunktion nicht dargestellt werden. Dies ist auch aus dem Boxplot ablesbar.

```
{
  par(mfrow =c(2,2))

  plot(zoo(data$I51MC07, as.Date(data$timestamp, "%d.%m.%Y %H:%M")),
    col = "blue",
    pch = 16,
    lwd = 1,
    xlab = "Datum und Uhrzeit",
    ylab = "Wassergehalt in kg/m³",
    main = "Wassergehalt I51_MC07" )

  {hist(data$I51MC07,
    col = "white",
    main = "Histogramm I51_MC07",
    ylab = "Summe des Wassergehaltes",
    xlab = "Wassergehalt in kg/m³",
    freq = FALSE)

  curve(dnorm(x, mean = mean(data$I51MC07), sd = sd(data$I51MC07)),
    type = "l",
    col = "red",
```

```

    lwd = 2,
    add = TRUE)
}
plot(data$I51MC07,
      pnorm(data$I51MC07, mean = mean(data$I51MC07), sd = sd(data$I51MC07)),
      ylab = "relative Häufigkeit",
      xlab = "Wassergehalt in kg/m³",
      main = "kumulierte Verteilungsfunktion I51_MC07",
      ylim=c(0,1))

boxplot(data$I51MC07,
        varwidth = F,
        xlab = "Wassergehalt in kg/m³",
        notch = F,
        col = "lightyellow",
        main = "Boxplot I51_MC07",
        horizontal = T
        )
}

```

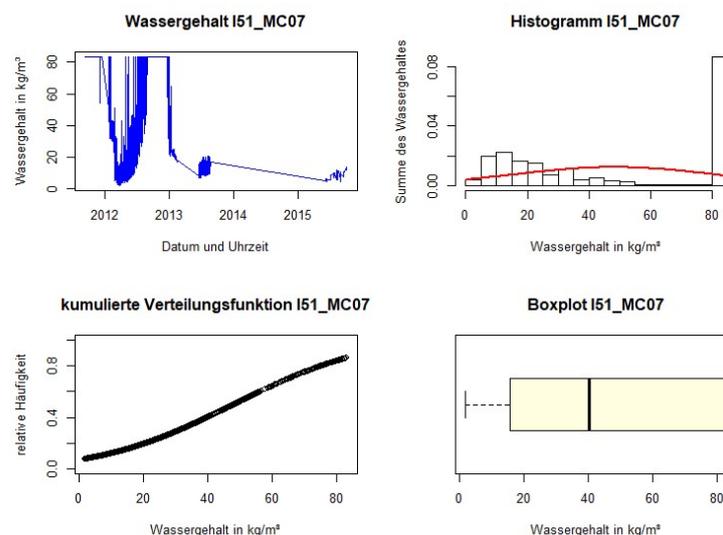


Abbildung 45: Überblick MC07

Hier werden nun alle Wassergehalte über $83,33 \text{ kg/m}^3$ gefiltert. Die, über das Histogramm gelegte, normalverteilte Funktion zeigt nun eine leichte Neigung zur Normalverteilung. Dies kann wieder über den Anderson-Darling-Test (AD-Test) überprüft werden. Der Boxplot und die kumulierte Verteilungsfunktion zeigen Ausreißer im oberen Bereich des Wassergehaltes.

```

{
  data_c <- filter(data, I51MC07 < 83.33) #data_c == data_cleaned
  par(mfrow = c(2,2))

  plot(zoo(data_c$I51MC07, as.Date(data_c$timestamp, "%d.%m.%Y %H:%M")),
       col = "blue",
       pch = 16,
       lwd = 1,
       xlab = "Datum und Uhrzeit",

```

```
    ylab = "Wassergehalt in kg/m³",
    main = "Wassergehalt I51_MC07" )

{hist(data_c$I51MC07,
      col = "white",
      main = "Histogramm I51_MC07",
      ylab = "Summe des Wassergehaltes",
      xlab = "Wassergehalt in kg/m³",
      freq = FALSE)

  curve(dnorm(x, mean = mean(data_c$I51MC07), sd = sd(data_c$I51MC07)),
        type = "l",
        col = "red",
        lwd = 2,
        add = TRUE)
}

plot(data_c$I51MC07,
      pnorm(data_c$I51MC07, mean = mean(data_c$I51MC07), sd = sd(data_c$I51M
C07)),
      ylab = "relative Häufigkeit",
      xlab = "Wassergehalt in kg/m³",
      main = "kumulierte Verteilungsfunktion I51_MC07",
      ylim=c(0,1))

boxplot(data_c$I51MC07,
        varwidth = F,
        xlab = "Wassergehalt in kg/m³",
        notch = F,
        col = "lightyellow",
        main = "Boxplot I51_MC07",
        horizontal = T
        )
}
```

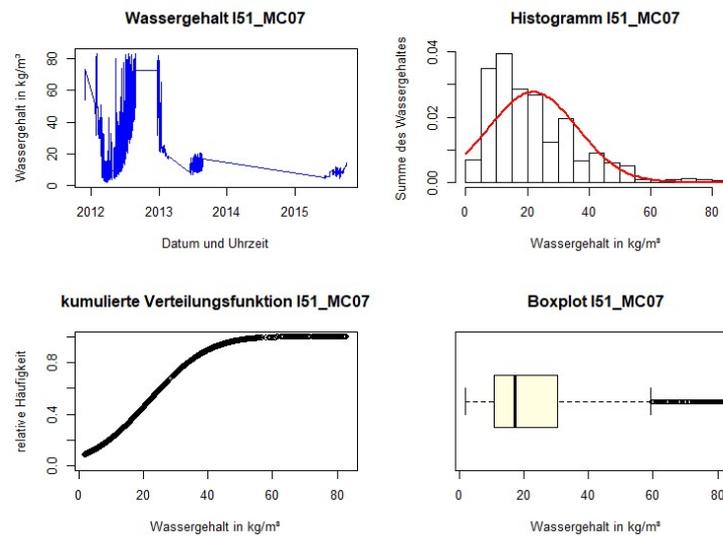


Abbildung 46: Überblick MC07 korrigiert

Die Werte oberhalb von 58 kg/m^3 Wassergehaltes werden gefiltert, um die Ausreißer zu entfernen.

```
{
  data_f <- filter(data, I51MC07 < 58) #data_c == data_cleaned
  par(mfrow = c(2,2))

  plot(zoo(data_f$I51MC07, as.Date(data_f$timestamp, "%d.%m.%Y %H:%M")),
       col = "blue",
       pch = 16,
       lwd = 1,
       xlab = "Datum und Uhrzeit",
       ylab = "Wassergehalt in kg/m³",
       main = "Wassergehalt I51_MC07" )

  {hist(data_f$I51MC07,
       col = "white",
       main = "Histogramm I51_MC07",
       ylab = "Summe des Wassergehaltes",
       xlab = "Wassergehalt in kg/m³",
       freq = FALSE)

  curve(dnorm(x, mean = mean(data_f$I51MC07), sd = sd(data_f$I51MC07)),
       type = "l",
       col = "red",
       lwd = 2,
       add = TRUE)
  }

  plot(data_f$I51MC07,
       pnorm(data_f$I51MC07, mean = mean(data_f$I51MC07), sd = sd(data_f$I51M
C07)),
       ylab = "relative Häufigkeit",
       xlab = "Wassergehalt in kg/m³",
       main = "kumulierte Verteilungsfunktion I51_MC07",
```

```

ylim=c(0,1))

boxplot(data_f$I51MC07,
        varwidth = F,
        xlab = "Wassergehalt in kg/m³",
        notch = F,
        col = "lightyellow",
        main = "Boxplot I51_MC07",
        horizontal = T
        )
}

```

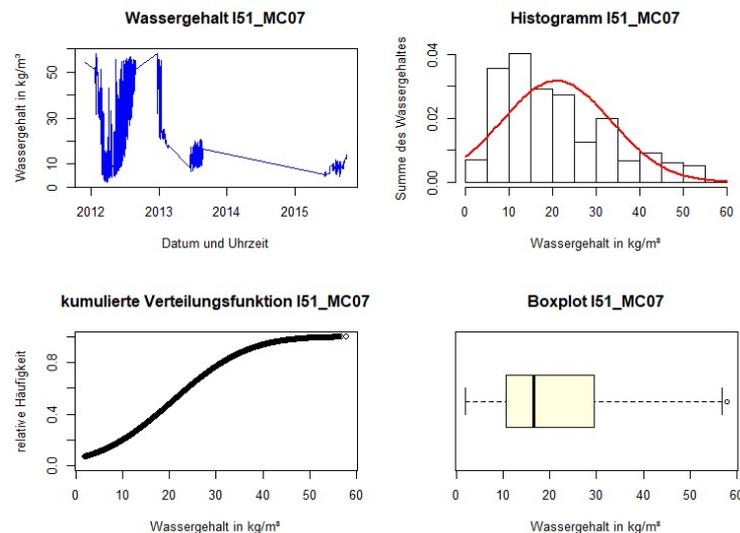


Abbildung 47: Überblick MC07 gefiltert

Der AD-Test bestätigt, dass der Wassergehalt normalverteilt ist, da der P-Wert unter 0,05 liegt.

```
ad.test(data_f$I51MC07)
```

```

##
## Anderson-Darling normality test
##
## data: data_f$I51MC07
## A = 163.24, p-value < 2.2e-16

```

Durch eine multiple Regression auf Basis der Sinus-Funktion kann versucht werden weitere Daten des betrachteten Zeitraums zu erzeugen. Dadurch kann auch über mehrere Jahre der Wassergehalt in der OSB-Platte geschätzt werden. Der, durch die Regression entstandene Verlauf weist dann einen konstanten Mittelwert bzw. Median auf d.h. es kann nicht zu einer Übersättigung dieser Schicht kommen. Der Zeitraum von Anfang 2012 bis Anfang 2013 wird über den Index herausgefiltert. Mit der POSIXct Funktion kann nun mit den Daten gerechnet werden, da diese mit einer Zahl hinterlegt werden. Es wird eine allgemeine Sinusfunktion erzeugt ($y = a + b * \sin(\pi Timec + d)$) mit dieser und der Funktion `<b<nls` können die Parameter a bis d kalkuliert werden. Für diese Parameter müssen die groben Werte schon stimmen, da sonst die Fehlermeldung (singuläre Gradientenmatrix bei der ersten Parameterschätzung) erscheint. Dies wird in einem extra

Kapitel behandelt. Nun kann mit `sine_model` und `predict` die angepasste Sinusfunktion geplottet werden. Aus dieser Sinusfunktion können nun auch Werte über mehrere Jahre erzeugt werden, welche dann mit Delphine betrachtet werden können.

```
{
data_s <- filter(data_f, V1 <= 10300) #Sinuskurve bis Index 10300

time_col <- as.POSIXct(data_s$timestamp, format = "%d.%m.%Y %H:%M", tz = "C
ET") #converts String to time
num_time_col <- as.numeric(time_col)
data_s$timestamp <- num_time_col #Set Time to timestamp

Time <- data_s$timestamp
Water <- data_s$I51MC07

sine_model <- nls(Water ~ a + b * sin(pi*Time*c + d),
                  start = list(a = 50, b = 50, c = 0.000000069, d = -285.1),
                  control = list(maxiter = 500, tol = 1e-05, minFactor = 1/
1000))

new.data <- data.frame(Time = seq(min(Time),max(Time),len = 10300))
{
plot(zoo(Water, Time),
     col = "blue",
     pch = 16,
     lwd = 1,
     type = "h",
     xlab = "Datum und Uhrzeit",
     ylab = "Wassergehalt in kg/m³",
     main = "Wassergehalt I51_MC07",
     ylim = 0:70)

lines(new.data$Time,predict(sine_model,newdata = new.data), col = "red")
}
}
```

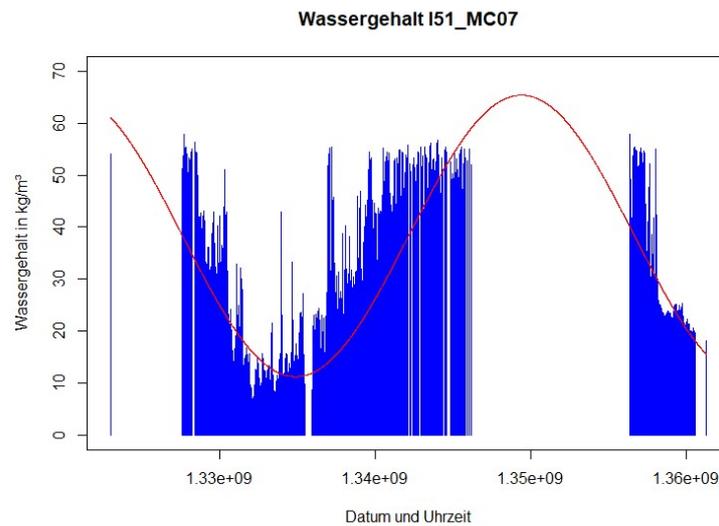


Abbildung 48: Wassergehalt-Zeit-Diagramm mit Sinus-Regressions-Kurve

Vergleich der drei Boxplots (importiert, korrigiert und gefiltert).

```

boxplot(data_f$I51MC07,
        data_c$I51MC07,
        data$I51MC07,
        varwidth = F,
        xlab = "Temperaturen in °C",
        notch = F,
        col = "lightyellow",
        main = "Boxplot I51_MC07",
        horizontal = T
)
    
```

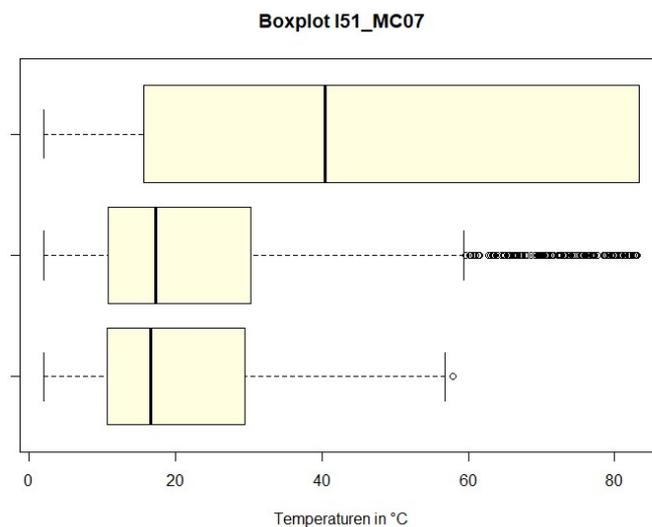


Abbildung 49: Vergleich der Boxplots MC07, MC07 korrigiert und MC07 gefiltert

Hier können die drei Scatterplots (original, korrigierter und gefilterter Verlauf) direkt miteinander verglichen werden.

```

{par(mfrow =c(3,1))

plot(zoo(data$I51MC07, as.Date(data$timestamp, "%d.%m.%Y %H:%M")), #Original
     col = "red",
     pch = 16,
     lwd = 1,
     xlab = "Datum und Uhrzeit",
     ylab = "Temperatur in °C",
     main = "Innenraumtemperatur I51_MC07" )

plot(zoo(data_c$I51MC07, as.Date(data_c$timestamp, "%d.%m.%Y %H:%M")), #Korrigiert
     col = "red",
     pch = 16,
     lwd = 1,
     xlab = "Datum und Uhrzeit",
     ylab = "Temperatur in °C",
     main = "Innenraumtemperatur I51_MC07_korr" )

plot(zoo(data_f$I51MC07, as.Date(data_f$timestamp, "%d.%m.%Y %H:%M")), #Gefiltert
     col = "red",
     pch = 16,
     lwd = 1,
     xlab = "Datum und Uhrzeit",
     ylab = "Temperatur in °C",
     main = "Innenraumtemperatur I51_MC07_filt" )

}@Gößeringer Daniel

```

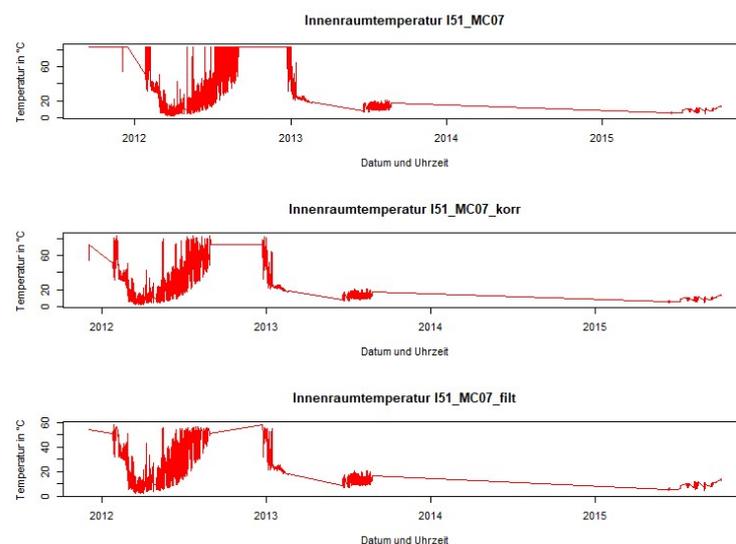


Abbildung 50: Vergleich der Temperaturverläufe MC07, MC07 korrigiert und MC07 gefiltert

4 Analyse und Aufbereitung der Daten von Bauteil I51

Die Aufzeichnung der Messdaten startete im Jahr 2011 und endete im Jahr 2016, wobei im letzten Quartal der Aufzeichnung dauerhaft fehlerhafte Werte zumindest bei den kombinierten Sensoren aufgezeichnet wurden. Die Messdaten werden in diesem Kapitel analysiert, um auf die Schadenswahrscheinlichkeiten eingehen zu können, und für eine automatische Kalibrierung vorbereitet. Fehlerhafte Werte sind Werte, die sehr wahrscheinlich nicht in dieser Form in der Natur auftreten im Aufbau oder in der Umgebung (z.B.: konstante Temperaturwerte bei -20 °C im Sommer über mehrere Wochen).

Die Analyse der Daten wird mittels R durchgeführt. Ein Vorteil von R im Vergleich zu Excel ist, dass große Datenmengen die Leistungsfähigkeit des Computers nicht stark mindern. Weiters können in den sogenannten R Notebooks (Notizbücher) die Prozesse zur Analyse der Daten einmal erstellt werden und dann können die Inputvariablen einfach verändert werden, um beispielsweise einen anderen Sensor zu betrachten. Mithilfe dieser Notizbücher können die einzelnen Sensoren einer Beurteilung unterzogen werden und falls notwendig miteinander verglichen werden. Außerdem kann daraus als Output eine Datei z.B.: Word oder HTML ausgegeben werden. In R können außerdem benutzerdefinierte Diagramme erstellt werden, mit denen eine genaue Beurteilung der Daten, z.B.: die allgemeine IsoPLEthenmethode zur Beurteilung von Myzelwachstum möglich ist.

Das Programm, mit welchem die Langzeitresultate simuliert und mit dem auch die automatisierte Kalibrierung stattfinden soll, ist Delphin. Dies ist ein mehrsprachiges Simulationsprogramm für den gekoppelten Wärme-, Feuchte-, und Stofftransport in kapillarporösen Baustoffen. Der wichtigste Unterschied zu WUFI ist der, dass der Quellcode offen eingesehen werden kann und auch dieser verändert werden kann.

4.1 Messtheorie und -instrumente

Bevor die Analyse durchgeführt wird, werden die Messinstrumente analysiert und in Bezug auf die Analyse wichtige Kennzahlen wie z.B.: die Genauigkeit, die Auflösung und der Messbereich beleuchtet. Die folgenden Kennzahlen wurden den Datenblättern der Hersteller entnommen.

In Tabelle 10 sind die Kennzahlen der kombinierten Sensoren des Typs Sensirion SHT75 abgebildet. Dieser Sensor wird, wie in Kapitel 4.2.2 dargestellt, in den Bauteilen montiert.

Tabelle 10: Kennzahlen der kombinierten Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensoren

Bezeichnung:	Sensirion SHT75	
	<i>kombinierter Temperatur- und relative Luftfeuchtigkeitssensor</i>	
	Temperatur	rel. Luftfeuchtigkeit
	[°C]	[%]
Auflösung	0,01	0,05
Genauigkeit:	$\pm 0,3$	$\pm 1,8$
Messbereich:	-40 bis 123,8	0 bis 100

Zusätzlich zu dieser Tabelle werden vom Hersteller noch die folgenden Abbildungen zur Verfügung gestellt. In den Abbildungen Abbildung 52 und Abbildung 54 kann die Genauigkeit in Bezug auf die Messgröße abgelesen werden.

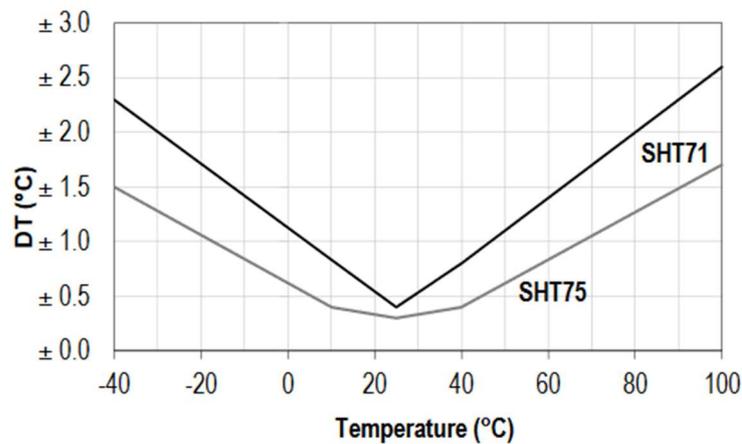


Abbildung 51: Maximale Toleranz der Temperatur von Sensor SHT75 [16]

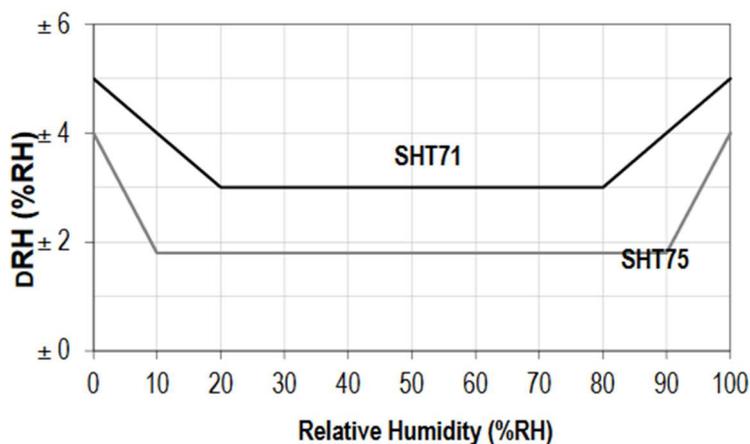


Abbildung 52: Maximale Toleranz der relativen Luftfeuchtigkeit von Sensor SHT75 [16]

In Tabelle 11: Kennzahlen der Temperatursensoren sind die Kennzahlen der Temperatursensoren abgebildet. Diese werden für die Aufzeichnung der Temperatur der Außen- und Innenoberfläche verwendet. Die Genauigkeit der Temperatur kann nach [5] jedoch auch temperaturabhängig nach Formel 4 berechnet werden. Durch diese Berechnung ergibt sich eine Genauigkeit für den zugelassenen Bereich bei $\pm 1,5$ °C.

Tabelle 11: Kennzahlen der Temperatursensoren

Bezeichnung:	Ahlborn T190-10 Temperatursensor
	Temperatur
	[°C]
Genauigkeit:	$\pm 2,5$ ($\pm 1,5$)
Messbereich:	-200 bis +205

Formel 4: temperaturabhängige Genauigkeit des Sensors T190-10

$$G = 0,0075 \cdot |t|$$

Über die Materialfeuchtesensoren ist keine Angabe der Kennzahlen möglich, da diese von der fh-FGmbH selbst entwickelt wurden.

Um ein genaueres Bild über die Aussagekraft der Sensordaten zu bekommen, ist es notwendig die theoretische Verteilung zu betrachten. Nach [6] haben geeichte Geräte, bei denen eine untere und obere Grenze angegeben wird, eine Rechteckverteilung als zugeordnete Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion zugrunde (siehe Abbildung 53).

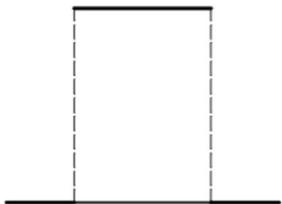
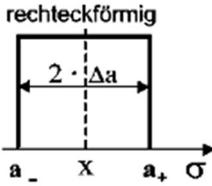
verfügbare Information	zugeordnete Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion und Veranschaulichung (nicht maßstäblich)	Unterabschnitt
untere und obere Grenzen a, b	Rechteckverteilung: $R(a, b)$ 	6.4.2

Abbildung 53: vorhandene Information des Sensors und die zugeordnete Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion

Nach [7] kann für diese Art von Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion, wie in Tabelle 12: Berechnung von Erwartungswerten und Standardunsicherheiten für eine Rechteckverteilung nach [7] dargestellt, die Standardabweichung (Formel 5) und der Erwartungswert (Formel 6) berechnet werden.

Tabelle 12: Berechnung von Erwartungswerten und Standardunsicherheiten für eine Rechteckverteilung nach [7]

Kenntnisse über die Größe	Resultierende PDF	Erwartungswert	Standardunsicherheit
Mögliche Werte der Größe sind im Intervall $[a_+; a_-]$ enthalten Beispiel: - Fehlergrenzen - Digitalisierung	rechteckförmig 	$x = \frac{a_+ + a_-}{2}$	$u_x = \frac{\Delta a}{\sqrt{3}}$

Formel 5: Berechnung der Standardabweichung u_x bei einer Rechteckverteilung mit den Grenzen $-\Delta a$ bis $+\Delta a$

$$u_x = \frac{\Delta a}{\sqrt{3}}$$

Formel 6: Berechnung des Erwartungswertes x bei einer Rechteckverteilung mit den Grenzen $-\Delta a$ bis $+\Delta a$

$$x = \frac{a_+ + a_-}{2}$$

Der Einfluss dieses Verhalten wird folgend beispielhaft am Sensor I51_RH03 (RH und T) gezeigt. Diese Sensordaten werden dreimal in der Kurzversion der Sensoranalyse betrachtet, wobei einmal der untere Grenzwert abgezogen und einmal der obere Grenzwert addiert wird. Die Dauer in denen einer der Zustände (Schimmelpilzbildung, Holzfäule und Kondensat) auftritt wird in Tabelle 13 beleuchtet. Die Grenzen von $\pm 0,3 \text{ °C}$ der Temperatur und $\pm 1,8 \text{ %}$ der relativen Luftfeuchtigkeit haben starken Einfluss auf die Auswertung. Bei

der Dauer des Schimmelpilzes ergeben sich Grenzwerte von ca. $\pm 6,6$ %, bei der Holzfäule liegt dieser Wert bei ca. 9,3 % und beim Kondensat liegt der obere Grenzwert bei 6,4 % und der untere bei ca. 1,8 %. Wichtig ist anzumerken, dass diese Schwankungsbreiten nur für diesen Sensor gelten. Bei der Kondensatberechnung kann es, da es nicht weniger als 0 % Kondensatdauer geben kann, zu einer verfälschten unteren Grenze kommen.

Tabelle 13: Wirkung der Genauigkeit des kombinierten Sensors am Beispiel RH03

Datensatz	I51_RH03_RH bzw. _T		
Grenzwert	-1,80 %		+1,80 %
	-0,3 °C		+0,3 °C
Beispiel-Temperatur	16,7 °C	17,0 °C	17,3 °C
Beispiel-Luftfeuchtigkeit	63,2 %	65,0 %	66,8 %
Dauer Schimmel	70,4 %	77,1 %	83,7 %
Dauer Holzfäule	28,0 %	37,8 %	46,6 %
Dauer Kondensat	0,0 %	1,8 %	8,2 %

Durch diese Tabelle kann gezeigt werden, dass die folgenden Beurteilungen durchaus einer Schwankungsbreite unterliegen und mit Vorsicht zu genießen sind. Dies wird in der Interpretation (Kapitel 4.8). berücksichtigt.

4.2 Analyse der Datensätze des Aufbaus I51

Bei der Analyse wird grundsätzlich zwischen drei verschiedenen Arten von Sensoren unterschieden. Zuerst werden die Materialfeuchtigkeitssensoren, dann die kombinierten Temperatur- und relative Luftfeuchtigkeitssensoren und zum Schluss die Temperatursensoren (Außen und Innen) betrachtet. Die Abfolge in der die Sensoren betrachtet werden hat keine tiefere Bedeutung. Wichtig ist jedoch, dass die Sensoren ihren Typen nach gegliedert beurteilt werden.

Zuerst werden alle Sensoren beurteilt, ob diese brauchbar sind. Zuerst wird der Verlauf bzw. die Kurve des Sensors qualitativ überprüft, in dem scheinbar fehlerhafte Werte gesichtet werden. Falls die fehlerhaften Werte lediglich einen geringfügigen Teil der gesamten Aufzeichnung ausmachen wird danach durch grafische Verfahren etwas über die Verteilung der Sensoren herausgefunden (z.B.: Boxplot).

Danach wird der Sensor mit einem verglichen, welcher ähnliche Eigenschaften aufweisen soll bzw. mit einem der sich in dessen Nähe befindet. Dies geschieht bei Sensoren die sich in der Nähe voneinander befinden. Aus diesem Vergleich kann man ableiten, welche Einflüsse die Geometrie des Gebäudes, die aufgeständerte Photovoltaikanlage oder Wärmebrücken auf die Funktion der Konstruktion haben. Die bisher genannten Schritte werden für alle Sensoren durchgeführt. Danach werden im Detail nur die kombinierten Sensoren betrachtet. Diese werden detailliert untersucht, um Probleme wie die Bildung von

Schimmel, Holzfäule und Kondensat zu erkennen. Als Nächstes werden die kombinierten Sensoren gleicher Position miteinander verglichen, also die vertikal übereinanderliegenden Sensoren. Daraus kann man auf den Wärmestrom an der jeweiligen Position schließen und so Schlussfolgerungen z.B.: über die zunehmende Durchfeuchtung des Dämmstoffes ziehen. Außerdem kann man den temperatur- und feuchtigkeitsabhängigen U-Wert des Bauteils an der jeweiligen Stelle generieren und wieder die Wärmeströme (dynamisch) betrachten. Diese beiden werden dann miteinander verglichen, um so den Einfluss aus Feuchtigkeit und Temperatur ersichtlich zu machen.

Die Ergebnisse der hygrothermischen Untersuchung und der Wärmestromuntersuchung werden in Kapitel 4.7 zusammengefasst und dort werden auch die gesamten Sensoren des Bauteils I51 verglichen.

4.2.1 Allgemeines über die Wassergehaltssensoren

Die Sensorik ist eine Eigenentwicklung der FH Spittal und misst die Feuchtigkeit mittels des Leitwertprinzips. Der Messbereich kann dabei laut Endbericht zwischen 7 und 38% liegen. Die Wassergehaltssensoren befinden sich alle auf der Innenseite der außenliegenden OSB-Platte, wobei die Lage innerhalb der Konstruktion aus Abbildung 56: Bauteil I51 Sensorpositionen in der Konstruktion entnommen werden kann. Ein möglicher typischer Verlauf für den Wassergehalt in einer Schicht kann aus WUFI entnommen werden und könnte wie in Abbildung 54 aussehen.

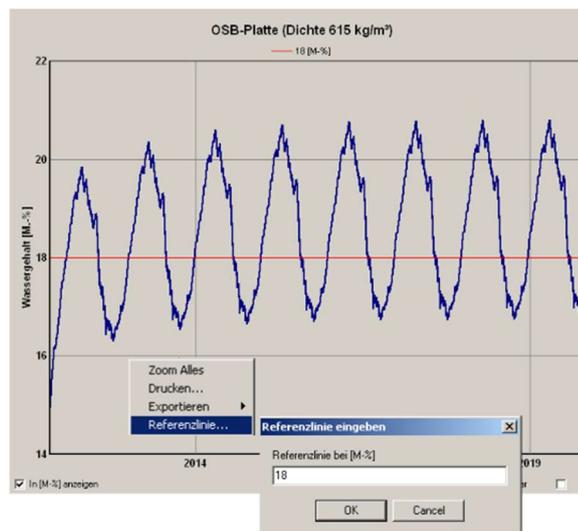


Abbildung 54: typischer Verlauf des Wassergehaltes in einer OSB-Platte [4]

Dabei kann in zwei Bereiche unterschieden werden, wie in Abbildung 55 zu sehen ist. Erstens das Anfangsverhalten und dann später kann es zu einem eingeschwungenen Zustand [2] des Wassergehaltes kommen. Es kann aber auch zu einem stetigen Anstieg des Wassergehaltes kommen, bis hin zur kompletten Durchfeuchtung des Aufbaus oder zu einer vollständigen Austrocknung, die durch einen periodischen Anstieg und wiederholtes Austrocknen gekennzeichnet ist.

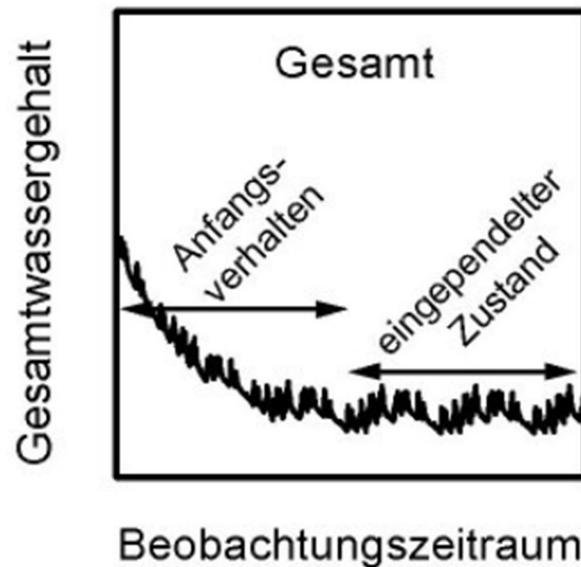


Abbildung 55: typische Bereiche eines Wassergehaltsverlaufes beim eingeschwungenen Zustand [4]

Auf diese Verhaltensweisen werden die Wassergehaltssensoren geprüft, um so auf ihre Brauchbarkeit und auf einen möglichen Schaden in der Zukunft schließen zu können.

4.2.2 Hygrothermische Beurteilung der Sensoren

Bei der hygrothermischen Beurteilung der Sensoren wird zuerst jeder Sensor im Allgemeinen beurteilt. Dies betrifft die Form, die Verteilung und mögliche Lücken in der Aufzeichnung des Sensors. Wird diese Überprüfung bestanden, werden diese Sensoren, falls notwendig, weiteren Untersuchungen unterzogen. Dabei werden zuerst Jahres- und Monatsmittelwerte erzeugt, um mögliche Tendenzen zu erkennen, welche wichtig für die Analyse der Daten sind. Dann werden die Isoplethen gebildet, durch die können dann Aussagen über das Schimmelpilzwachstum getroffen werden. Danach wird noch die theoretische Kondensatbildung untersucht. Diese Untersuchungen werden dann in Kapitel 4.7 zusammengefasst. In Abbildung 56 sind die in der Konstruktion I51 verbauten Sensoren abgebildet. Begonnen wird mit den Materialfeuchtigkeitssensoren (blau), danach werden die Sensoren, welche die relative Luftfeuchtigkeit und die Temperatur in der Konstruktion aufzeichnen (grün), betrachtet und zuletzt die Sensoren, welche die Außen- bzw. Innenraumtemperatur und relative Luftfeuchtigkeit aufzeichnen (rot). Kombinierte Sensoren, die in der Konstruktion nahe beieinander sind werden in der Analyse miteinander verglichen (z.B.: Position 1 wird mit Position 2, also RH01 mit RH02 und RH21 mit RH22, Position 3 bis 5 und Position 6 und 7), um Einflüsse aus der Geometrie und Konstruktion besser analysieren zu können.

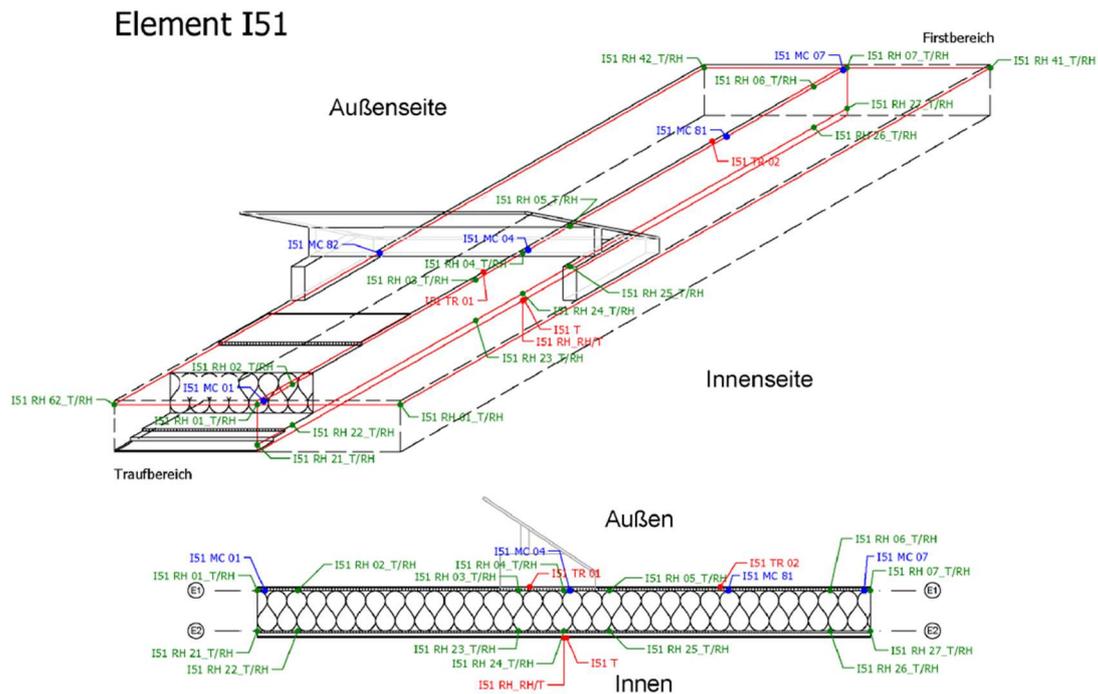


Abbildung 56: Bauteil I51 Sensorpositionen in der Konstruktion

Die Lage der einzelnen Bauteile kann der Abbildung 57 entnommen werden.



Abbildung 57: Übersicht über die Lage der Bauteile

In Abbildung 58 ist die Lage des Bauteils I51 samt Nordpfeil abgebildet. Im Norden ist der Traufbereich, samt Wandanschluss zu sehen, während im Süden zwischen I59 und I51 eine Attika gebaut wurde. I51 und I52 sind direkt nebeneinander, also ohne Attika, platziert. Westlich ist zwischen I54 und I51 wieder eine Attika.

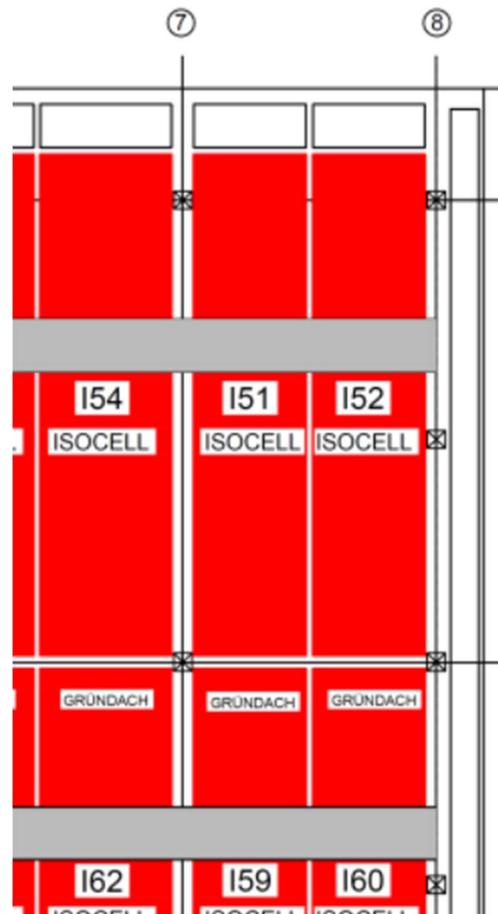


Abbildung 58: Lage des Bauteils I51 im Detail [1]

Die Lage der Bauteile und der Attikas kann ebenso aus Abbildung 2 entnommen werden.

Aus den Bezeichnungen dieser Sensoren z.B.: RH03_RH können Bedeutungen entnommen werden. Die Buchstabenkombinationen bedeuten an erster Stelle:

- I51 → Bauteilbezeichnung

An zweiter Stelle:

- RH → kombinierter relative Luftfeuchtigkeits- und Temperatursensor
- MC → Wassergehaltssensor
- TR & T → Temperatursensor

An Dritter:

- 01 bis 07 → die Position des Sensors, außenseitig
- 21 bis 27 → die Position des Sensors, raumseitig
- 41 & 42 → die Position des Sensors, außenseitig in Dachmitte
- 61 & 62 → die Position des Sensors, außenseitig im im Wandbereich

Und die Letzte, welche nur bei den kombinierten Sensoren verwendet wird, bedeutet:

- _RH → die relative Luftfeuchtigkeitsmessung
- _T → die Temperaturmessung

4.3 Wassergehaltssensoren

Die Wassergehaltssensoren sind eine Eigenentwicklung der fh-FGmbH und funktionieren nach dem Leitwertprinzip. Der Messbereich dieser liegt im Bereich von 7 bis 38% Holzfeuchte. Diese Sensoren werden in den folgenden Kapiteln einzeln betrachtet und ausgewertet.

4.3.1 Wassergehaltssensor MC01

In Abbildung 59 sind die Daten des Wassergehaltssensors MC01 des Bauteils I51 zu sehen. Die durchgehende grüne Linie, welche sich von links oben ($83,33 \text{ kg/m}^3$) nach rechts bewegt (ca. 77 kg/m^3), ist die lineare Trendlinie. Die restlichen grünen Inhalte sind Punkte, die vom Sensor aufgezeichnet wurden. Bei dem Wassergehalt von $83,33 \text{ kg/m}^3$ wurden so viele Punkte aufgezeichnet, dass es zu einer Linienbildung kommt. Dies deutet darauf hin, dass dies den obersten Grenzwert der messbaren Feuchtigkeit des Sensors darstellt, wobei nicht ausgeschlossen werden kann, dass die Feuchtigkeit noch weiter ansteigen kann. Der Sensor misst mittels Stromschläge die elektrische Leitfähigkeit des Materials in gewissen zeitlichen Abständen. Der Widerstand, der dabei gemessen wird, kann in einen Wassergehalt umgerechnet werden. Des Weiteren gibt es einige Bereiche, die keine Werte aufweisen. Zwischen Mitte 2013 und Mitte 2014 ist so ein Messdatenausfall zu verzeichnen. Im Bereich zwischen Anfang 2012 und Mitte 2013 fehlen auch in unregelmäßigen Abständen Werte. Der größte fehlende Bereich liegt zwischen dem dritten Quartal 2013 und dem zweiten 2015. Aus diesen Daten ist kein eindeutiger Verlauf zu erkennen, da einerseits sehr viele Daten fehlen und der obere Grenzwert erreicht wurde. Die wenigen Daten, die dennoch vorhanden sind, zeigen keinen eindeutigen Verlauf und liefern keine aussagekräftigen Ergebnisse. Die maßgeblichen Ausfallzeiträume werden hier in Rot dargestellt.

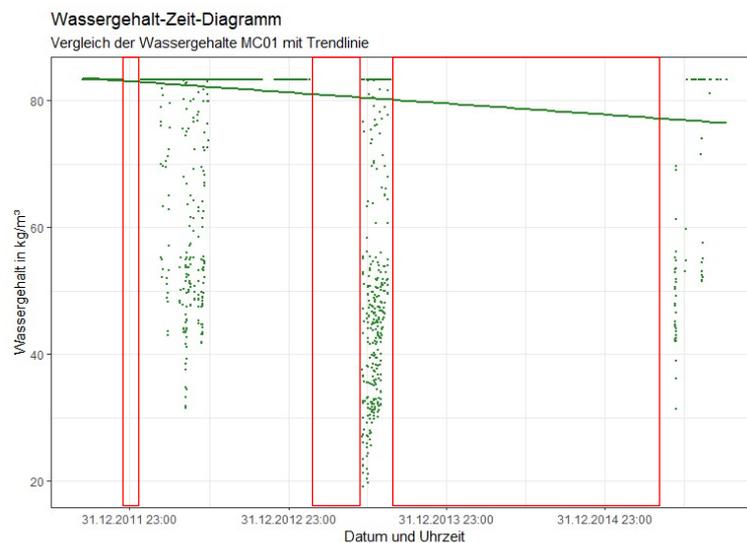


Abbildung 59: Wassergehalt-Zeit Diagramm Sensor MC01

4.3.2 Wassergehaltssensor MC04

Zum Sensor MC04 des Bauteils I51 sind keine Daten vorhanden.

4.3.3 Wassergehaltssensor MC07

In Abbildung 60 sind die Punkte dieses Sensors gelb eingetragen. Die gelbe linear verlaufende Linie ist die Trendlinie dieses Datensatzes. Sie startet bei ca. 62 kg/m³ und sinkt bis zum Ende der Aufzeichnung auf 0 ab. Es herrscht wieder eine Deckelung der Ergebnisse bei 83,33 kg/m³.

Es gibt drei Aufzeichnungsperioden. Die erste Aufzeichnung läuft von Herbst 2010 bis Ende 2012 und man kann einen sinusförmigen Verlauf erahnen. Die zweite Periode ist kurz und befindet sich Mitte 2013. Die dritte und letzte Periode ist Mitte 2015. Bei den beiden letzteren Perioden sind die Werte, die aufgezeichnet werden, recht konstant bei ca. 10 bis 20 kg/m³. Dadurch, dass über 1,5 Jahre an Daten der gesamten Aufzeichnungsperiode fehlen und ein großer Teil der Daten gedeckelt sind, sind die Daten nicht aussagekräftig. Die maßgeblichen Ausfallzeiträume werden hier in Rot dargestellt.

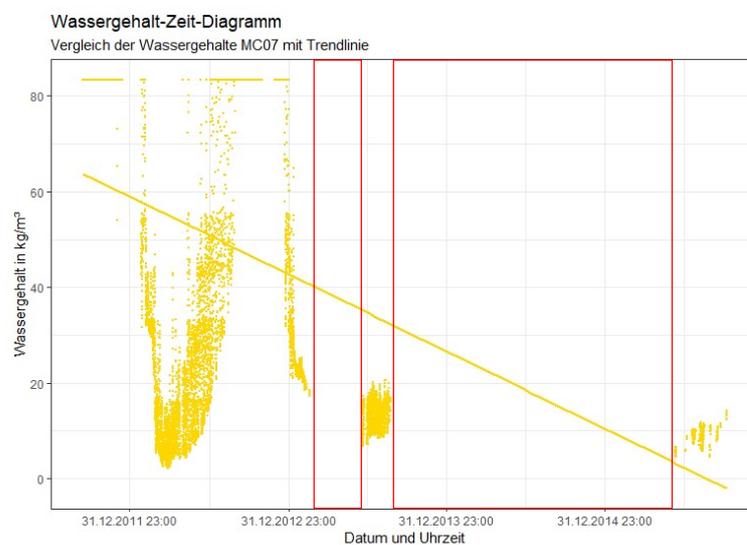


Abbildung 60: Wassergehalt-Zeit-Diagramm Sensor MC07

4.3.4 Wassergehaltssensor MC81

In Abbildung 61 ist wieder die durchgehende lineare Trendlinie zu erkennen. Diese startet bei ca. 78 kg/m³ und sinkt in 4 Jahren auf ca. 45 kg/m³. Die Messungen sind diesmal nur bis Ende 2012 bei 83,33 kg/m³ gedeckelt. Es gibt drei Perioden, die in der Winterzeit relativ niedrige Messwerte aufweisen: um die 10 – 20 kg/m³. Die vierte Periode startet 2015 und ist durchwachsen von stetigen Änderungen der Materialfeuchtigkeit, wobei die Dichte der Messwerte zunimmt. Durch die zunehmende Dichte lässt sich auch die sinkende Trendlinie erklären. Es fehlen ca. 1,25 Jahre an Messungen zusätzlich sind dreiviertel eines Jahres gedeckelt. Die gesamte Aufzeichnungsdauer betrug wieder 4,5 Jahre. Außer dem schwachen Sinusverlauf im Winterbereich der ersten drei Jahre lässt sich kein wirkliches Muster erkennen. Die Datendichte ist wieder nicht vollständig. Die maßgeblichen Ausfallzeiträume werden hier in Blau dargestellt.

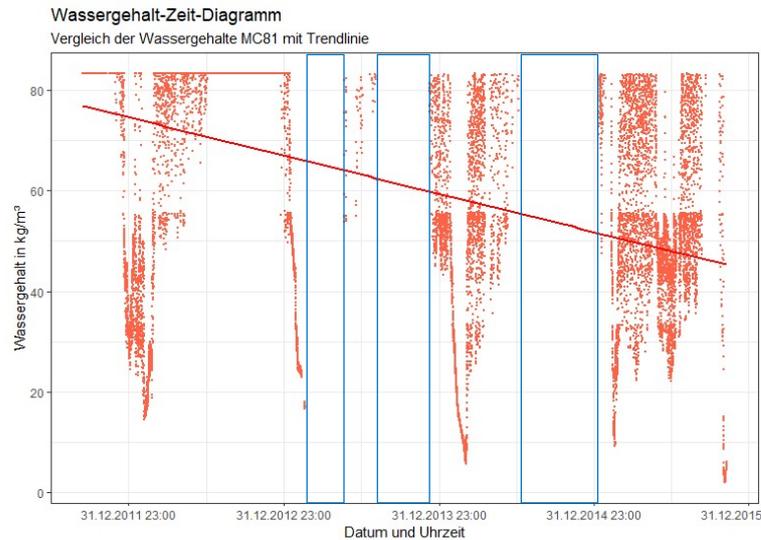


Abbildung 61: Wassergehalt-Sensor MC81

4.3.5 Wassergehaltssensor MC82 (blau)

In Abbildung 62 ist der Wassergehalt des Sensors MC82 in einem Zeitraum von 4,5 Jahren ersichtlich. In den ersten 1,5 Jahren gibt es gedeckelte Werte bei $83,33 \text{ kg/m}^3$, wenn auch im Vergleich mit den anderen Wassergehaltssensoren nur wenige. Es sind drei größere und ein kleinerer Abschnitt der Aufzeichnung erkennbar. Der erste größere Abschnitt startet im Herbst 2011 und endet Anfang 2013. Hier gibt es eine hohe Dichte der Werte bei ca. 55 kg/m^3 und es ist ein schwacher sinusförmiger Verlauf zu erkennen. Der kleine Bereich befindet sich Mitte 2012, wobei hier vereinzelt Messwerte im Bereich von ca. 40 kg/m^3 auftreten. Der zweite Bereich startet Anfang 2014 und endet Mitte desselben Jahres. Die Werte befinden sich im Bereich von $30 - 50 \text{ kg/m}^3$ und die Form ähnelt dem kleineren Bereich davor. Die erste Hälfte der dritten Aufzeichnung ähnelt der Form nach stark dem zweiten Bereich. Dadurch, dass hier fast das ganze Jahr 2014 aufgezeichnet wurde, kann man einen sinusförmigen Verlauf erahnen. Bei diesem Sensor kann man bisher am besten eine gesamtheitliche Form feststellen, nämlich einen periodischen sinusförmigen Verlauf, der im Mittelwert sinkt. Dennoch sind die Messwerte wieder nur in 2,5 Jahren von insgesamt 4,5 Jahren vorhanden, wodurch sie kaum eine Aussagekraft haben, aber dennoch mehr als die vorigen. Die maßgeblichen Ausfallzeiträume werden hier in Rot dargestellt.

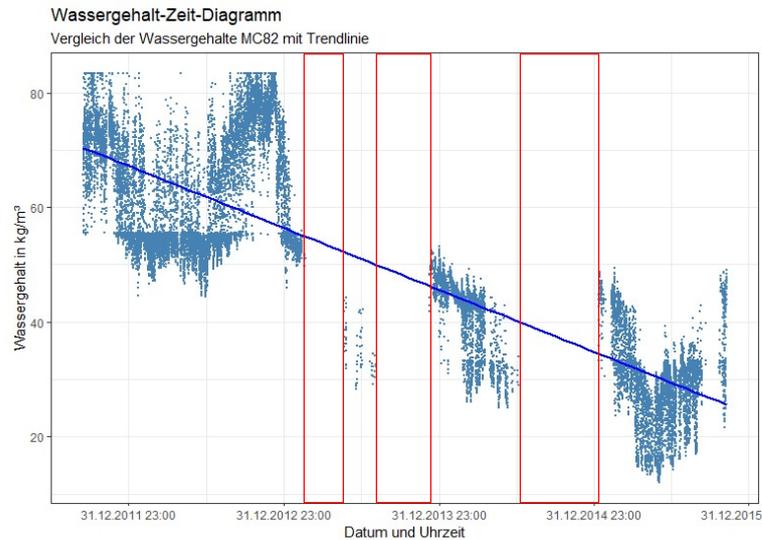


Abbildung 62: Wassergehalt-Sensor MC82

4.3.6 Vergleich der Wassergehaltssensoren

Aus der Überlagerung der vier Sensoren in Abbildung 63 sieht man, dass die vier vorhandenen Sensoren ähnliche Aufzeichnungszeiträume haben. Es gibt drei Bereiche, in denen anscheinend alle Sensoren ausgefallen sind. Im ersten Quartal 2013, im dritten Quartal 2013 und im dritten und vierten Quartal 2014. Die linearen Trendlinien verhalten sich alle ähnlich, da sie alle eine negative Steigung besitzen. Es gibt dann noch Bereiche, in denen nur manche Sensoren ausgefallen sind. Eindeutig zu erkennen ist dies für den Sensor MC82 (blau) in der Mitte 2013 und für den Sensor MC01 ab 2015.

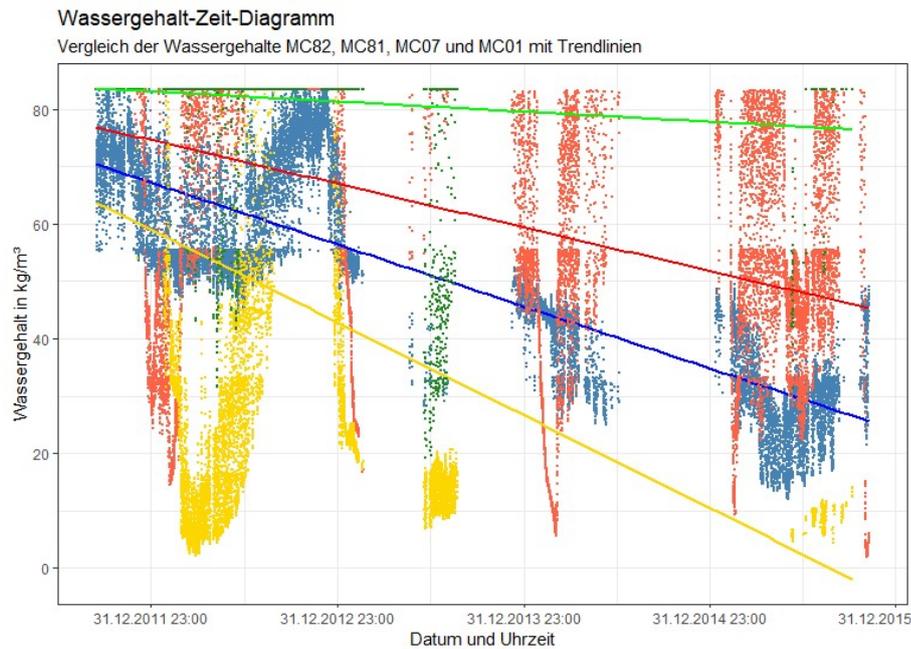


Abbildung 63: Sensoren MC01 (grün), MC07 (gelb), MC81 (rot), MC82 (blau) im Vergleich

Wenn man die vier Messdaten der Sensoren als Boxplot darstellt (Abbildung 64), erkennt man, dass der Sensor MC01 im Vergleich zu den anderen fast ausschließlich gedeckelt ist und es viele Ausreißer im Bereich darunter gibt. Beim Sensor MC07 sieht es ähnlich aus, da hier das 75% Quantil und der obere Interquartilsbereich zusammenfällt. Sensor MC81 hat durch den Median bei ca. 78 kg/m³ einen noch höheren Anteil an gedeckelten Werten. Der einzige Sensor ohne sehr große Belastung durch gedeckelte Werte ist der Sensor MC82. Alle Merkmale eines Boxplots sind hier ersichtlich. Durch die Filterung der gedeckelten Werte kann ein Boxplot aus den Daten erstellt werden, welcher mehr Aussagen über die restlichen Messwerte zulässt.

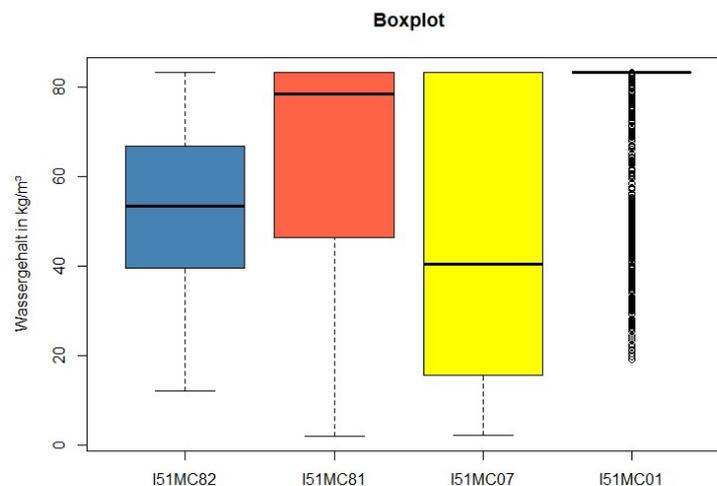


Abbildung 64: Boxplot der Sensoren MC01, MC07, MC81, MC82

In Abbildung 65 sind die Messwerte der vier Sensoren ohne den gedeckelten Werten zu erkennen. Dies kann für Interpretationen von Vorteil sein, wobei der gesamte Wertebereich

trotzdem berücksichtigt werden soll. Der Boxplot des Sensors MC82 hat sich augenscheinlich nicht verändert. Bei den drei restlichen Boxplots fallen jetzt das 75% Quantil und der obere Whisker nicht mehr zusammen. Die Sensoren MC82, MC81 und MC01 haben ähnliche Mediane. Die Entfernung des 25% und 75% Quantils sind jedoch verschieden. Dies bedeutet, dass die Streuung dieser Messwerte unterschiedlich groß ist. MC07 liegt im Vergleich zu den anderen deutlich unter den anderen Messwerten. Dieser besitzt außerdem eine hohe Anzahl an Ausreißern über dem oberen Interquartilsbereich.

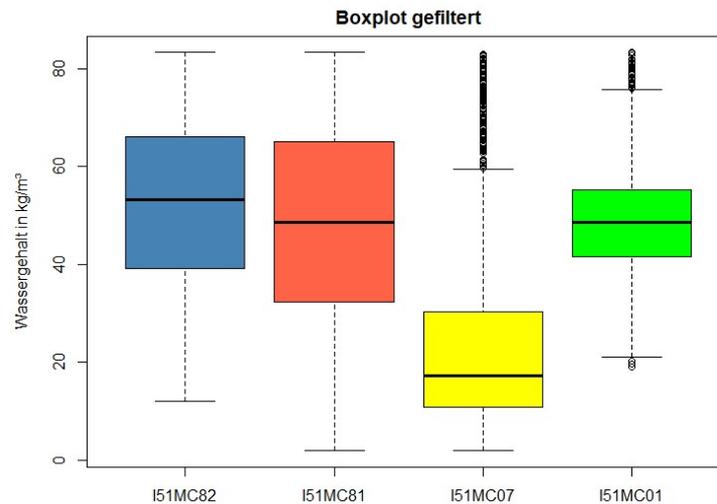


Abbildung 65: Boxplot der gefilterten Messwerte der Sensoren MC01, MC07, MC81, MC82

Die Filterung der gedeckelten Werte liefert Boxplots mit mehreren, interpretierbaren Merkmalen. Die Aussagekraft dieser Sensoren wird jedoch nicht gesteigert. Die große Anzahl an fehlenden Daten und die gedeckelten Werte zeigen insgesamt nur wenig Ähnlichkeiten zu denen in Abbildung 54 und Abbildung 55 exemplarisch gezeigten Wassergehalten. Diese können somit nicht zur Ableitung der Schadenswahrscheinlichkeiten genützt werden.

4.4 Allgemeines über die kombinierten Temperatur- und Luftfeuchtesensoren

Diese Sensoren wurden, wie in Abbildung 56 abgebildet, in zwei Lagen (00er und 20er Reihe) übereinander an 7 Positionen (1 bis 7) angebracht und zusätzlich nur außen an den Randpunkten des Bauteilrechtecks (41, 42, 61, 62).

Im Kapitel 4.4.1 wird stellvertretend für alle restlichen kombinierten Sensoren das **vollständige Verfahren** zur Bestimmung der Ergebnisse samt aller Abbildungen erläutert. In den darauffolgenden Kapiteln wird das **kurze Verfahren** durchgeführt. Das kurze Verfahren zeigt nur noch die Darstellungen, welche für die Auswertung bzw. Interpretation direkt notwendig sind. Die Abbildungen, die notwendig sind, um eine ganzheitliche Analyse durchzuführen werden erzeugt und diese Analyse trotzdem durchgeführt. Das kurze Verfahren zeigt somit nur eine geringere Anzahl an Abbildungen als das vollständige Verfahren.

4.4.1 Allgemeine Beurteilung der Sensoren RH03, RH04 und RH05 (vollständiges Verfahren)

In diesem Kapitel geht es um die Sensoren RH03, RH04 und RH05. Diese befinden sich auf der Innenseite der äußeren OSB-Platte des Bauteils I51. Die genaue Lage der Sensoren kann der Abbildung 56 entnommen werden, wobei RH03 unter der tiefen Seite der PV-Anlage liegt, RH04 unter der hohen Seite und RH05 nicht beschattet wird.

Als erstes wird der jeweilige kombinierte Sensor in der Überblicks-Abbildung, welche in vier Diagramme unterteilt ist, betrachtet. In der linken oberen Ecke ist der Verlauf der Messdaten erkennbar. Der Aufzeichnungsumfang beinhaltet über 250.000 einzelne Datenpunkte, welche alle 10 Minuten gemessen wurden. Dies ergibt insgesamt eine Dauer von 1680 Tagen oder die in der Abszisse ablesbare Zeit von ca. 4,5 Jahren. Der Verlauf zeigt, dass von Jahr zu Jahr die Werte im Sommer, in denen es zur Austrocknung kommen kann, stetig steigen. In der rechten oberen Ecke erkennt man das Histogramm, welches die Verteilung der relativen Luftfeuchtwerte über den gesamten Messzeitraum zeigt. Zusätzlich dazu gibt es die in rot eingefügte Kurve, welche die Normalverteilung zeigen soll. Zusammen kann aus den beiden Informationen geschlossen werden, ob eine Normalverteilung vorliegt, was hier nicht der Fall ist. Die Verteilung sagt, wenn die zulässigen Grenzwerte nicht überschritten werden wenig über die Schadensanfälligkeit des Bauteils aus. An der Verteilung bzw. den Verteilungen im Vergleich kann man z.B.: mögliche Probleme bei der Aufzeichnung der Daten erkennen. Wenn zum Beispiel ein Sensor eine konstante Verteilung aufweist während die restlichen Sensoren normalverteilt sind weiß man, dass es z.B.: ein Problem bei der Aufzeichnung der Daten gab. Die kumulierte Verteilungsfunktion (links unten) dient ebenfalls dazu, die Verteilung der Daten erkennbarer zu machen. Dabei sollte die Neigung der Kurve im Auge behalten werden. Zuerst gibt es eine flache Neigung, die ab ca. 75% ansteigt. Die sehr flache Neigung im niedrigen Wertebereich zeigt wieder, dass diese nur in eingeschränkter Form vorhanden sind. Eine normalverteilte Kurve hätte die stärkste Neigung im mittleren Bereich und wäre anfangs und am Ende flacher. Der Boxplot liefert mit seinen 5 Kennwerten, nämlich den unteren Whisker, das untere Quantil (25% Quartil), den Median, dem oberen Quantil (75% Quartil) und dem oberen Whisker, Aussagen über die Verteilung der Messdaten. Dadurch, dass der Median näher am 75% Quartil liegt und der untere Whisker weiter vom Median

entfernt liegt als der obere, kann man die Rechtssteilheit oder eben die Linksschiefe der Verteilung erkennen. Außerdem sind in diesem Boxplot Ausreißer im unteren Bereich zu erkennen. Die Werte im Bereich von 60% bis 80% kommen nur bis zur Mitte 2013 vor, wodurch auf eine mögliche, zunehmende Durchfeuchtung dieser Position im Aufbau geschlossen werden kann.

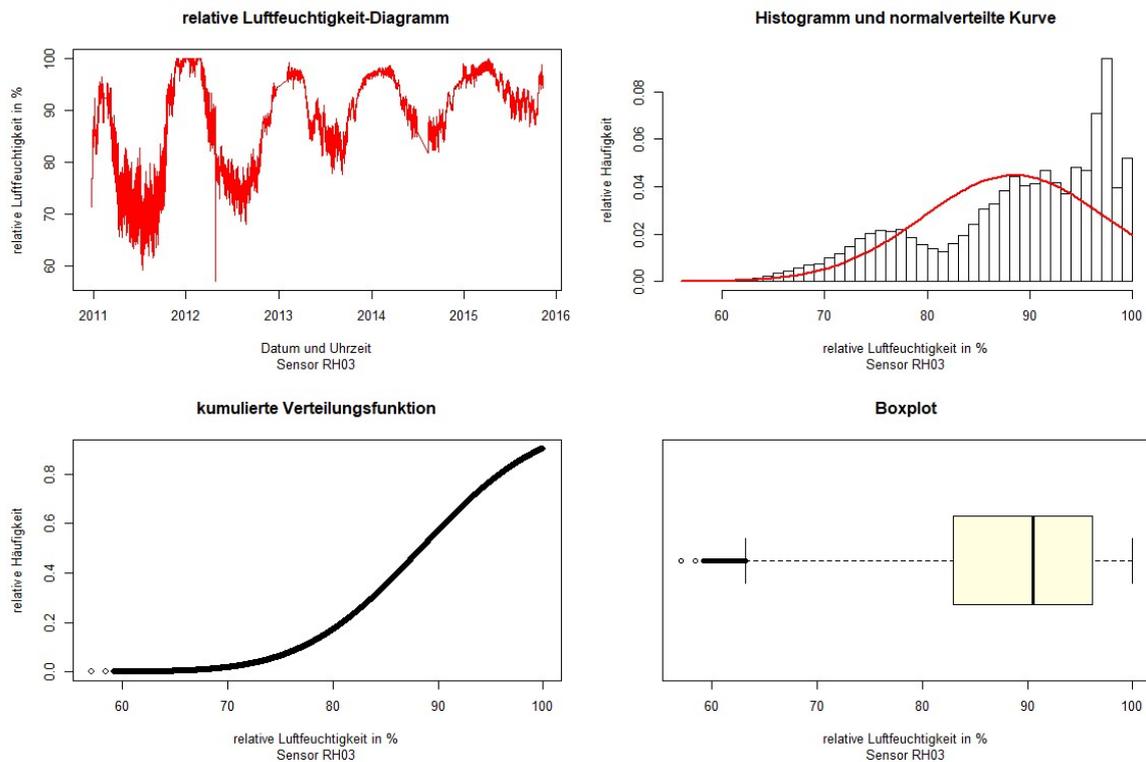


Abbildung 66: Überblick über RH03_RH

Nach der Betrachtung des Überblicks des ersten Sensors wird der Sensor RH04_RH in Abbildung 67 veranschaulicht. Aus dem Verlauf kann wieder ein stetiges Zunehmen des Mittelwertes von Jahr zu Jahr beobachtet werden, was wieder auf eine mögliche zunehmende Sättigung schließen lässt. Im Histogramm kann keine Normalverteilung erkannt werden und in der kumulierten Verteilungsfunktion ist zu erkennen, dass im Bereich von 60% bis 70% Bereich nur wenig Werte vorhanden sind. Im Boxplot sind keine Ausreißer zu erkennen.

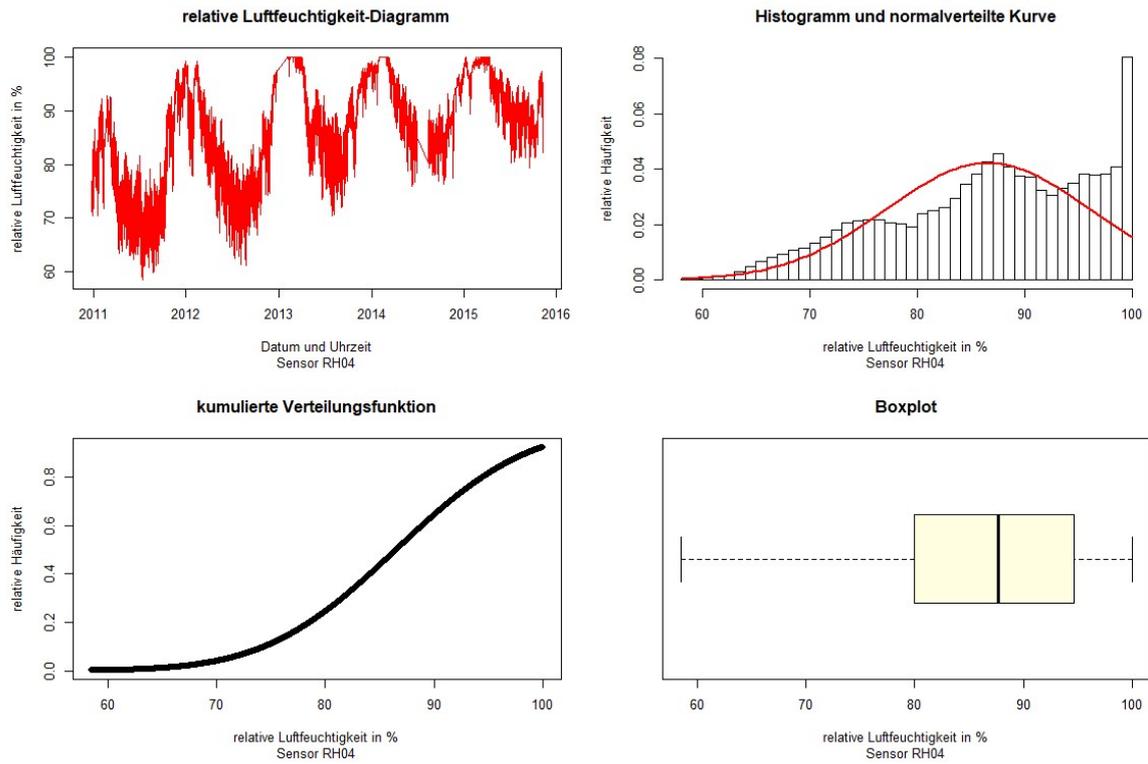


Abbildung 67: Überblick über RH04_RH

In Abbildung 68, der Überblick des Sensors RH05, ist ebenfalls im Verlauf eine Steigerung des Mittelwertes zu erkennen, jedoch nicht so stark wie bei den vorherigen Sensoren. Im Histogramm ist zu erkennen, dass die Anzahl der Werte im 100% Bereich deutlich niedriger ist und dass Werte im Bereich von 30 – 60% Bereich existieren. Daraus lässt sich ableiten, dass bei diesem Sensor das Austrocknungspotential in ausreichender Größe vorhanden ist.

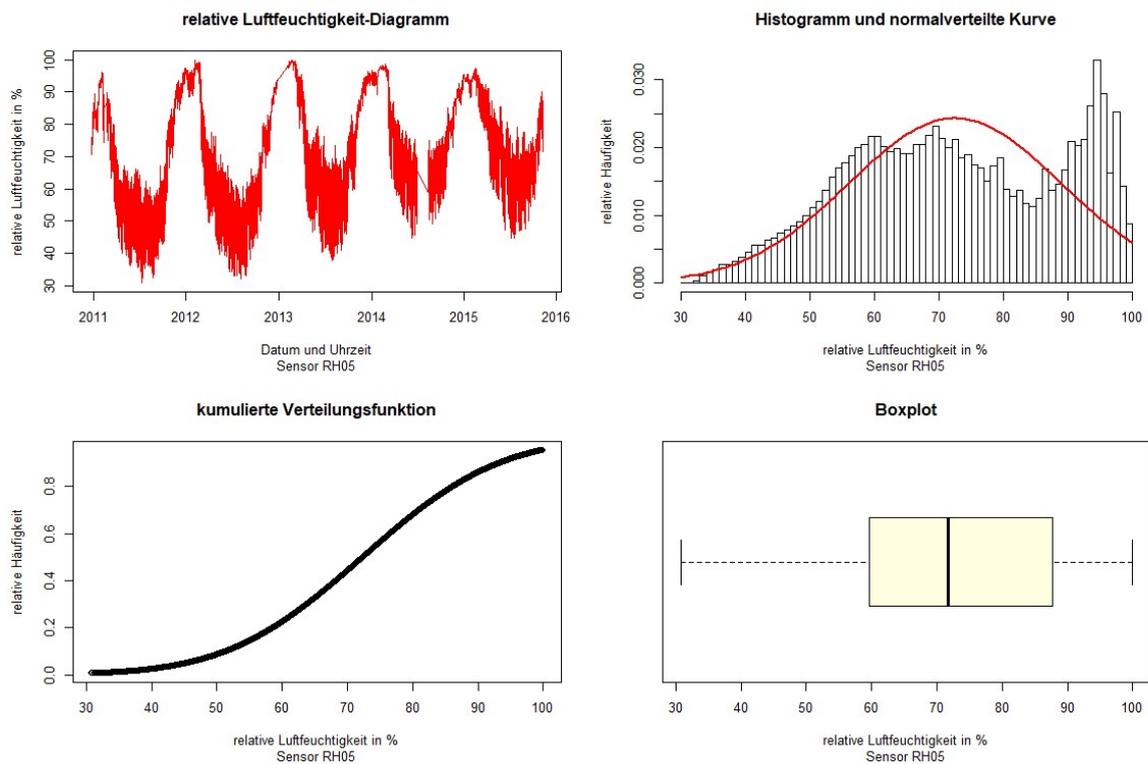


Abbildung 68: Überblick über RH05_RH

Nun werden die Temperaturmessungen dieser drei Sensoren betrachtet und es wird wieder mit RH03 (Abbildung 69) gestartet. Das Histogramm zeigt eine annähernde Normalverteilung der Daten, wobei sich Werte im Bereich von 0 °C häufen. Die Normalverteilung ist stark ausgeprägt und sowohl in Histogramm als auch in der kumulierten Verteilungsfunktion zu erkennen. Der Boxplot zeigt, dass der Median bei ca. 12°C liegt. Die Quantile sind um ca. 8°C vom Median entfernt. Der Verlauf scheint gleichförmig zu sein, wobei die Schwankungsbreite mit zunehmender Zeit geringer wird.

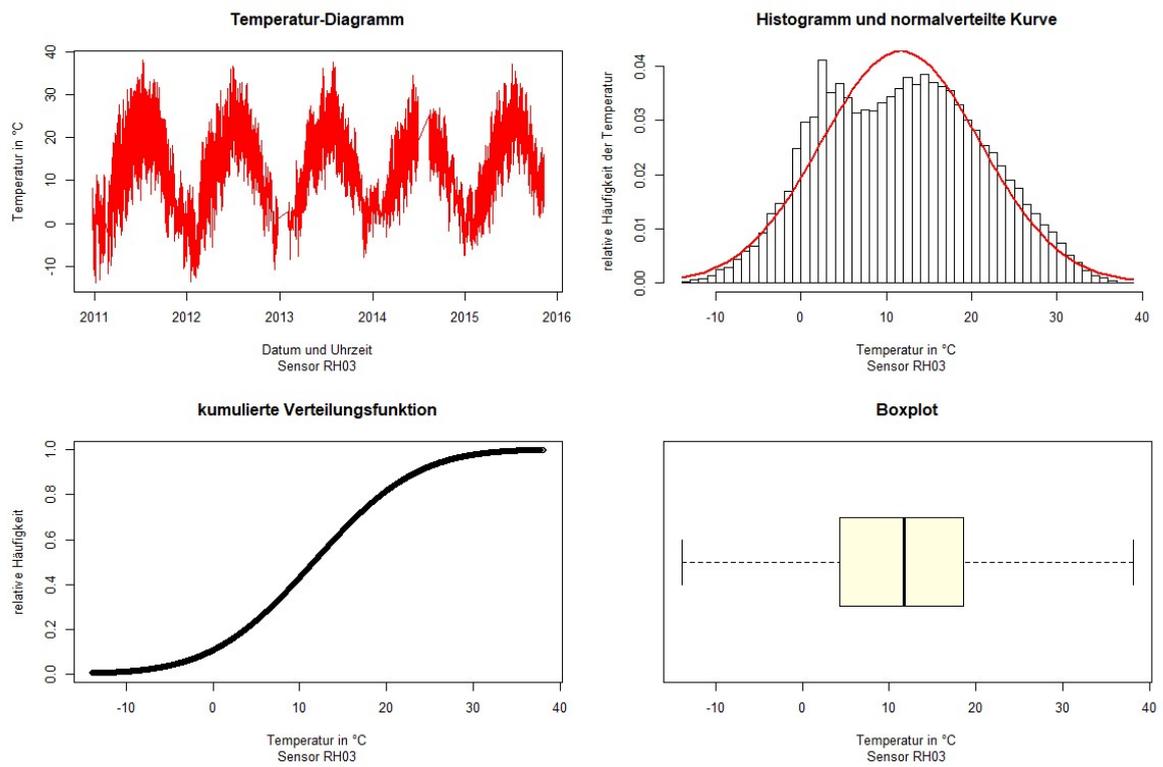


Abbildung 69: Überblick über RH03_T

Aus Abbildung 70, dem Überblick von RH04_T, ergibt sich eine große Ähnlichkeit zum vorherigen Überblick, wobei es beim Boxplot einige Ausreißer im oberen Bereich gibt.

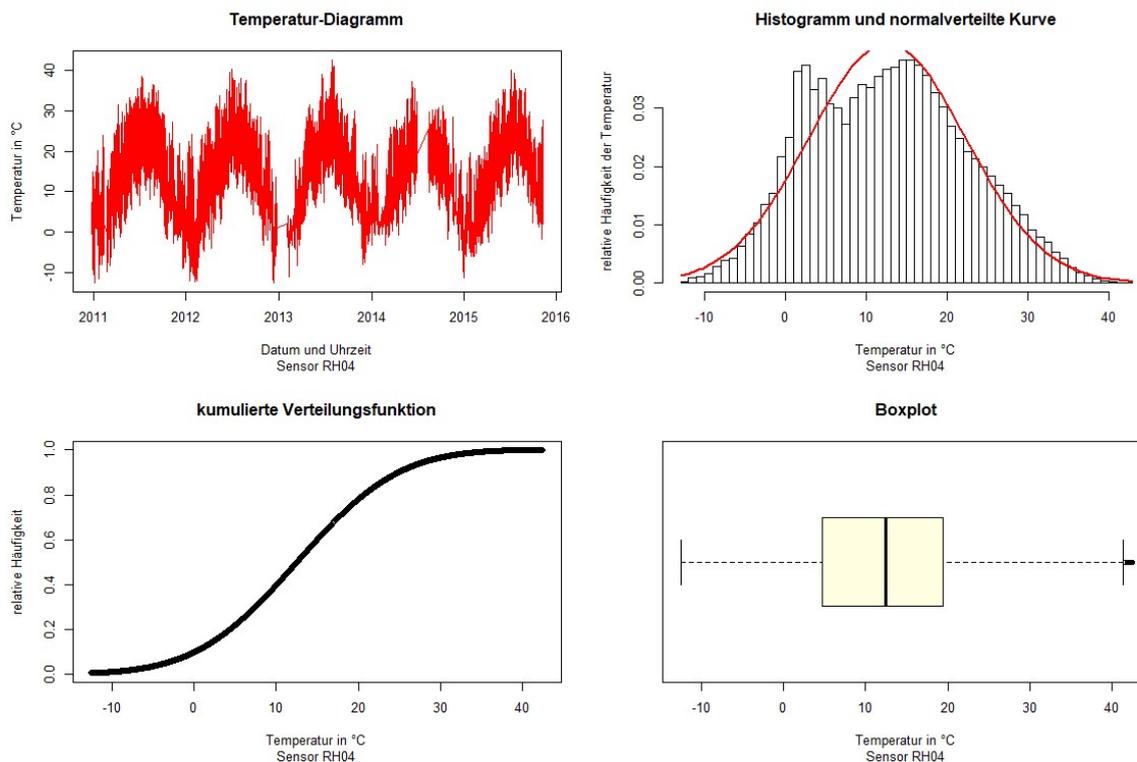


Abbildung 70: Überblick über RH04_T

Aus Abbildung 71 kann nun über RH05_T geurteilt werden. Der Boxplot ist nicht annähernd normalverteilt, da Werte im Bereich über 40°C häufiger auftreten. Werte über 50°C werden im Boxplot als Ausreißer abgebildet. Die höhere Temperatur lässt sich darauf schließen, dass dieser Sensor nicht durch ein P-Modul verdeckt wird.

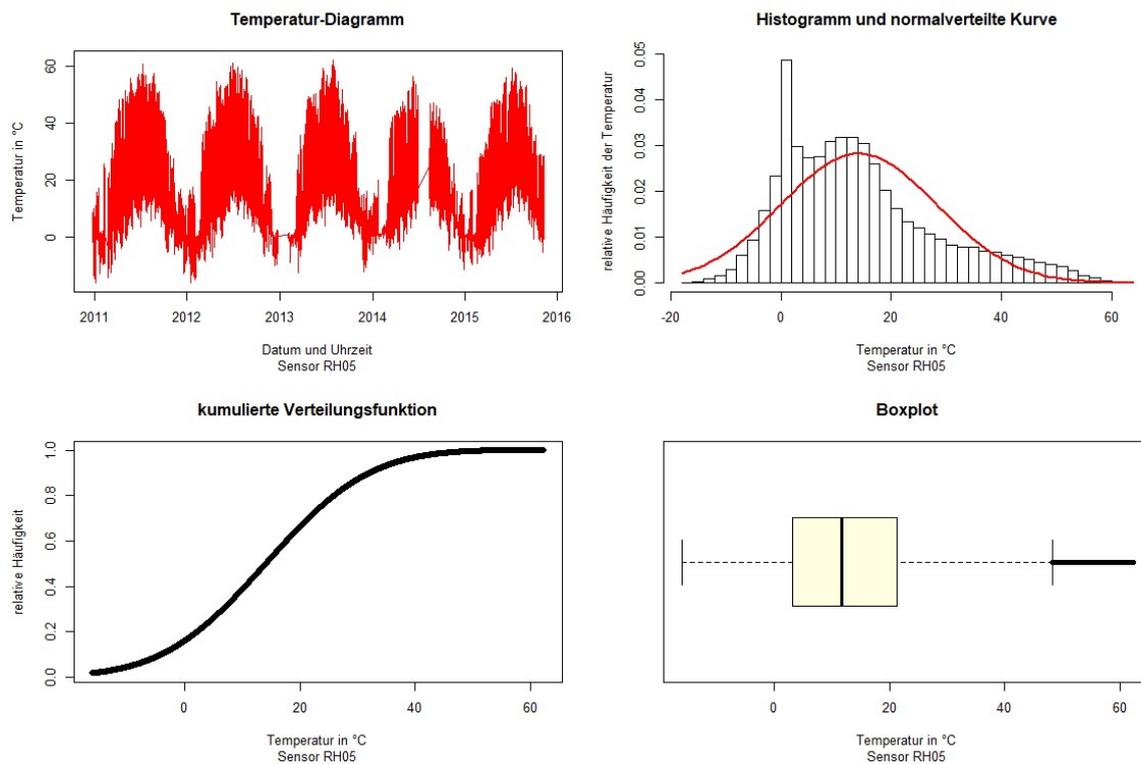
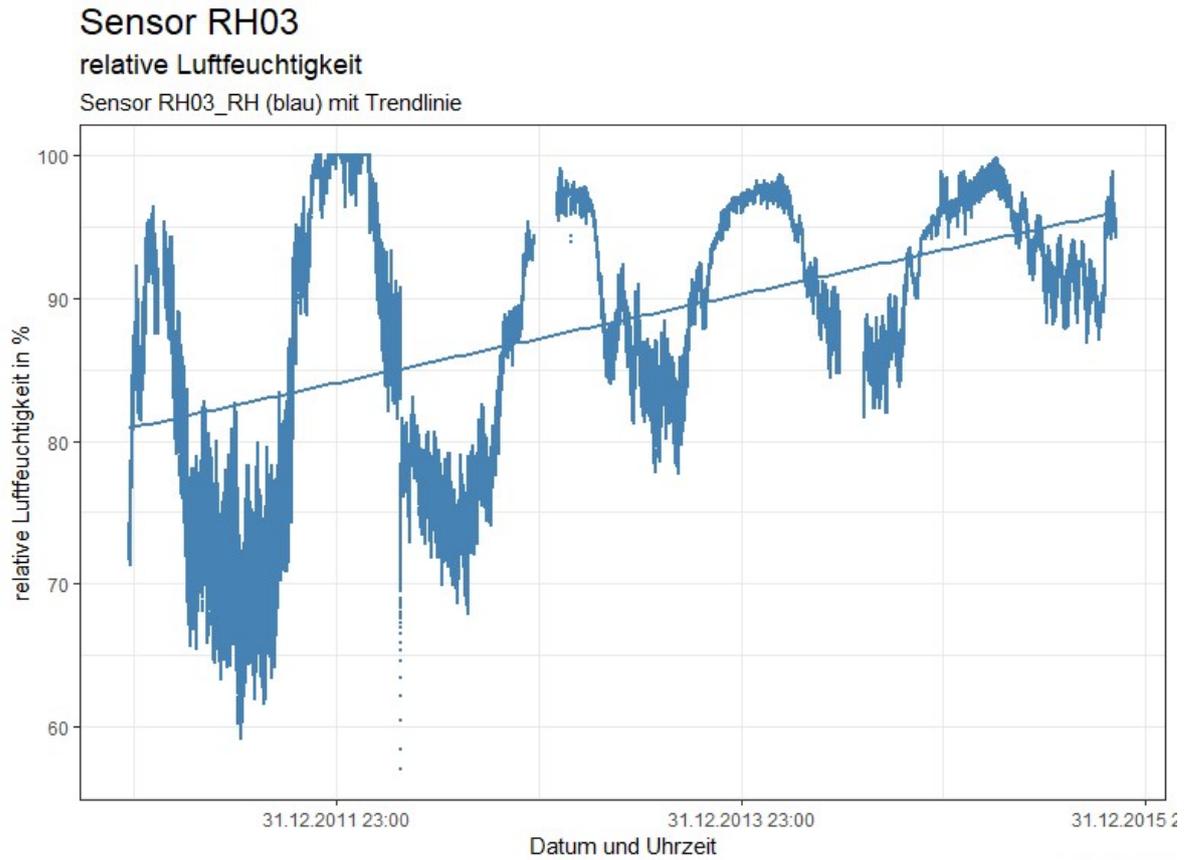
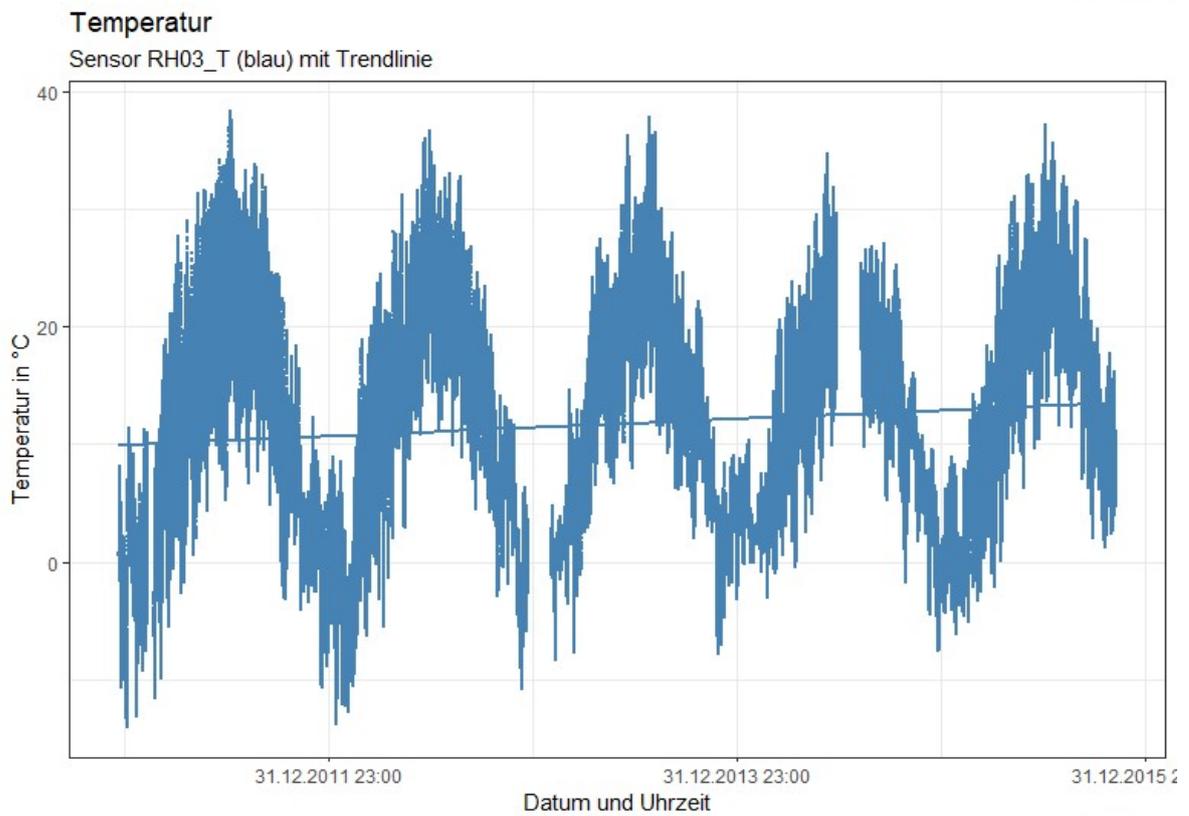


Abbildung 71: Überblick über RH05_T

Die Verläufe werden in Abbildung 72 einmal explizit ausgegeben und zusätzlich mit einer linearen Trendline versehen, um eine mögliche Tendenz abzubilden. Die Trendlinie von RH03_RH weist eine positive Steigung auf. Sie startet bei ca. 82% und endet 2015 bei ca. 96% relativer Luftfeuchtigkeit. Die relative Luftfeuchtigkeit durchläuft einen Bereich von 60% bis 100%. Die Trendlinie der Temperatur weist eine leichte Steigung nach oben auf, wobei sie bei 0°C startet und bei ca. 5°C endet. Die Temperatur bewegt sich in einem Bereich von -10 bis +40°C. Die ersichtlichen Lücken sind entweder aus Aufzeichnungen entstanden, die fehlerhaft sind oder in denen keine Aufzeichnung stattgefunden hat. Außerdem ist anzumerken, dass die Aufzeichnung dieser Sensoren bis zum Ende des ersten Quartals 2016 stattfand, die Werte aller kombinierten Sensoren jedoch ab Dezember 2015 fehlerhaft sind.



Bauteil I51



Bauteil I51

Abbildung 72: Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit und der Temperatur von RH03

In Abbildung 73 sind nun die Verläufe der relativen Luftfeuchtigkeit und der Temperatur zu erkennen. Die lineare Trendlinie der relativen Luftfeuchtigkeit weist eine Steigung von 77% zu 95% auf. Der Verlauf weist größere Schwankungen auf als der bei RH03. Die relative Luftfeuchtigkeit bewegt sich in einem Bereich von 60% bis 100%. Die lineare Trendlinie der Temperatur zeigt eine leichte Neigung nach oben. Die Temperatur bewegt sich in einem Bereich von -10 bis + 40°C.

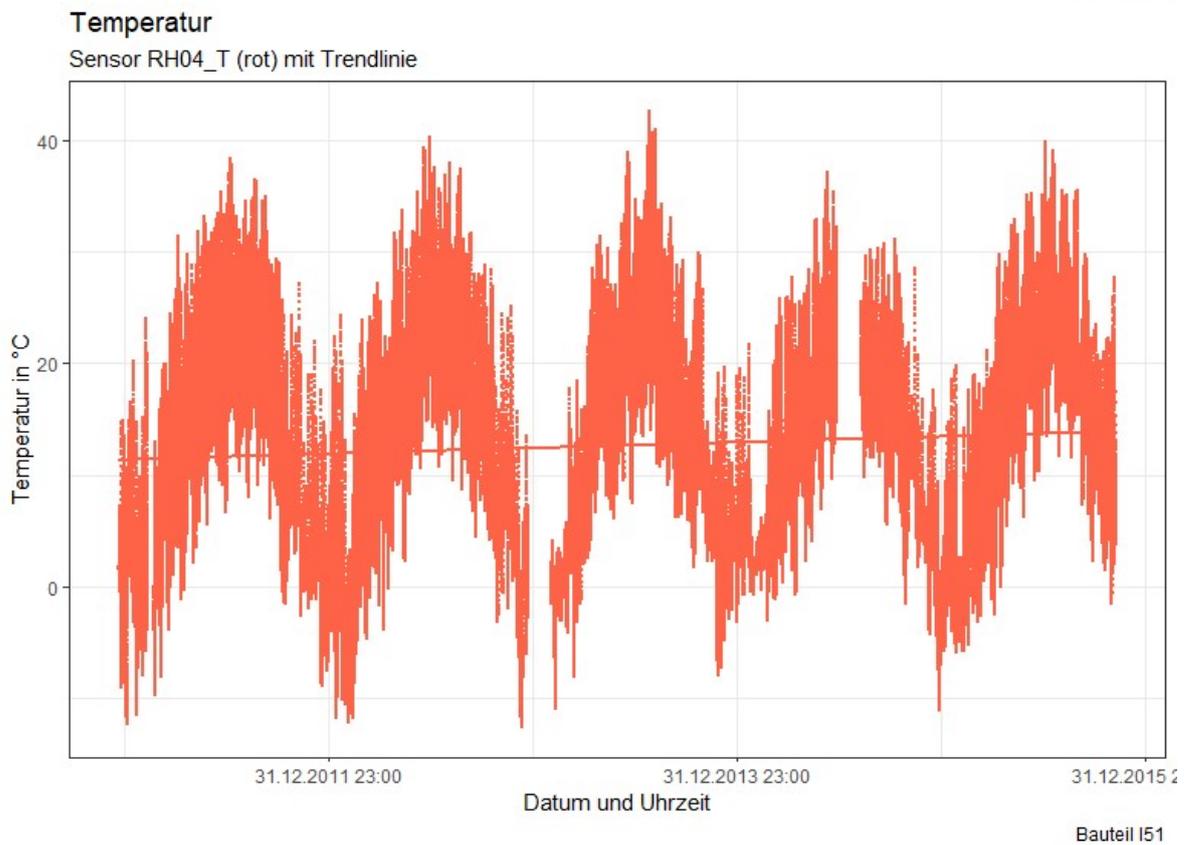
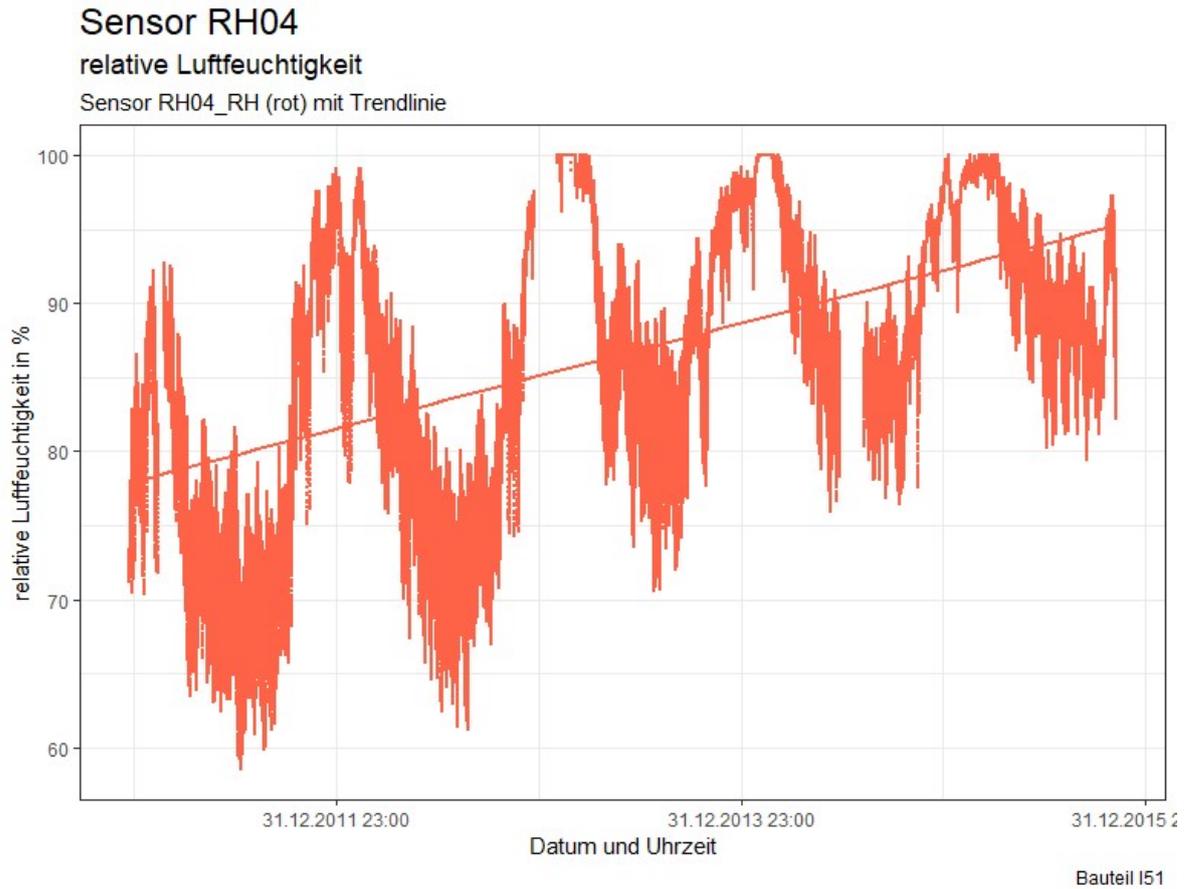
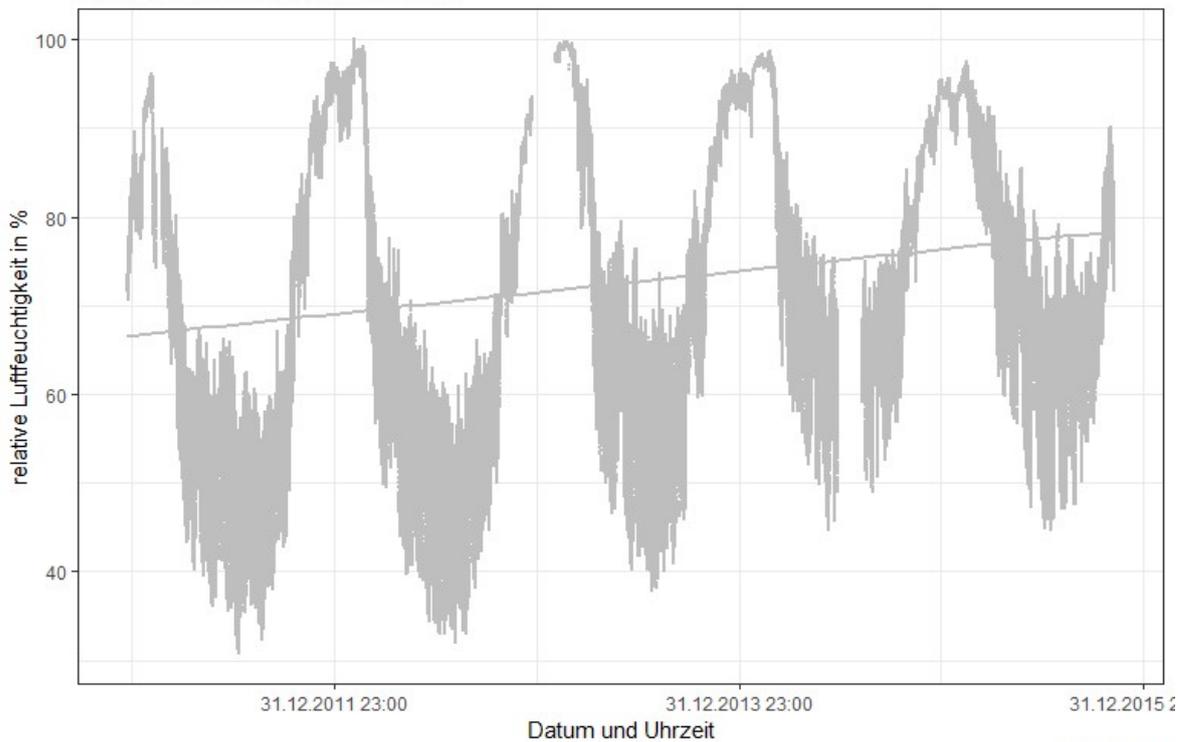


Abbildung 73: Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit und der Temperatur von RH04

Abbildung 74 zeigt die Verläufe des Sensors RH05. Die Trendlinie der relativen Luftfeuchtigkeit weist eine positive Steigung auf, wobei sie hier von 66% auf 88% ansteigt. Die niedrigen Bereiche erreichen Werte unter 40%. Bei den Sensoren RH03 und RH04 kommen kaum Werte unter 60% vor. Die Trendlinie der Temperatur ist scheinbar konstant. Die Werte der Temperatur liegen in einem Bereich von -15°C bis $+60^{\circ}\text{C}$.

Sensor RH05 relative Luftfeuchtigkeit-Zeit-Diagramm

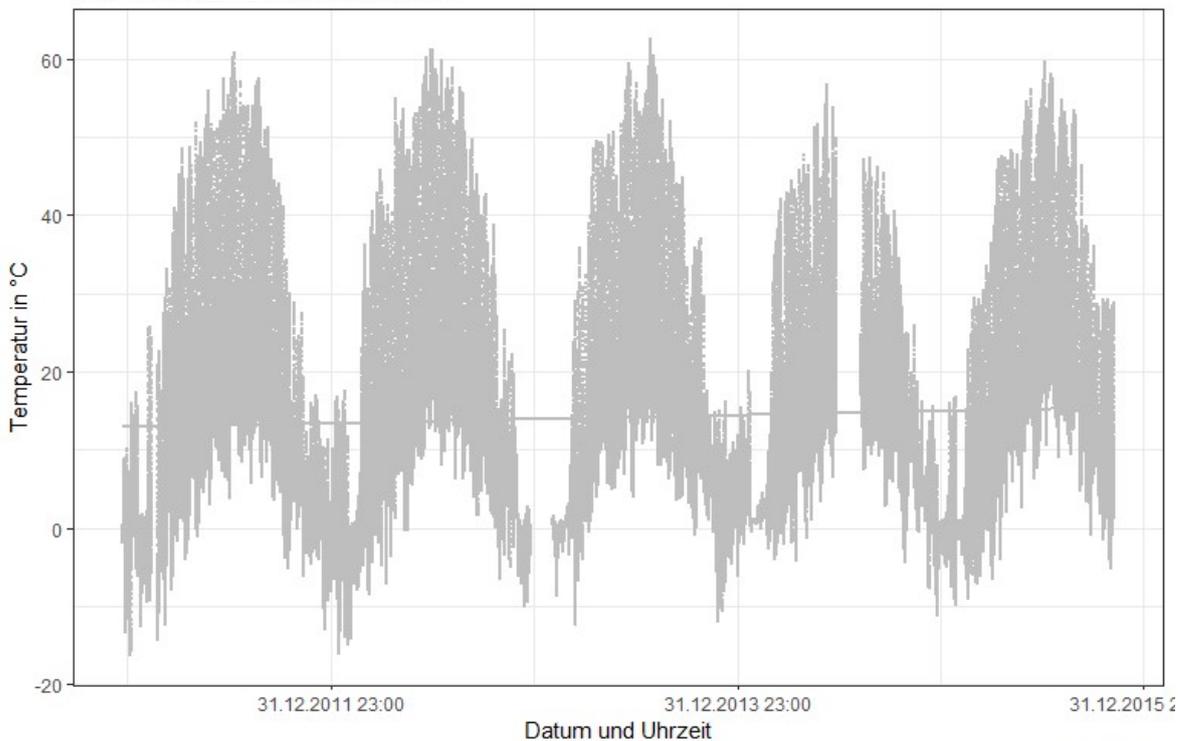
Sensor RH05_RH (grau) mit Trendlinie



Bauteil I51

Temperatur-Zeit-Diagramm

Sensor RH05_T (grau) mit Trendlinie



Bauteil I51

Abbildung 74: Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit und der Temperatur von RH05

4.4.2 Vergleich der Sensordaten von RH03, RH04 und RH05

In diesem Kapitel werden die Sensordaten von RH03, RH04 und RH05 miteinander verglichen.

Beim Vergleich der relativen Luftfeuchtigkeit (Abbildung 75) im Monatsmittel pro Jahr erkennt man, dass RH05 im Sommer deutlich unter RH03 und RH04 liegt. In den Wintermonaten ist dieser Unterschied jedoch geringer. Die Werte von RH03 liegen meist über denen von RH04, wobei dieser Unterschied gering ist.

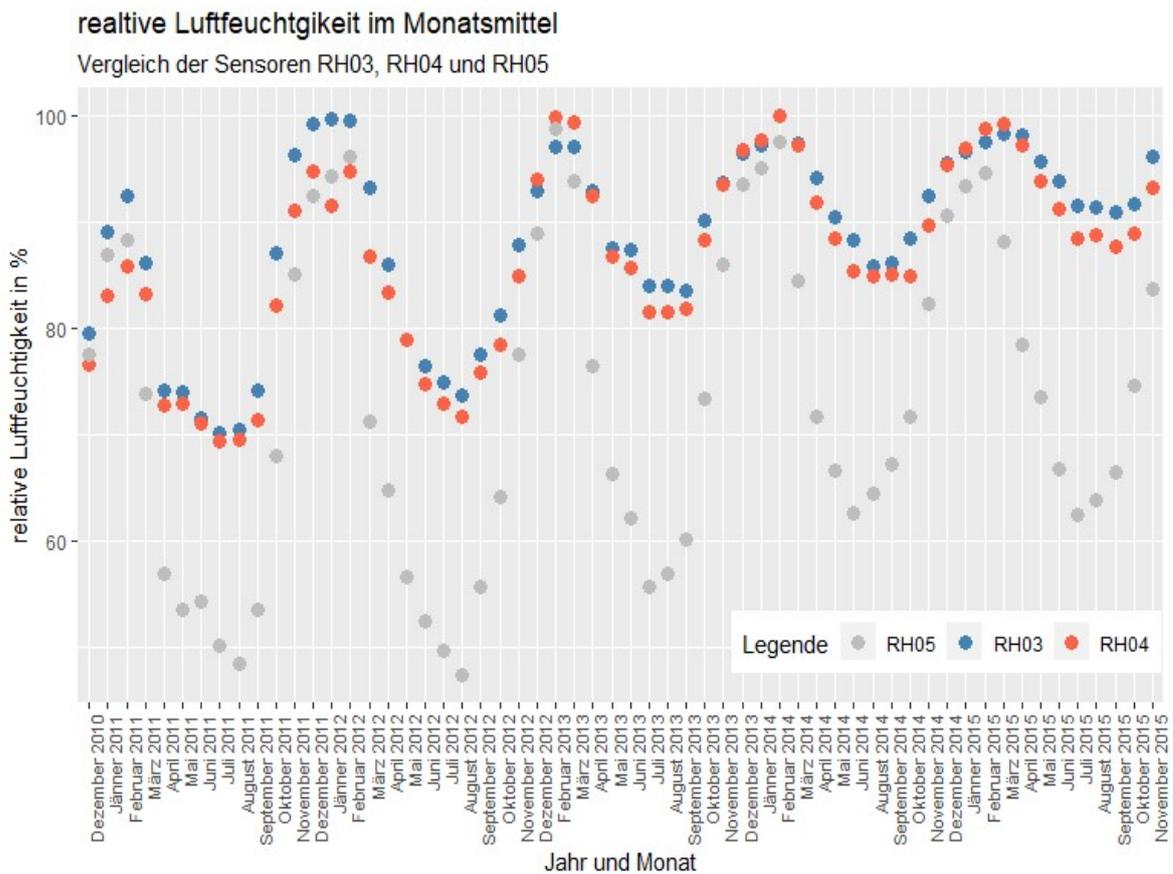


Abbildung 75: Vergleich der relativen Luftfeuchtigkeitsverläufe RH03, RH04 und RH05

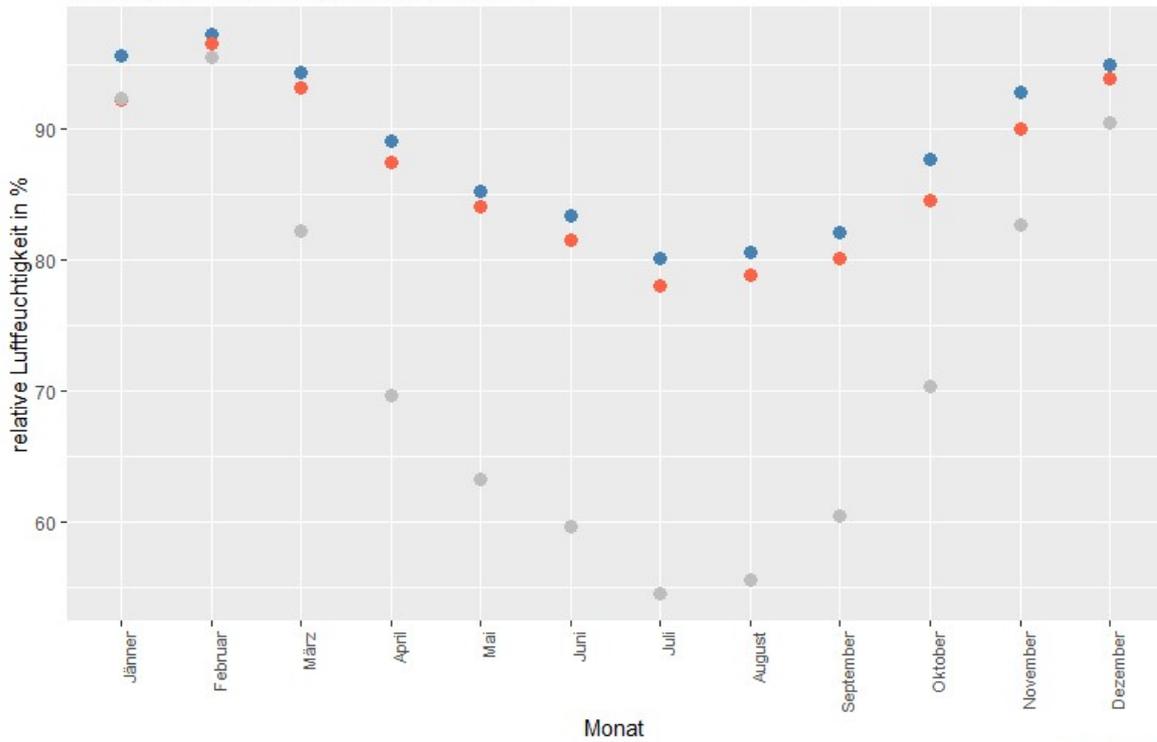
In Abbildung 76 ist der Anstieg der relativen Luftfeuchtigkeit pro Jahr und separat pro Monat aller Jahre deutlich zu erkennen. Im Juli sind zwischen RH05 und RH03/RH04 über 20% Unterschied an relativer Luftfeuchtigkeit. Zwischen RH03 und RH04 sind durchschnittlich 1% bis 2% Unterschied im Jahr. Über die Jahre kann man eine Annäherung von RH03 an RH04 erkennen und dass die Mittelwerte aller drei Sensoren ansteigen, wobei RH05 im letzten Jahr eine Ausnahme bildet.

relative Luftfeuchtigkeit im Monats- und Jahresmittel

relative Luftfeuchtigkeit im Monatsmittel

Vergleich der Sensoren RH03, RH04 und RH05

Legende ● RH05 ● RH03 ● RH04

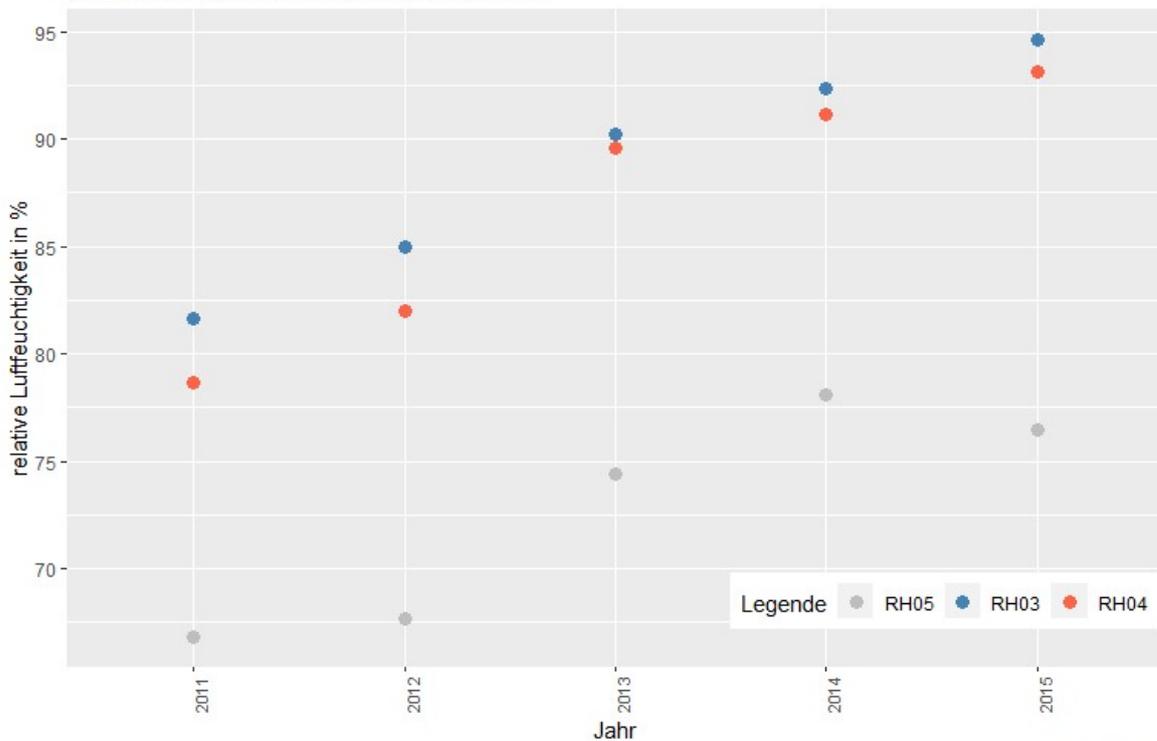


Bauteil I51

relative Luftfeuchtigkeit im Jahresmittel

Vergleich der Sensoren RH03, RH04 und RH05

Legende ● RH05 ● RH03 ● RH04



Bauteil I51

Abbildung 76: Monats- und Jahresmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit von RH03, RH04 und RH05

In Abbildung 77 sind die Temperaturdaten der Sensoren RH03, RH04 und RH05 abgebildet. Aus der Betrachtung der Monatsmittelwerte geht hervor, dass der Sensor RH05 im Sommer in allen Jahren höher liegt als die Sensoren RH03 und RH04. In den Wintermonaten ist dies genau umgekehrt. Beim Vergleich der Sensoren RH03 und RH04 kann man feststellen, dass RH03 meist unter RH04 liegt. Dies spricht dafür, dass die höherliegende Seite der PV-Anlage temperaturdämpfender wirkt als die niedrigerliegende Seite. Dies könnte daraus erfolgen, dass der Sensor unter der höhergelegenen Seite der PV-Anlage weiter nördlich in einem Bereich liegt der öfter beschattet wird

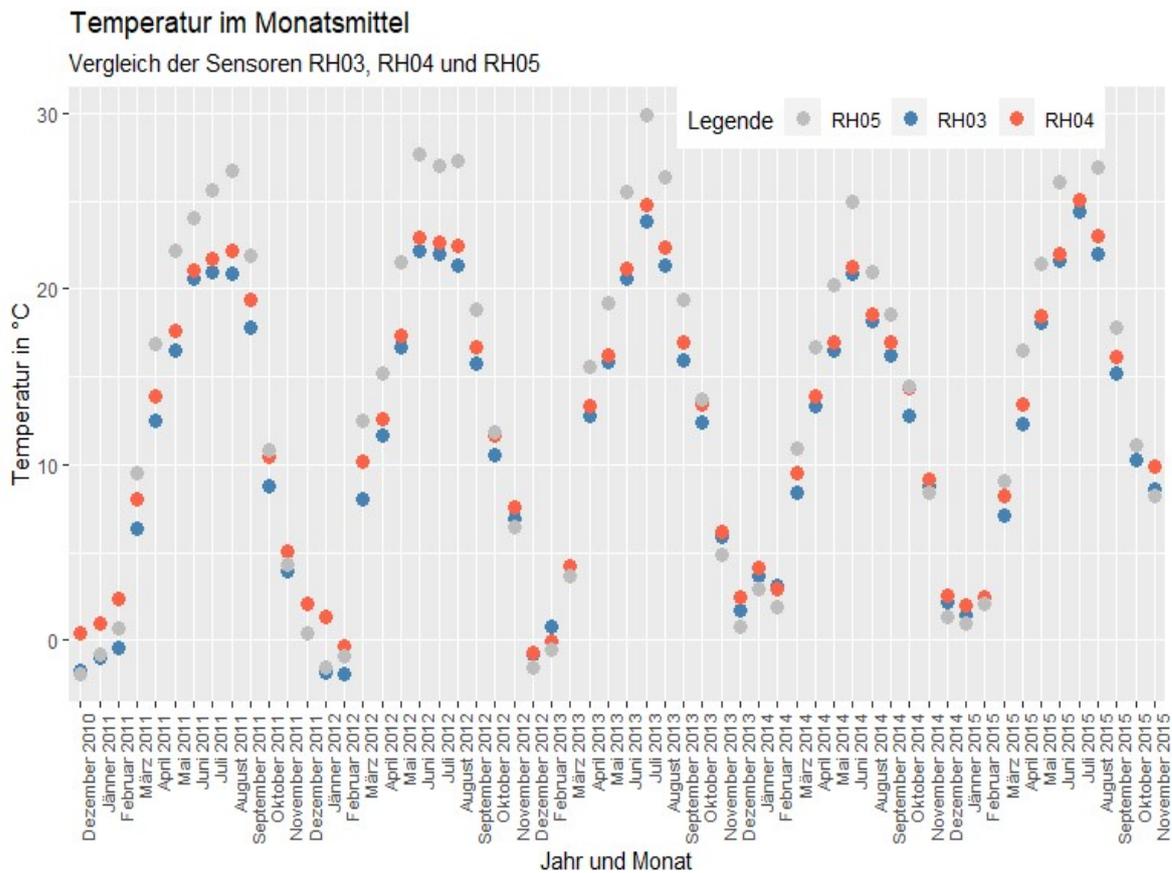


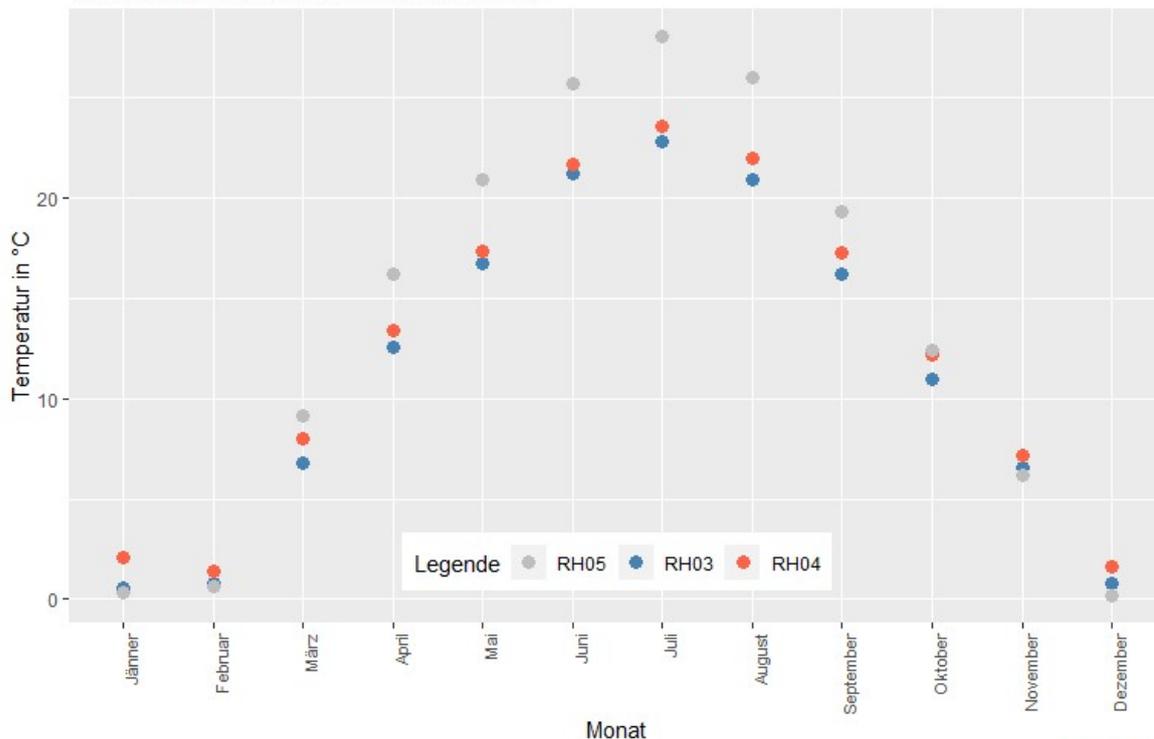
Abbildung 77: Vergleich der Monatsmittelwerte pro Jahr der Temperatur RH03, RH04 und RH05

Zusätzlich können auch alle Sensoren nur nach Monat und Jahr (Abbildung 78) gegliedert werden. Das obere Diagramm zeigt die Monatsmittel über alle Jahre gemittelt und das untere die Mittelwerte über alle ein Jahr. RH05 besitzt die größte Amplitude, was vor allem im Sommer erkennbar. Über die Jahre liegt RH05 durchschnittlich um 1,5°C über RH04 und RH04 um 0,75°C über RH03.

Monats- und Jahresmitteltemperaturen Vergleich

Temperatur im Monatsmittel

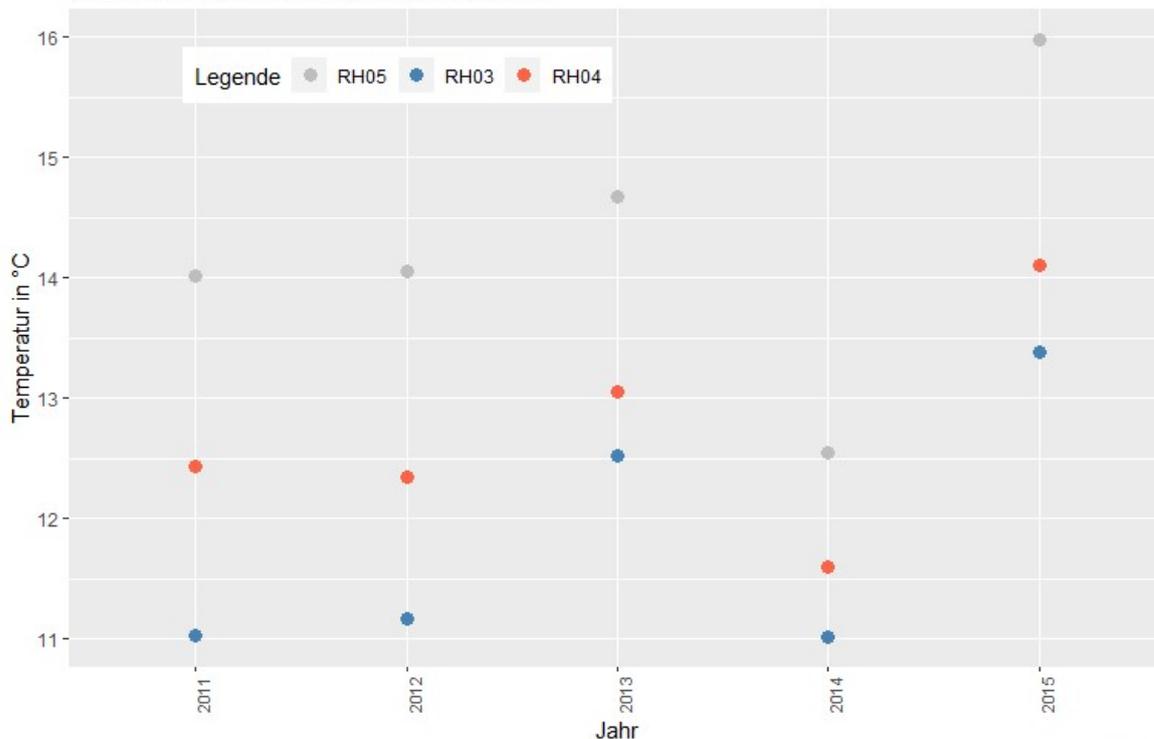
Vergleich der Sensoren RH03, RH04 und RH05



Bauteil I51

Temperatur im Jahresmittel

Vergleich der Sensoren RH03, RH04 und RH05



Bauteil I51

Abbildung 78: Monats- und Jahresmittelwerte der Temperatur von RH03, RH04 und RH05

In Abbildung 79 ist ein Boxplot der Temperaturen und der relativen Luftfeuchtigkeit von RH03, RH04 und RH05. Anhand dieser können Effekte, die aus der PV-Anlage hervorgehen, beleuchtet werden. Aus dem Boxplot der relativen Luftfeuchtigkeit kann man erkennen, dass die höhergelegene Seite des PV-Moduls eine durchschnittlich höhere relative Luftfeuchtigkeit hat als die niedrig gelegene Seite. Beide sind jedoch in höheren Bereichen als die des nicht verdeckten Sensors. Bei den Temperaturen gibt es nur geringe Unterschiede zwischen RH03 und RH04. RH05 hingegen weist eine höhere Streuung und deutlich mehr Ausreißer auf.

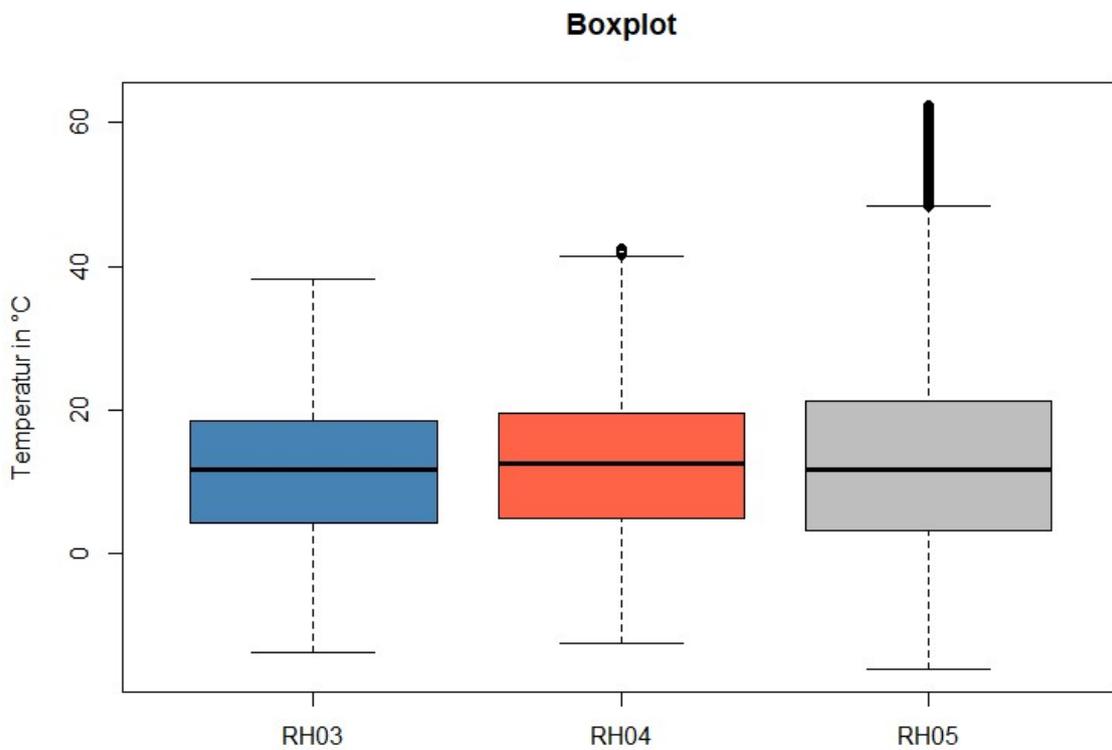
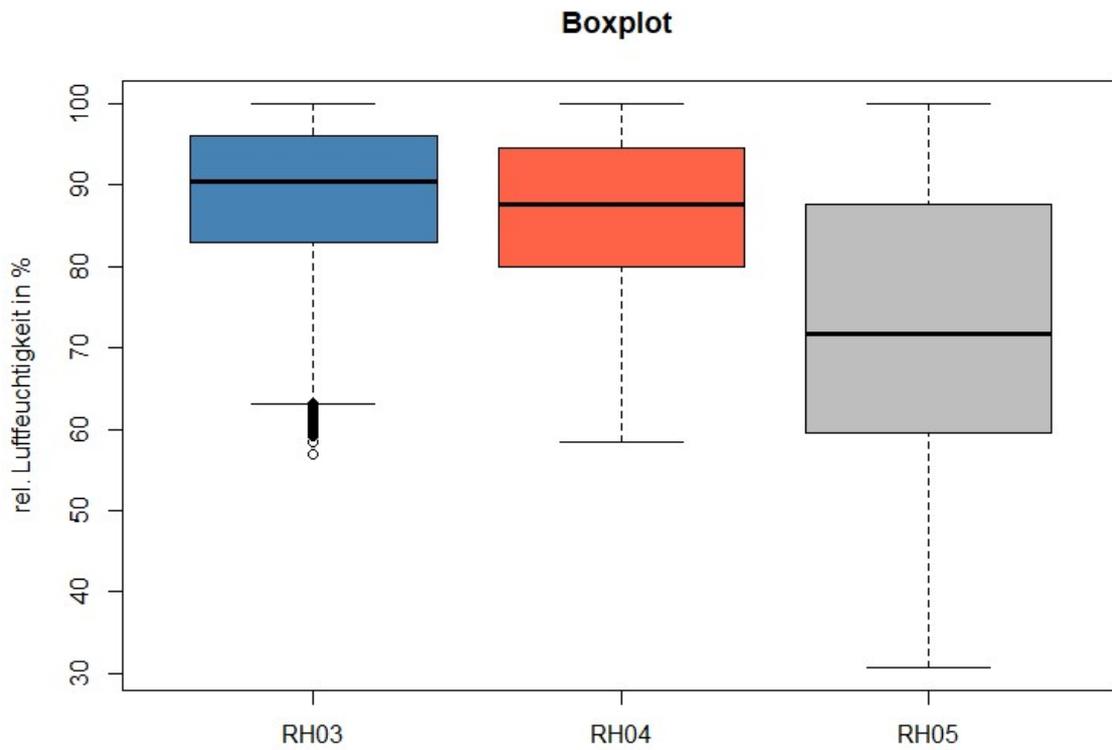


Abbildung 79: Boxplots von RH03, RH04 und RH05

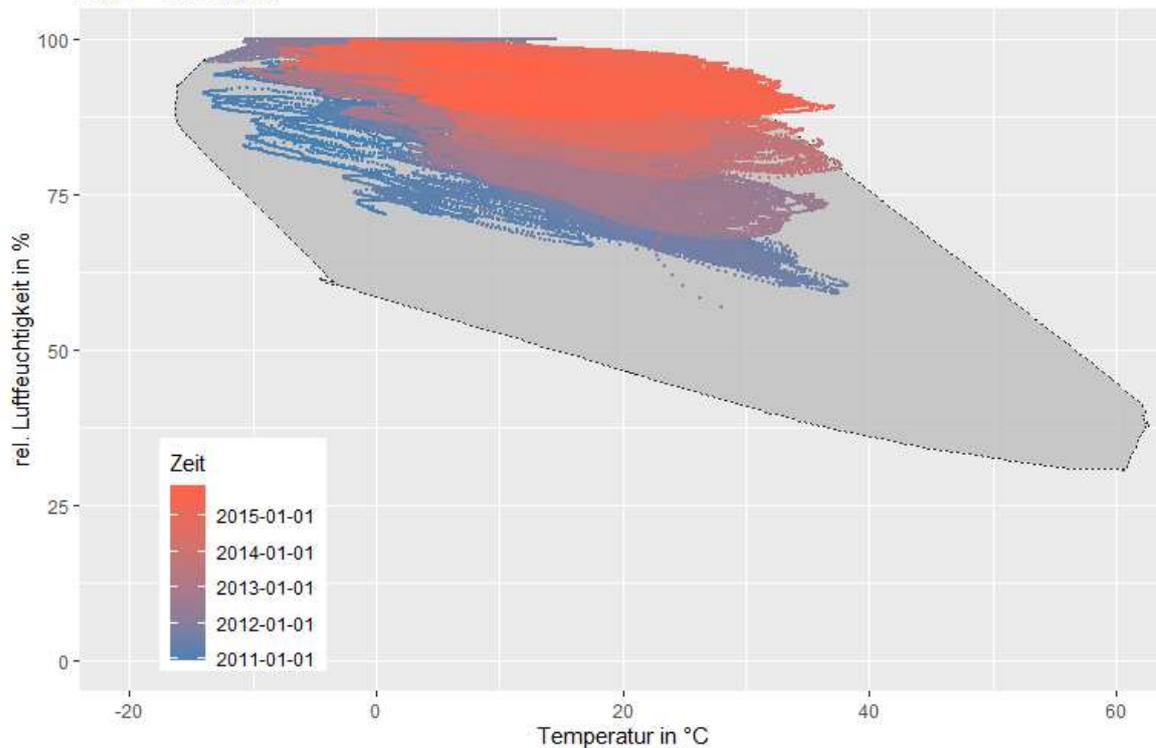
4.4.3 Beurteilung der Isoplethen der Sensoren RH03, RH04 und RH05

In Abbildung 80 und Abbildung 81 sind die Isoplethendiagramme der drei Sensoren abgebildet, wobei RH05 in den beiden oberen als graue Referenzfläche eingezeichnet ist. Dieses Diagramm ist so zu lesen, dass die Zeit als Farbverlauf von Blau nach Rot abgebildet ist, wobei jeder Punkt ein Zeitintervall von 10 Minuten darstellt. Auf der Abszisse ist die Temperatur und auf der Ordinate die relative Luftfeuchtigkeit eingetragen. RH05 ist in grau eingezeichnet ist, um zu zeigen, wie sehr das PV-Modul Auswirkungen auf die Austrocknung des Aufbaus hat. Im untersten Plot wird dann RH03 mit RH04 überlagert. Die Unterschiede zwischen RH03 bzw. RH04 und RH05 sind deutlich erkennbar.

Vergleich der Isoplethendiagramme

Isoplethen-Diagramm

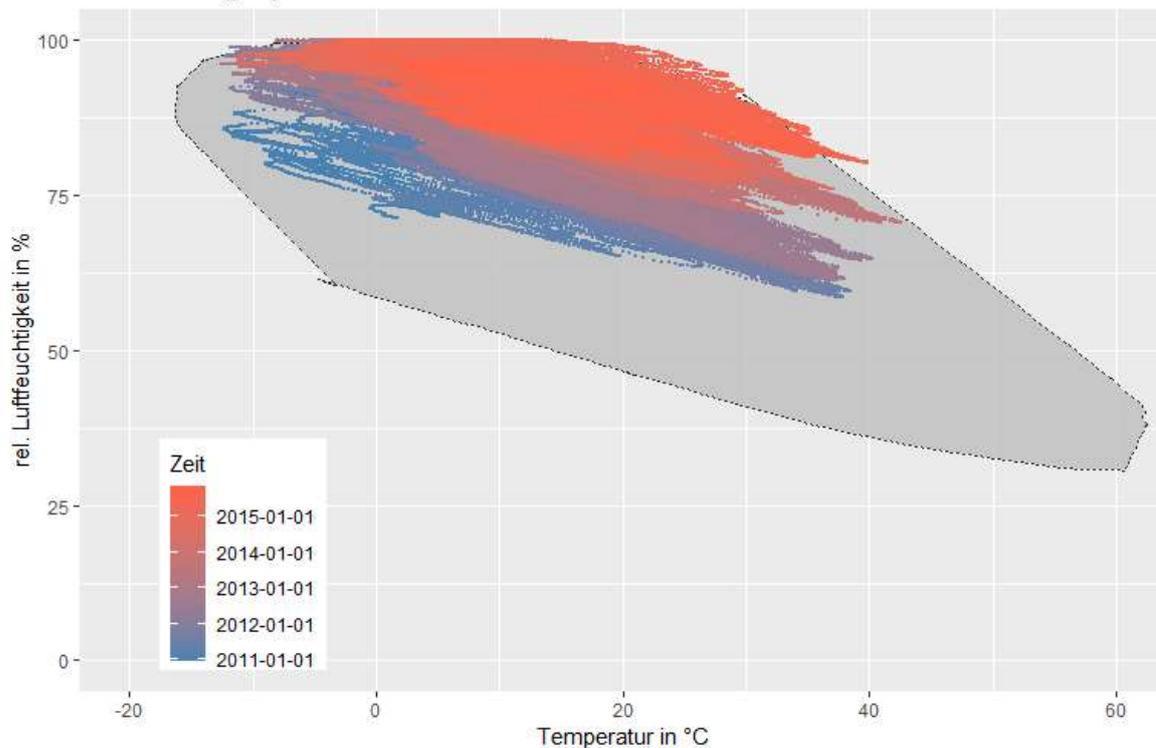
RH03 - RH05 (grau)



Bauteil I51

Isoplethen-Diagramm

RH04 - RH05 (grau)



Bauteil I51

Abbildung 80: Isoplethendiagramme Teil 1 RH03, RH04 und RH05

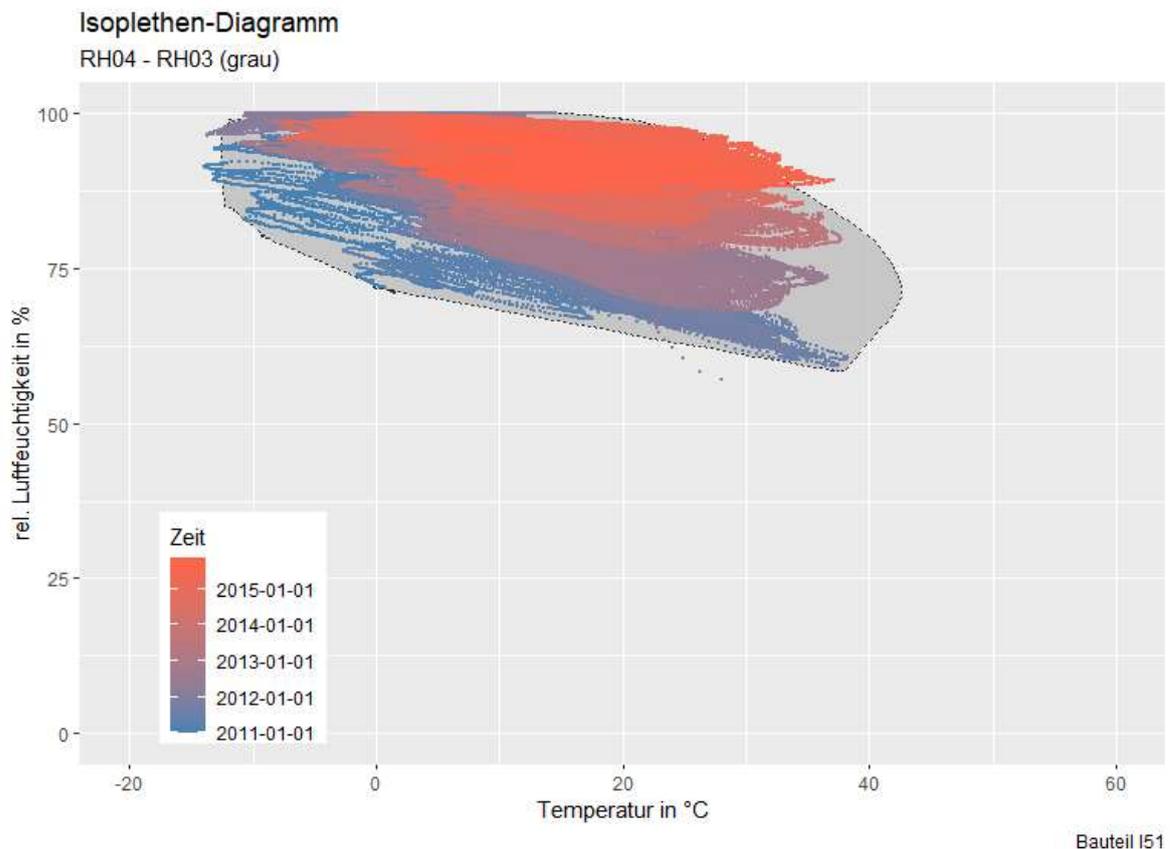


Abbildung 81: Isoplethendiagramme Teil 2 RH03, RH04 und RH05

Der Auftraggeber Isocell hat als Aufgabenstellung die Untersuchung der Schimmelpilzbildung im Bauteilinneren in Auftrag gegeben. Über Schimmelpilz im Bauteilinneren wurde keine Forschungsarbeiten gefunden, wodurch diese Untersuchungen, so wie Schimmelpilz an der Bauteiloberfläche, durchgeführt werden. Die Aussagen dieser Untersuchung sind somit rein informativ und es bedarf weiteren Untersuchungen zu diesem Themengebiet.

Hier wird das verallgemeinerte Isoplethenmodell für das Myzelwachstum (Abbildung 83) und für die Sporenauskeimung herangezogen (Abbildung 82). Diese ist im Allgemeinen nur für Flächen die mit Luft in Berührung kommen. Dieses Modell wird hier aus Interesse durchgeführt, um das theoretische Schimmelpilzwachstum an der OSB-Platte in Verbindung mit Luft zu ermitteln. Anhand der Linien in den Grafiken kann abgeschätzt werden, ob und wieviel Schimmel sich auf einer Oberfläche bzw. in einem Bauteil bildet. Für die eingebauten OSB-Platten wird die Substratklasse 0 gewählt, welche das Schimmelpilzwachstum am stärksten begünstigen und die Untersuchung somit konservativ also auf der sicheren Seite sind. Die drei Substratgruppen unterscheiden sich dadurch, dass es sich bei der Substratgruppe 0 um optimales Substrat, also biologische Vollmedien wie z.B.: Holz handelt. Bei der Substratgruppe I handelt es sich um biologisch gut verwertbare Substrate(z.B. Tapeten, Verschmutzung) und bei der Substratgruppe II um biologisch kaum verwertbare Substrate(z.B. mineralische Baustoffe z.B.: Putz)

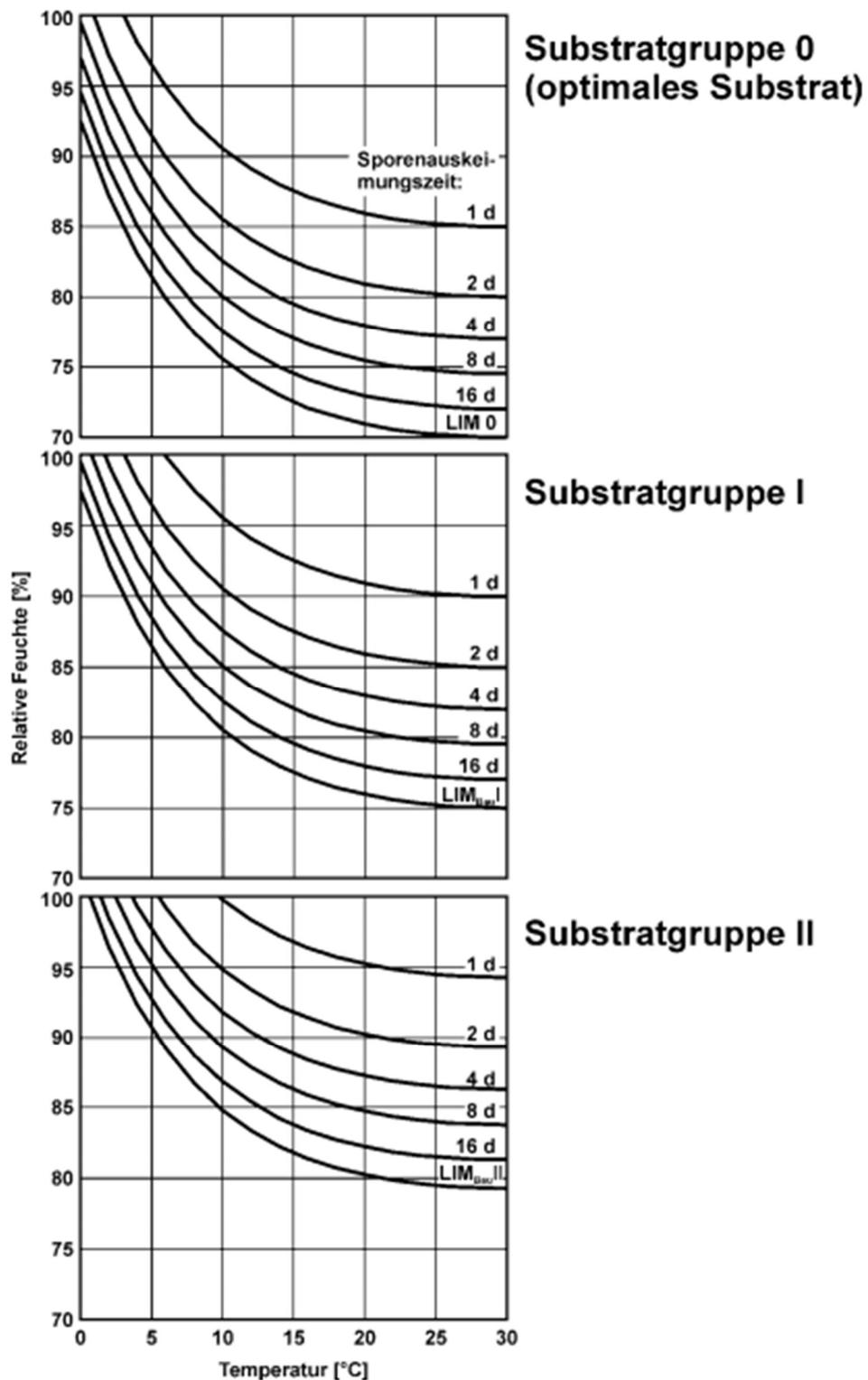


Abbildung 82: Verallgemeinertes Isoplethensystem für Sporeauskeimung nach [8]

Abbildung 83 gilt für alle im Bau auftretenden Pilze. Bild oben gilt für optimales Substrat, Mitte für Substratgruppe I und Bild unten für II. Die angegebenen Werte charakterisieren die Zeitdauer, nach welcher eine Keimung abgeschlossen ist. LIM bedeutet: Lowest Isoleth for Mould.

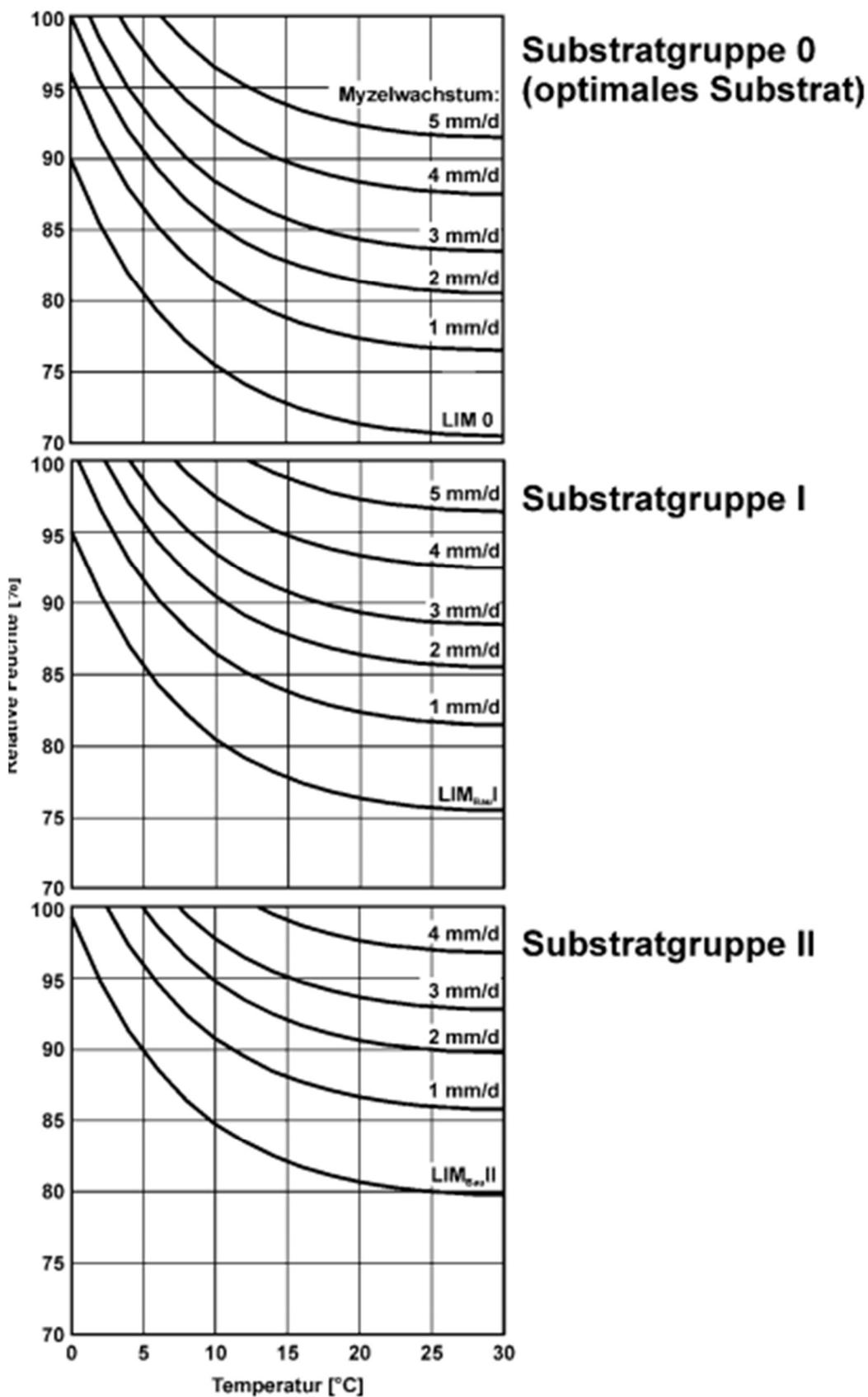


Abbildung 83: Verallgemeinertes Isoplethensystem für Myzelwachstum nach [8]

In Abbildung 84 und Abbildung 85 zeigt das obere optimale Substrat, das mittlere Substratgruppe I und das untere Bild Substratgruppe II. Die angegebenen Werte in mm/d charakterisieren das zu erwartende Wachstum. Die Isoplethenlinien nach Substratgruppe 0 werden sowohl für die Betrachtung des Myzelwachstum als auch für die Sporenauskeimung herangezogen. Außerdem wird das Risiko zur Entstehung von Holzfäule nach [9] betrachtet, wobei alle Punkte über einer Linie, welche von 0°C und 95% nach 30°C und 86% verläuft, die Möglichkeit zur Entstehung von Holzfäule begünstigen.

Aus der obersten Abbildung in Abbildung 84 kann man die Sporenauskeimungszeit im Bereich des Sensors RH03 ablesen. Das Isoplethen-Diagramm besteht wieder aus der Temperatur auf der Abszisse und der relativen Luftfeuchtigkeit auf der Ordinate, während die Zeit durch die Farbe der Punkte, von blau nach rot, abgebildet wird. Durch die unterste durchgehende Isoplethen-Linie (LIM) wird vorhergesagt, ob Schimmelwachstum möglich ist. Die Linien geben, von unten nach oben gereiht an, wann eine Auskeimung in Tagen abgeschlossen ist (16, 8, 4, 2 und 1 Tag). Das bedeutet je weiter der Punkt über einer dieser Linien ist, desto schneller keimen die Sporen in diesem Zeitraum aus. Die in verschiedenen grün Tönen gekennzeichneten Flächen zeigen vorhandene Messdaten, welche über einer Linie liegen und somit ein bestimmtes Wachstum innehaben.

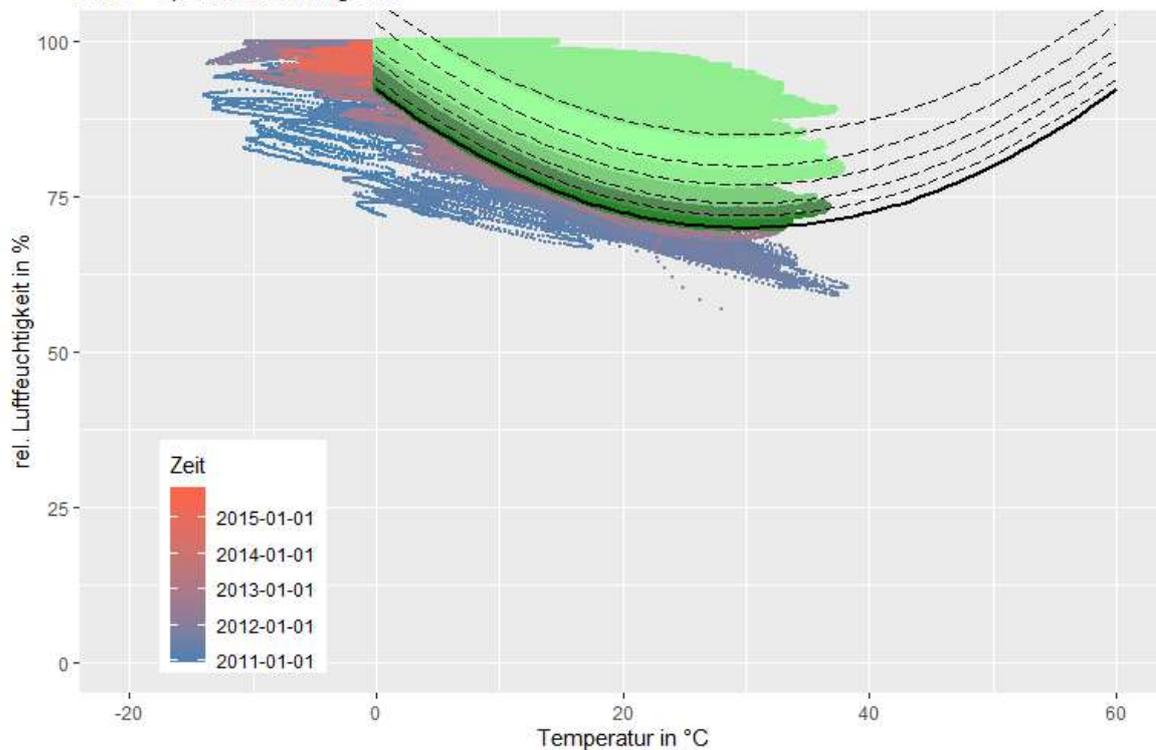
Im unteren Diagramm, durch die das Schimmelpilzwachstum beurteilt werden kann, wird das Myzelwachstum betrachtet. Die unterste durchgehende Linie zeigt wieder den Isoplethenbereich, in dem ein Myzelwachstum möglich ist (LIM). Die fünf strichlierten Linien zeigen von unten nach oben das Wachstum in mm/d (1, 2, 3, 4 und 5mm/d) an. Die verschiedenen Wachstumsgeschwindigkeitsbereiche sind in verschiedenen Grün-Tönen abgebildet.

Aus der Abbildung 85 kann der Bereich abgelesen werden, in der Holzfäule auftritt. Dieser wird durch eine durchgehende gerade Linie gekennzeichnet und die Punkte, bei denen Holzfäule möglich ist, werden in Grün abgebildet.

Vergleich der relativen Luftfeuchtigkeiten

Verallgemeinertes Isoplethensystem

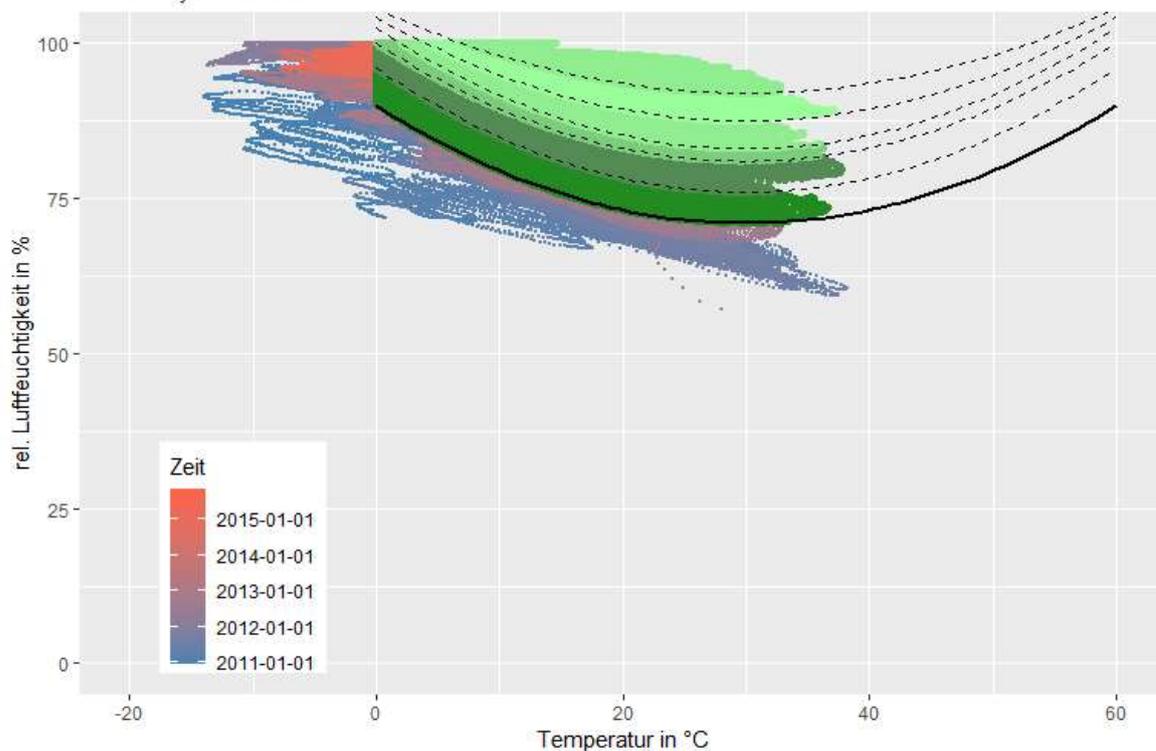
RH03 - Sporenauskeimungszeit



Bauteil I51

Verallgemeinertes Isoplethensystem

RH03 - Myzelwachstum



Bauteil I51

Abbildung 84: Beurteilung des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule Teil 1 RH03

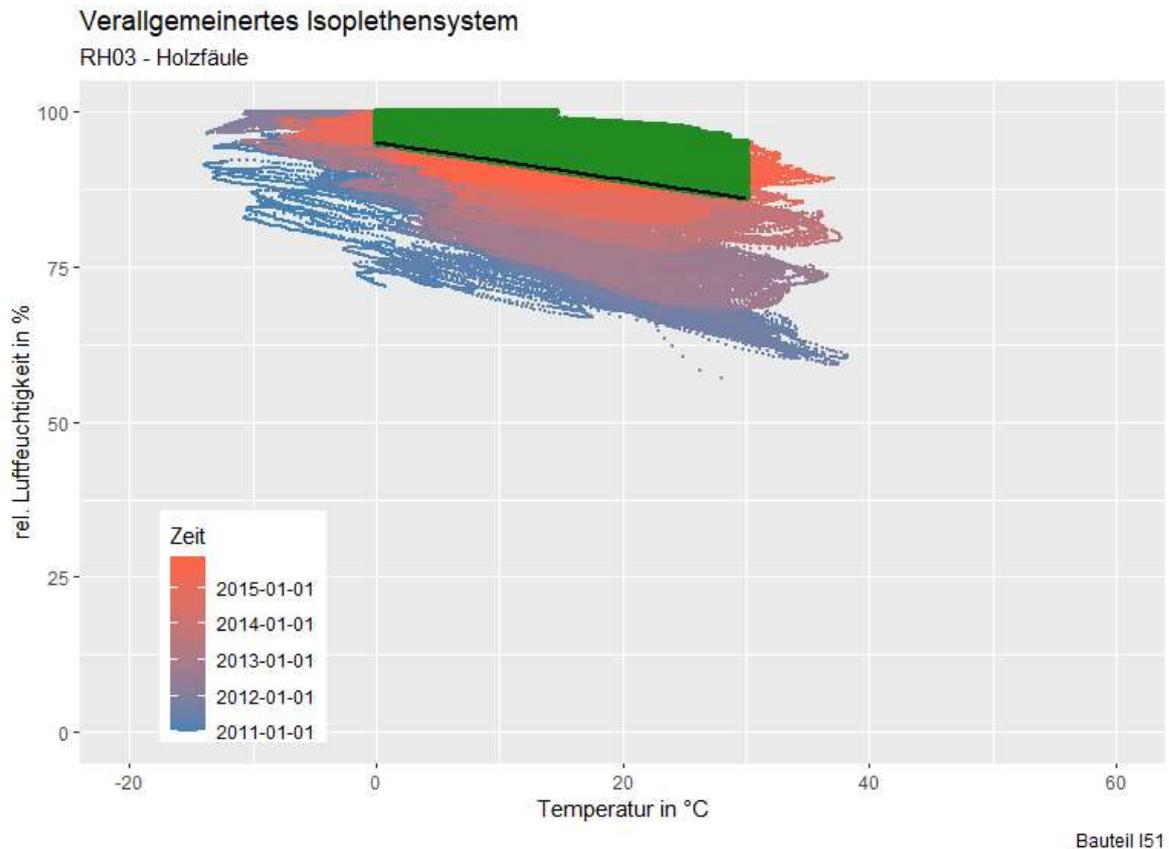


Abbildung 85: Beurteilung des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule Teil 2 RH03

In Abbildung 86 und Abbildung 87 ist die Beurteilung des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule in den Monatsmittelwerten dargestellt. Bei der Schimmelpilzbeurteilung wird geprüft, ob sich ein Messpunkt über einer dieser Isoplethenlinien befindet. Wenn das der Fall ist, wird diesem Punkt eine Wertung von 1 gegeben. Wenn sich ein Punkt unter einer Linie befindet, bekommt er für diese Linie und diesen Zeitpunkt eine 0 als Wertung. Es ergibt sich, dass ein Punkt der z.B.: die Linie des Myzelwachstums von 4 mm/d überschreitet, somit für die Linien bis inklusive der 4 mm/d Linie eine Wertung von 1 erhält. Diese Wertung von 1 repräsentiert eine Aufzeichnungsdauer von 10 Minuten. Es kann durch Umrechnung dieser Wertungen die Dauer in Tagen errechnet werden, in denen das Schimmelpilzwachstum bzw. die Holzfäule begünstigt wird.

Dieses Diagramm ist schwer zu lesen und beinhaltet sehr viele Informationen, deswegen wird es hier einmal informationshalber abgebildet. Um diese Informationen anschaulicher zu machen werden die Monatsmittelwerte pro Jahr in Monats- und Jahresmittelwerte unterteilt.

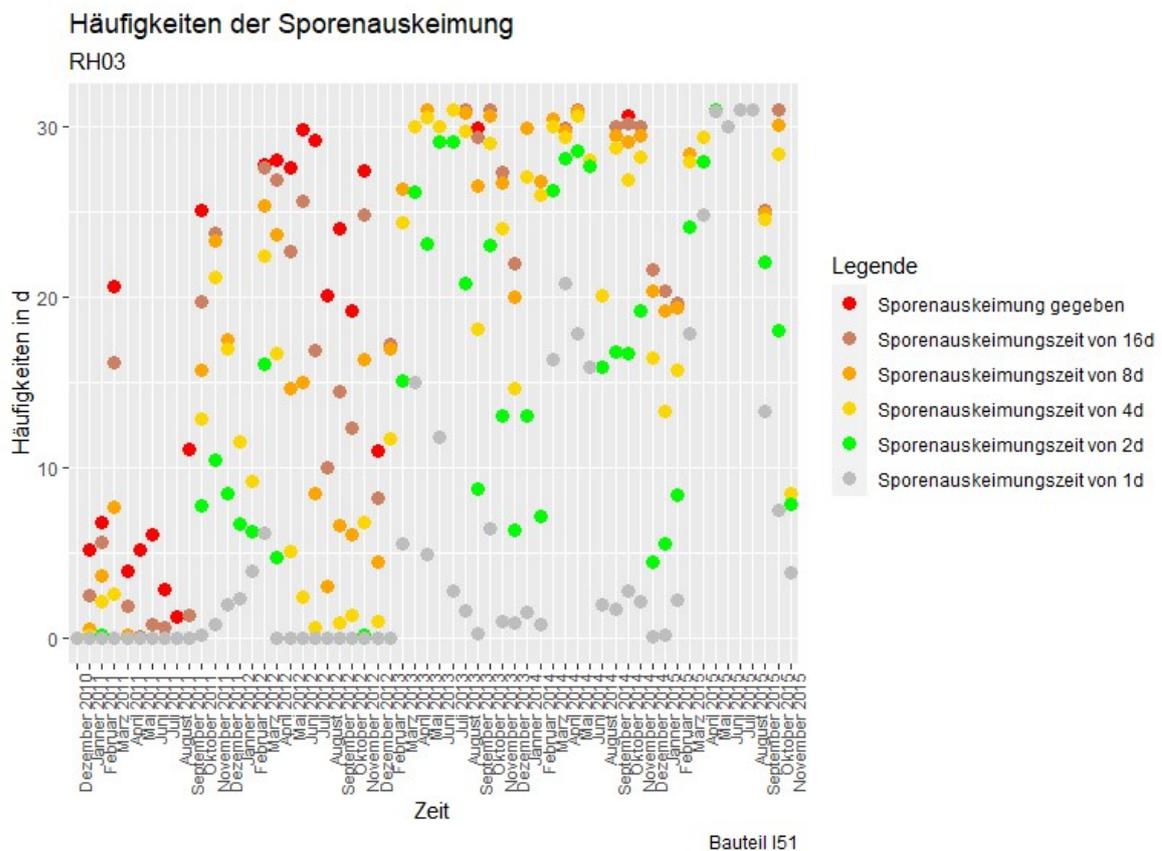
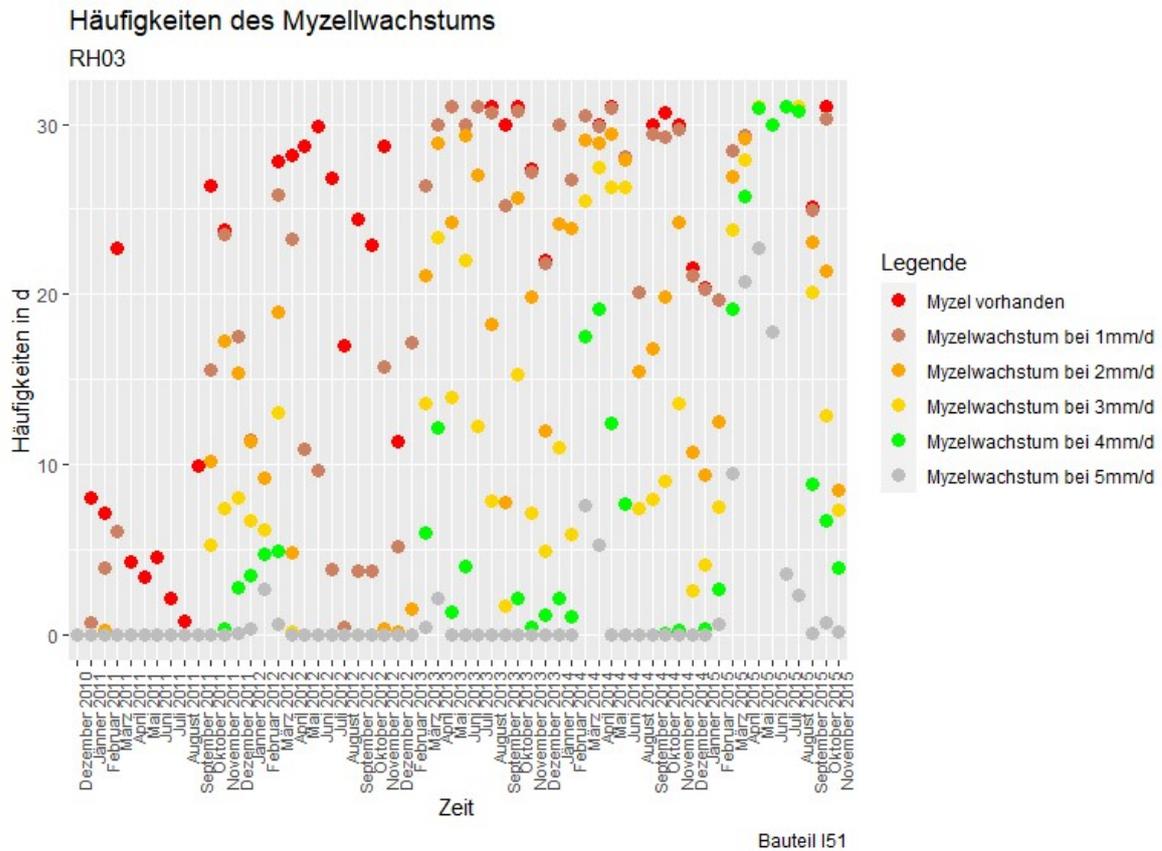


Abbildung 86: Monatsmittelwerte des Schimmelpilzwachstums RH03

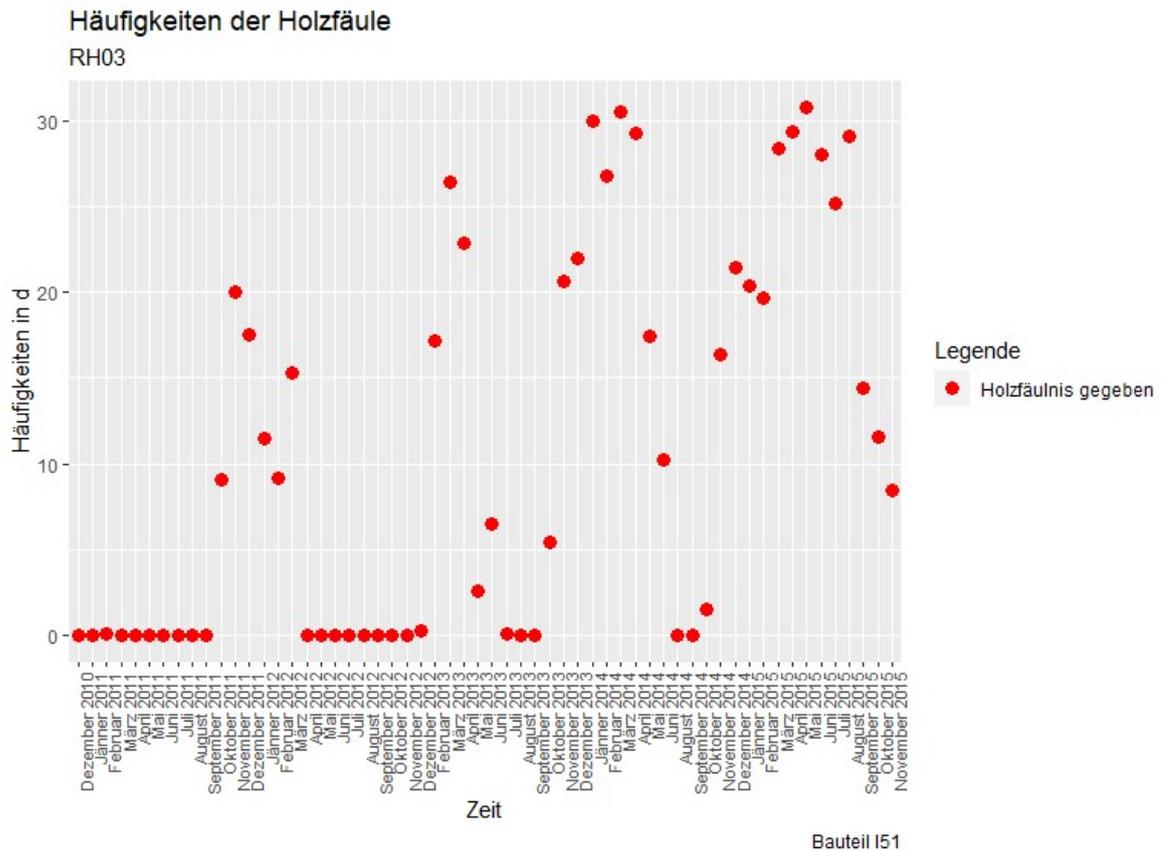


Abbildung 87: Monatsmittelwerte der Holzfäulebildung RH03

In Abbildung 88 und Abbildung 89 sind nun die Monatsmittelwerte aller Jahre gemittelt abgebildet. In den Monaten von März bis August herrscht die größte Intensität an Schimmelpilzwachstum. Bei der Holzfäule hat der März das größte Wachstum. Aus den Daten zu RH03 geht hervor, dass während 77% der Zeit ein Schimmelpilzwachstum ermöglicht wird. Das sind 1296 von 1680 Tage. Die Entstehung von Holzfäule wird zu 38% der Zeit ermöglicht.

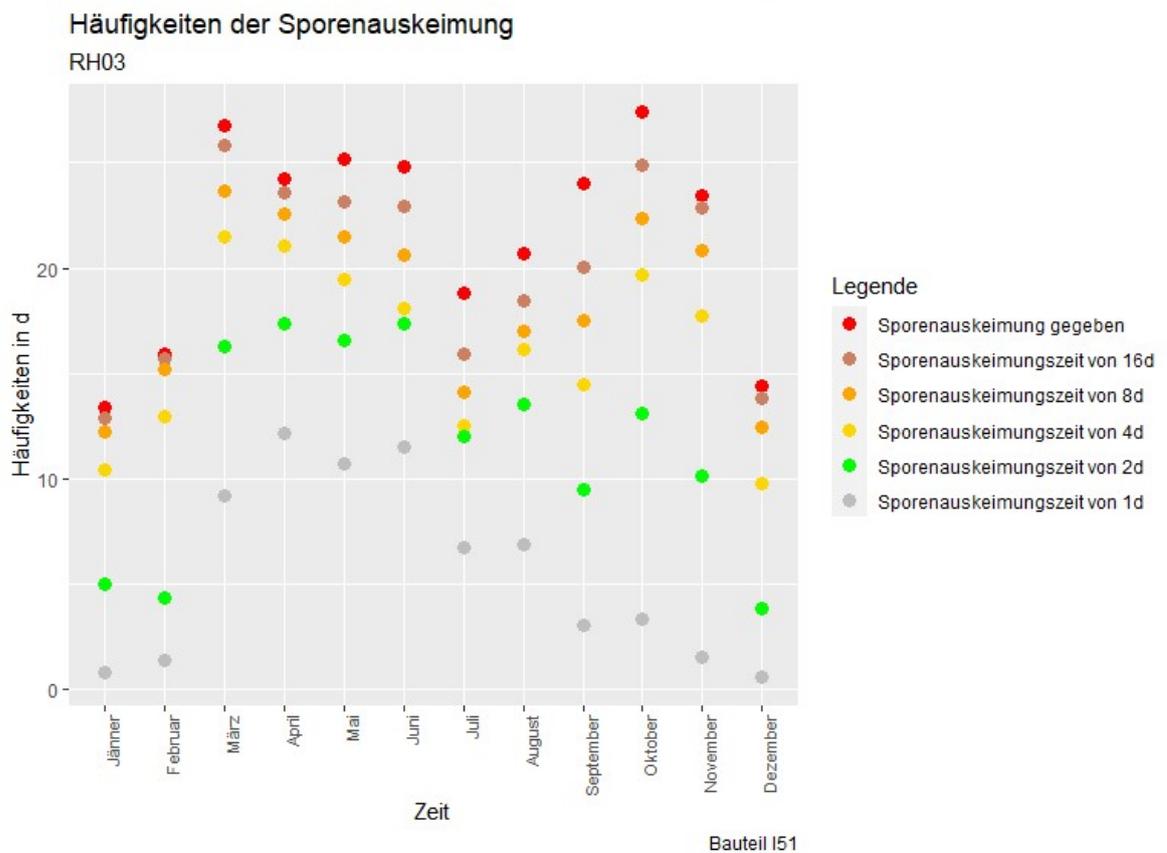
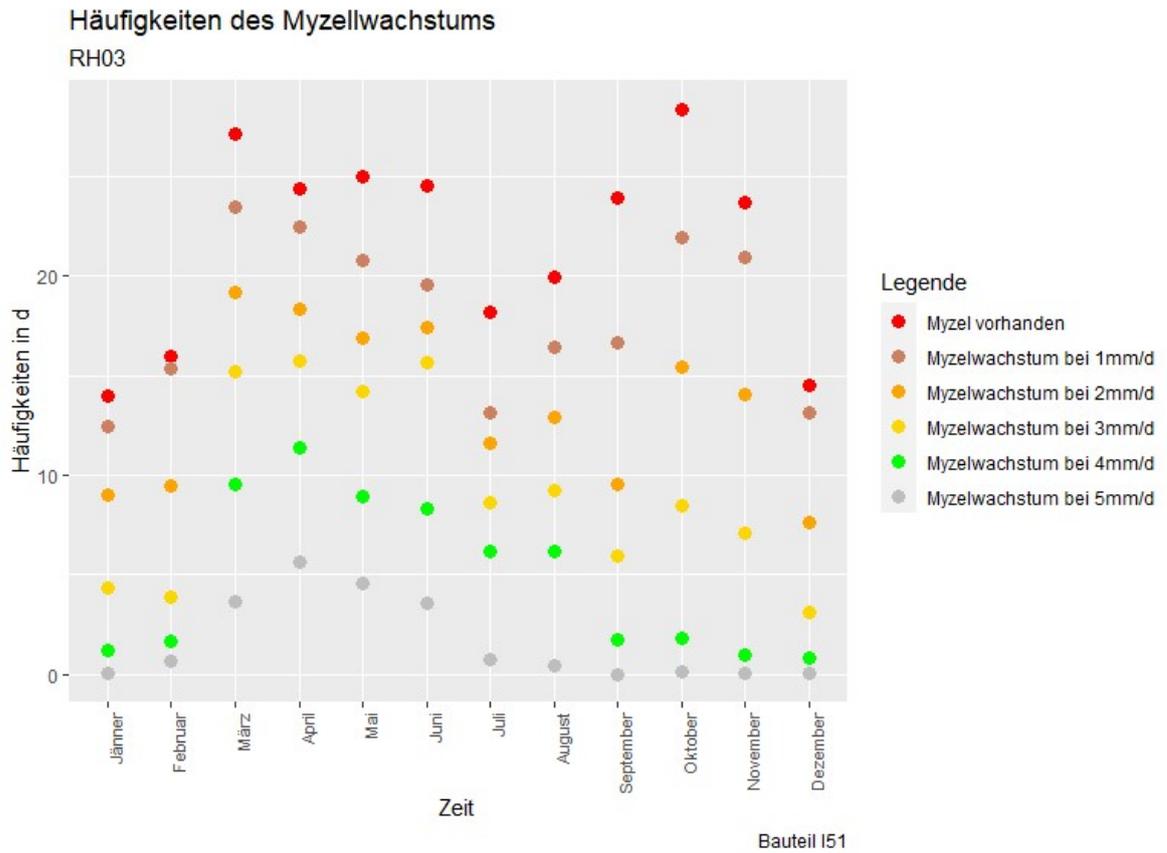


Abbildung 88: Monatsmittelwerte des Schimmelpilzwachstums RH03

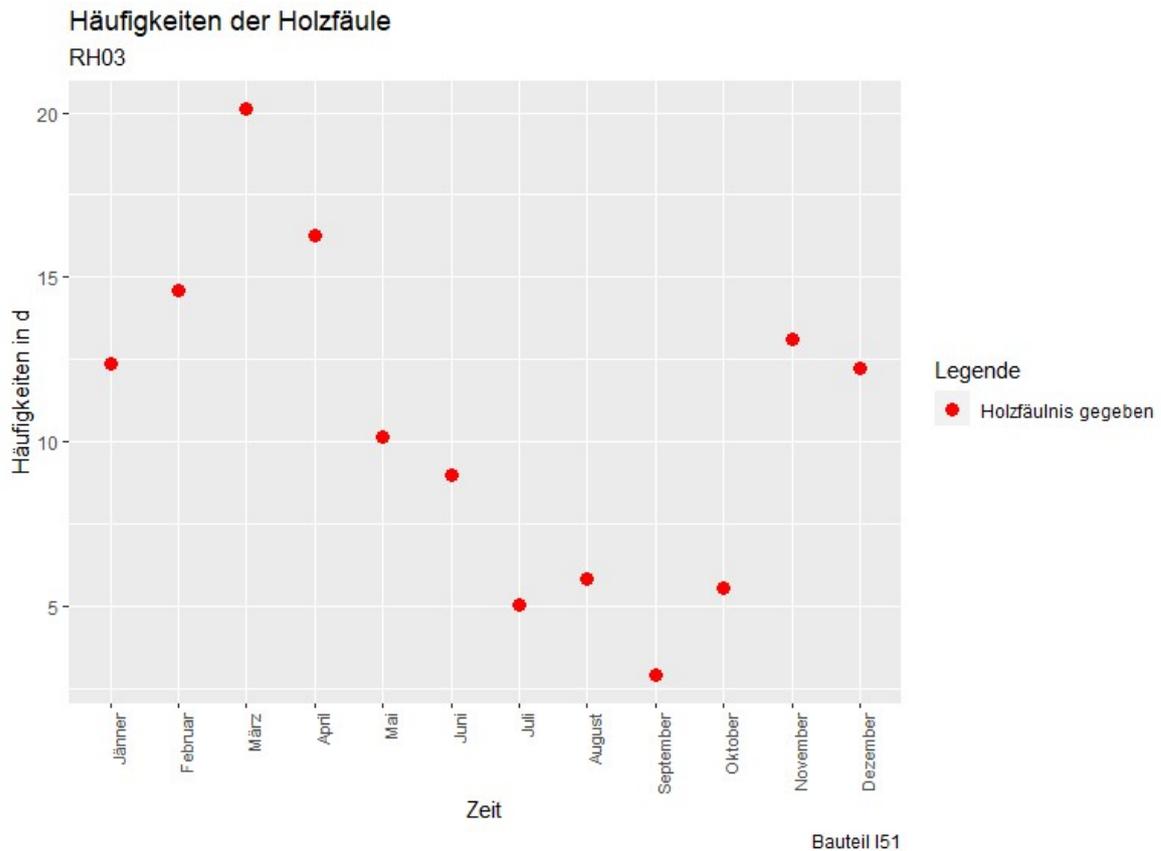


Abbildung 89: Monatsmittelwerte der Holzfäulebildung RH03

In Abbildung 90 und Abbildung 91 sind die Jahresmittelwerte abgebildet, woraus man schließen kann, dass sowohl die Intensität der Schimmelpilzbildung als auch die Bildung von Holzfäulnis stetig steigt. Bei der Myzelbildung und bei der Sporenauskeimung kommt es ab dem dritten Jahr (2012) zu keiner Steigerung der Tage, in denen Schimmelpilz existieren kann, sondern zu einer reinen Beschleunigung des Wachstums. Das Jahr 2010 bzw. die zweite Hälfte des Dezembers 2010 wird in dieser Darstellung vernachlässigt, da es sich nur um den Bruchteil eines Monats handelt. Das Jahr 2015 wird hingegen betrachtet, da hier der Dezember 2015 fehlt, ist dieses Jahr mit Vorsicht zu betrachten. Aus diesem Grund sieht es zwar so aus, als würden die Tage, an denen Schimmelpilz vorhanden sein kann, zurückgehen, jedoch könnte dies durch das Fehlen des Dezembers 2015 begründet werden.

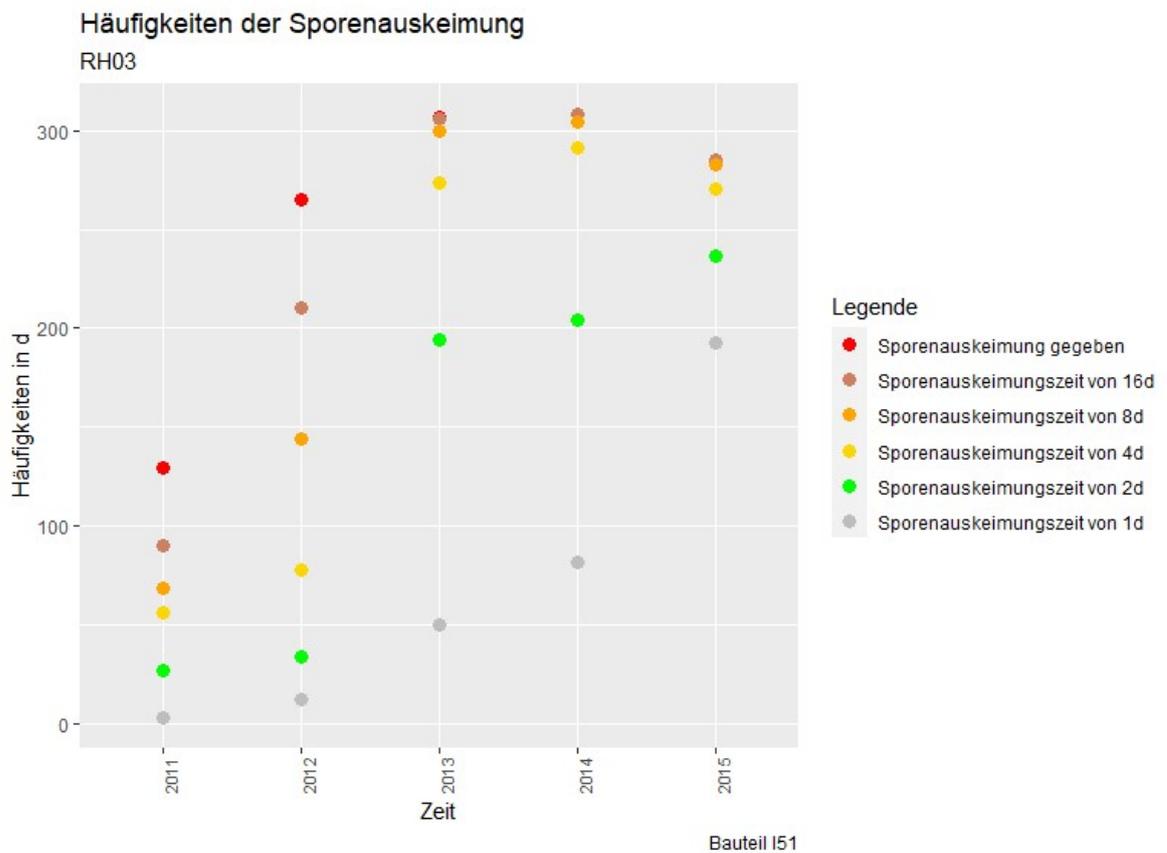
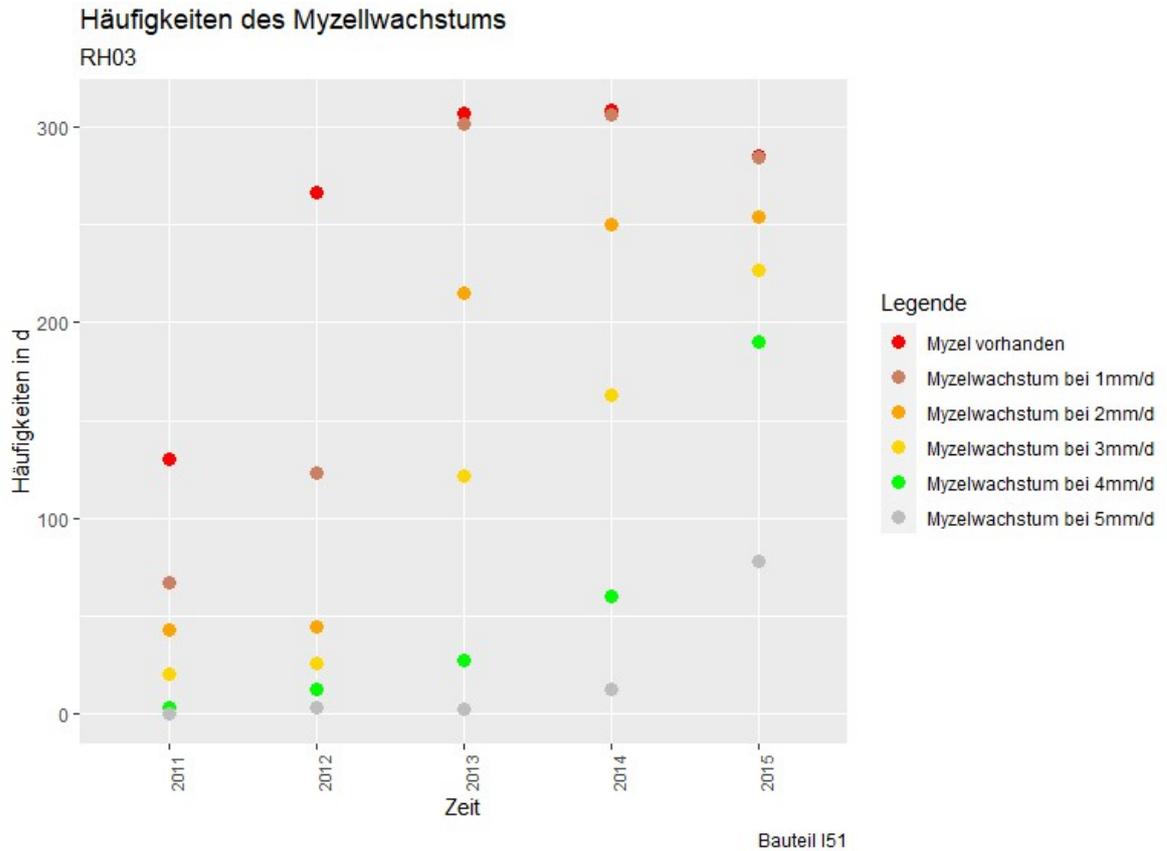


Abbildung 90: Jahresmittelwerte des Schimmelpilzwachstums RH03

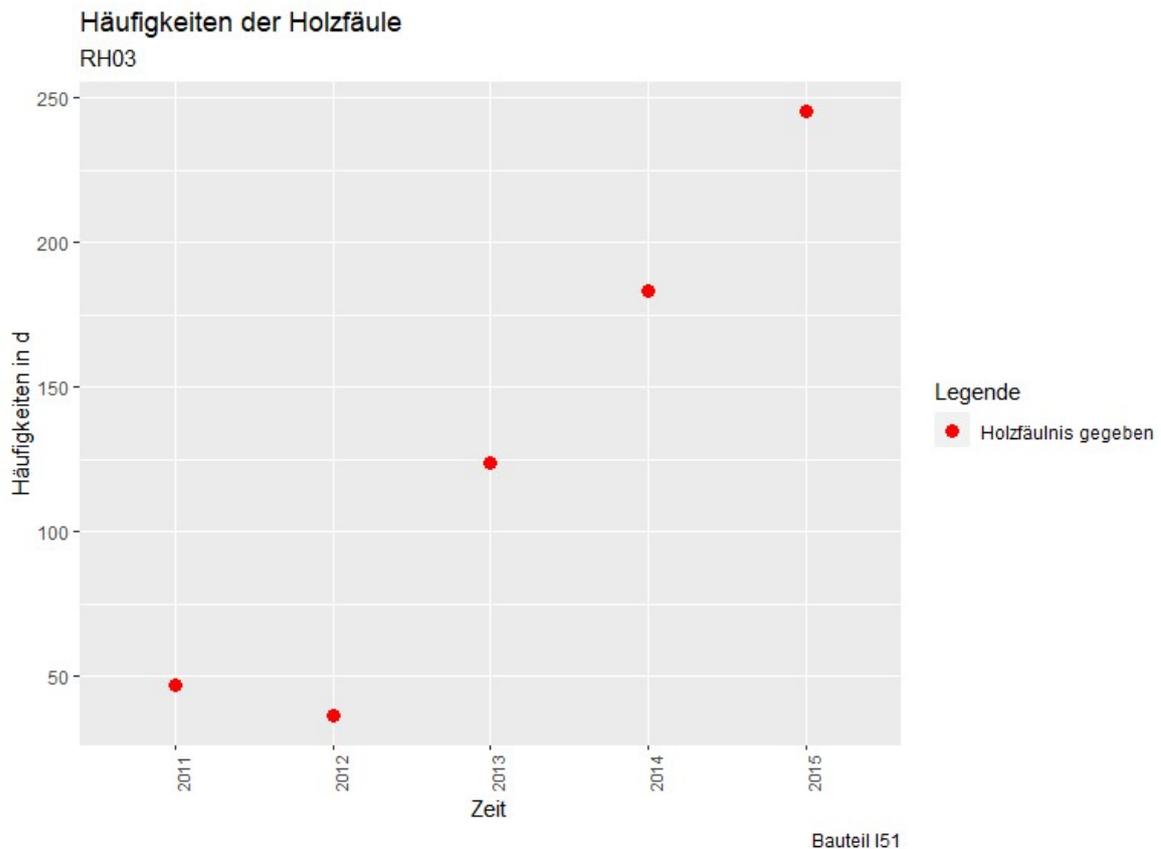


Abbildung 91: Jahresmittelwerte der Holzfäule RH03

Nun werden die Monats- und Jahresmittelwerte der drei betrachteten Sensoren übereinandergelegt, um eine Vergleichsbasis zu schaffen. In Abbildung 92 und Abbildung 93 sind die Jahresmittelwerte der Sensoren RH03 (Kreis), RH04 (Stern) und RH05 (Fadenkreuz) abgebildet. Hier kann man erkennen, dass es bei den verdeckten Sensoren zu einer starken stetigen Steigung der Entwicklung von sowohl Schimmel als auch Holzfäule kommt. RH03 und RH04 liegen eng beieinander, jedoch weist RH03 schlechtere Verhältnisse auf. Beim nicht verdeckten Sensor RH05 kommt es auch zu einer Steigerung der Verhältnisse, bei denen Schimmel entstehen kann, wobei diese jedoch deutlich geringer ausfallen als bei RH03 und RH04. Die Dauer, in der die Entstehung von Schimmel bei RH03 möglich ist, beträgt 77%, bei RH04 beträgt diese 74% und bei RH05 22,5%. Der Zeitraum in denen Schimmel entstehen kann, ist somit bei den verdeckten Sensoren dreimal so groß als bei dem nicht verdeckten Sensor RH05. Die Dauer, in der die Entstehung von Holzfäule bei RH03 möglich ist beträgt 38%, bei RH04 beträgt sie 30% und bei RH05 22,5%. Der Unterschied zwischen den verdeckten und nicht verdeckten beträgt hier somit mehr als das 1,3fache.

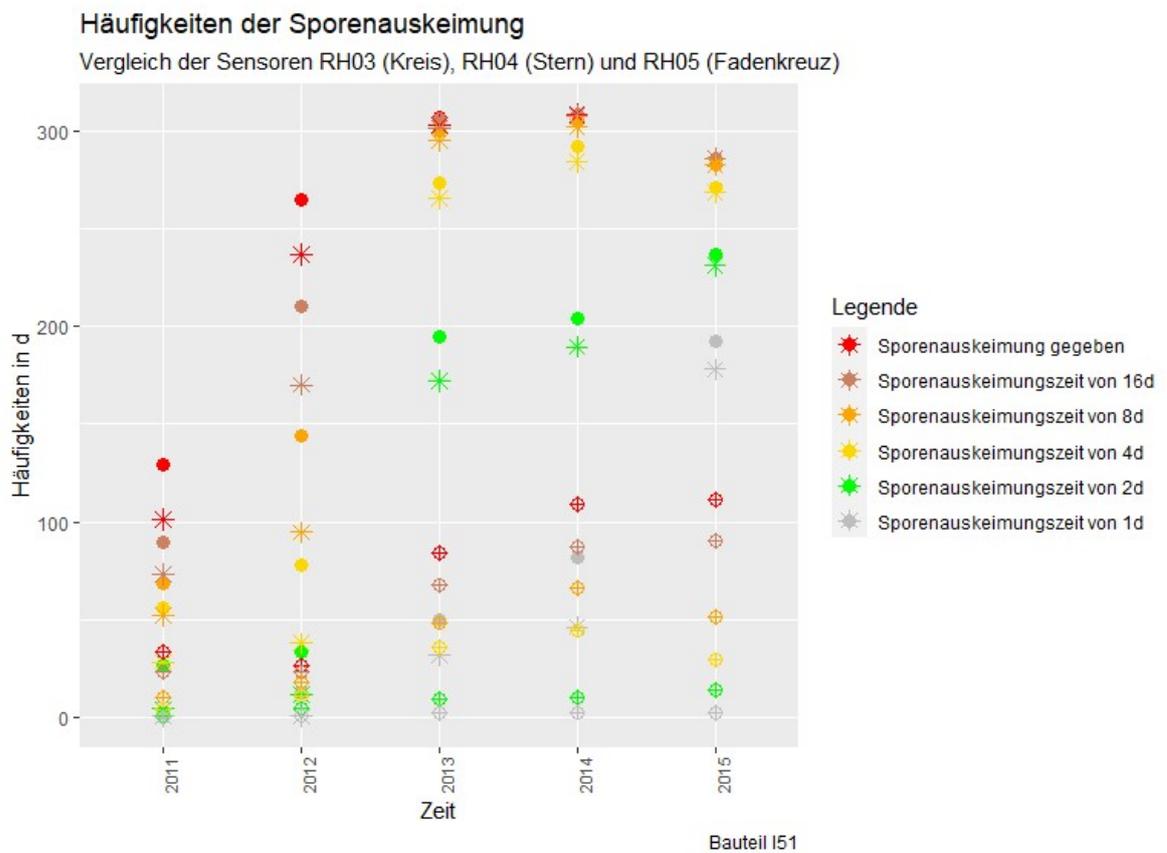
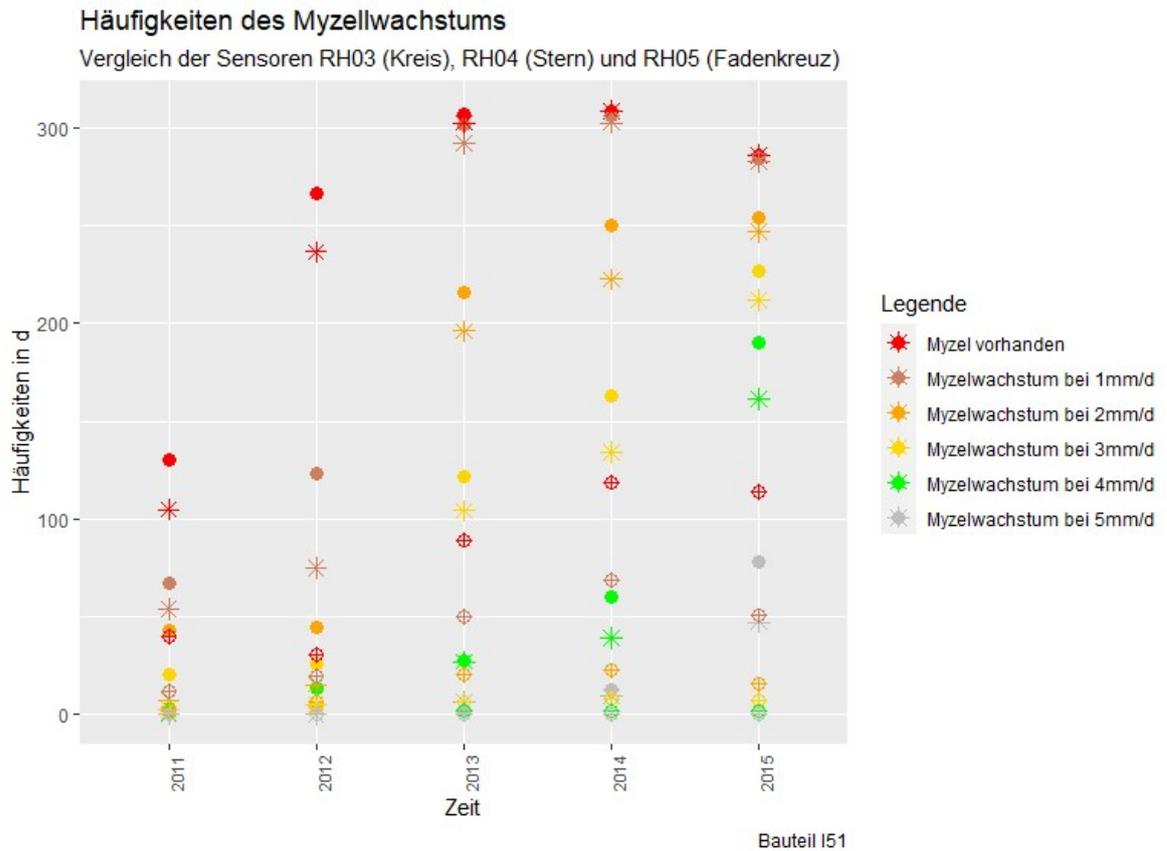


Abbildung 92: Jahresmittelwerte des Schimmelpilzwachstums im Vergleich von RH03, RH04 und RH05

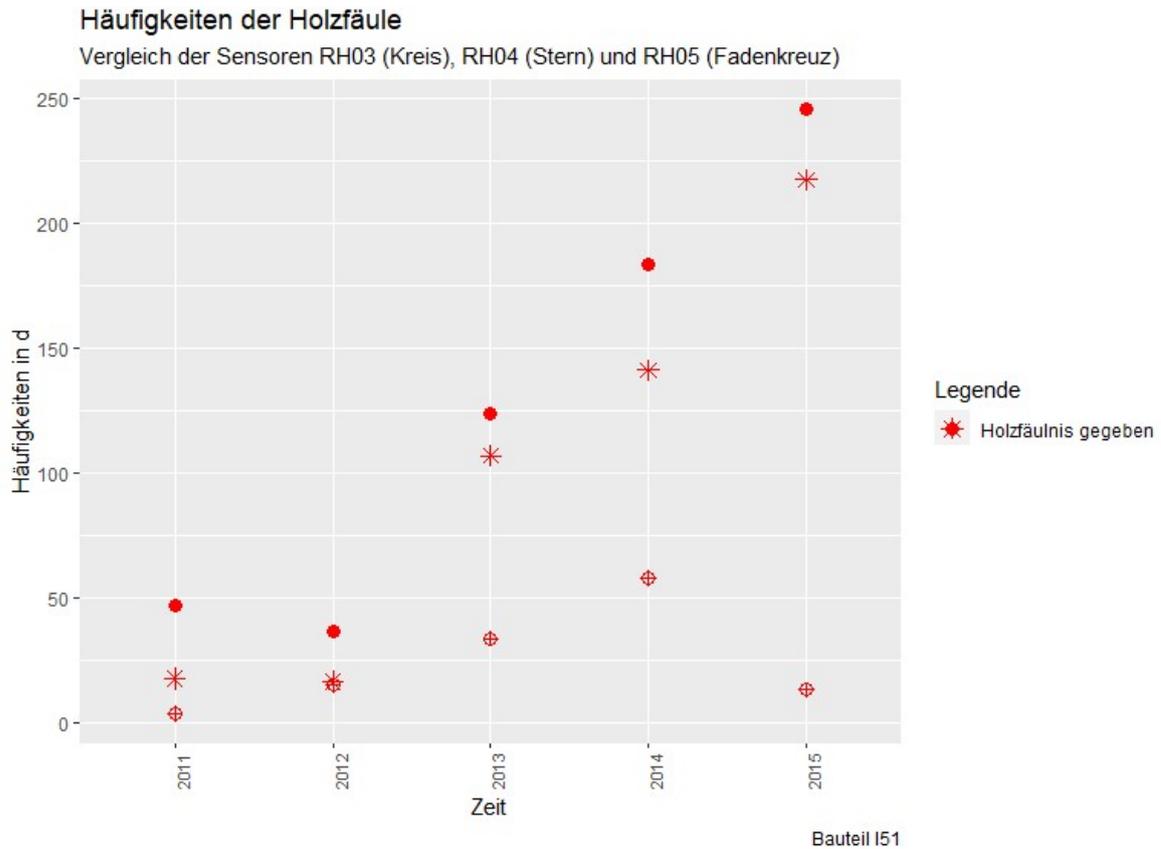


Abbildung 93: Jahresmittelwerte der Holzfäule im Vergleich von RH03, RH04 und RH05

Die überlagerten Monatsmittelwerte sind in Abbildung 94 und Abbildung 95 abgebildet. In der oberen Grafik sind die Monatsmittelwerte des Myzelwachstums zu sehen, in der mittleren die Monatsmittelwerte der Sporenauskeimung und in der untersten die Monatsmittelwerte der Holzfäule. In diesen Grafiken wird der Sensor RH03 als gefüllter Kreis, RH04 als Stern und RH05 als Fadenkreuz dargestellt. Wenn man die obere und die mittlere Grafik betrachtet und den Kreis, den Stern und das Fadenkreuz derselben Farbe miteinander vergleicht, kann man erkennen, dass RH03 und RH04 meist dicht beieinander liegen, wobei RH03 stets ein wenig höher liegt. Bei beiden kommen Häufigkeiten von über 20 Tagen im Monat oft vor. RH05 hingegen ist weit hinter den anderen beiden und der Höchstwert liegt für das Vorhandensein von Myzelien bei knapp über 5 Tagen. Außerdem kann man erkennen, dass in den Monaten von März bis August das größte Wachstum für die Sensoren unter dem PV-Modul (RH03 und RH04) zu erwarten ist. Der nicht verdeckte Sensor (RH05) zeigt sein stärkstes Wachstum von November bis März. Die Holzfäule zeigt ein ähnliches Verhalten wie die Schimmelpilzbildung. RH03 und RH04 sind dicht beieinander, wobei RH03 stets über RH04 liegt. Bei RH05 entsteht Holzfäule nur in den Monaten von Dezember bis März, während es bei den verdeckten Sensoren ganzjährig entstehen kann.

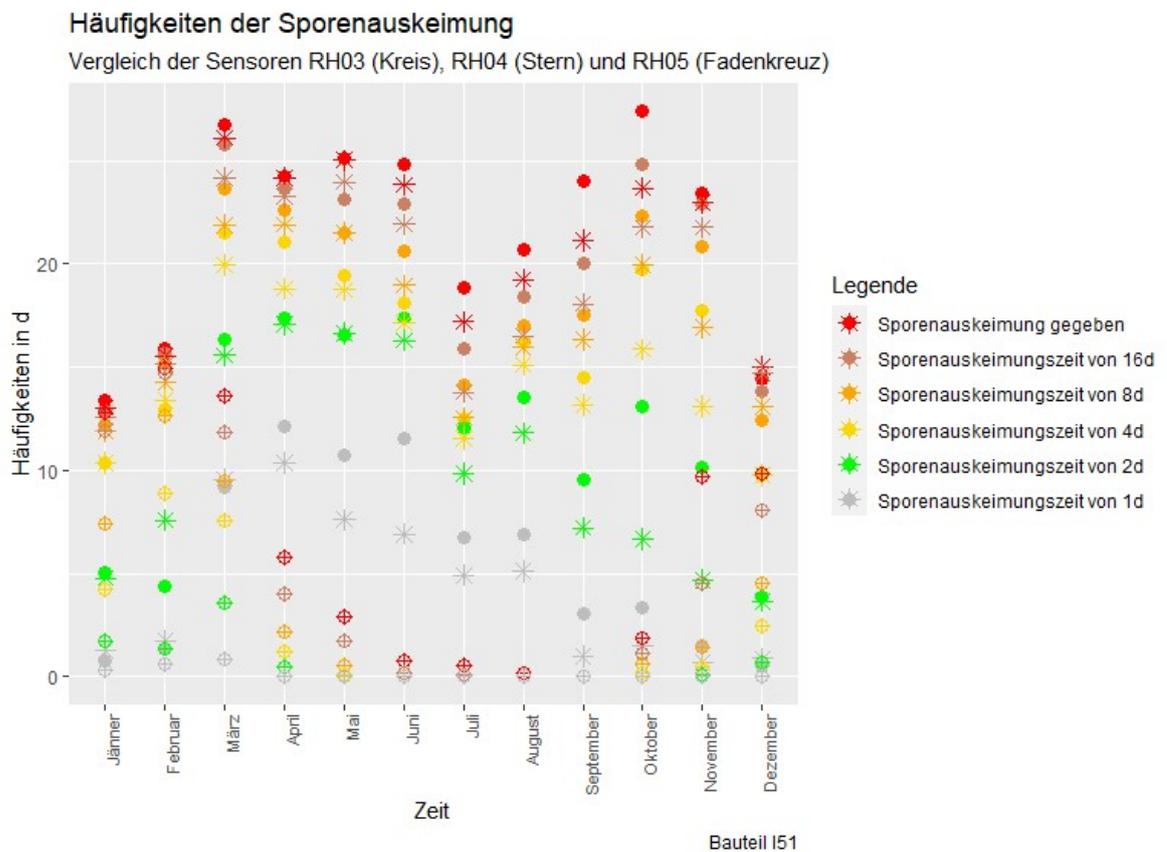
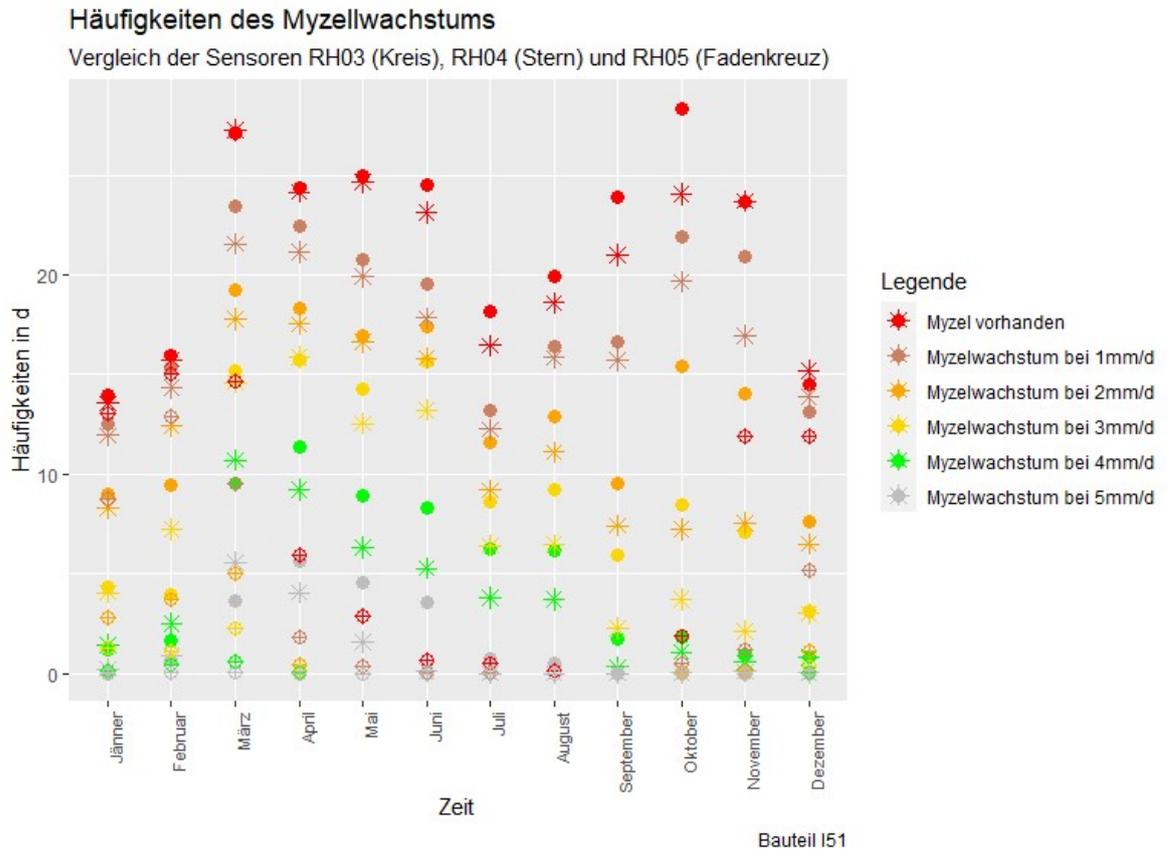


Abbildung 94: Monatsmittelwerte des Schimmelpilzwachstums im Vergleich von RH03, RH04 und RH05

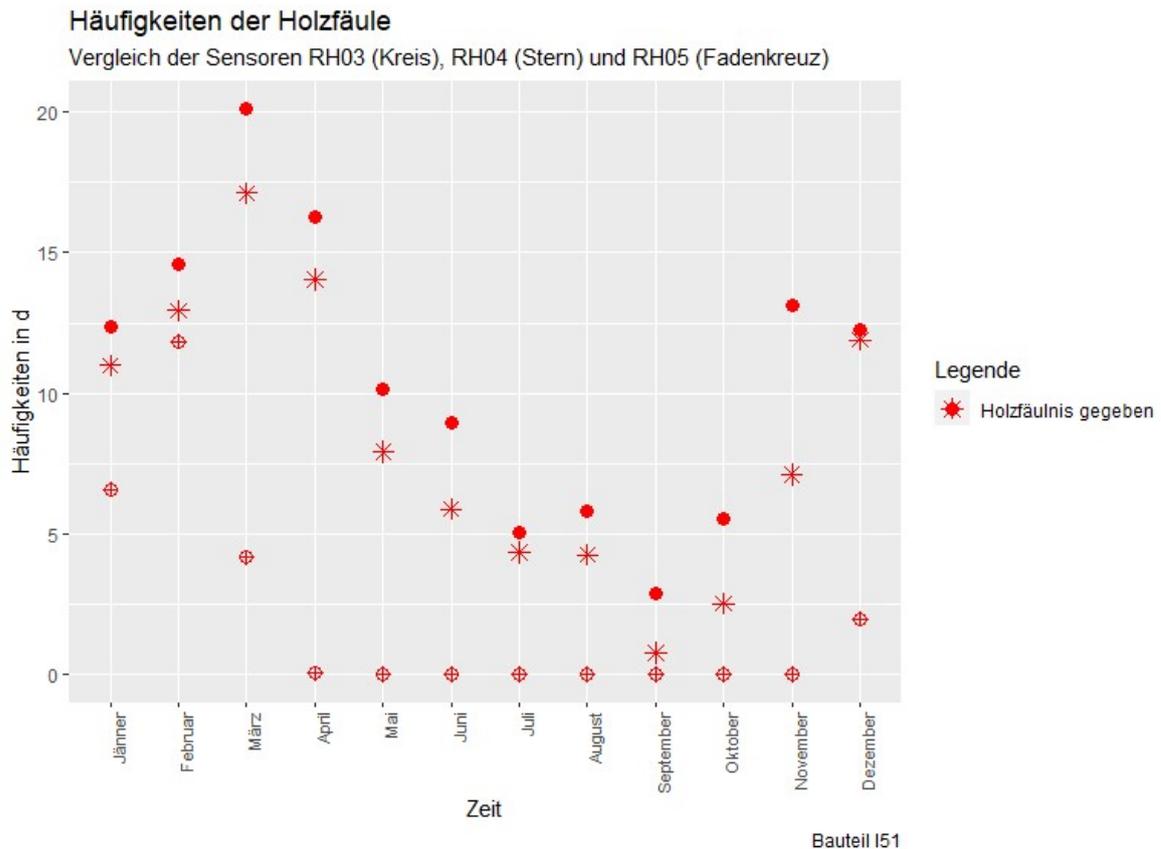


Abbildung 95: Monatsmittelwerte der Holzfäule im Vergleich von RH03, RH04 und RH05

4.4.4 Beurteilung des Kondensates der Sensoren RH03, RH04 und RH05

Aus der relativen Luftfeuchtigkeit und der Temperatur können noch weitere Untersuchungen in Bezug auf die Feuchtigkeit durchgeführt werden. Als Erstes wird der Wasserdampf-sättigungsdruck p_s nach [10] berechnet. Dies geschieht näherungsweise für den Bereich zwischen 0 und 30 °C durch die Formel:

Formel 7: Berechnung des Wasserdampf-sättigungsdruck zwischen 0 und 30 °C [10]

$$p_s = 610,5 \cdot e^{\left(\frac{17,269-\theta}{237,3+\theta}\right)}$$

Und für den Bereich zwischen -20 und 0 °C durch:

Formel 8: Berechnung des Wasserdampf-sättigungsdruck zwischen -20 und 0 °C [10]

$$p_s = 610,5 \cdot e^{\left(\frac{21,875-\theta}{265,5+\theta}\right)}$$

Darin ist:

- θ Temperatur in °C
- p_s Wasserdampf-sättigungsdruck in Pa

Die gemessenen Temperaturen liegen nicht immer im Bereich zwischen -20 und +30 °C, dennoch werden die Ergebnisse des Wasserdampf-sättigungsdruckes p_s für plausibel gehalten, da die gemessene absolute Luftfeuchtigkeit mit der Berechneten (siehe unten) übereinstimmt. Die gemessene absolute Luftfeuchtigkeit wird nur für den Vergleich betrachtet, da die Aufzeichnung wieder lückenhaft ist und diese Lücken nicht mit denen

der kombinierten Sensoren zusammenpassen. Dies würde analytisch einen deutlichen Mehraufwand in Bezug auf die Daten erzeugen. Aus diesem Grund wird mit der berechneten absoluten Luftfeuchtigkeit gearbeitet.

Die absolute Luftfeuchtigkeit oder auch Wasserdampfkonzentration C_D mit Hilfe des Wasserdampfsättigungsdruckes errechnet werden. Dies geschieht durch die Formel:

Formel 9: Berechnung der Wasserdampfkonzentration nach

$$C_D = \frac{\phi \cdot p_s}{R_D \cdot T}$$

Darin sind:

- ϕ relative Luftfeuchtigkeit in %
- p_s Wasserdampfsättigungsdruck in Pa
- R_D spezifische Gaskonstante für Wasserdampf in J/(kg·K) ($R_D = 461,5 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$)
- T thermodynamische Temperatur ($T = \theta + 273,15$) in K
- C_D Wasserdampfkonzentration in kg/m^3

Zusätzlich kann auch die Wasserdampfsättigungskonzentration C_S berechnet werden, indem die relative Luftfeuchtigkeit auf 1,0 (100%) gesetzt wird.

Formel 10: Berechnung der Wasserdampfsättigungskonzentration

$$C_S = \frac{p_s}{R_D \cdot T}$$

Durch die Berechnung der Taupunkttemperatur θ_s kann getestet werden, ob und wann Kondensat im Bauteil entsteht. Diese wird wie folgt berechnet:

Formel 11: Berechnung der Taupunkttemperatur

$$\theta_s = \left(\frac{\phi}{100} \right)^{\frac{1}{8,02}} \cdot (109,8 + \theta) - 109,8$$

Darin sind:

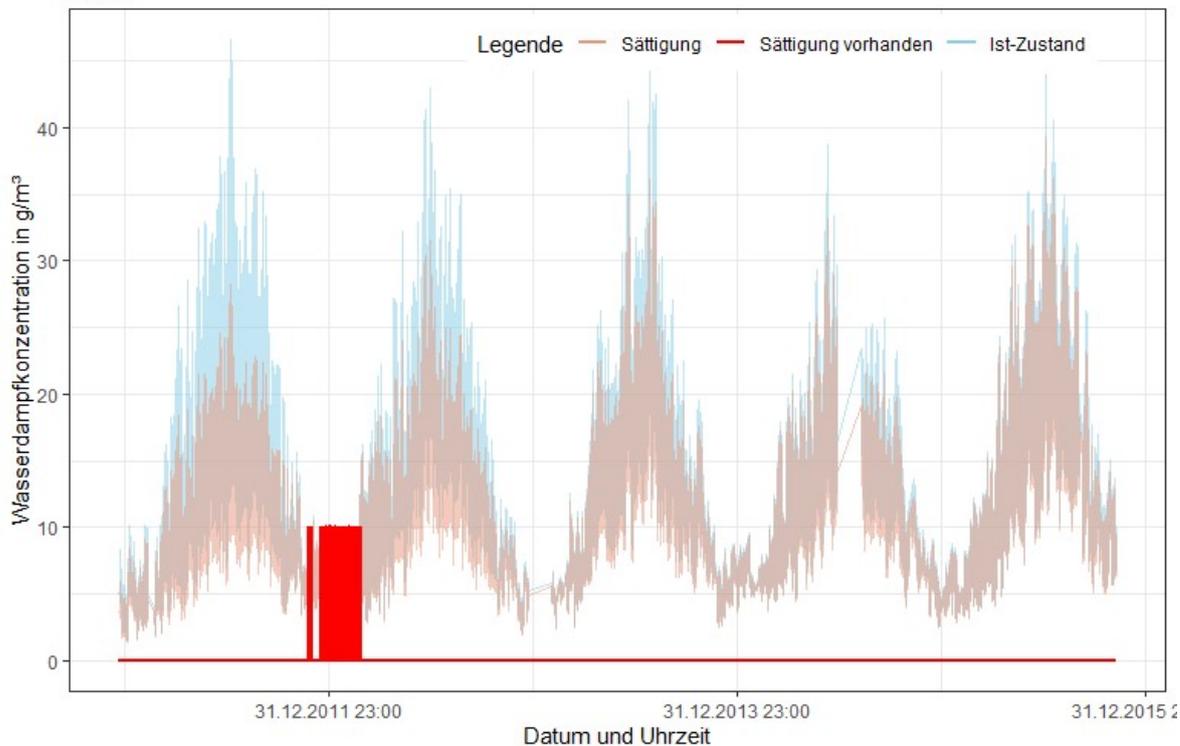
- θ_s Taupunkttemperatur in °C
- ϕ relative Luftfeuchtigkeit in %
- θ Temperatur in °C

Anschließend wird getestet, ob die gemessene Temperatur die Taupunkttemperatur unterschreitet. Wenn die Taupunkttemperatur unterschritten wird, wird dies binär (10 für Unterschreitung und 0 keine Unterschreitung) gespeichert. Es wird eine 10 statt einer 1 für die Unterschreitung vergeben, da diese in den Abbildungen anschaulicher ist. Die Ergebnisse dieses Testes werden samt den hier berechneten Werten in einer Grafik (Abbildung 96) veranschaulicht. Im obersten Diagramm werden die Wasserdampfkonzentration (rot) und die zugehörige Wasserdampfsättigungskonzentration (blau) mit einer Deckkraft von 50% dargestellt. Darübergelegt wird, die aus der Testung entstehenden Zeiten, in denen Kondensat entsteht, die binär als roter Balken mit den Werten Zehn und Null dargestellt werden. Das mittlere Diagramm stellt die gemessene Temperatur (rot) mit der errechneten Taupunkttemperatur (blau) dar. Zusätzlich werden wieder die binären Ergebnisse (rote Balken) der Kondensat-Testung überlagert.

In der Abbildung 97 wird dann in Monatsmitteln die Häufigkeit abgebildet, in denen Kondensat entsteht. In den darauffolgenden Kapiteln wird nur noch das Diagramm mit dem Vergleich der Monats- und Jahresmittelwerte der Sensoren betrachtet. Es kommt von November 2011 bis Februar 2012 zu Kondensatbildung. Das Maximum bleibt unter 12,5 Tage und wird im Jänner 2012 erreicht.

Betrachtung der Feuchtigkeit Wasserdampfkonzentration

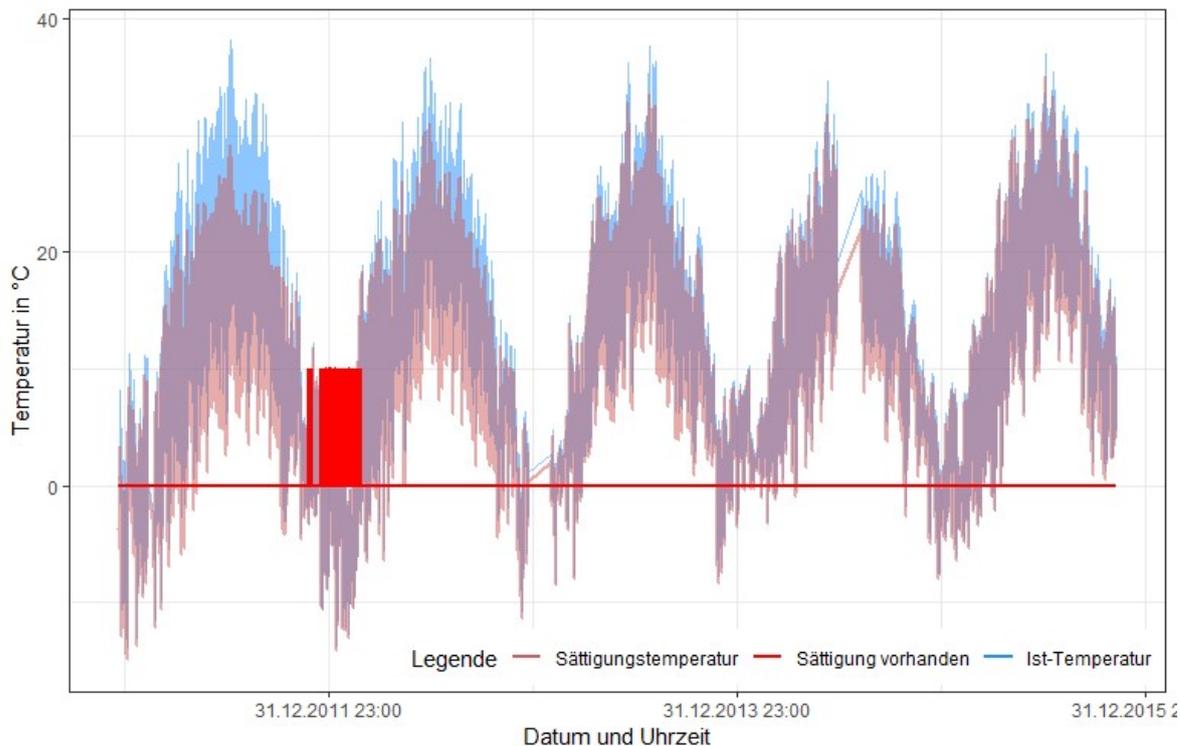
RH03



Bauteil I51

Taupunkttemperatur

RH03



Bauteil I51

Abbildung 96: Wasserdampfkonzentration-, Taupunkttemperaturverlauf des Kondensats von RH03

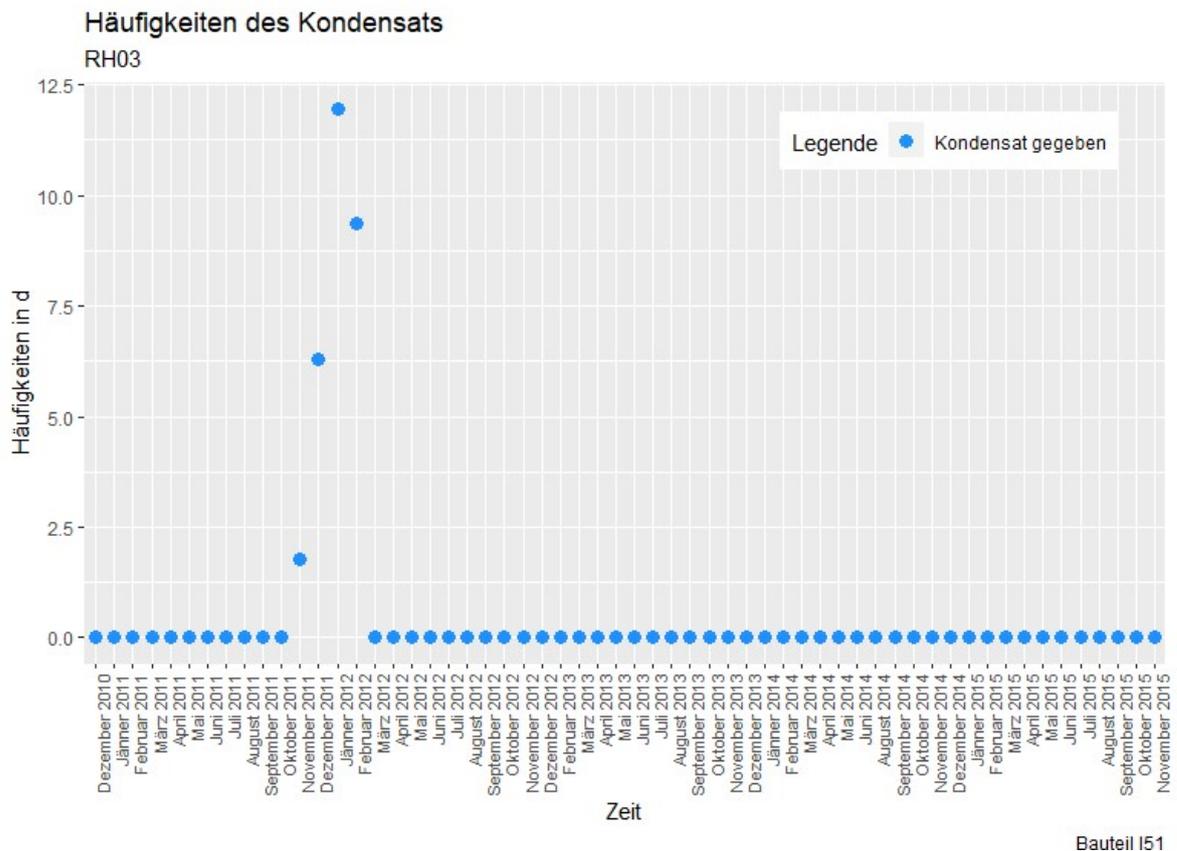
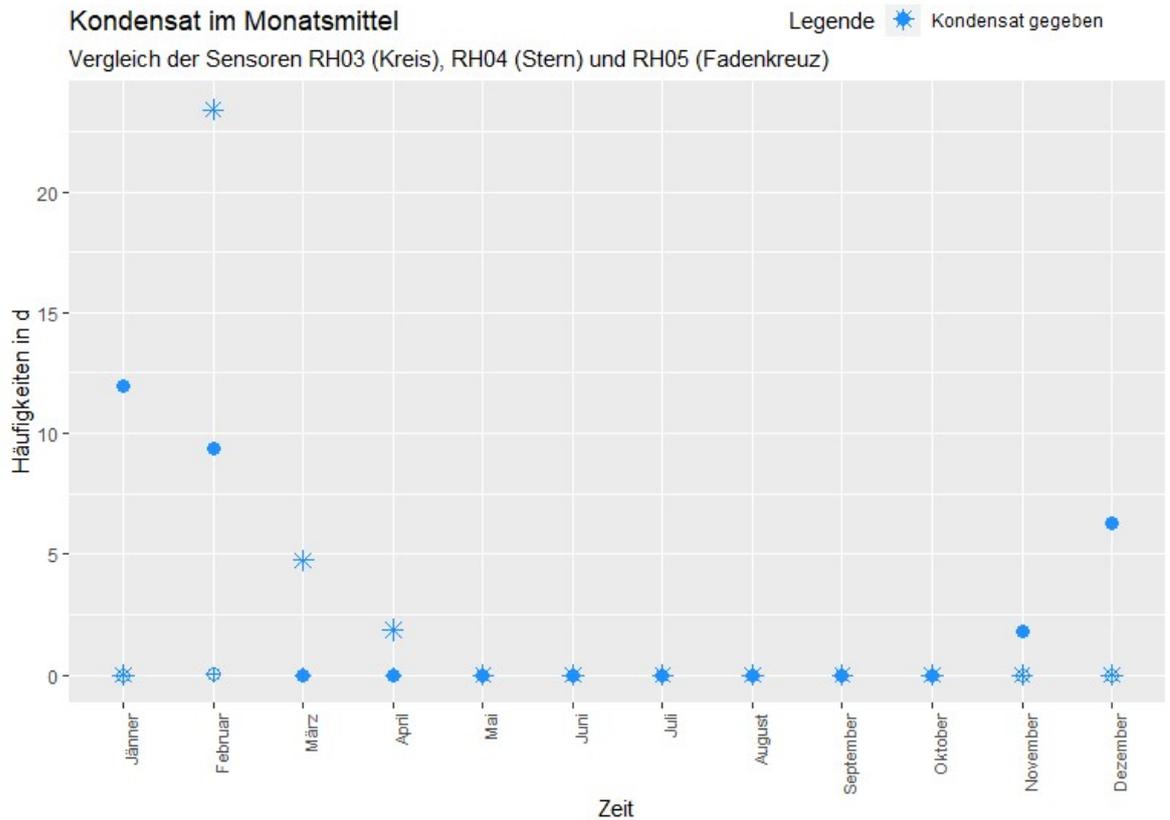
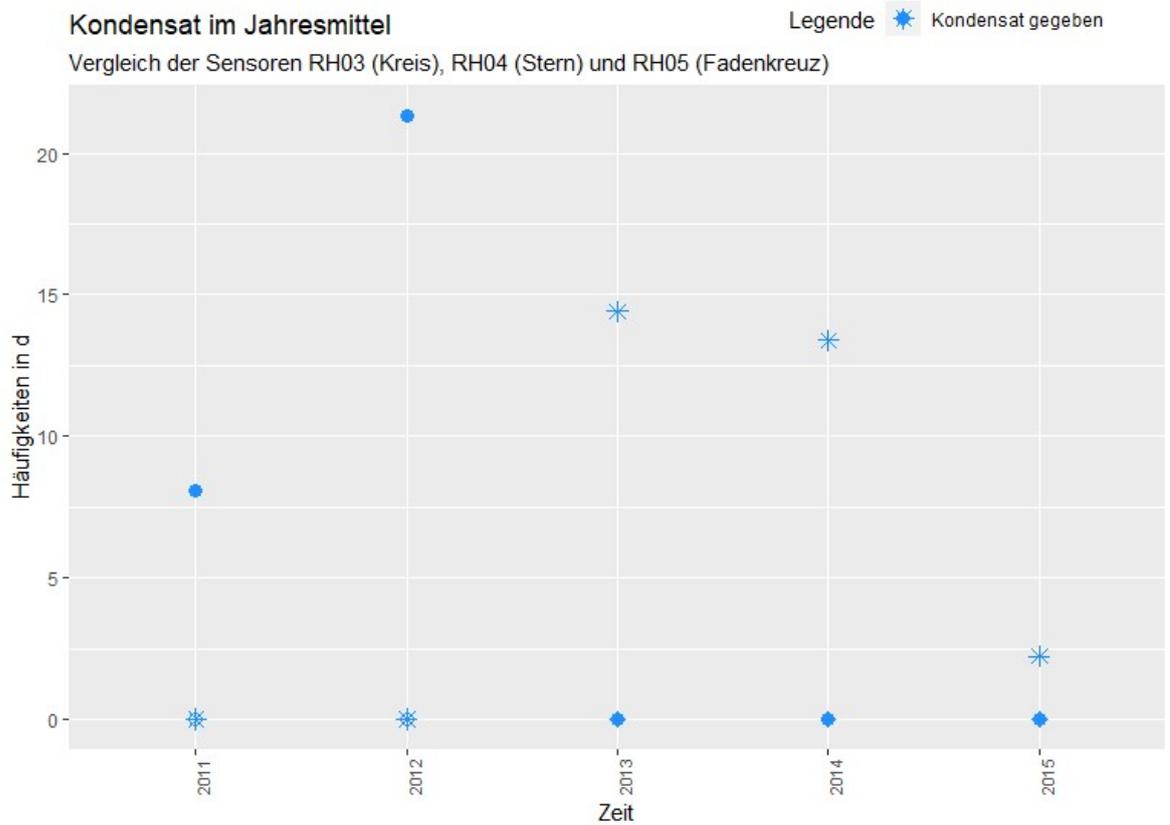


Abbildung 97: Monatsmittelwerte des Kondensats von RH03

Die Kondensatbildung der drei Sensoren wird in Abbildung 98 und Abbildung 99 verglichen, wobei in der oberen Grafik die Monatsmittelwerte in der mittleren die Jahresmittelwerte und in der unteren das Monatsmittel pro Jahr abgebildet wird. Der Sensors RH03 (Kreis) zeigt Kondensatbildung von November bis Februar, während RH04 (Stern) von Februar bis April Kondensat bildet, wobei einzelne kleine Werte im ersten Quartal 2015 entstehen. Wenn man die Jahre betrachtet, erkennt man keine eindeutige Tendenz. In den Jahren 2011 und 2012 entsteht bei RH03 Kondensat und von 2013 bis 2015 bei RH04. RH05 zeigt keinerlei Bildung von Kondensat. Insgesamt kann nur gesagt werden, da es nur vereinzelt und in nicht regelmäßigen Abständen zu Kondensatbildung kommt, dass RH03 und RH04 größere Kondensatmengen ausschütten als RH05.



Bauteil I51



Bauteil I51

Abbildung 98: Mittelwerte des Kondensats im Vergleich Teil 1 RH03, RH04 und RH05

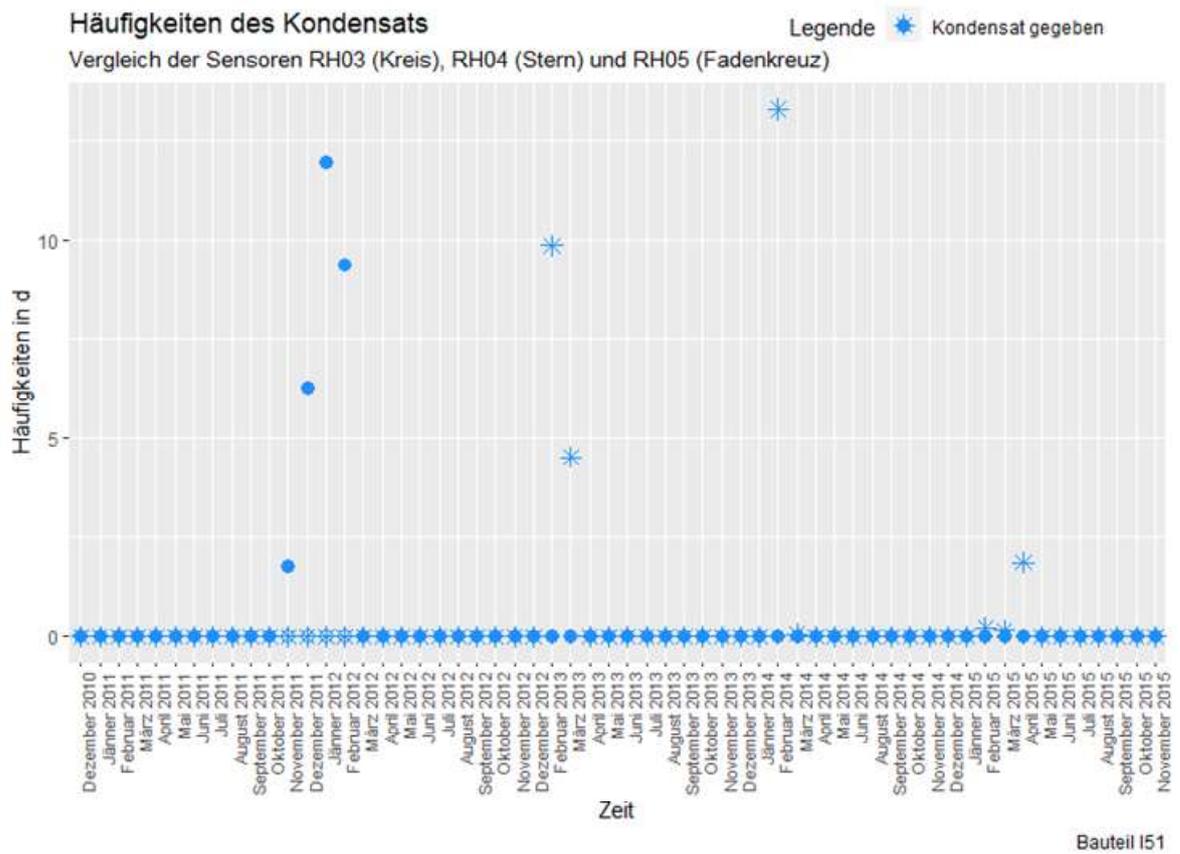


Abbildung 99: Mittelwerte des Kondensats im Vergleich Teil 2 RH03, RH04 und RH05

4.4.5 Sensor RH01 und RH02 (kurzes Verfahren)

Ab diesem Kapitel wird das verkürzte Verfahren zur Beurteilung und zum Vergleich von Sensoren angewendet. Die Ausfälle dieser Sensoren und auch der restlichen kombinierten Sensoren decken sich mit denen von RH03, RH04 und RH05. Der Grund für den gleichzeitigen Messausfall könnte sein, dass alle kombinierten Sensoren an dieselbe Stromquelle angeschlossen wurden. Diese und alle weiteren kombinierten Sensoren sind im selben Maße repräsentativ, wie jene aus dem Kapitel 4.4.1 bis 4.4.4.

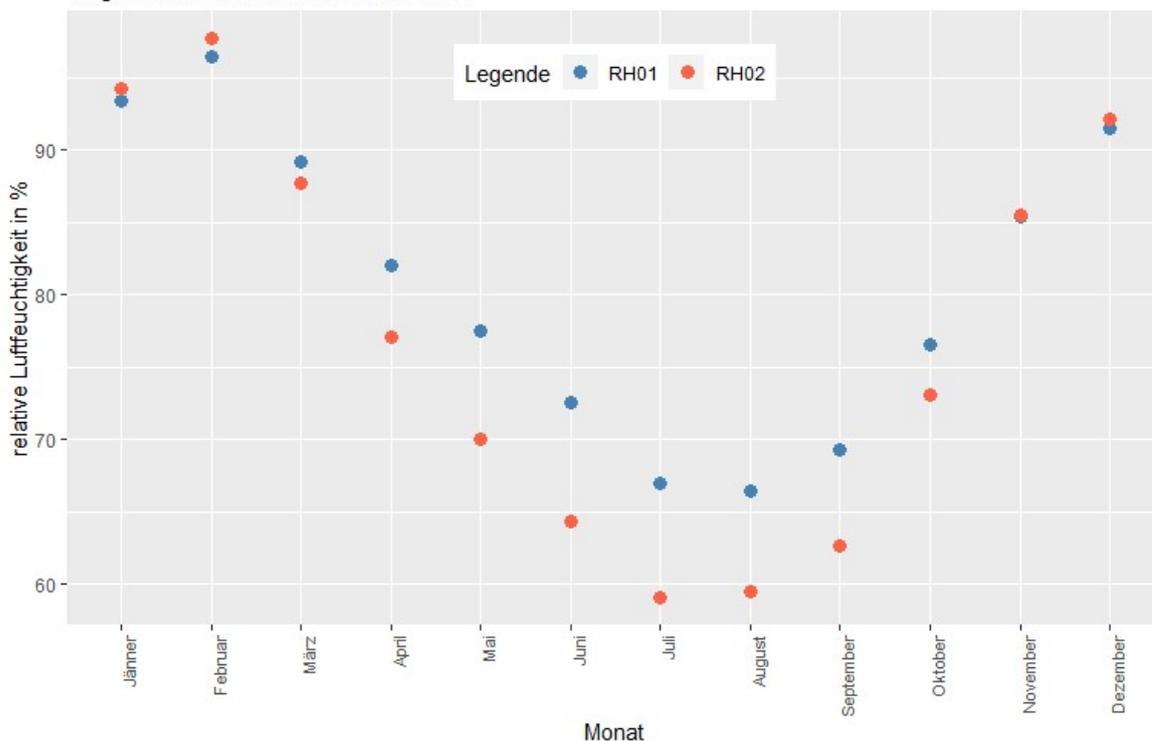
Der Sensor RH01 liegt, wie in Abbildung 56 zu sehen, im Traufbereich des Bauteils. RH02 liegt in dessen Nähe, jedoch etwas weiter von der Traufe entfernt. Diese beiden Sensoren werden miteinander verglichen, um unter anderem den Einfluss des Traufbereiches auf die Konstruktion zu beleuchten.

In Abbildung 100 werden einmal im oberen Diagramm die Monatsmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit der beiden Sensoren dargestellt, während im unteren Diagramm die Jahresmittelwerte dieser abgebildet werden. Bei der Betrachtung der Monatsmittelwerte fällt auf, dass in den Sommermonaten die relative Luftfeuchtigkeit von RH01 um bis zu 6% höher ist als bei RH02. Bei den Jahresmitteltemperaturen kann man eine Steigung der Werte von 2011 bis 2014 erkennen, wobei der Unterschied im Jahr zwischen 3% und 4,5% liegt.

relative Luftfeuchtigkeit im Monats- und Jahresmittel

relative Luftfeuchtigkeit im Monatsmittel

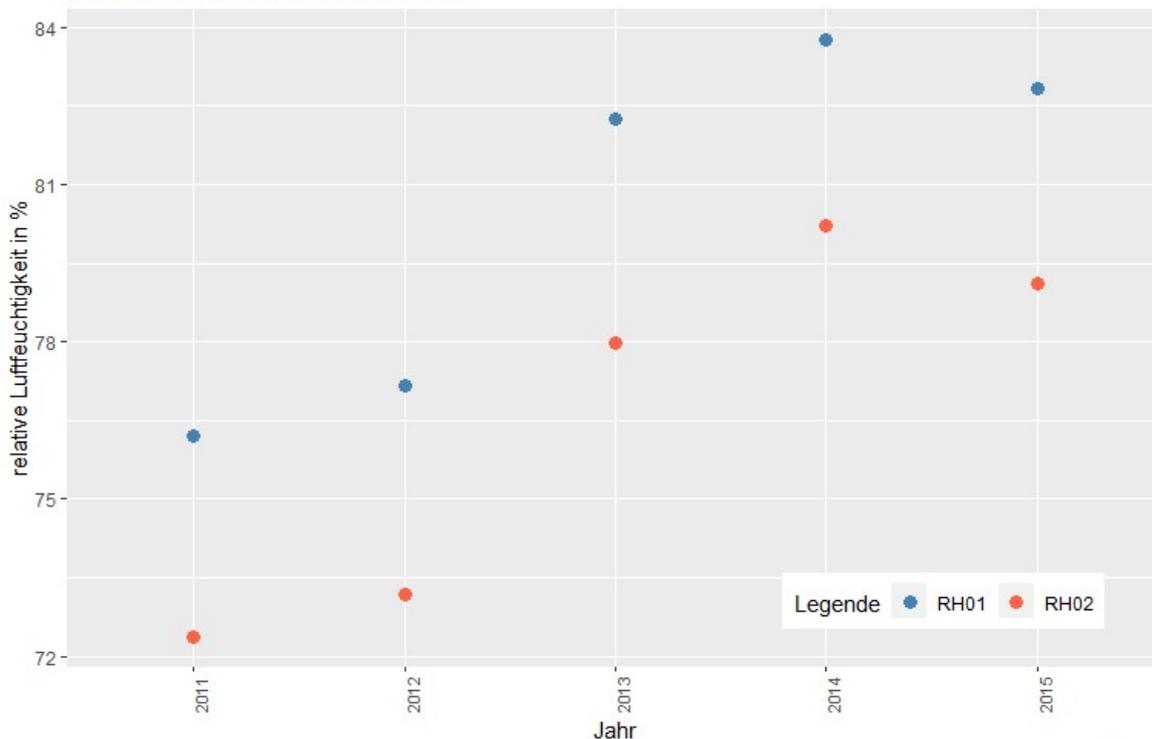
Vergleich der Sensoren RH01 und RH02



Bauteil I51

relative Luftfeuchtigkeit im Jahresmittel

Vergleich der Sensoren RH01 und RH02



Bauteil I51

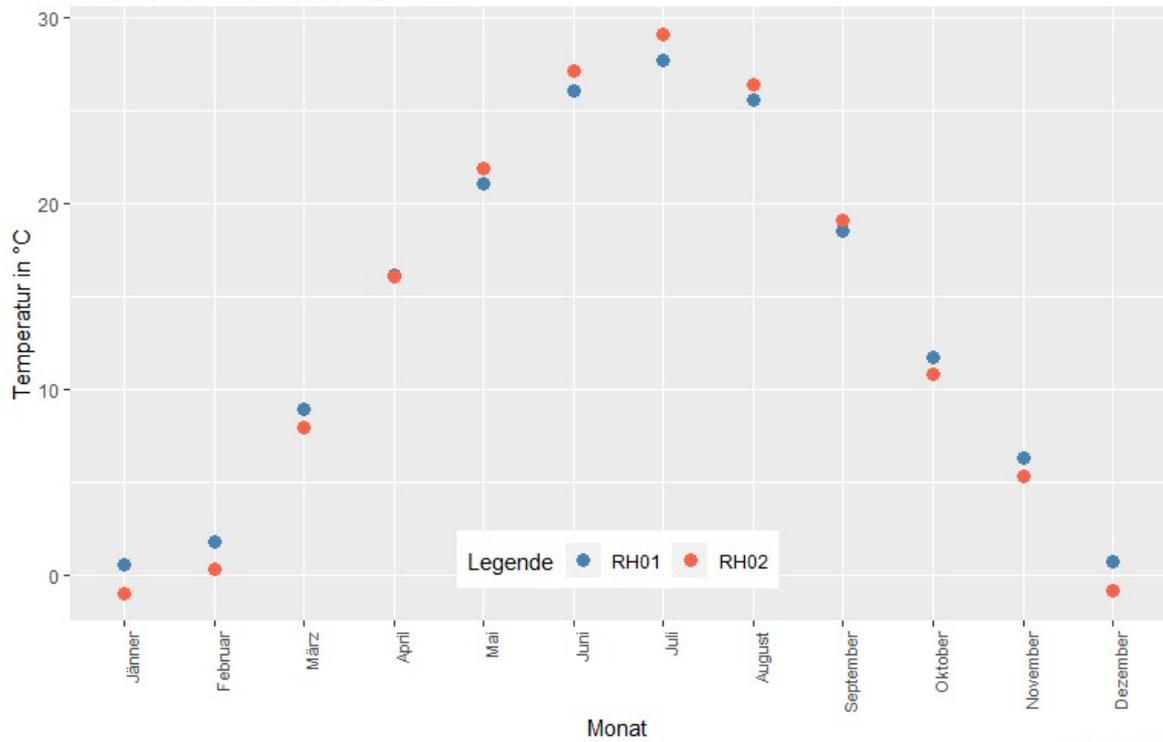
Abbildung 100: Vergleich der relativen Luftfeuchtigkeitsverläufe RH01 und RH02

Die Abbildung 101 besteht wieder aus den Monatsmittelwerten (oben) und den Jahresmittelwerten der Temperatur der beiden Sensoren (unten). Bei den Monatsmittelwerten kann man erkennen, dass sie grundsätzlich sehr ähnlich sind, wobei eine Differenz der beiden bis auf 1°C auftritt und RH02 stärkeren Schwankungen ausgesetzt ist. Bei den Jahresmittelwerten ist eine Steigerung zu erkennen, wobei im Sommer des Jahres 2014 ein Tiefstand der Werte eintritt. Ein Tiefstand im Jahr 2014 ist bei allen folgenden außenliegenden Sensoren vorhanden. Dies lässt auf einen geringeren Mittelwert der Außentemperatur schließen.

Monats- und Jahresmitteltemperaturen Vergleich

Temperatur im Monatsmittel

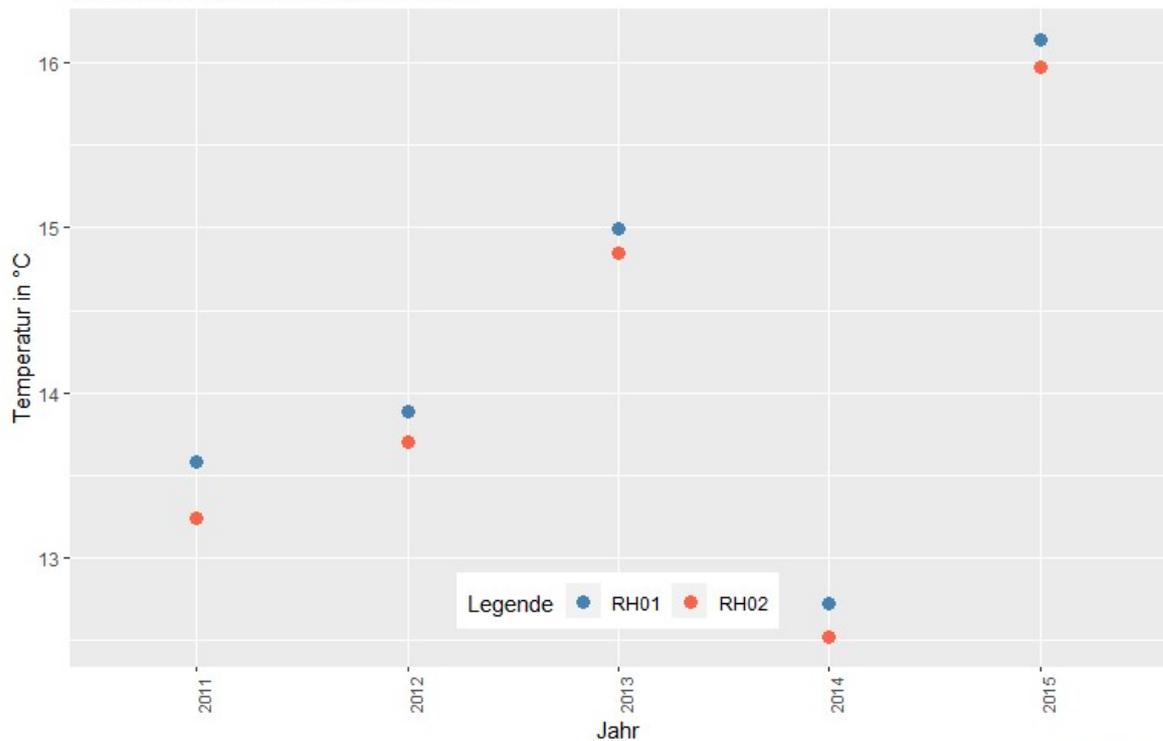
Vergleich der Sensoren RH01 und RH02



Bauteil I51

Temperatur im Jahresmittel

Vergleich der Sensoren RH01 und RH02



Bauteil I51

Abbildung 101: Monats- und Jahresmittelwerte der Temperatur von RH01 und RH02

Nun zu der Bewertung des Schimmelpilzes und der Holzfäule über die Monatsmittelwerte der Sensoren RH01 und RH02 (Abbildung 102).

Wenn man von oben beginnend nun zuerst den Kreis und den Stern gleicher Farbe miteinander vergleicht, sieht man, dass RH01 sich stets über RH02 befindet, sowohl bei dem Myzellwachstum als auch bei der Sporenauskeimung. Bei der Holzfäule sind sich die beiden Sensoren sehr ähnlich, auch hier sind sie entweder auf ähnlicher Höhe oder RH01 ist höher. RH01 ist somit stärker von Schimmelpilz und Holzfäule betroffen als RH02.

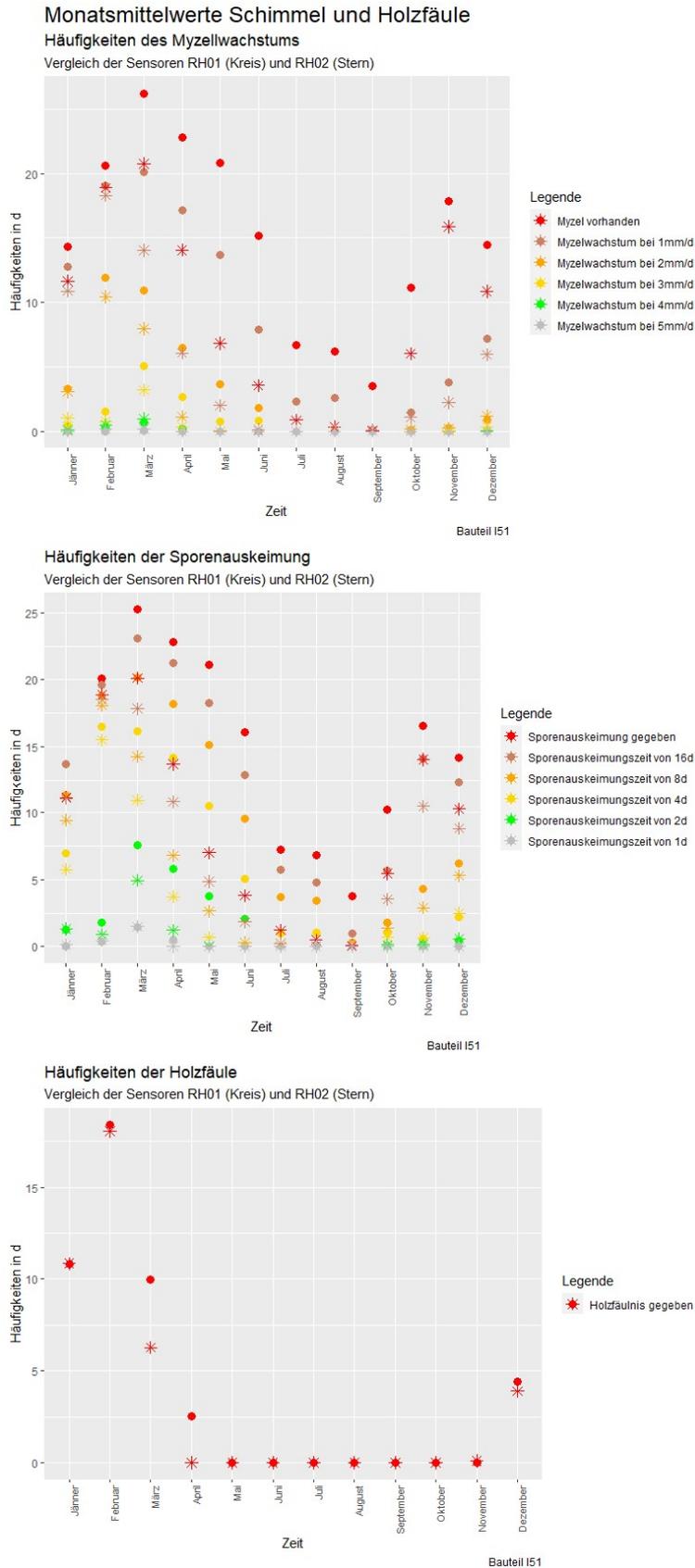
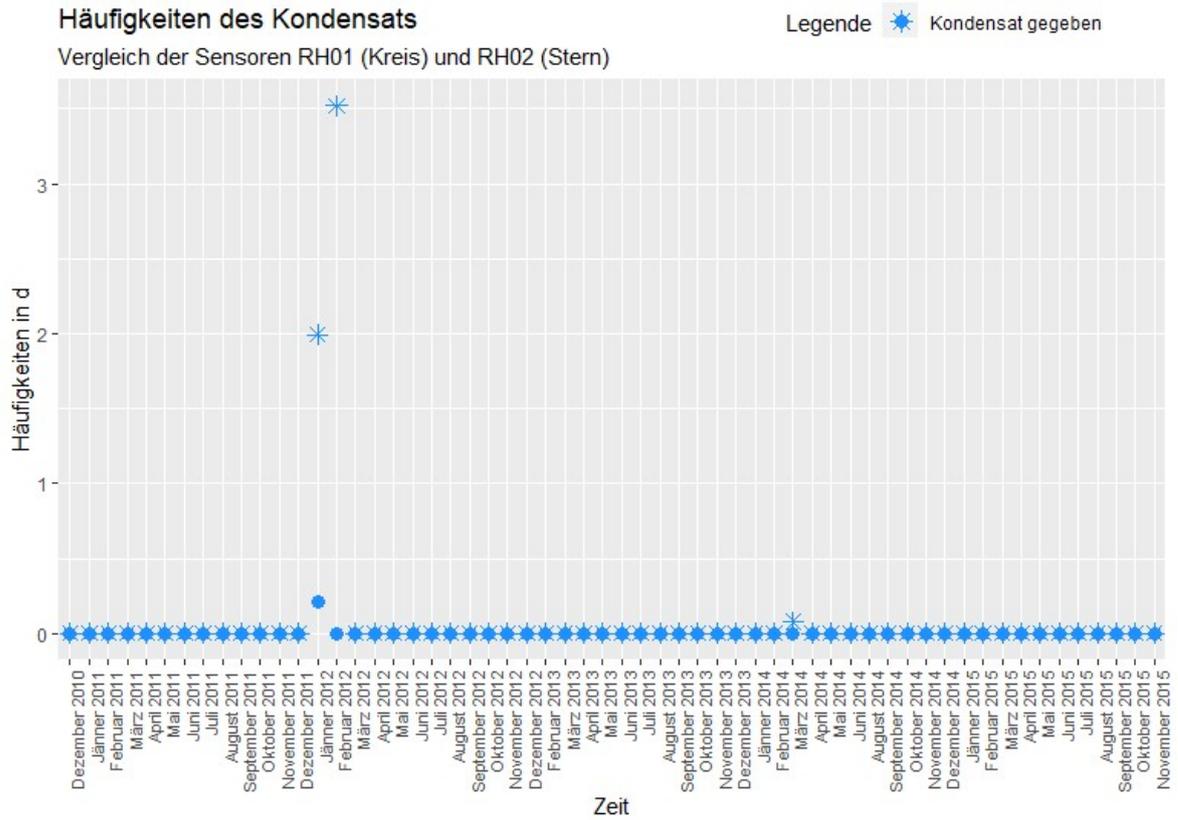
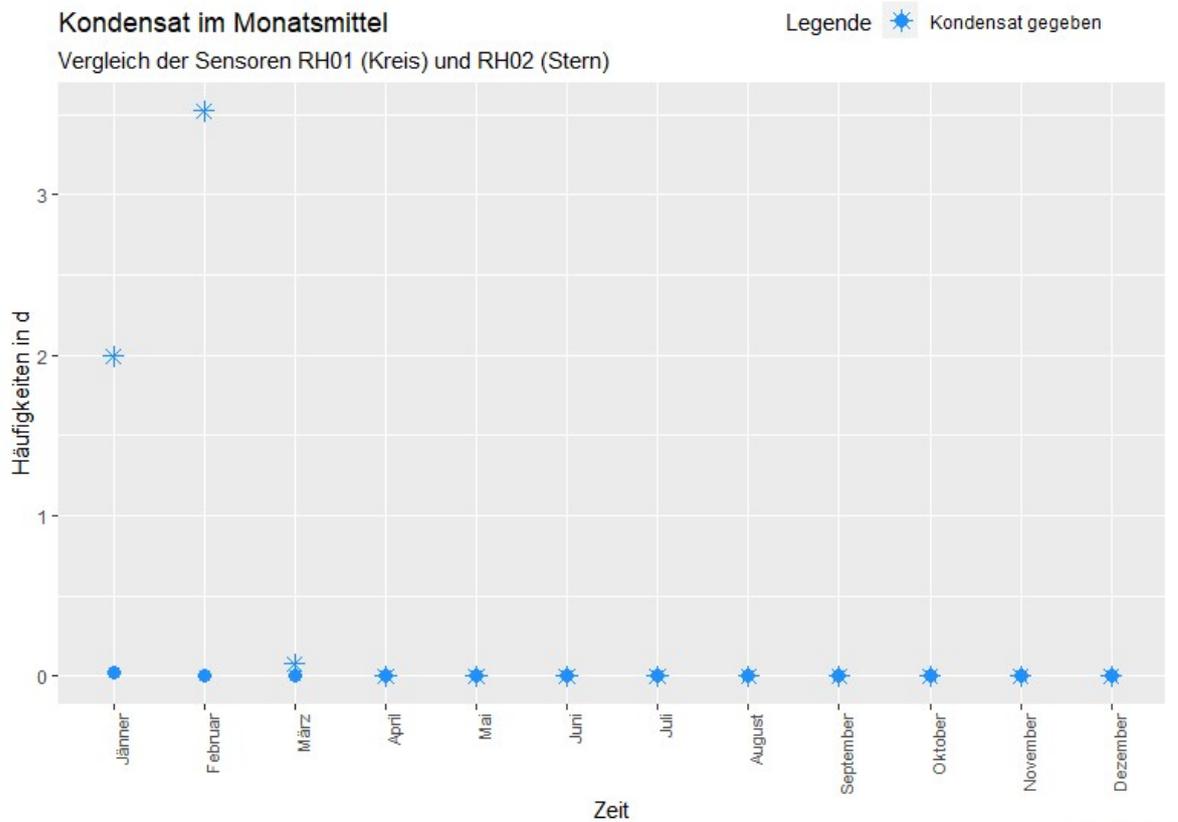


Abbildung 102: Monatsmittelwerte des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule im Vergleich von RH01 und RH02

Nun wird der rechnerische Ausfall an Kondensat für die beiden Sensoren betrachtet. Aus Abbildung 103 kann man im obersten Diagramm die Kondensatbildung im Monatsmittel pro Jahr im unteren im Monatsmittel und in Abbildung 104 im Jahresmittel sehen. Bei beiden Sensoren treten nur vereinzelt Fälle von Kondensation auf und diese nur in geringem Ausmaß. Im Winter 2011/12 und im März 2014 tritt Kondensat bei dem Sensor RH02 auf und bei RH01 im Jänner 2012. Aus dem Jahresmittelwerten geht hervor, dass es vorwiegend 2012 zu Kondensation kommt. Ein allgemeiner Trend ist hier aber nicht erkennbar.



Bauteil I51



Bauteil I51

Abbildung 103: Monats- und Jahresmittelwerte des Kondensates im Vergleich RH01 und RH02

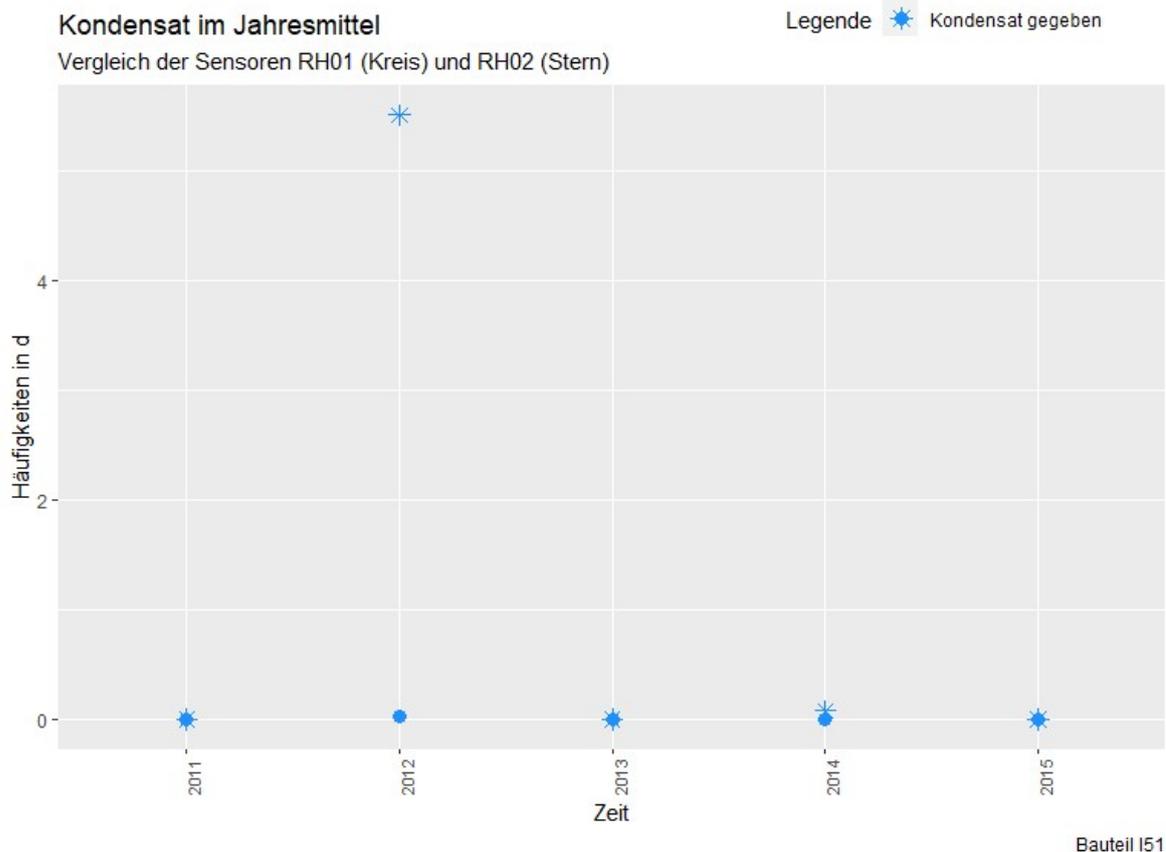


Abbildung 104: Jahresmittelwerte des Kondensates im Vergleich RH01 und RH02

4.4.6 Sensor RH06 und RH07 (kurzes Verfahren)

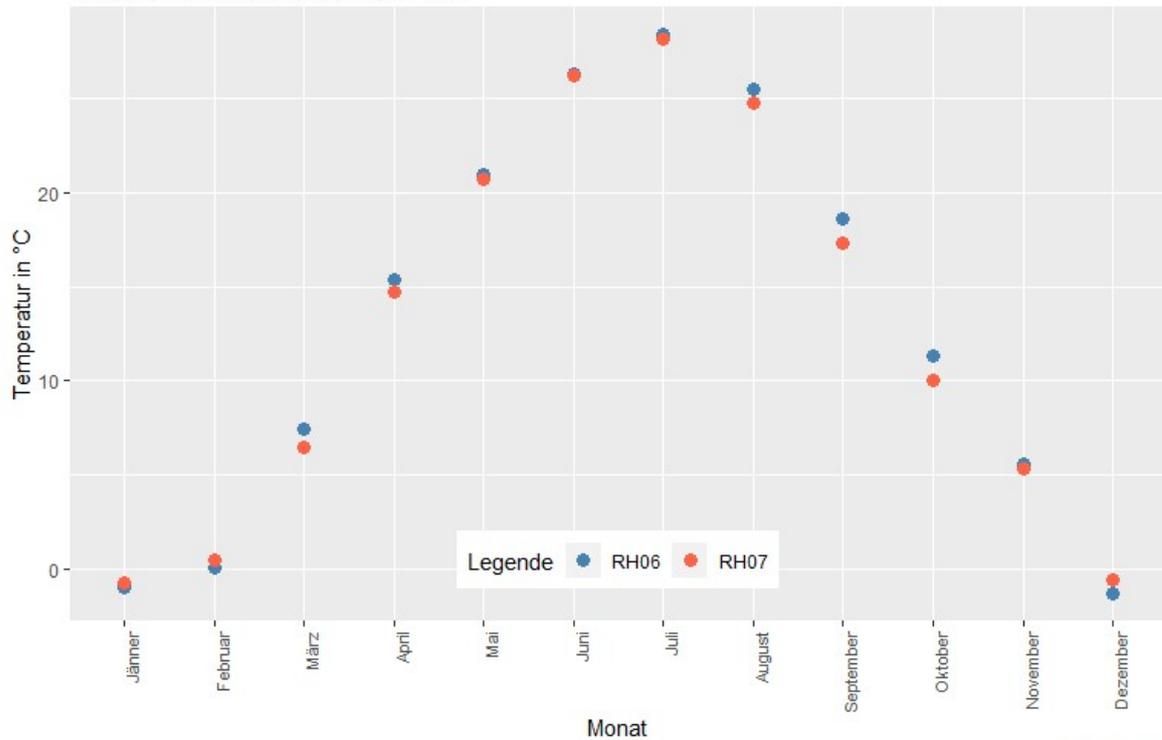
Die firstseitig angeordneten Sensoren RH06 und RH07 werden in diesem Kapitel behandelt, um den Einfluss aus einem anderen Dachaufbau auf diesen zu analysieren. RH07 liegt nahe dem Übergang von diesem zu einem anderen Dachaufbau, während RH06 weiter von diesem Übergang entfernt liegt.

In Abbildung 105 sind die Temperaturen im oberen Diagramm als Monatsmittel dargestellt und im unteren Diagramm im Jahresmittel. Die Monatsmitteltemperaturen weichen kaum mehr als 2 °C voneinander ab. Erkennbar ist auch, dass RH06 stets ein wenig extremer zu sein scheint als RH07. Aus dem Jahresmittel kann man erkennen, dass RH06 einen höheren Median hat als RH07.

Monats- und Jahresmitteltemperaturen Vergleich

Temperatur im Monatsmittel

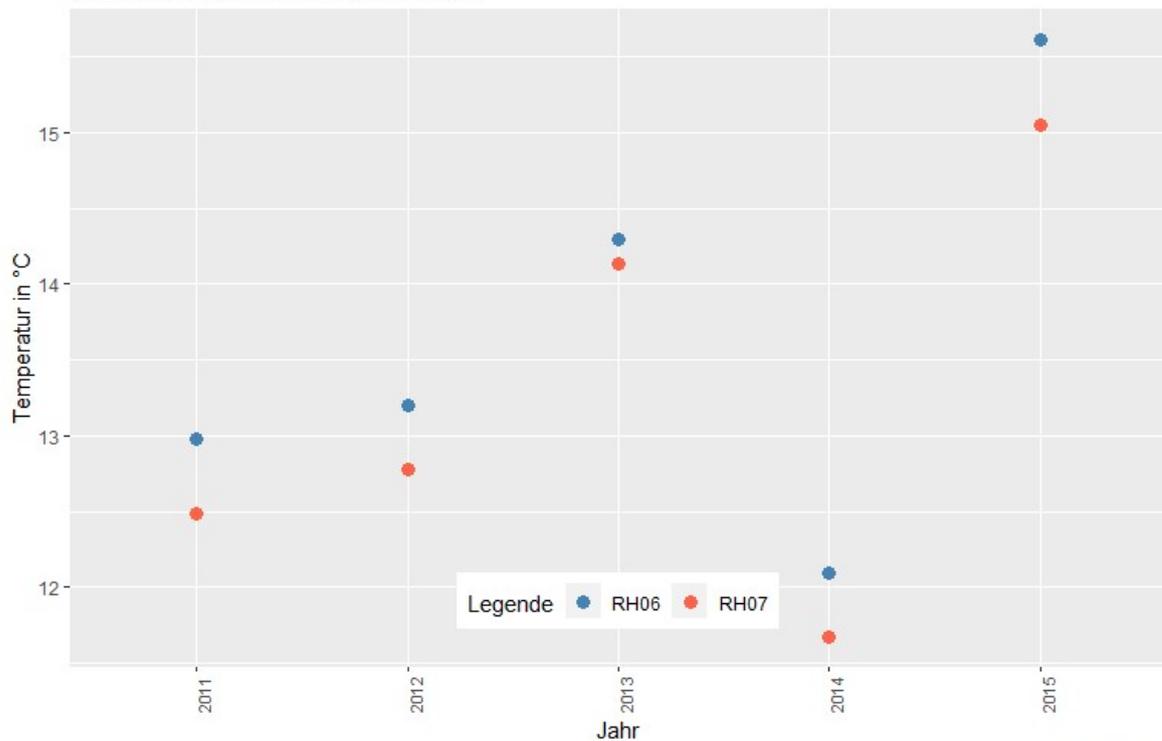
Vergleich der Sensoren RH06 und RH07



Bauteil I51

Temperatur im Jahresmittel

Vergleich der Sensoren RH06 und RH07

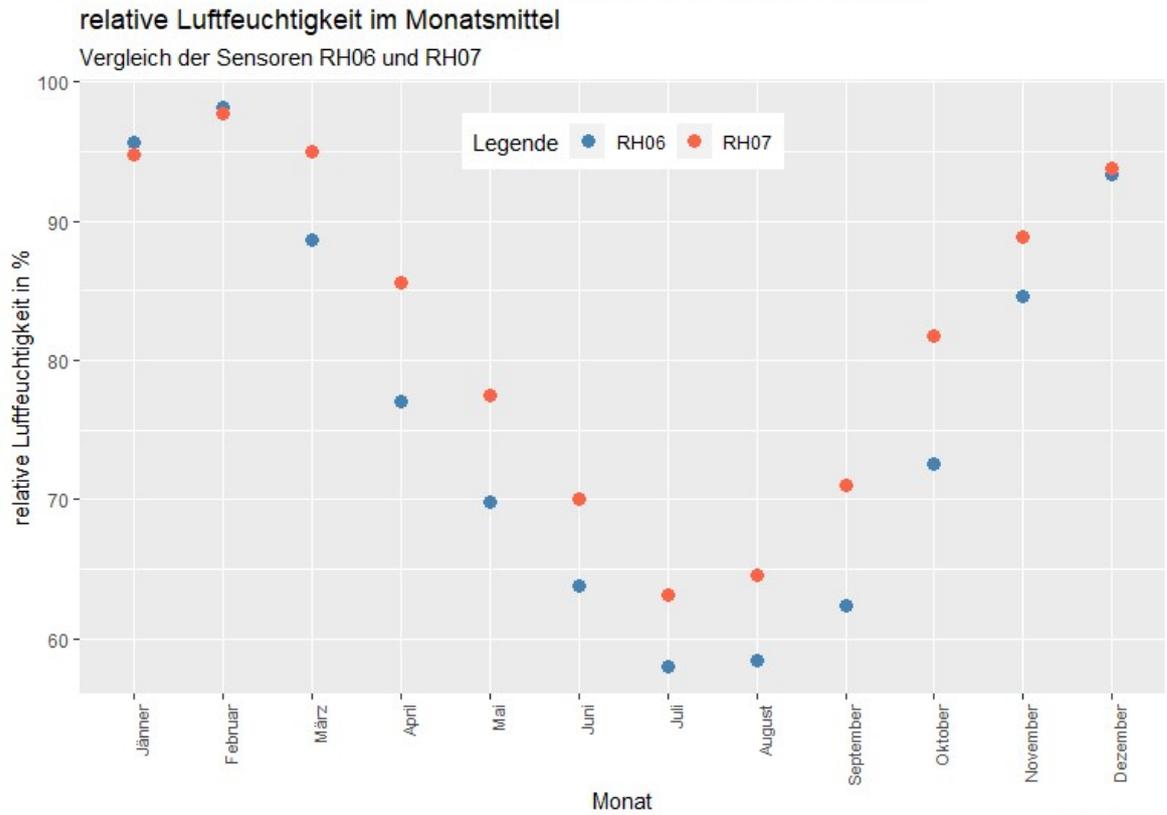


Bauteil I51

Abbildung 105: Monats- und Jahresmittelwerte der Temperaturverläufe RH06 und RH07

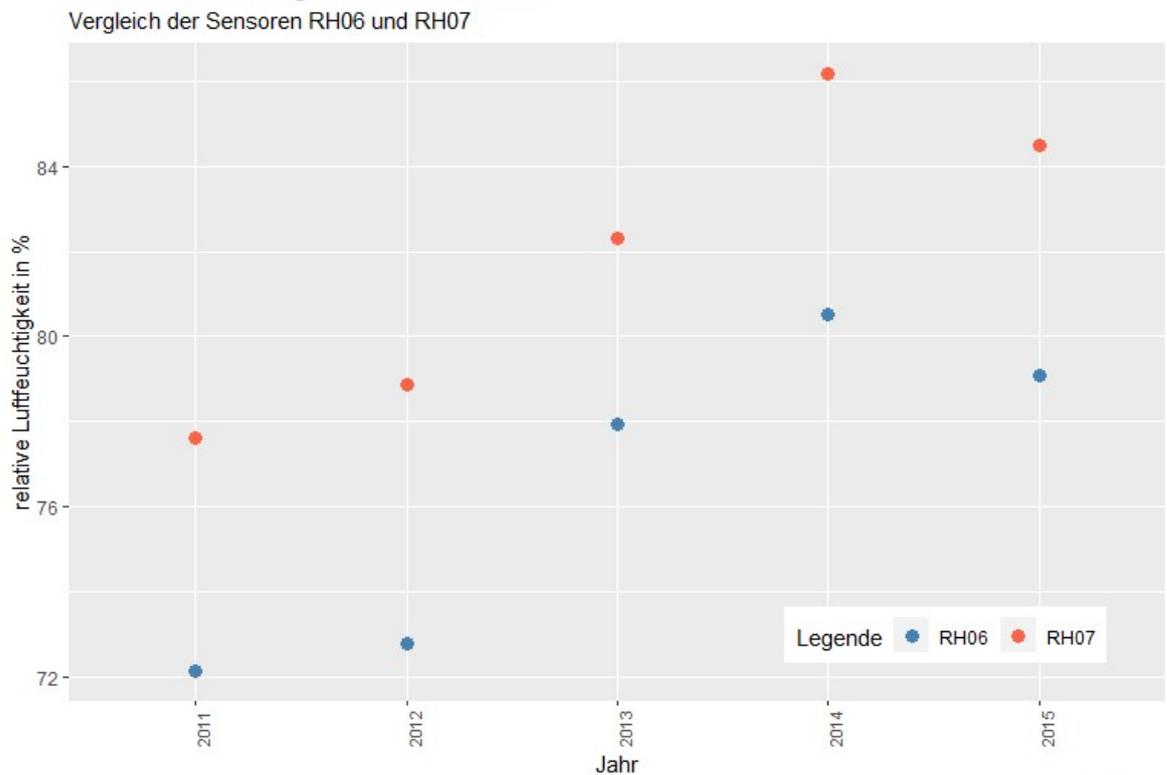
Aus den Monatsmitteln der relativen Luftfeuchtigkeit (Abbildung 106) kann man erkennen, dass RH06 von März bis November einen niedrigeren Median besitzt als RH07. Über die Jahre steigt die relative Luftfeuchtigkeit beider Messdaten, wobei RH06 stets um mindestens 4% unter RH07 liegt.

relative Luftfeuchtigkeit im Monats- und Jahresmittel



Bauteil I51

relative Luftfeuchtigkeit im Jahresmittel



Bauteil I51

Abbildung 106: Monats- und Jahresmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit RH06 und RH07

In Abbildung 107 wird RH06 mit RH07, in Bezug auf das Schimmelpilzwachstum und die Holzfäule, durch Monatsmittelwerte verglichen. Das Schimmelpilzwachstum ist bei RH07 stärker ausgeprägt als bei RH06. Beide Sensoren weisen ein zyklisches Verhalten auf. Das Wachstum ist im letzten und ersten Quartal eines Jahres entsprechend größer als in den anderen beiden, wobei das Maximum im März liegt. Aus der Grafik zur Holzfäule lässt sich ebenfalls ein Zyklus erkennen, wodurch die Holzfäule-Bildung im November beginnt und im Mai endet. Es entsteht bei RH07 wiederum mehr Holzfäule als bei RH06.

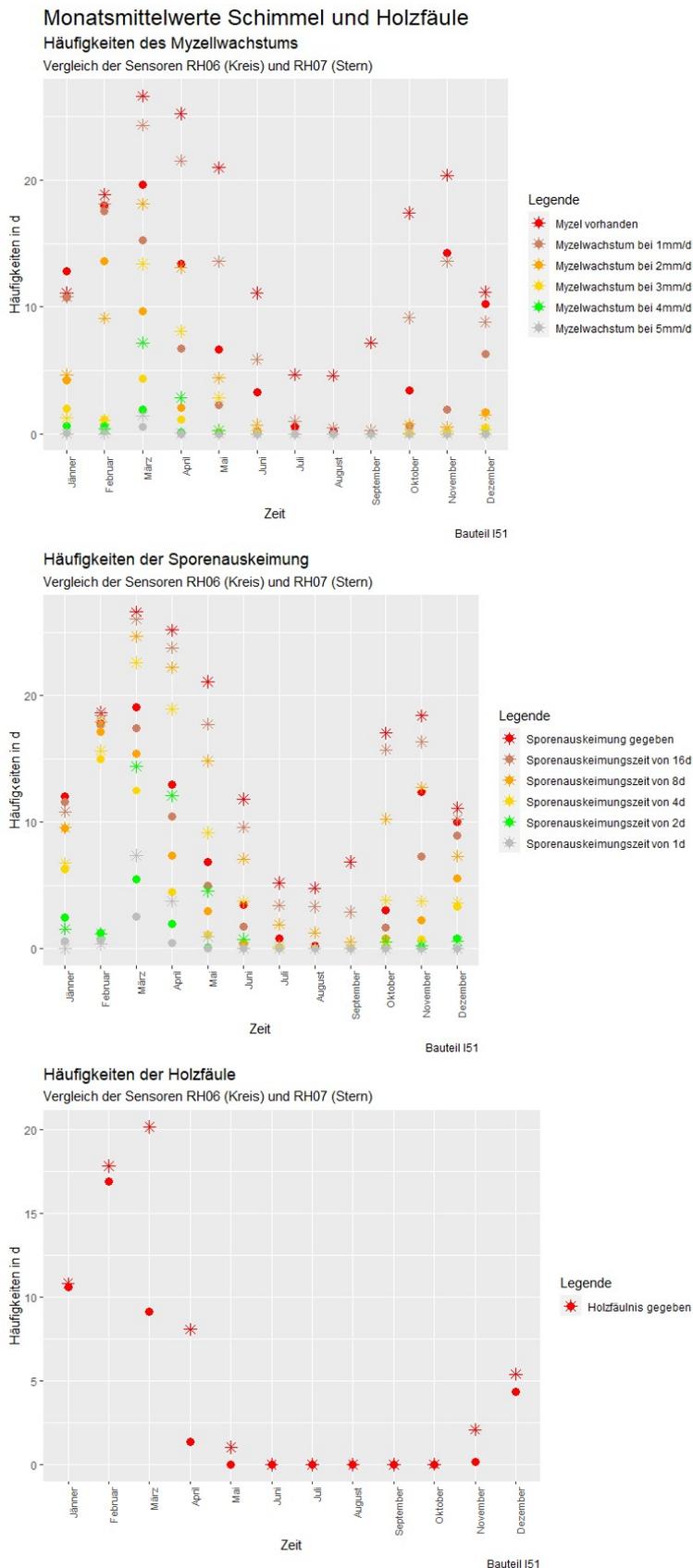


Abbildung 107: Monatsmittelwerte des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule im Vergleich von RH06 und RH07

Bei der Betrachtung der Jahresmittelwerte (Abbildung 108) fällt auf, dass es wieder zu einer Zunahme von Schimmelpilz kommt. Dieser Trend wird, obwohl 2015 nicht als komplettes Jahr im Datensatz vorhanden ist, bis zu diesem Jahr fortgesetzt. Bei der Holzfäule ist es in Bezug auf RH07 gleich. Nur bei RH06 entsteht nach 2013 weniger Holzfäule als in diesem Jahr. Bei RH06 wird in 30% der Zeit die Schimmelpilzbildung ermöglicht und bei RH07 sind es 53%. Die Dauer der Holzfäule liegt bei RH06 bei 12,6% und bei RH07 bei 19,4%.

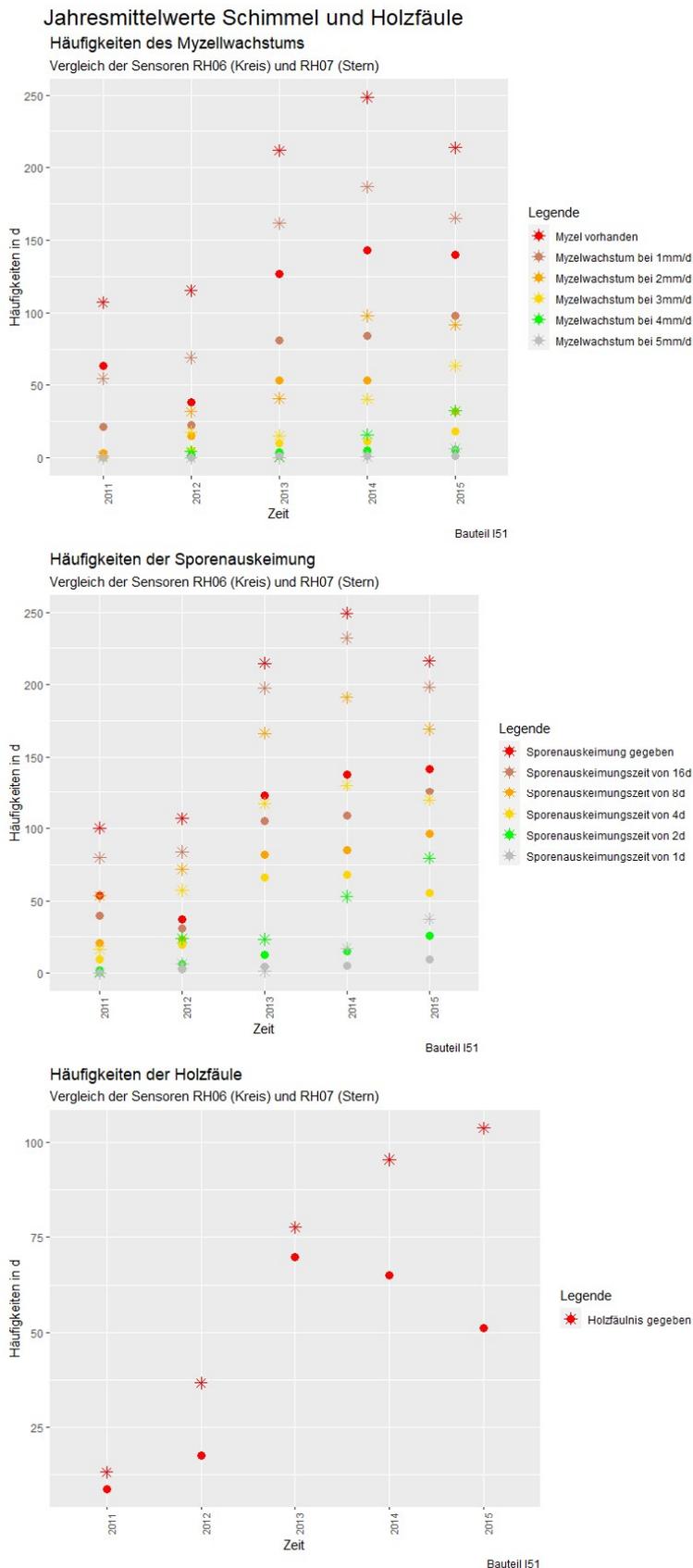
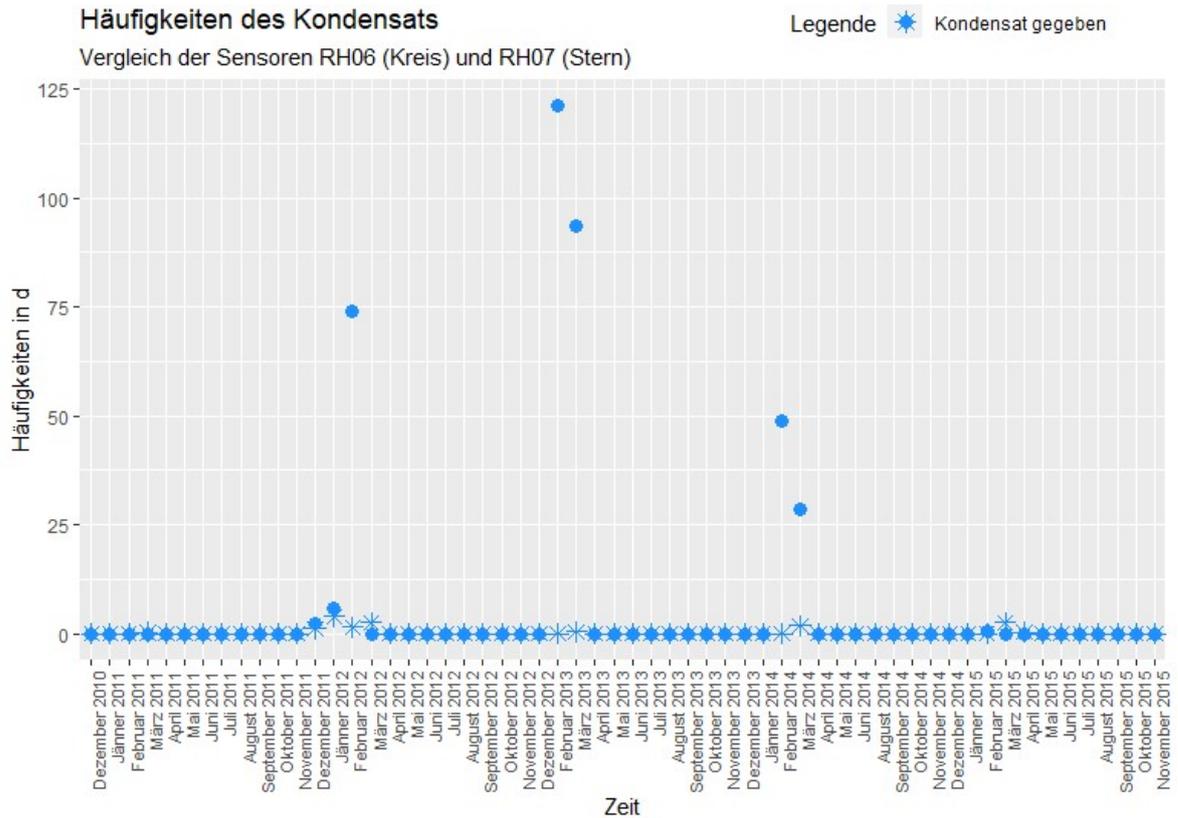
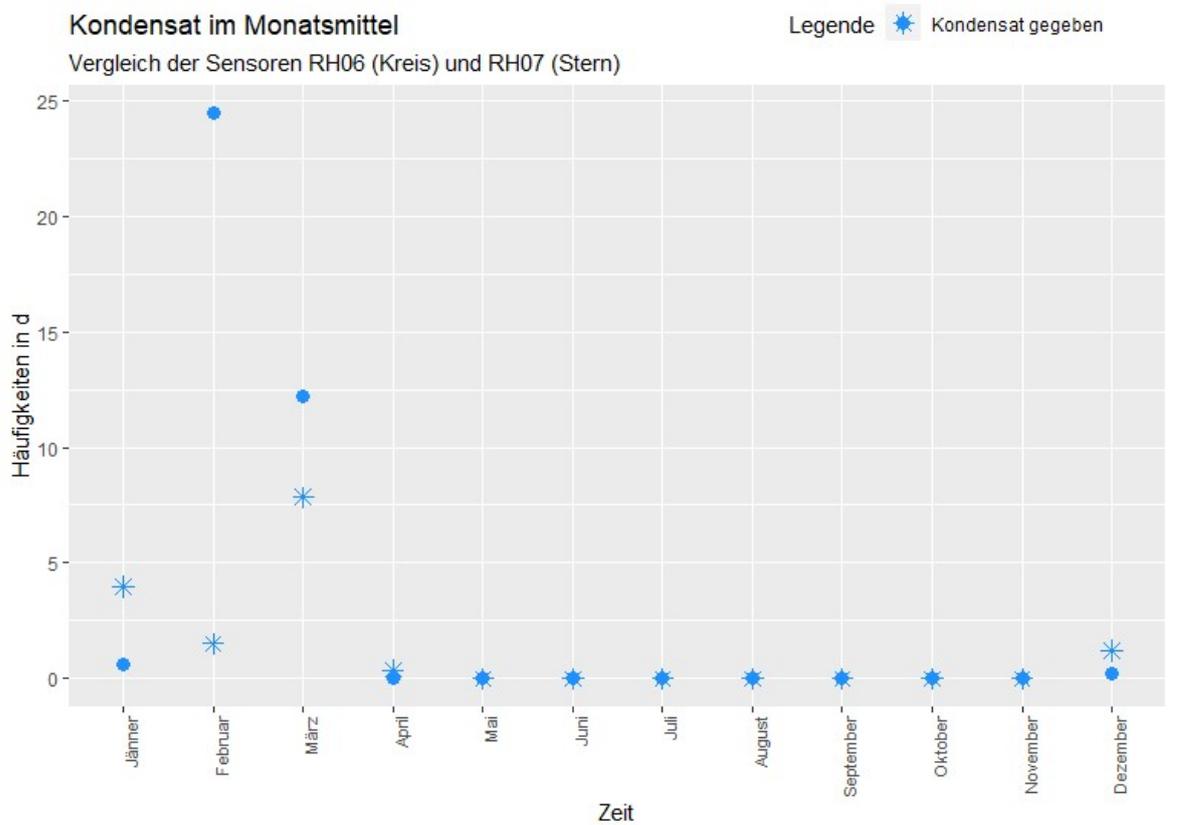


Abbildung 108: Jahresmittelwerte des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule im Vergleich von RH06 und RH07

In Abbildung 109 und Abbildung 110 kann die Kondensatentstehung für RH06 und RH07 betrachtet werden. Kondensat entsteht bei RH06 nur vereinzelt, wobei die Dauer der Entstehung durchaus groß ausfällt. Die Monate, in denen Kondensat auftritt, überlappen sich teilweise, wobei die Dauer bei RH07 deutlich geringer ausfällt. Im Frühling kommt es am meisten zum Ausfall von Kondensat, aber auch im Dezember bei RH07. Über die Jahre gesehen ist keine Tendenz zu erkennen. Bis 2013 zum Beispiel steigt das Kondensat bei RH06 an, danach sinkt es stetig. Bei RH07 ist das Maximum 2012, wobei hier keine Tendenz zu erkennen ist.



Bauteil I51



Bauteil I51

Abbildung 109: Monatsmittelwerte des Kondensates im Vergleich RH06 und RH07

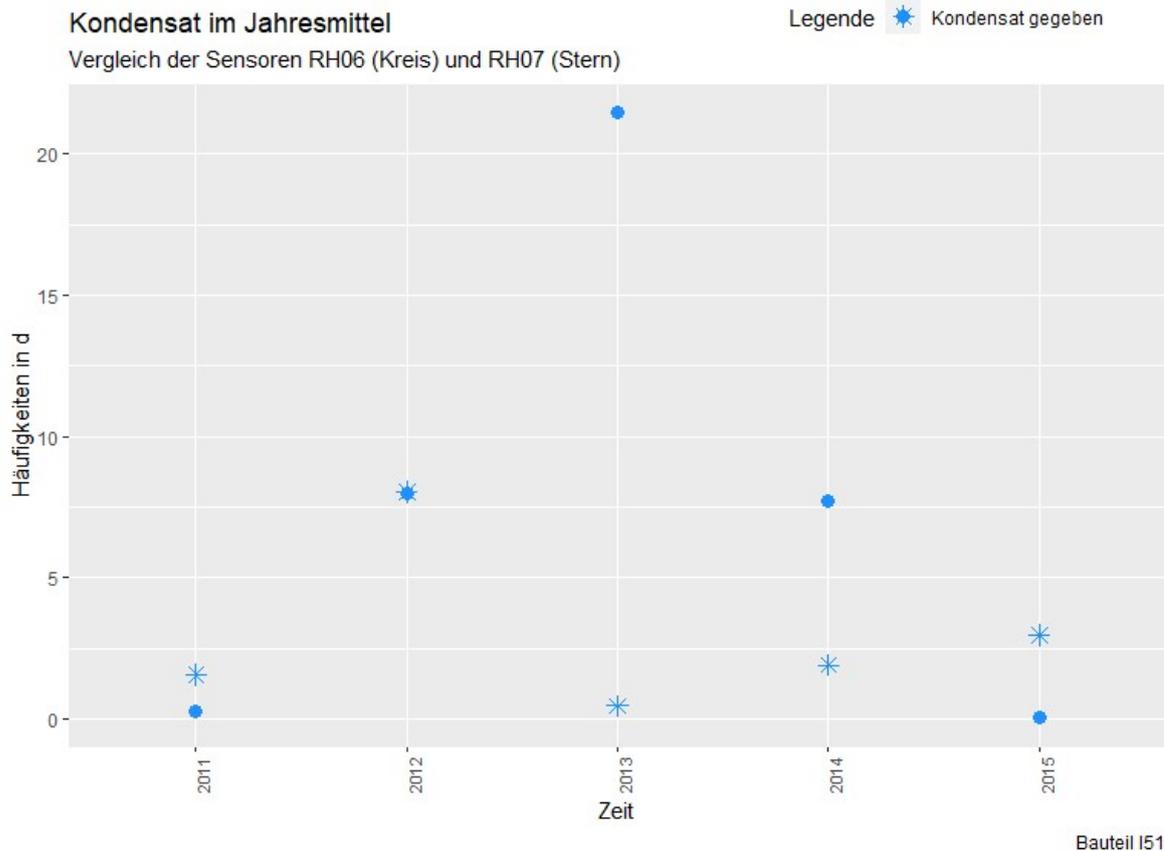


Abbildung 110: Jahresmittelwerte des Kondensates im Vergleich RH06 und RH07

4.4.7 Sensor RH23, RH24 und RH25

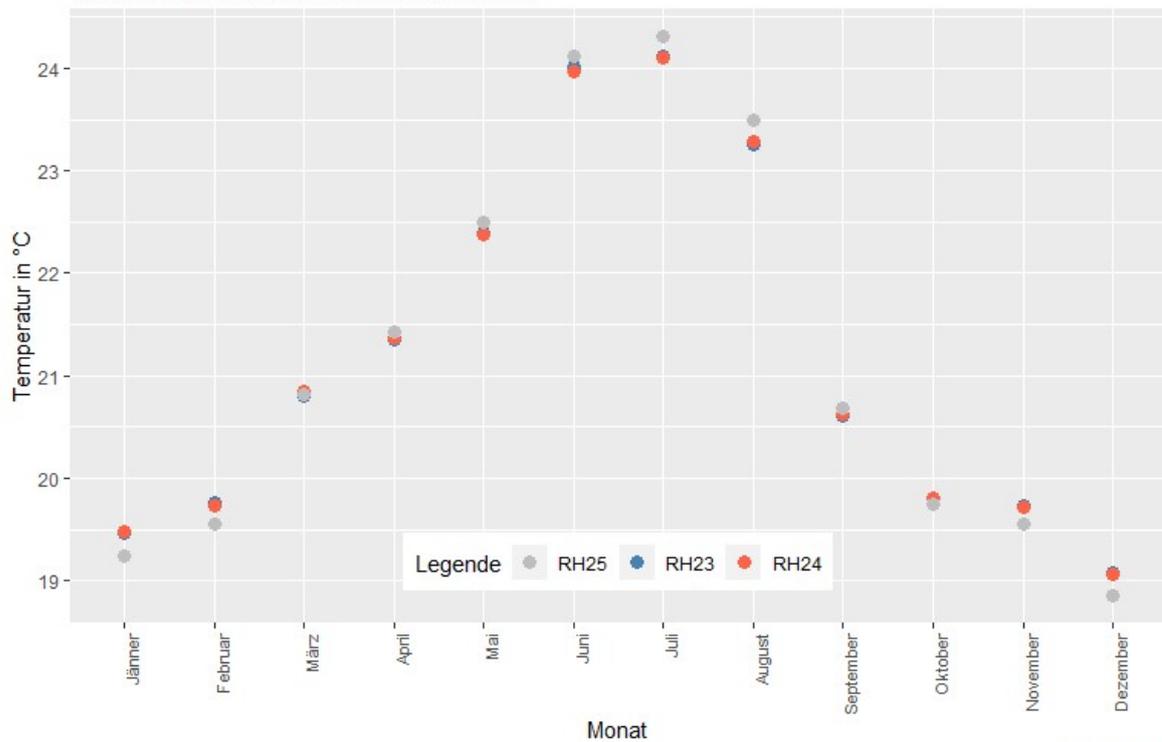
Die Sensoren RH23, RH24 und RH25 befinden sich ebenfalls an der Außenseite der inneren OSB-Platte und durch sie werden die Auswirkungen der PV-Anlage auf den Aufbau untersucht. Die Lage des Sensors RH23 ist direkt unter RH03 angeordnet, RH24 unter RH04 und RH25 unter RH05.

In Abbildung 111 sind die Temperaturen, oben in Monatsmittelwerten und unten die Jahresmittelwerte der drei Sensoren dargestellt, welche sich sehr ähneln. Aus den Monatsmittelwerten lässt sich erkennen, dass sich bei allen drei Sensoren sehr ähnliche Temperaturen einstellen.

Monats- und Jahresmitteltemperaturen Vergleich

Temperatur im Monatsmittel

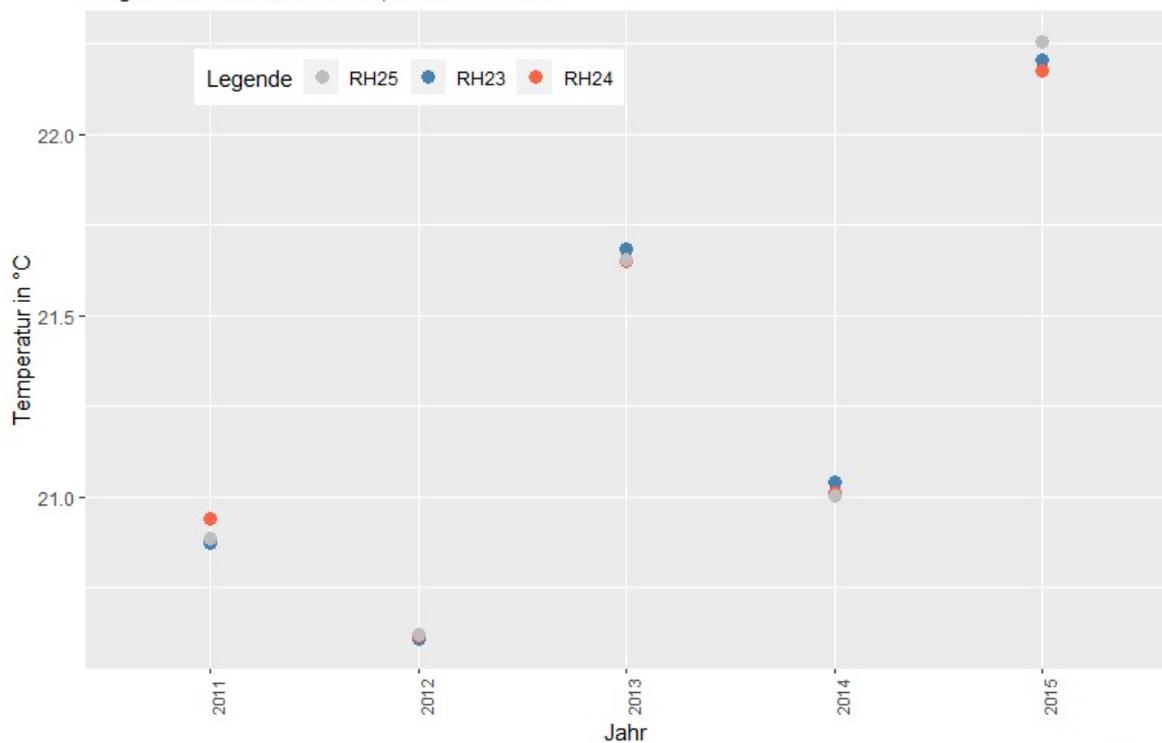
Vergleich der Sensoren RH23, RH24 und RH25



Bauteil I51

Temperatur im Jahresmittel

Vergleich der Sensoren RH23, RH24 und RH25



Bauteil I51

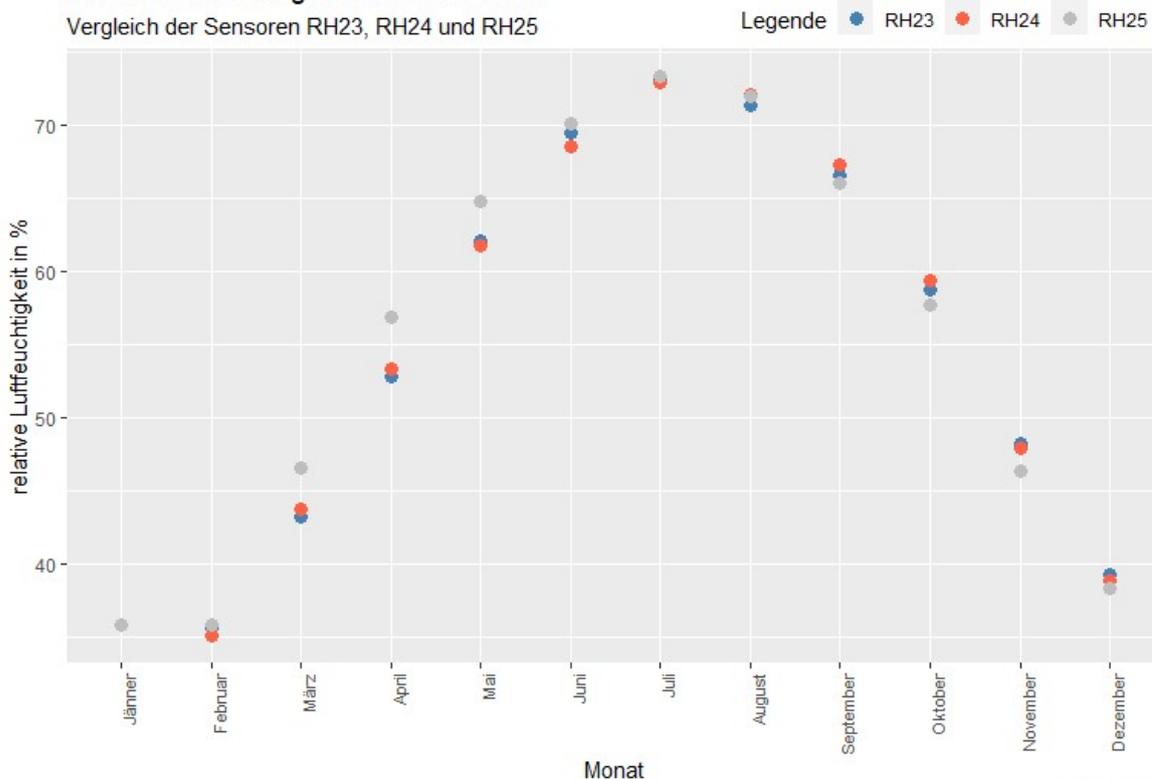
Abbildung 111: Monats- und Jahresmitteltemperaturen im Vergleich RH23, RH24 und RH25

Aus den Monatsmittelwerten der relativen Luftfeuchtigkeit (Abbildung 112) kann man ablesen, dass sie sich sehr ähnlich sind, wobei RH25 über die Jahre gesehen im Mittel höher liegt als die anderen beiden, wenn auch nur minimal.

relative Luftfeuchtigkeit im Monats- und Jahresmittel

relative Luftfeuchtigkeit im Monatsmittel

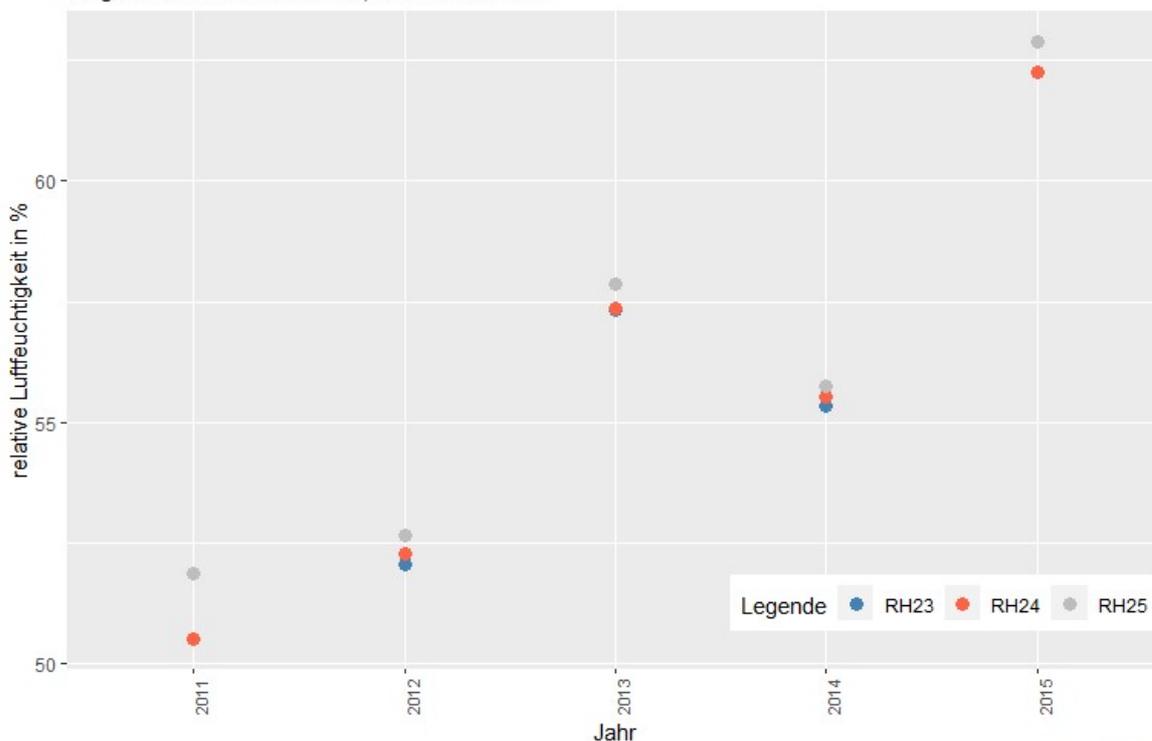
Vergleich der Sensoren RH23, RH24 und RH25



Bauteil I51

relative Luftfeuchtigkeit im Jahresmittel

Vergleich der Sensoren RH23, RH24 und RH25



Bauteil I51

Abbildung 112: Monats- und Jahresmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit im Vergleich RH23, RH24 und RH25

Die Bildung von Schimmelpilz ist in Abbildung 113 (oben und mittig) zu sehen und spielt sich in den Monaten April bis Oktober ab. Die größte Intensität des Wachstums herrscht meistens bei RH25, wobei alle drei nahe beisammen sind. Holzfäule kann nur im Monat Juli entstehen und dies in einem minimalen Ausmaß.

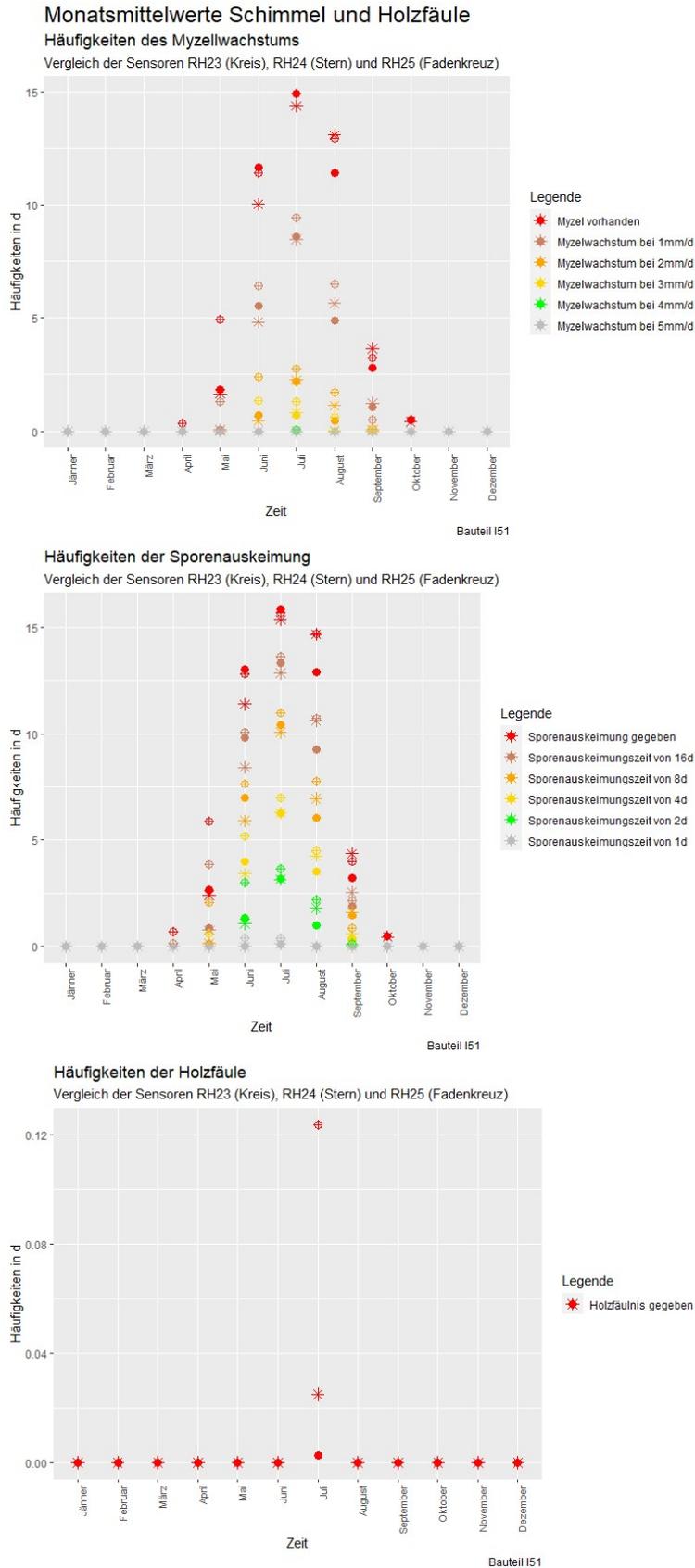


Abbildung 113: Monatsmittelwerte des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule im Vergleich RH23, RH24 und RH25

Aus den Jahresmittelwerten (Abbildung 114) lässt sich ein positiver Trend feststellen, wobei dieser durch das Jahr 2014 unterbrochen wird. Alle drei Sensoren sind wieder nahe beieinander, wobei bei RH25 die Spitzenwerte festgestellt werden. Holzfäule stellt sich nur im Jahr 2015 ein.

In 14% der Zeit bei RH23 und RH24 und in 15% der Zeit bei RH25 kann Schimmelpilz gebildet werden. Die Entstehung von Holzfäule ist bei allen drei unter einem halben Prozent. Bei diesen Sensoren entsteht im betrachteten Zeitraum kein Kondensat.

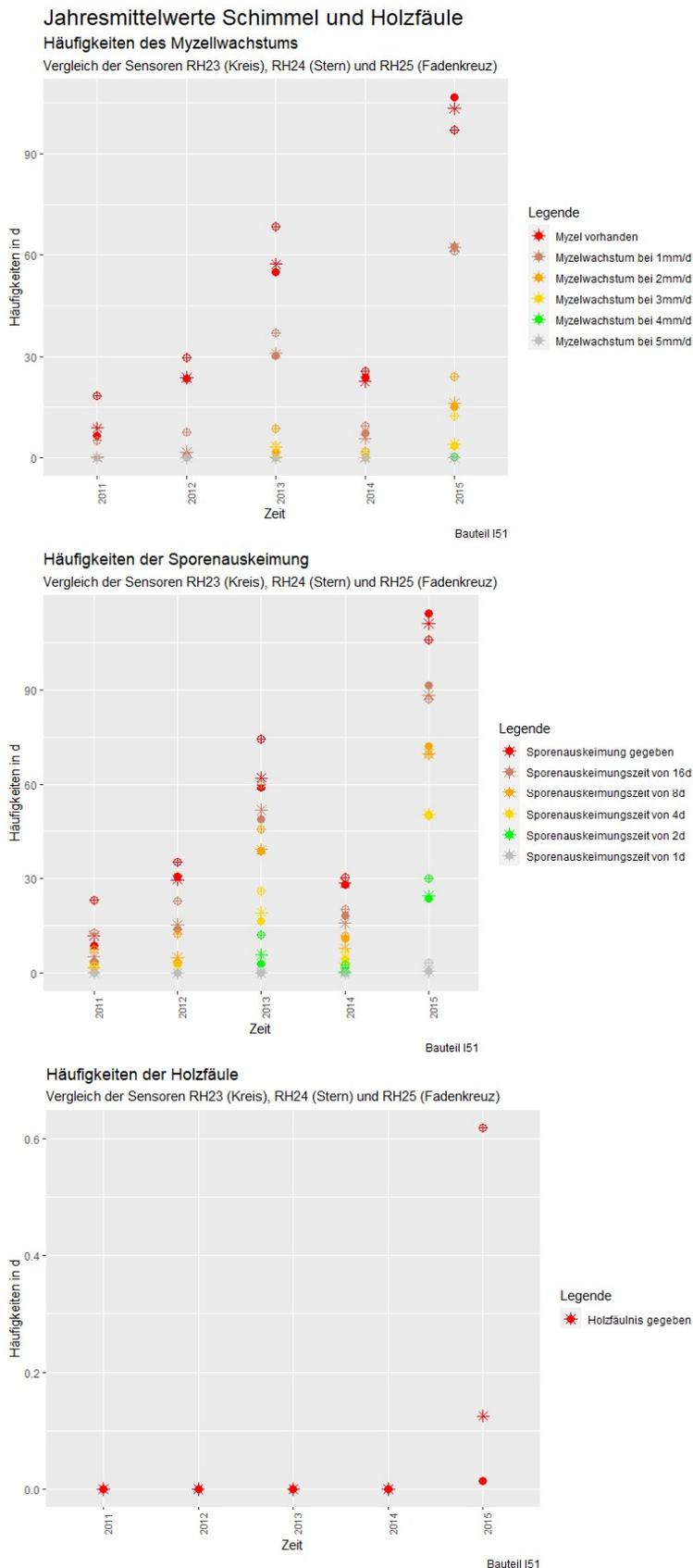


Abbildung 114: Jahresmittelwerte des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule im Vergleich RH23, RH24 und RH25

4.4.8 Sensor RH21 und RH22

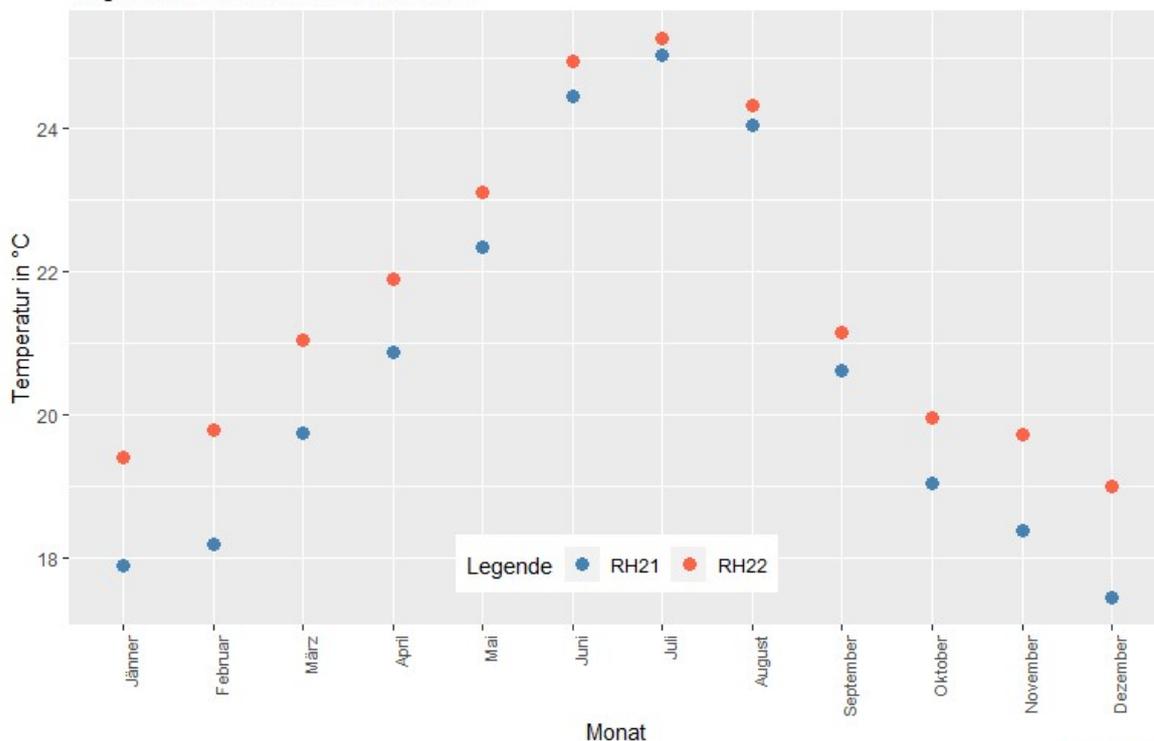
In diesem Kapitel werden die Sensoren behandelt, die sich auf der Außenseite der inneren OSB-Platte befinden. Die Sensoren RH21 und RH22 befinden sich nebeneinander im Traufbereich. Der Sensor RH21 liegt direkt unter RH01 und RH22 unter RH22. Sie werden wie die äußeren Sensoren miteinander verglichen, um die Auswirkungen des Überganges von Dach- zu Wandaufbau aufzuzeichnen.

Die Monatsmittelwerte werden im oberen Diagramm und die Jahresmitteltemperaturen im unteren Diagramm der Abbildung 115 dargestellt. Aus den Monatsmittelwerten kann man erkennen, dass der Sensor RH22 durchwegs eine höhere Temperatur aufzeichnet als RH21. Die Jahresmitteltemperaturen bestätigen diesen Eindruck, wobei kein eindeutiger Trend der Temperaturen über die Jahre erkennbar ist.

Monats- und Jahresmitteltemperaturen Vergleich

Temperatur im Monatsmittel

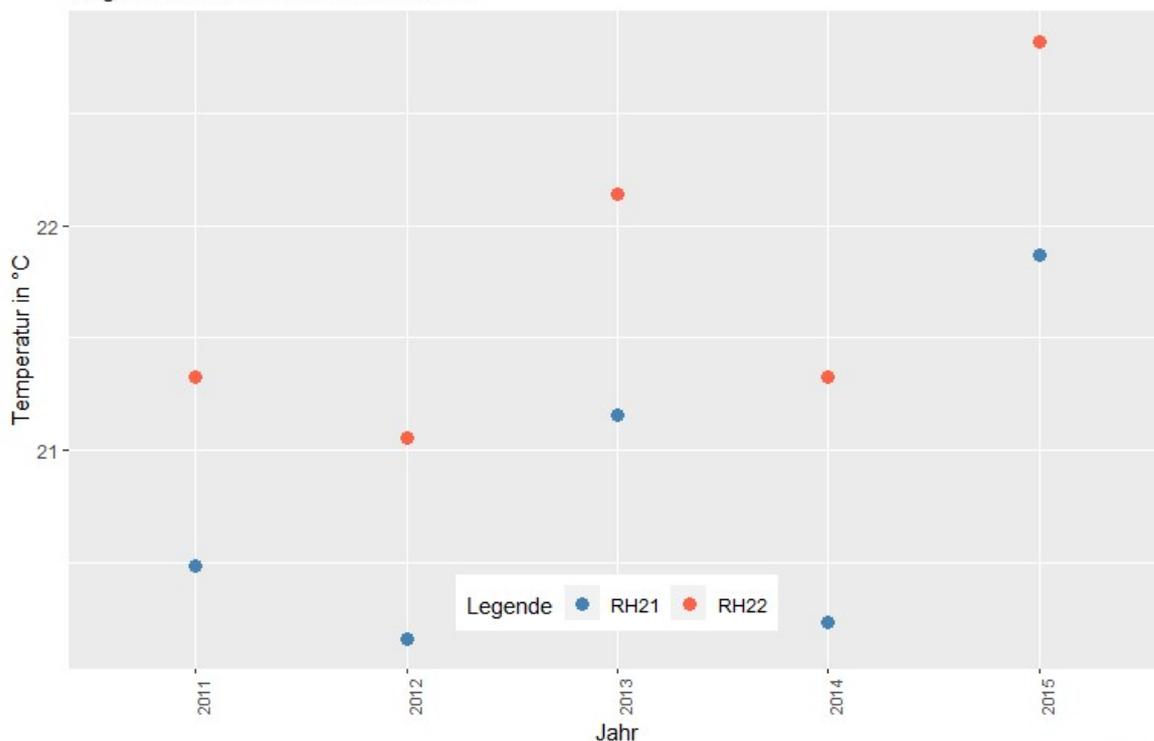
Vergleich der Sensoren RH21 und RH22



Bauteil I51

Temperatur im Jahresmittel

Vergleich der Sensoren RH21 und RH22



Bauteil I51

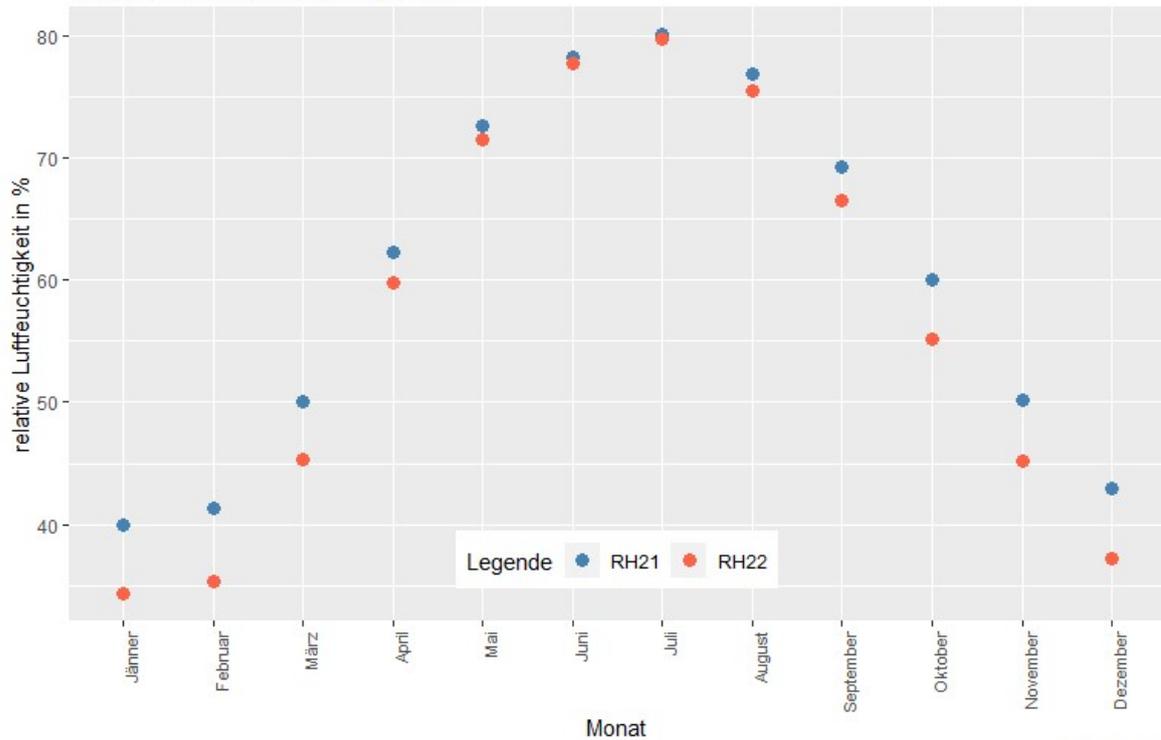
Abbildung 115: Monats- und Jahresmitteltemperaturen im Vergleich RH21 und RH22

Aus den Monatsmittelwerten der Abbildung 116 erkennt man, dass die relative Luftfeuchtigkeit bei RH22 stets niedriger ist als bei RH21. Dies wird durch die Jahresmittelwerte bestätigt und auch hier ist kein eindeutiger Trend erkennbar.

relative Luftfeuchtigkeit im Monats- und Jahresmittel

relative Luftfeuchtigkeit im Monatsmittel

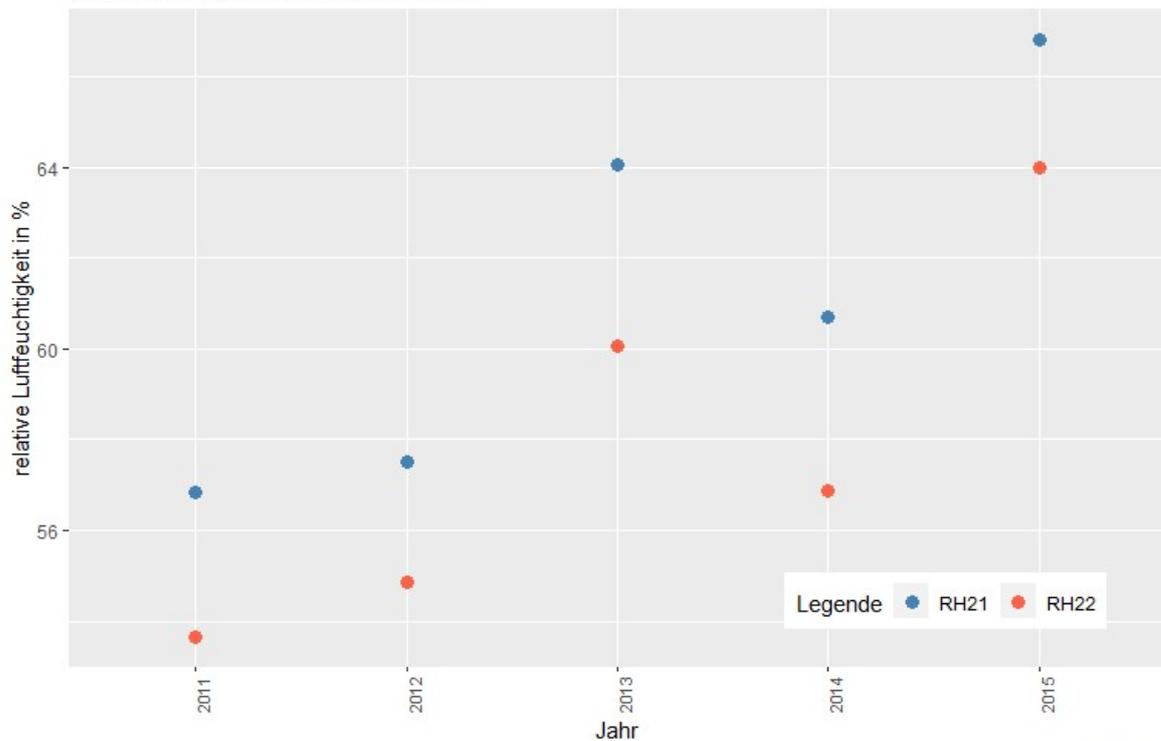
Vergleich der Sensoren RH21 und RH22



Bauteil I51

relative Luftfeuchtigkeit im Jahresmittel

Vergleich der Sensoren RH21 und RH22



Bauteil I51

Abbildung 116: Monats- und Jahresmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit im Vergleich RH21 und RH22

Bei der Betrachtung von Abbildung 117 fällt auf, dass sich Schimmel nur in einer Periode von April bis September bildet, wobei das Maximum in den Monaten Juni und Juli liegt. Die Holzfäule entsteht nur in den Monaten von Mai bis August. Das Maximum befindet sich dabei im Juni. Die Werte des Sensors RH21 liegen über RH22 bei den zwei Schimmelpilz Diagrammen. In Bezug auf die Holzfäule sind die beiden bis auf Juni auf ähnlichem Niveau.

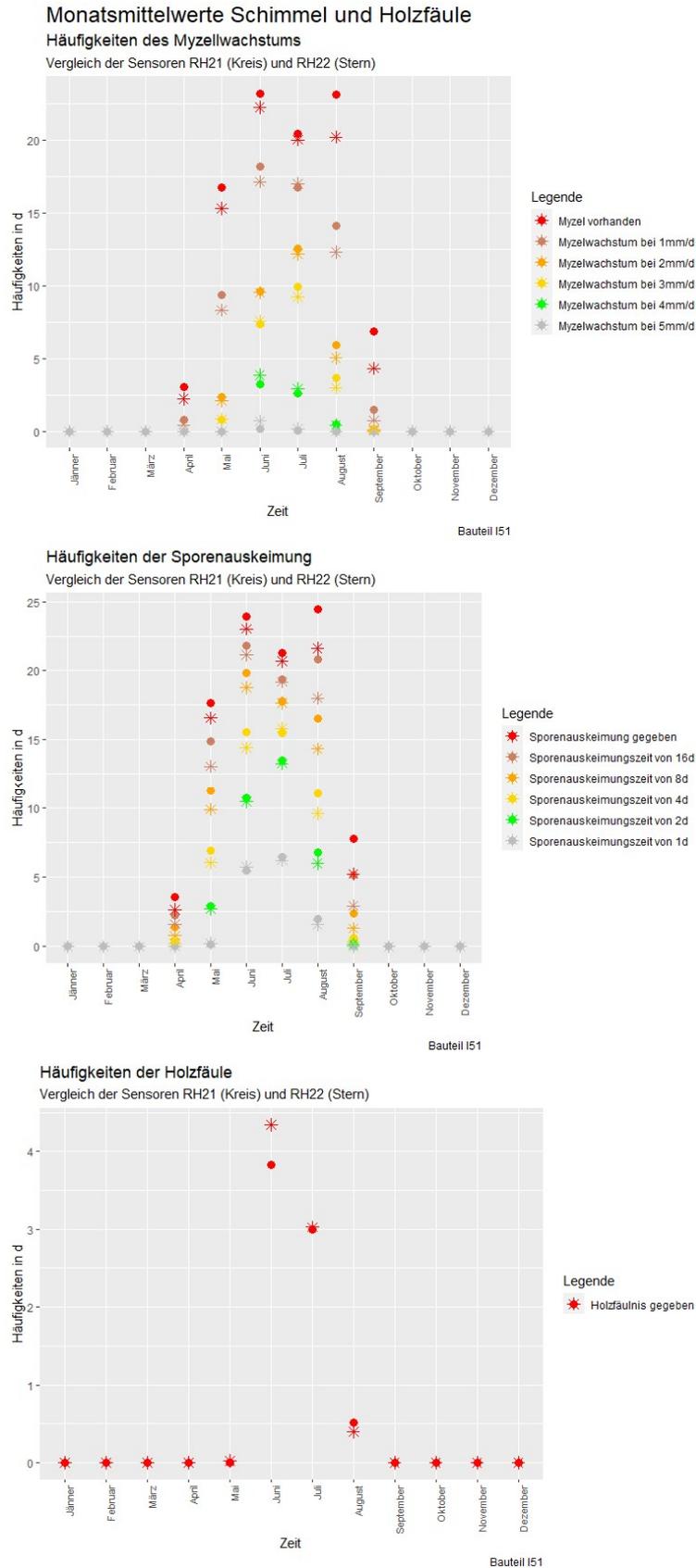


Abbildung 117: Monatsmittelwerte des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule im Vergleich von RH21 und RH22

In Abbildung 118 ist bis auf das Jahr 2014 eine Tendenz nach oben zu erkennen. RH21 liegt bestätigenderweise meist über RH22 und das bei der Schimmelpilzbildung und der Holzfäule. Der Sensor RH21 weist in 21% und RH22 26% der Zeit Bedingungen auf in denen Schimmelpilzbildung ermöglicht wird und bei der Holzfäule sind es bei jeweils 2% der Zeit.

Bei beiden Sensoren entsteht in dem Betrachtungszeitraum kein Kondensat, weswegen keine Abbildung diesbezüglich eingefügt wurde.

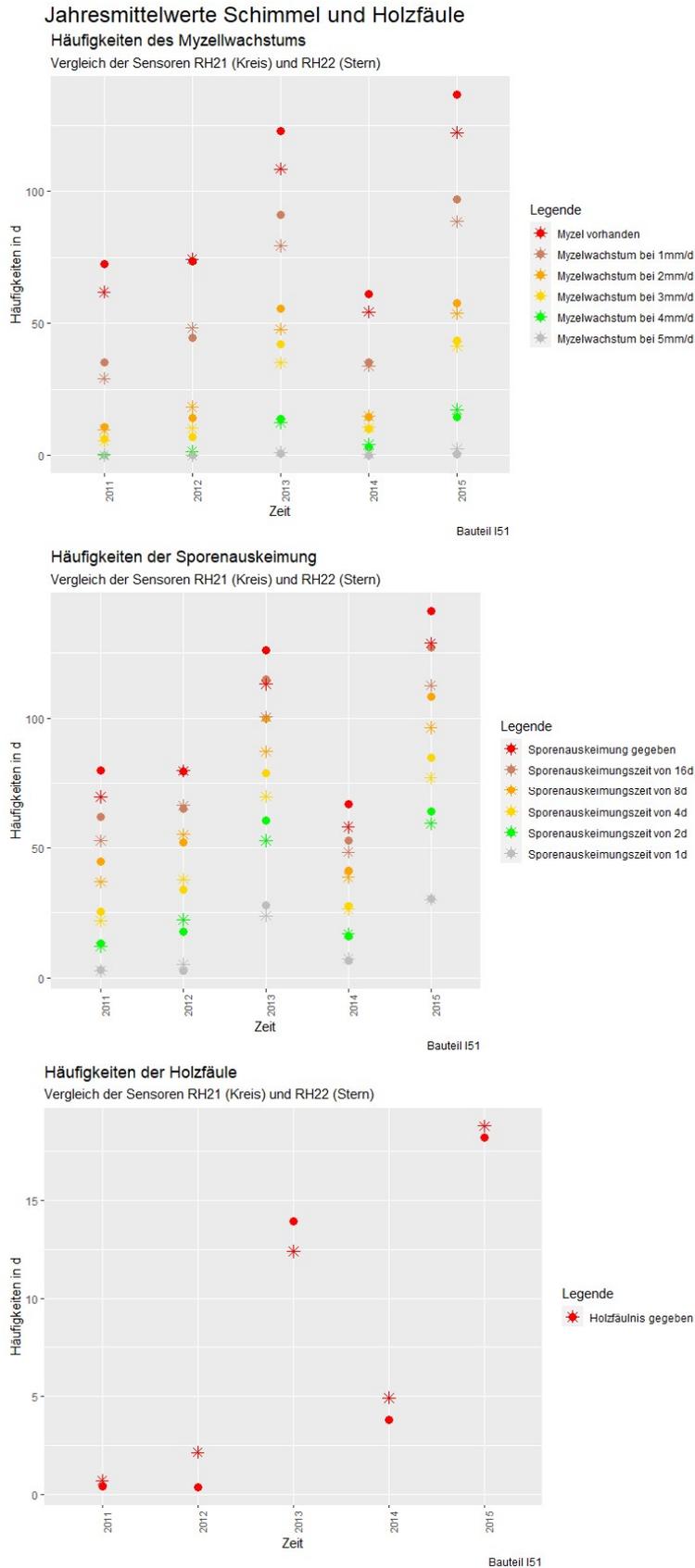
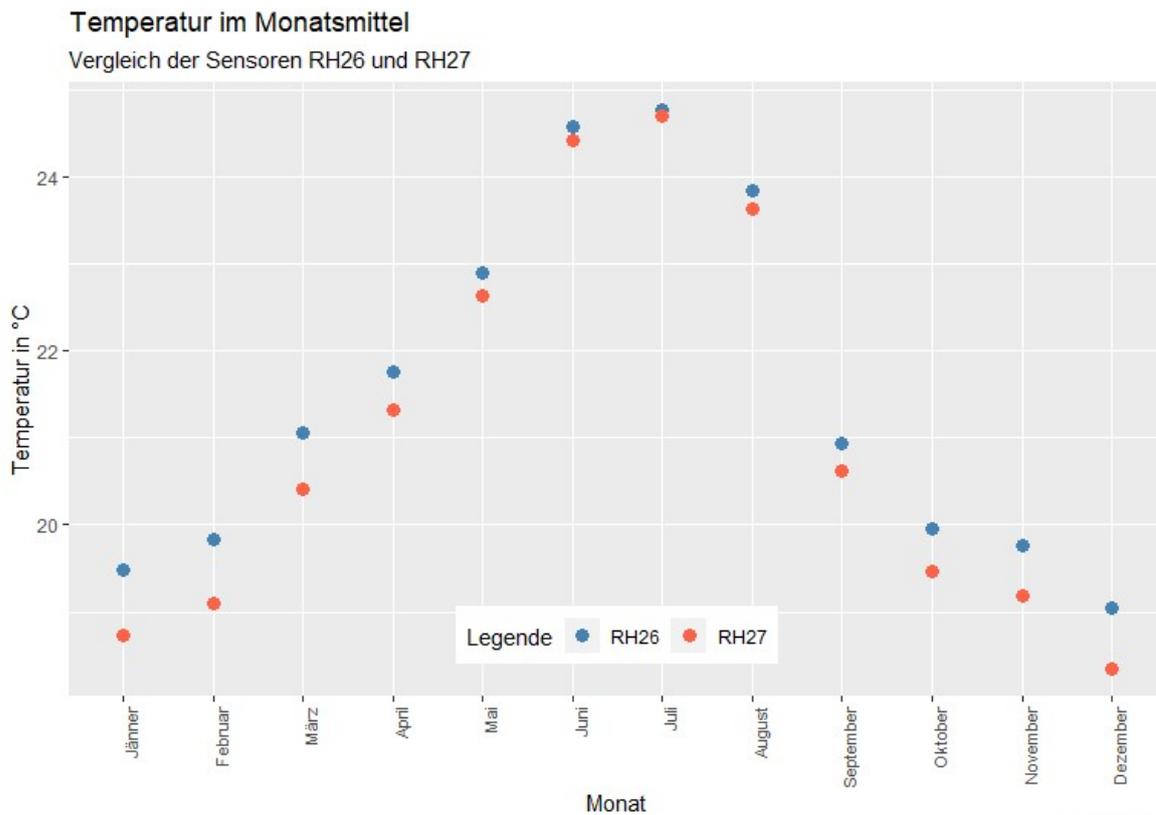


Abbildung 118: Jahresmittelwerte des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule im Vergleich von RH21 und RH22

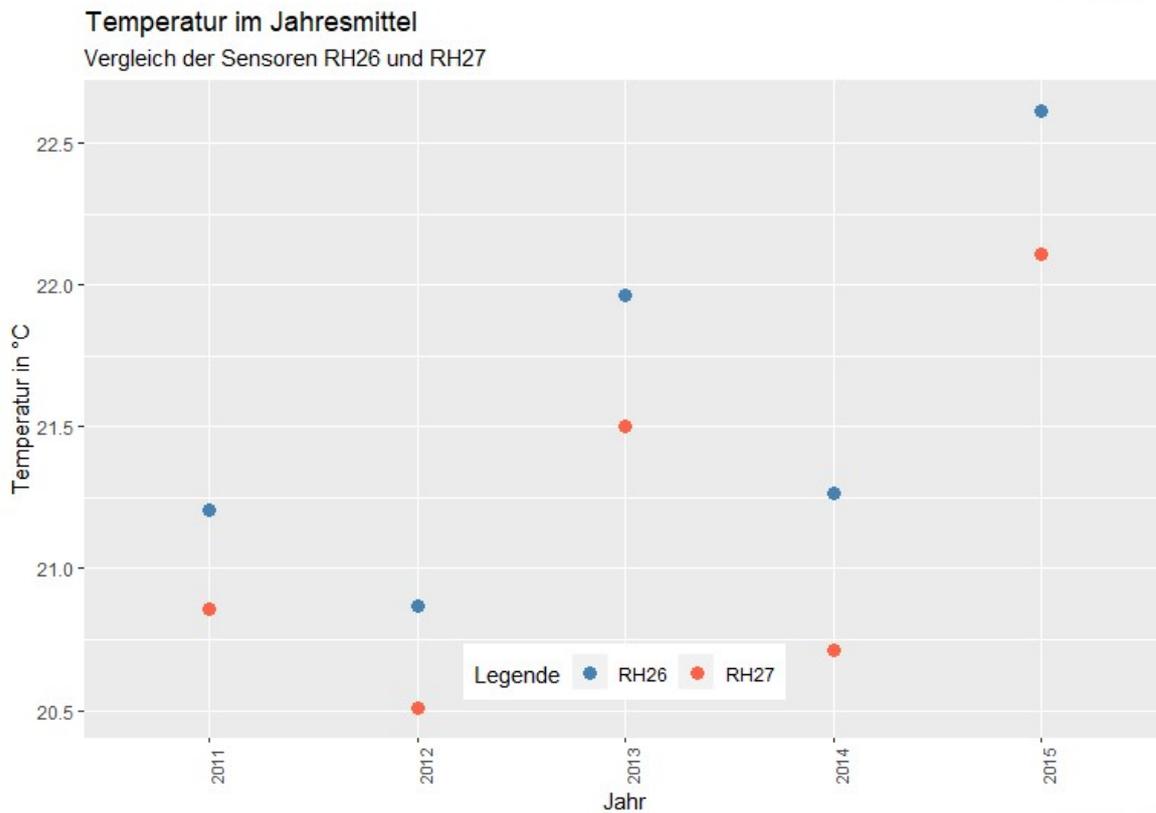
4.4.9 Sensor RH26 und RH27

Die Sensoren RH26 und RH27 befinden sich firstseitig auf der Außenseite der inneren OSB-Platte. Diese werden hier betrachtet, um die Auswirkungen des nebenliegende Dachaufbaus auf diesen zu untersuchen.

Beim Vergleich der Temperaturen (Abbildung 119) sieht man, dass RH26 um ca. ein Viertel bis einen halben Grad in den Wintermonaten über RH27 liegt.



Bauteil I51



Bauteil I51

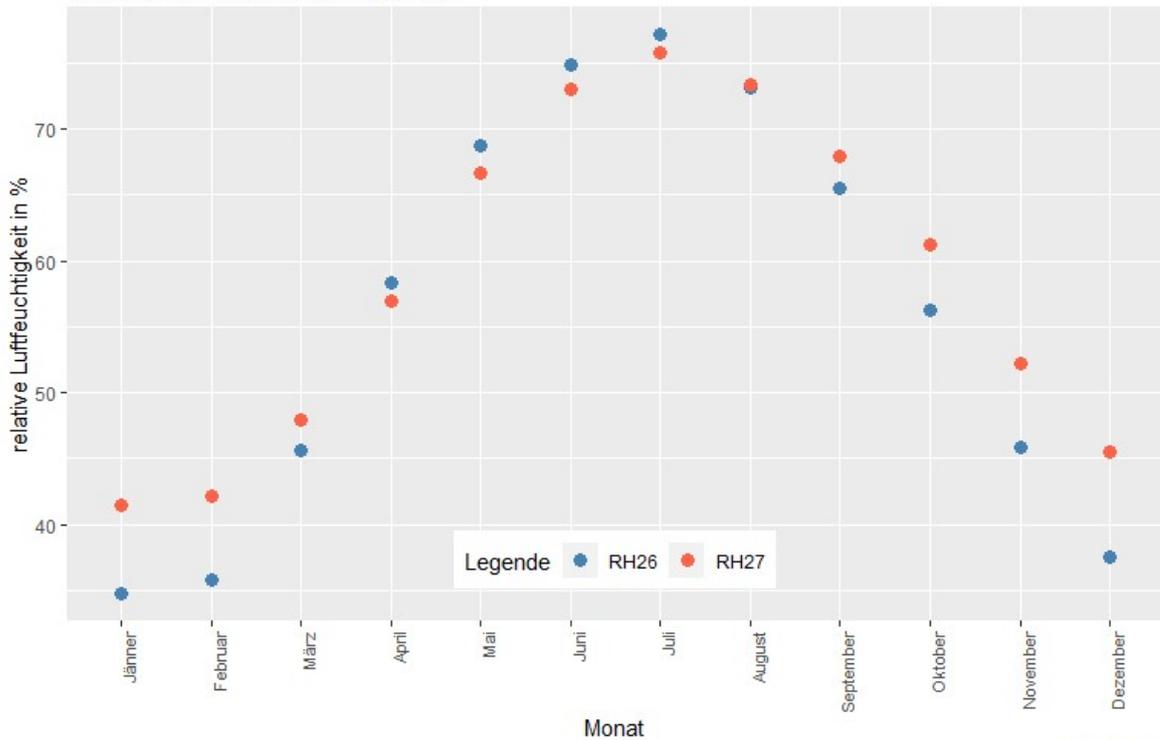
Abbildung 119: Monats- und Jahresmitteltemperaturen im Vergleich RH26 und RH27

Die relative Luftfeuchtigkeit von RH26 liegt, wie aus Abbildung 120 abzulesen, um bis zu 5% unter RH27. In der wärmeren Jahreszeit nähern sich diese einander an, wobei RH26 höhere Werte als RH27 abbildet.

relative Luftfeuchtigkeit im Monats- und Jahresmittel

relative Luftfeuchtigkeit im Monatsmittel

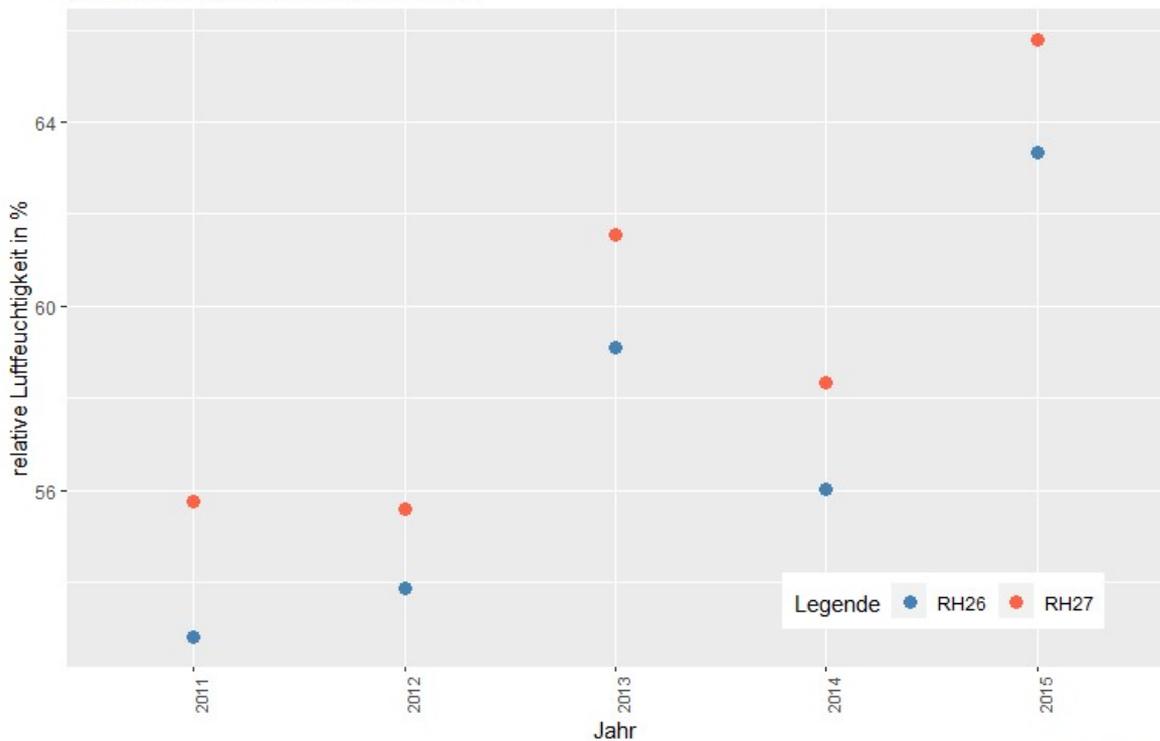
Vergleich der Sensoren RH26 und RH27



Bauteil I51

relative Luftfeuchtigkeit im Jahresmittel

Vergleich der Sensoren RH26 und RH27



Bauteil I51

Abbildung 120: Monats- und Jahresmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit im Vergleich RH26 und RH27

In Abbildung 121 sind die Monatsmittelwerte der Schimmelbildung und der Holzfäule abgebildet. Schimmel kann dabei in den Monaten von April bis September entstehen. Maximalwerte werden im Juni und im Juli erreicht. Die Werte von RH26 liegen stets über den Werten von RH27. Holzfäule kann bei RH26 im Juni und Juli entstehen und RH27 nur im Juli. Die Werte der Holzfäule sind insgesamt auf einem niedrigen Niveau.

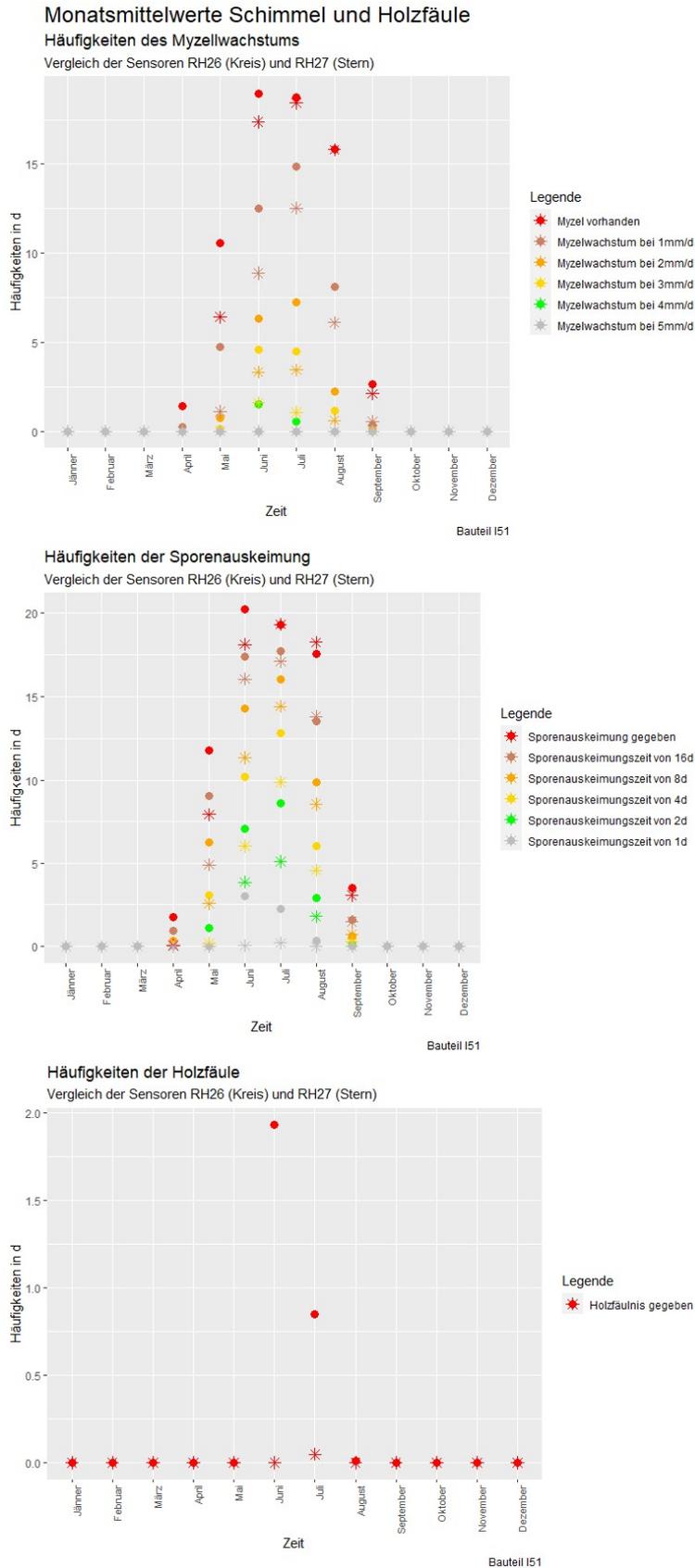


Abbildung 121: Monatsmittelwerte des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule RH26 und RH27

In Abbildung 122 sind die Jahresmittelwerte der drei Sensoren abgebildet. Der nach oben gehende Trend, der aber 2014 unterbrochen wird, kann wie auch schon bei den anderen innenliegenden Sensoren festgestellt werden. In 21% der Zeit bei RH26 und in 19% der Zeit bei RH27 herrschen Bedingungen in denen Schimmelpilz entstehen kann. Bei der Holzfäulnis sind beide Zeiträume unter einem Prozent.

Bei beiden Sensoren ist kein rechnerischer Ausfall von Kondensat möglich.

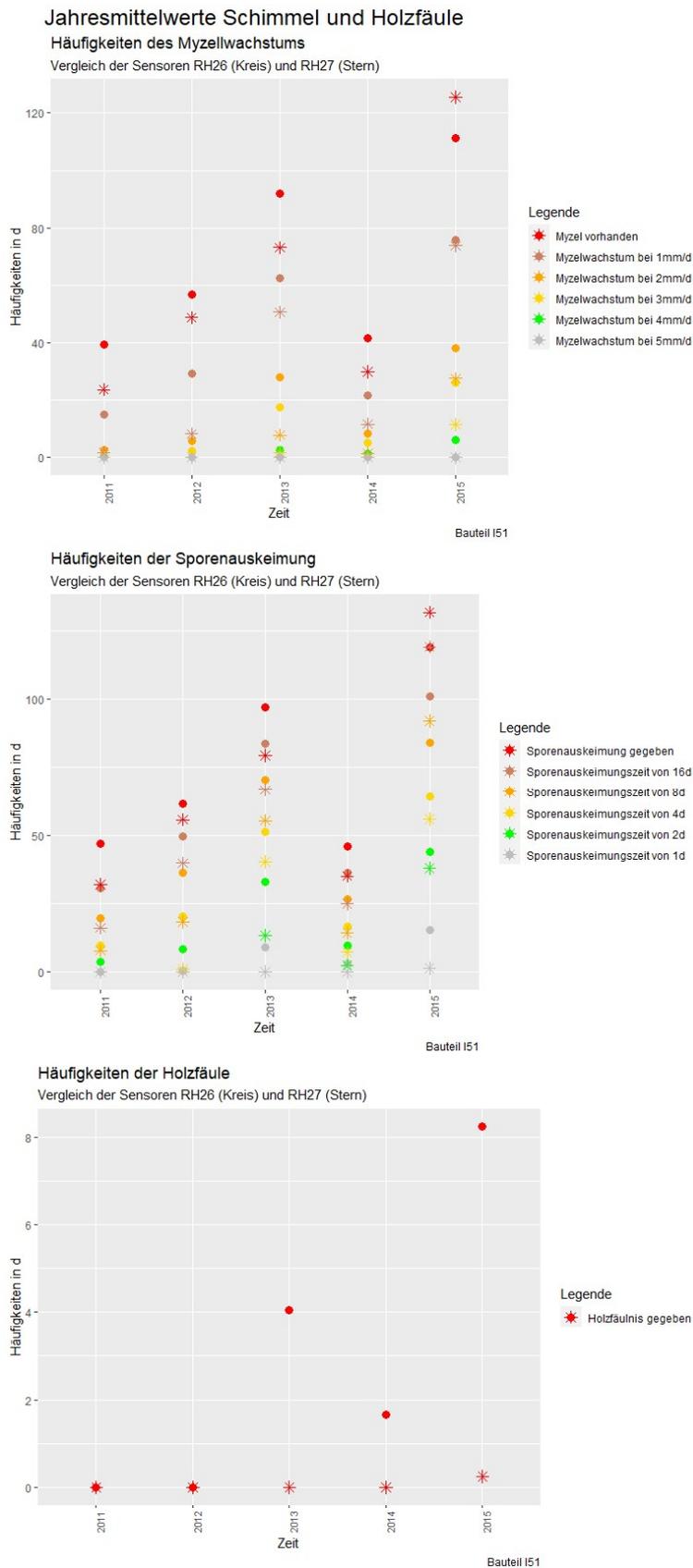


Abbildung 122: Jahresmittelwerte des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule RH26 und RH27

4.4.10 Sensor RH41, RH42 und RH07

Die Sensoren, die hier behandelt werden, befinden sich alle in firstnähe auf der Innenseite der äußeren OSB-Platte. RH41 und RH42 befinden sich am Anfang und am Ende der Firstkante, während RH07 mittig zwischen ihnen liegt (siehe Abbildung 56 und Abbildung 57). Diese Sensoren werden miteinander betrachtet, um den Einfluss, den andere Dachaufbauten auf diesen haben, zu untersuchen. In Abbildung 123 sind die umliegenden Bauteile samt dem Bereich (lila) eingezeichnet in dem die Sensoren (RH41, RH42, RH07 und RH06) liegen. Details zu diesen Punkten bei den Sensoren (RH41, RH42, RH07 und RH61, RH62 und RH01) wurden keine vom AG zur Verfügung gestellt.

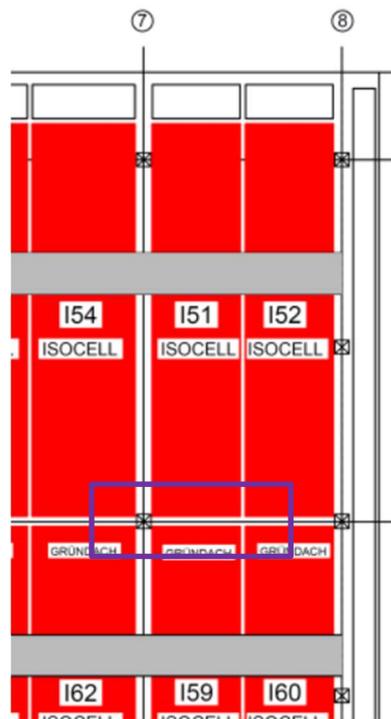


Abbildung 123: umliegende Bauteile um Bauteil I51 und Firstbereich (lila)

In Abbildung 124 ist der Firstbereich, also der Bereich der Dachmitte, lila markiert. Dieser zeigt die Sensoren, die in diesem Gebiet angebracht wurden.

Element I51

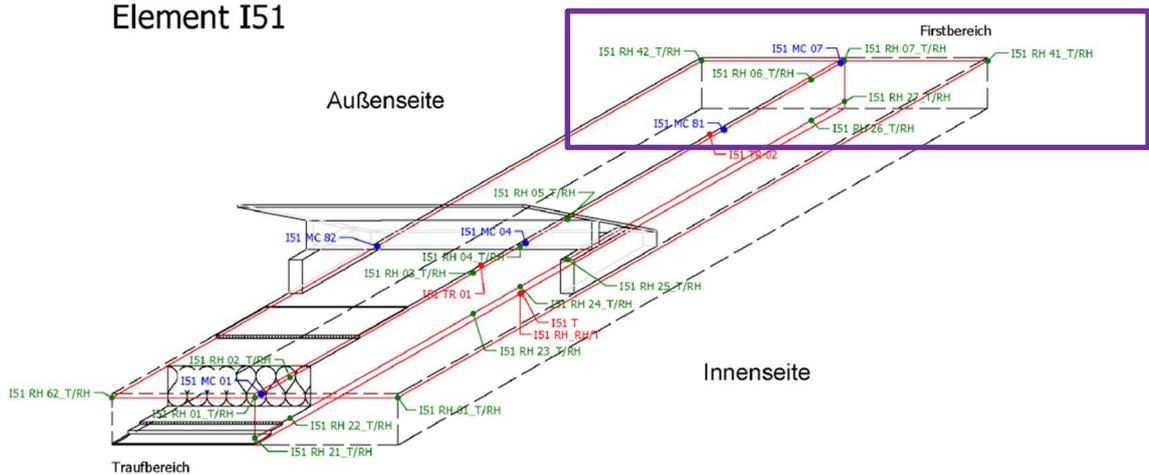


Abbildung 124: Bauteil I51 Sensorpositionen in der Konstruktion und lila Firstbereich

Tabelle 14: Tabelle der Aufbauten der umliegenden Bauteile

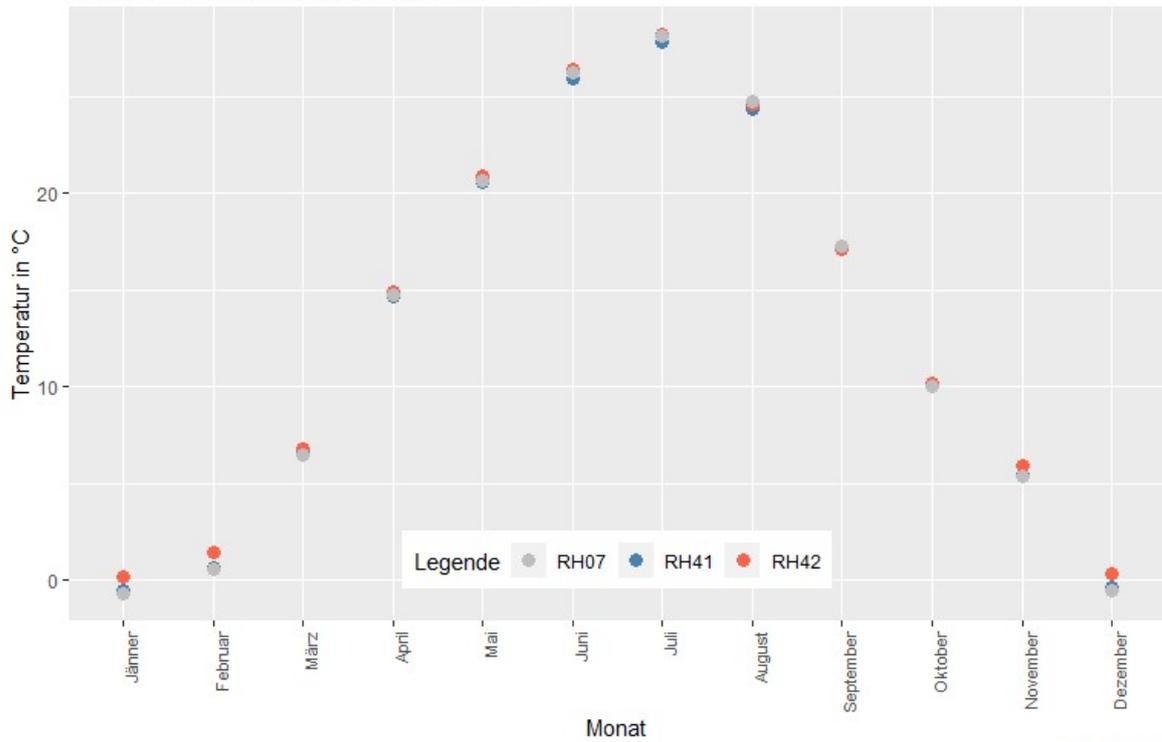
Bauteil	Schichten von innen nach außen															
	Schicht 1		Schicht 2		Schicht 3		Schicht 4		Schicht 5		Schicht 6		Schicht 7		Schicht 8	
	Dicke [mm]	Bezeichnung	Dicke [mm]	Bezeichnung	Dicke [mm]	Bezeichnung	Dicke [mm]	Bezeichnung	Dicke [mm]	Bezeichnung	Dicke [mm]	Bezeichnung	Dicke [mm]	Bezeichnung	Dicke [mm]	Bezeichnung
I51					15	OSB 3, luftdicht Verklebt										
I52					-	Dampfsperre Hygrodicht									-	-
I54	12,5	Fermacell Gipsfaserplatte	25	Lattung (OSB-Steifen)	15	OSB 3, luftdicht Verklebt	300	Isocell Zellulose, eingeblasen	22	OSB 3	-	Trenvlies	-	TPO Folie, lichtgrau		
I59																
I60					-	FH Vliesdampbremse sd = 2,2									-	Gründach
I62	-	-	140	Massivholzdecke	3,8	Flämpsappe AIG45 K										

Zuerst wird die Temperatur der drei Sensoren verglichen (Abbildung 125), oben im Monatsmittel und unten im Jahresmittel. Die Monatsmitteltemperaturen weichen kaum voneinander ab. Im Jahresmittel sind Unterschiede von ca. einem Viertel Grad Celsius zu erkennen. Der Unterschied betrifft hauptsächlich RH42, da dieser um diesen Betrag stets höher über den anderen beiden liegt.

Monats- und Jahresmitteltemperaturen Vergleich

Temperatur im Monatsmittel

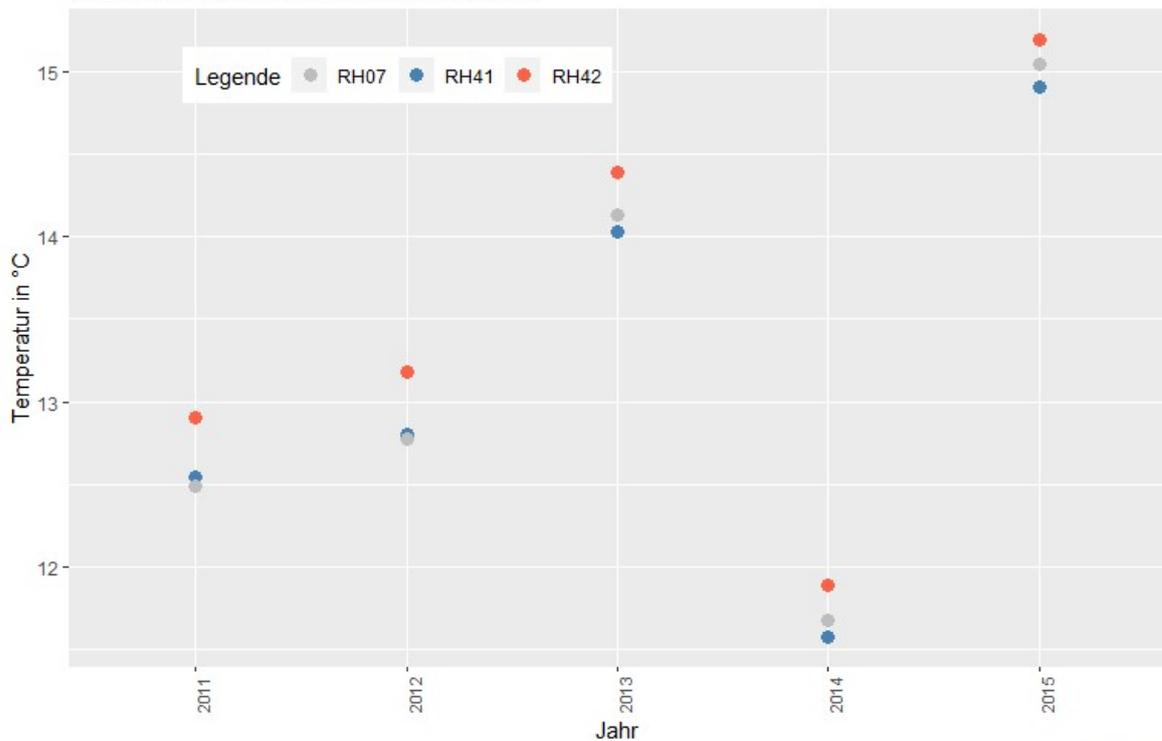
Vergleich der Sensoren RH41, RH42 und RH07



Bauteil I51

Temperatur im Jahresmittel

Vergleich der Sensoren RH41, RH42 und RH07



Bauteil I51

Abbildung 125: Vergleich der Temperaturverläufe RH41, RH42 und RH07

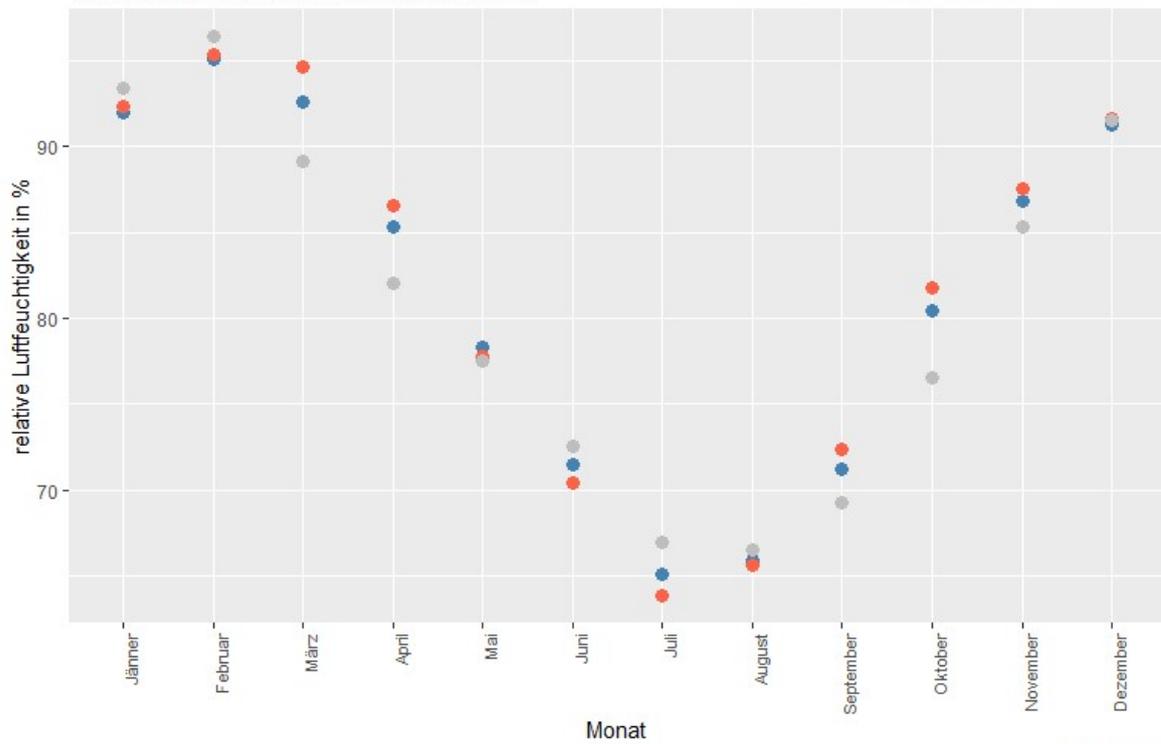
Beim Vergleich der relativen Luftfeuchtigkeit (Abbildung 126) der drei Sensoren erkennt man, dass der Sensor RH07 am extremsten ist, denn er ist im Winter höher und im Sommer niedriger als die anderen. In den ersten drei Jahren sind die drei Sensoren dicht zusammen und erst in den letzten beiden entfernen sich RH42 und RH07 von RH41. Diese Entfernung beläuft sich auf ca. 2% und ist somit gering. Von 2011 bis 2014 wachsen die Werte von 77% auf bis zu 86% an.

relative Luftfeuchtigkeit im Monats- und Jahresmittel

relative Luftfeuchtigkeit im Monatsmittel

Vergleich der Sensoren RH41, RH42 und RH01

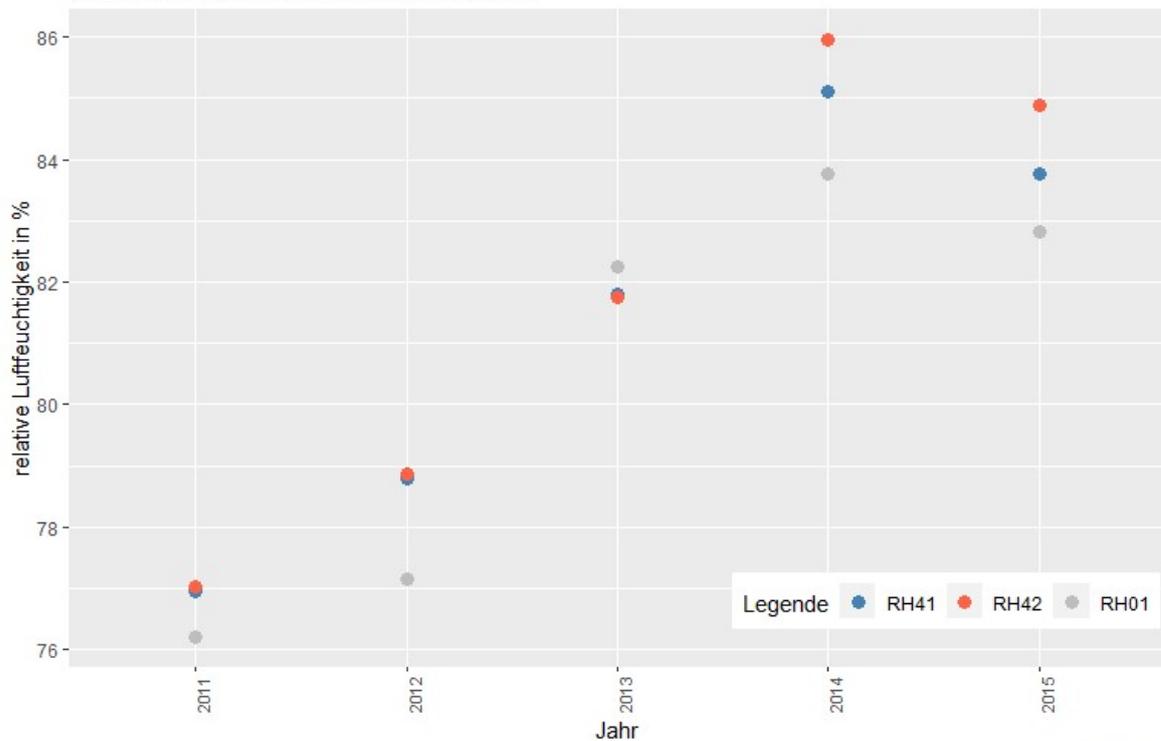
Legende ● RH41 ● RH42 ● RH01



Bauteil I51

relative Luftfeuchtigkeit im Jahresmittel

Vergleich der Sensoren RH41, RH42 und RH01



Bauteil I51

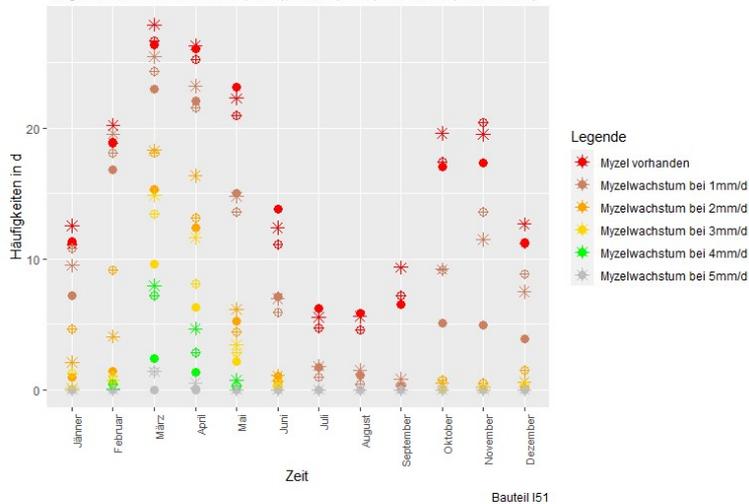
Abbildung 126: Monatsmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit im Vergleich RH41, RH42 und RH07

In Abbildung 127 sind die Monatsmittelwerte der Schimmelpilzbildung und der Holzfäulnis von RH41, RH42 und RH07 zu sehen. Ein eindeutiger Trend ist hier nicht erkennbar. Alle drei Sensoren bewegen sich in ähnlichen Größenordnungen und Reihenfolgen. RH41 ist bei der Betrachtung der Holzfäule von November bis Mai immer niedriger als die anderen beiden.

Monatsmittelwerte Schimmel und Holzfäule

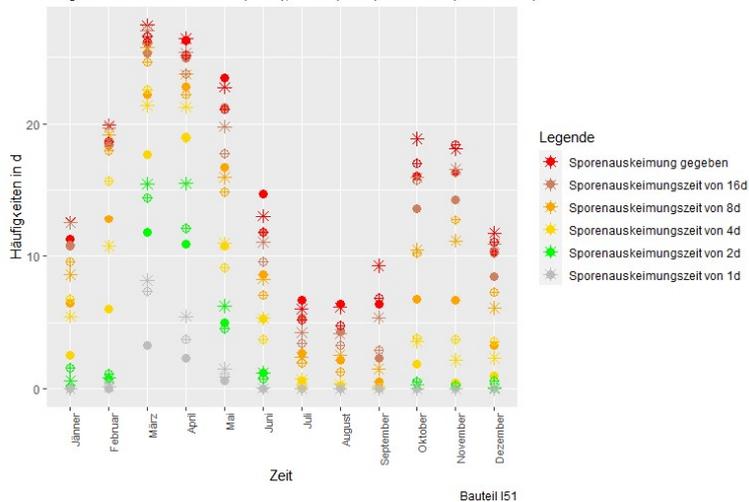
Häufigkeiten des Myzellwachstums

Vergleich der Sensoren RH41 (Kreis), RH42 (Stern) und RH07 (Fadenkreuz)



Häufigkeiten der Sporenauskeimung

Vergleich der Sensoren RH41 (Kreis), RH42 (Stern) und RH07 (Fadenkreuz)



Häufigkeiten der Holzfäule

Vergleich der Sensoren RH41 (Kreis), RH42 (Stern) und RH07 (Fadenkreuz)

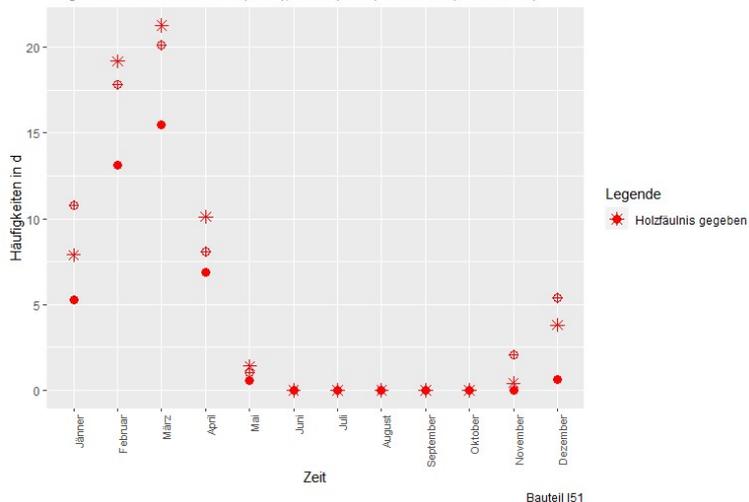


Abbildung 127: Monatsmittelwerte des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule RH41, RH42 und RH07

In Abbildung 128 sind die Jahresmittelwerte in Bezug auf Schimmelpilz und Holzfäule der drei Sensoren abgebildet. Das Schimmelpilzverhalten der drei Sensoren ist sich sehr ähnlich und alle drei steigern sich von Jahr zu Jahr. Bei der Betrachtung der Holzfäule fällt wieder auf, dass RH41 sich vor allem im Jahr 2013 aber auch in den folgenden von RH07 und RH42 entfernt.

In Zahlen ausgedrückt kann Schimmelpilz bei RH41 zu 55%, bei RH42 zu 57% und bei RH07 zu 53% der Zeit wachsen. 12,5% der Zeit bei RH41, 19% bei RH42 und 19,5% der Zeit bei RH07 sind die Bedingungen so, dass die Bildung von Holzfäule ermöglicht wird.

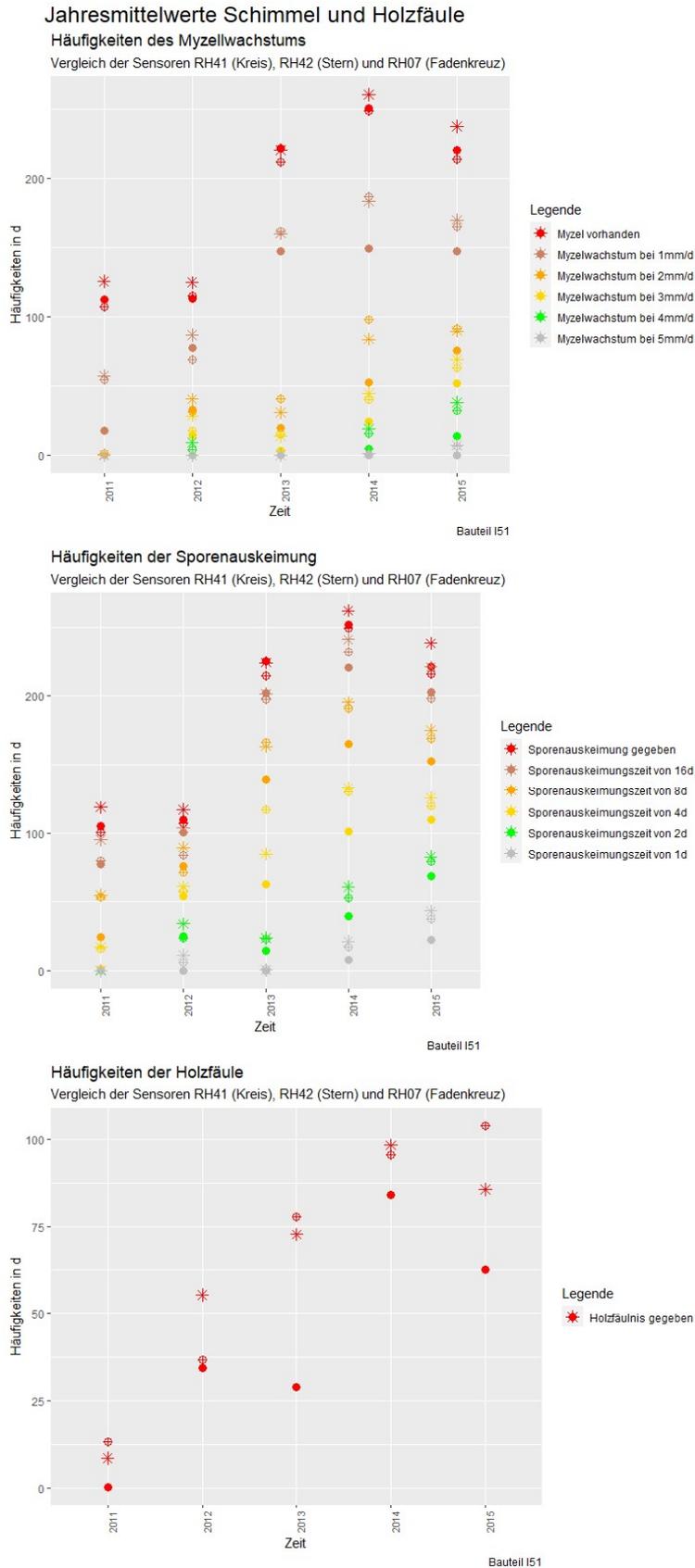
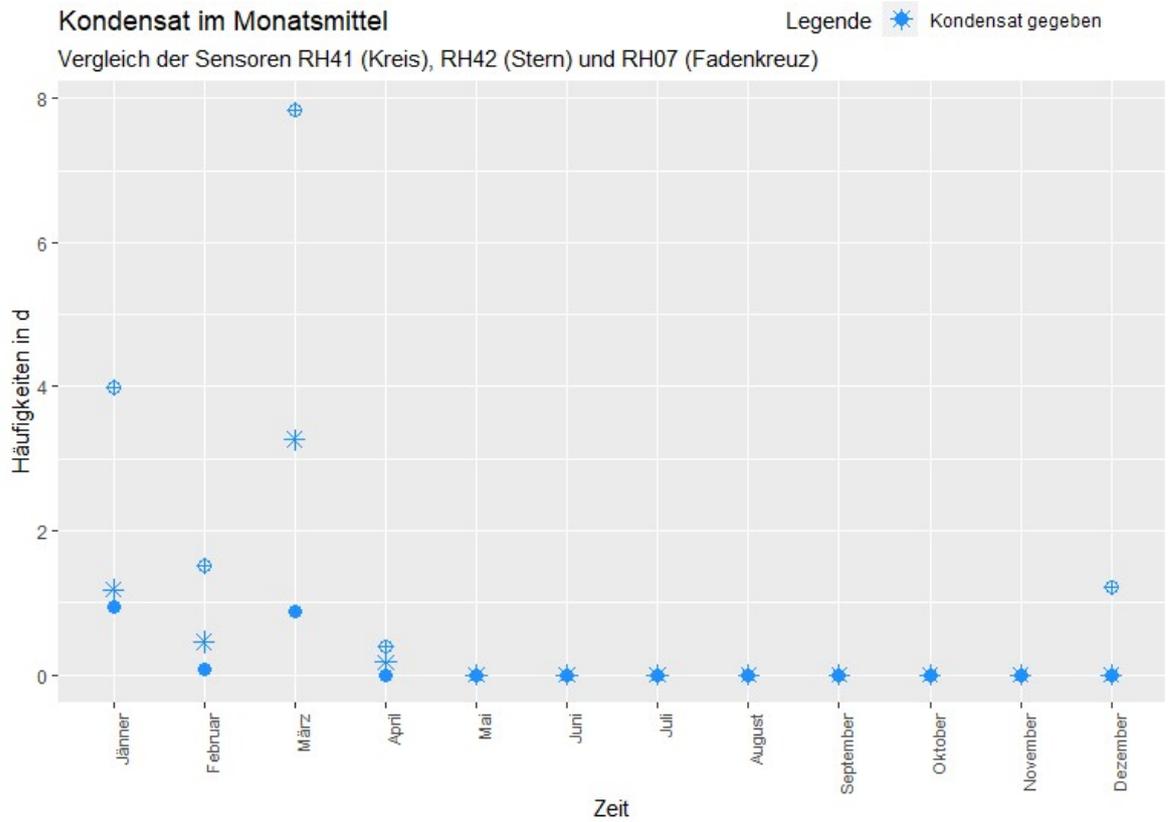
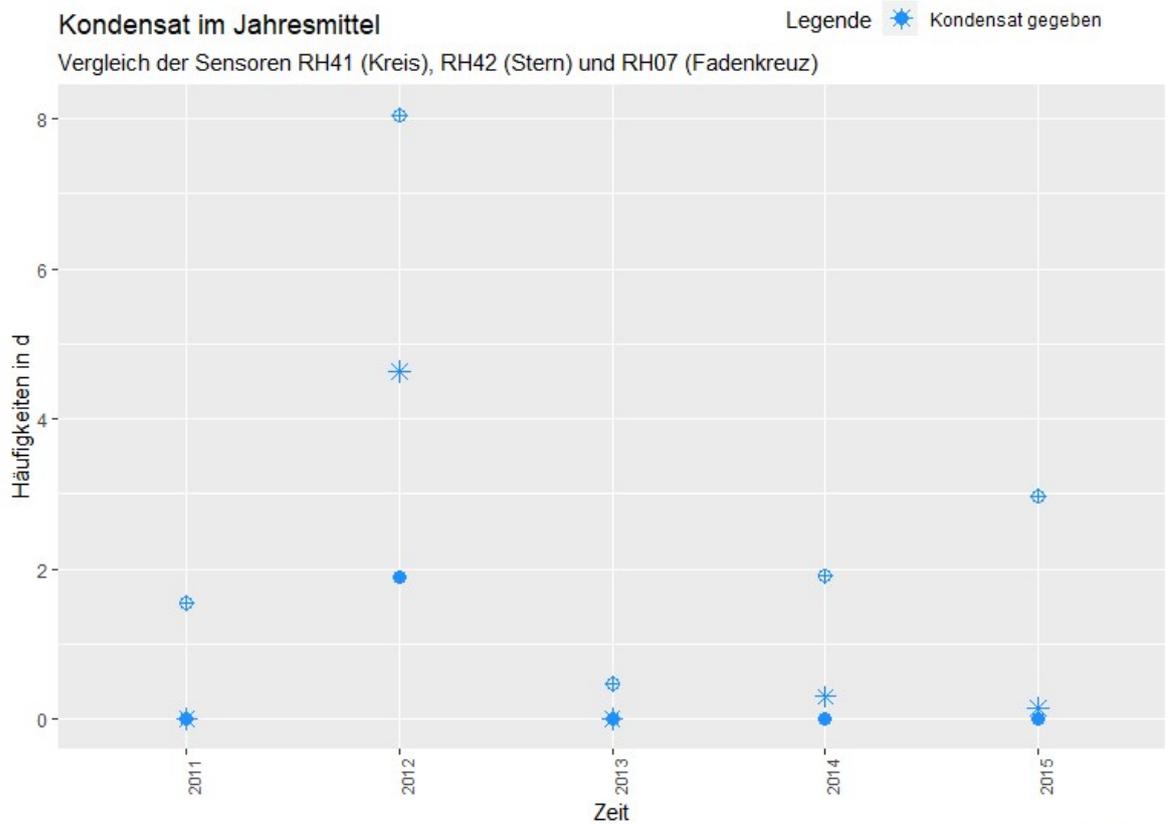


Abbildung 128: Jahresmittelwerte des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule RH41, RH42 und RH07

Die rechnerisch entstehende Kondensation kann in Abbildung 129 betrachtet werden. In den Monaten von Dezember bis April sind rechnerische Kondensationen bei diesen Sensoren möglich. Der Monat, der den größten Anfall an Kondensat ermöglicht, ist der März. Beim Vergleich der Sensoren fällt auf, dass RH07 in allen Monaten an der Spitze liegt. Im Jahr 2012 fällt am meisten Kondensat an und eine Entwicklung bzw. ein Trend ist nicht zu erkennen.



Bauteil I51



Bauteil I51

Abbildung 129: Monatsmittelmerte des Kondensates im Vergleich RH41, RH42 und RH07

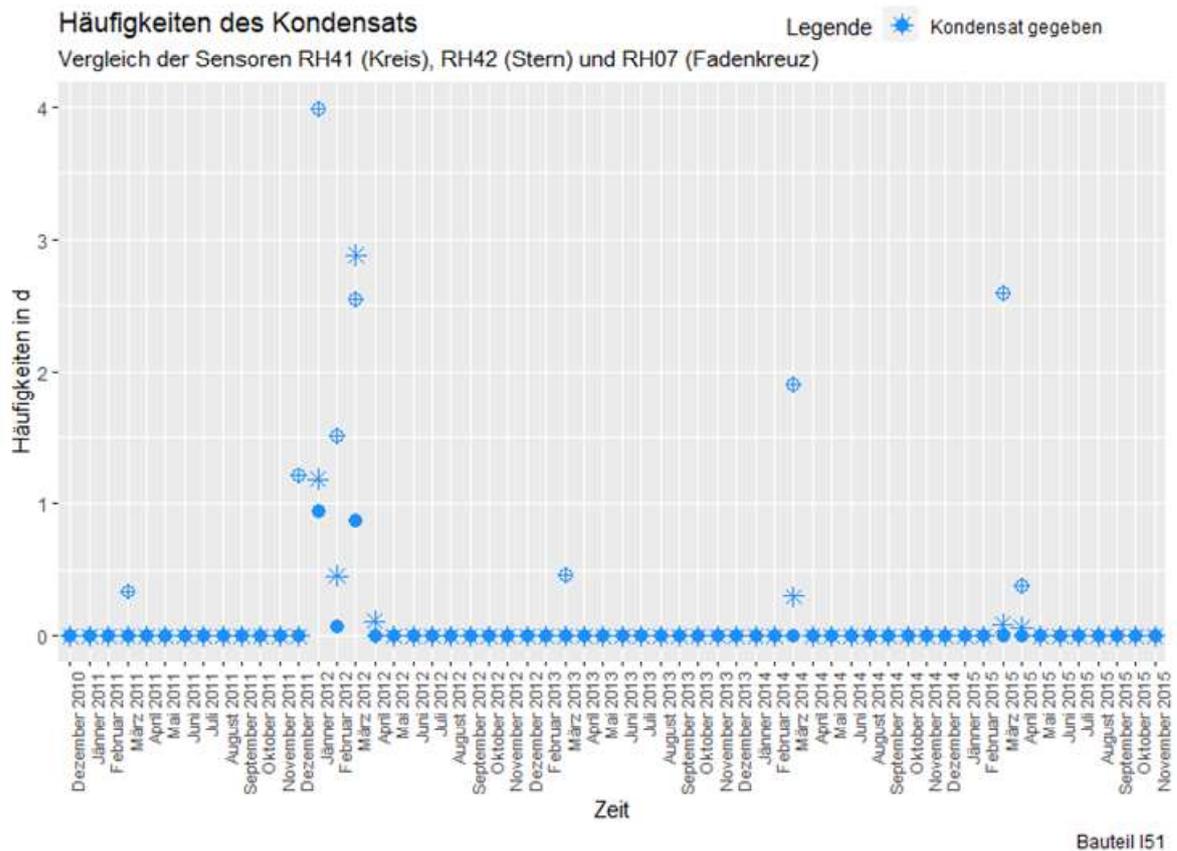


Abbildung 130: Jahresmittelwerte des Kondensates im Vergleich RH41, RH42 und RH07

4.4.11 Sensor RH61, RH62 und RH01

Die Sensoren, die in diesem Kapitel behandelt werden, liegen an der Traufenkante. RH01 liegt mittig, RH61 links davon und RH62 rechts davon. Sie dienen dazu die Auswirkungen aus den Übergängen von Dach- zu Wandaufbau zu entdecken. Außerdem sind RH61 und RH62 nahe den Sparren positioniert und können deren Einfluss auch noch aufnehmen. In Abbildung 131 sind die umliegenden Bauteile und der Traufbereich (Bereich des Wandanschlusses) abgebildet.

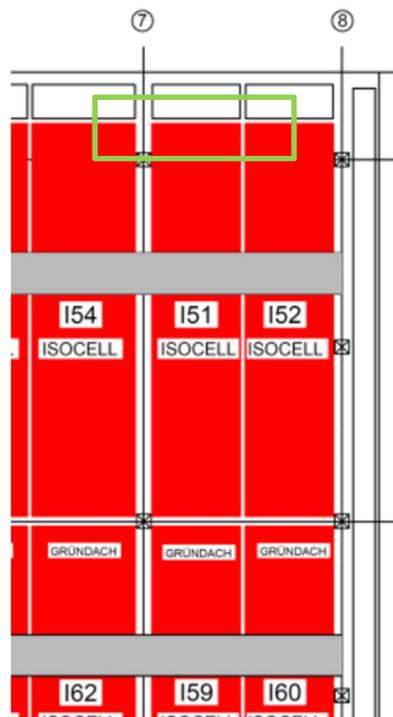


Abbildung 131: umliegende Bauteile um Bauteil I51 und Traufbereich (grün)

Element I51

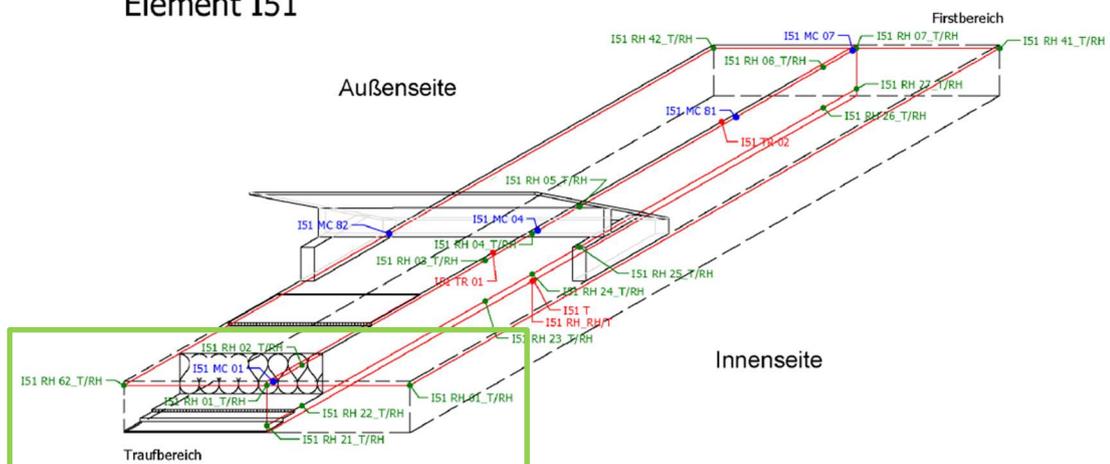


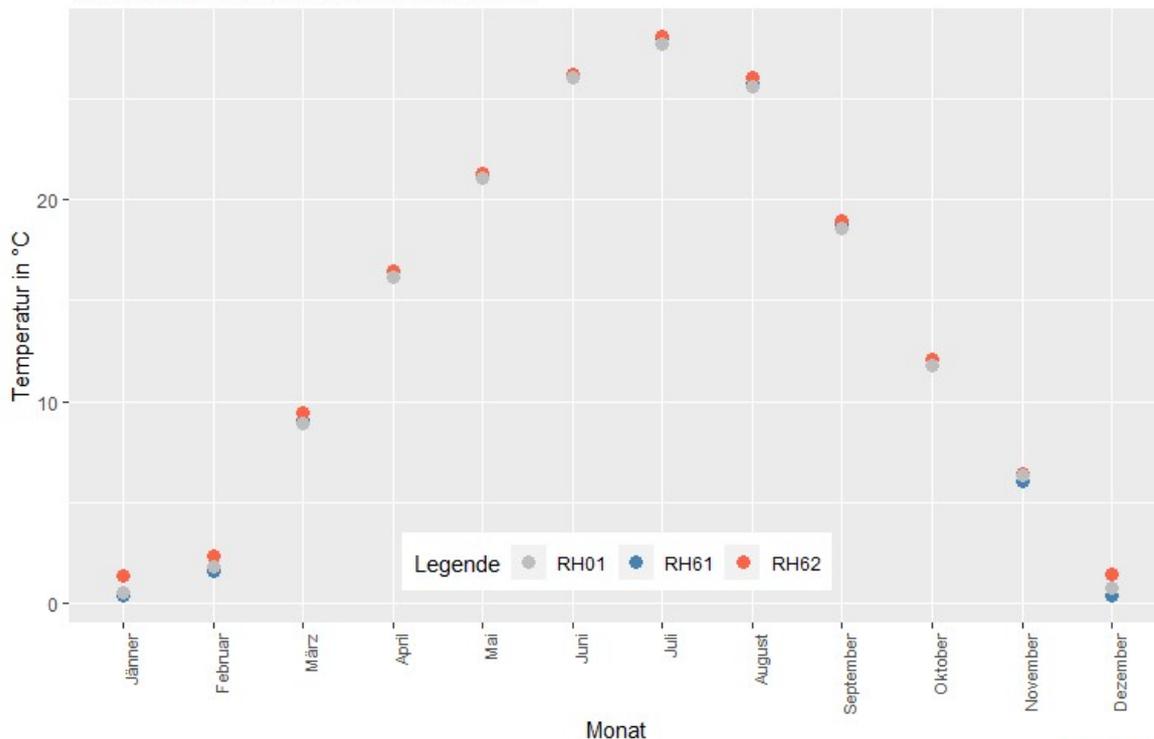
Abbildung 132: Bauteil I51 Sensorpositionen in der Konstruktion und grüner Traufbereich

Die Aufbauten der umliegenden Bauteile kann wieder Tabelle 14: Tabelle der Aufbauten der umliegenden Bauteile entnommen werden.

Die Monatsmittelwerte der drei Sensoren (Abbildung 133) sind sich sehr ähnlich. Aus den Jahresmittelwerten kann man, dass RH62 größer ist als die anderen beiden, wobei sich dieser Unterschied im Mittel auf ca. einem Viertel Grad beläuft.

Monats- und Jahresmitteltemperaturen Vergleich Temperatur im Monatsmittel

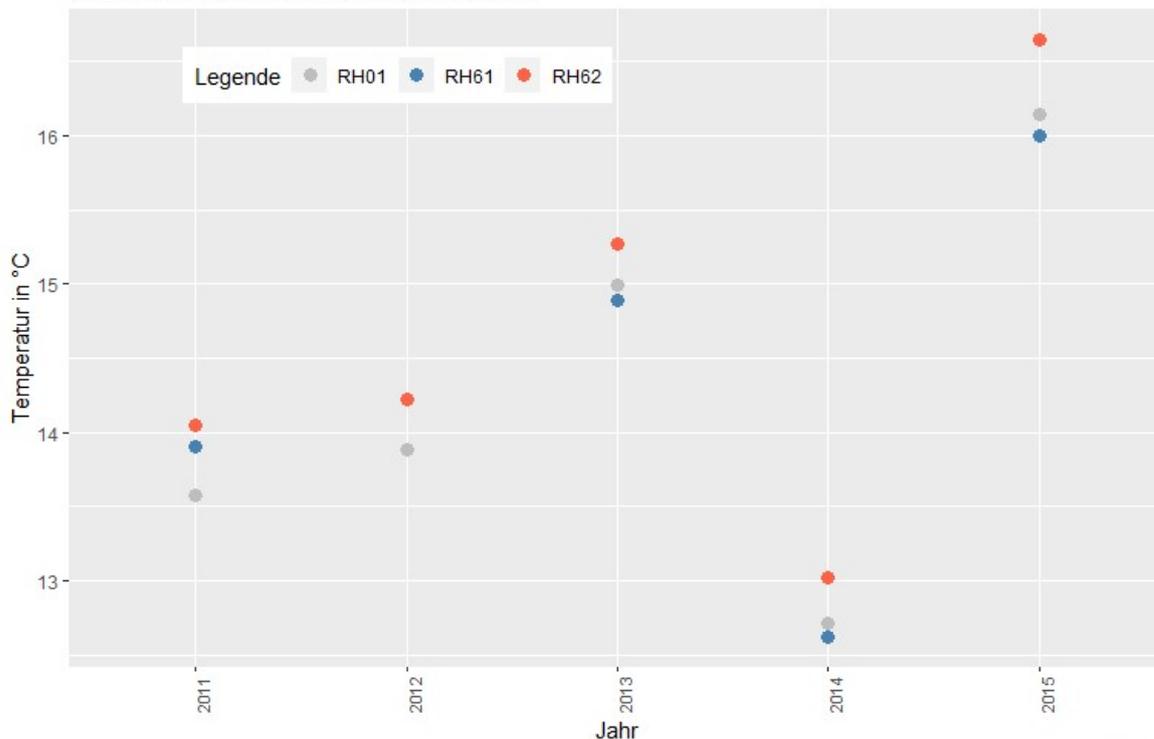
Vergleich der Sensoren RH61, RH62 und RH01



Bauteil I51

Temperatur im Jahresmittel

Vergleich der Sensoren RH61, RH62 und RH01



Bauteil I51

Abbildung 133: Vergleich der Temperaturverläufe RH61, RH62 und RH01

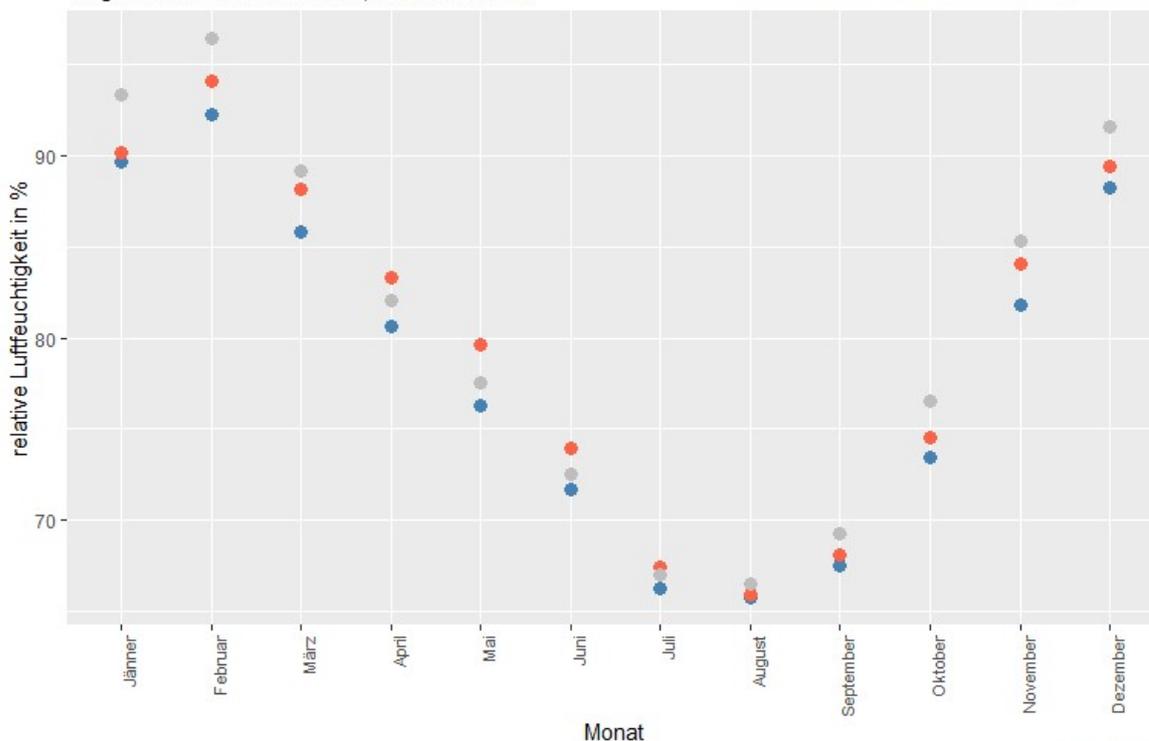
Aus der relativen Luftfeuchtigkeit der Sensoren (siehe Abbildung 134) ist erkennbar, dass RH61 meist unter den anderen beiden um ca. 1,5% liegt. Aus den Jahresmittelwerten kann man einen nach oben gehenden Trend erkennen, welcher in 4 Jahren um 7% steigt.

relative Luftfeuchtigkeit im Monats- und Jahresmittel

relative Luftfeuchtigkeit im Monatsmittel

Vergleich der Sensoren RH61, RH62 und RH01

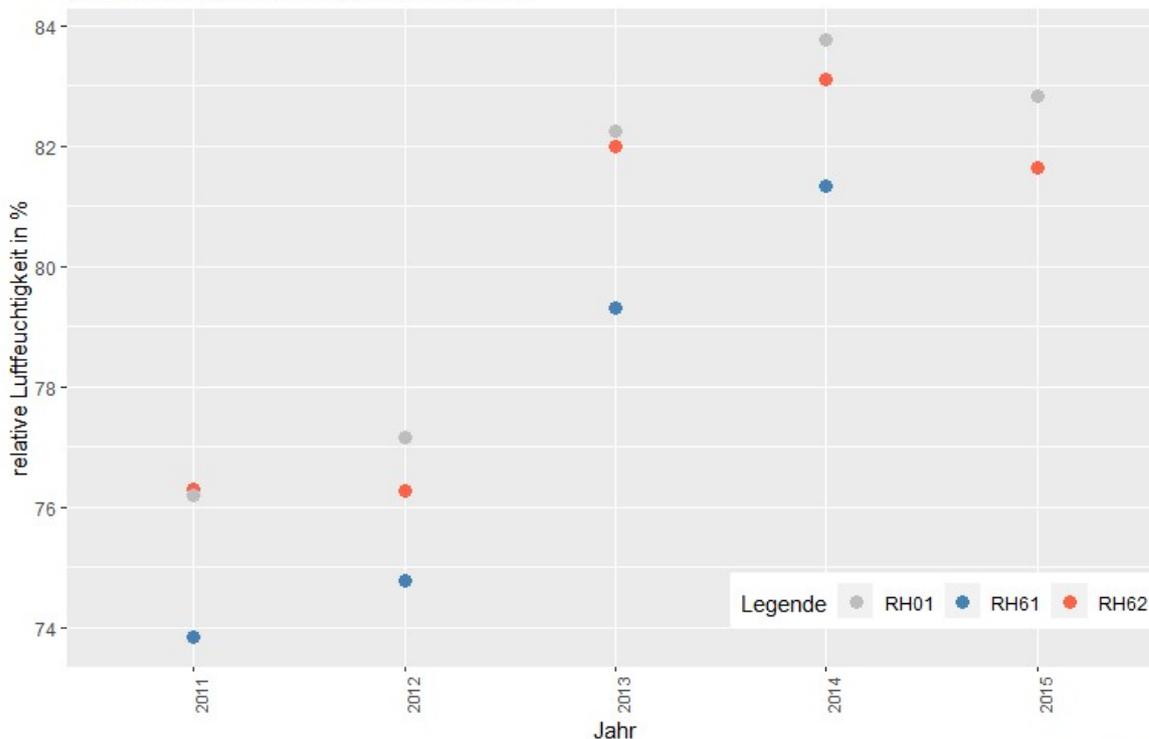
Legende ● RH01 ● RH61 ● RH62



Bauteil I51

relative Luftfeuchtigkeit im Jahresmittel

Vergleich der Sensoren RH61, RH62 und RH01



Bauteil I51

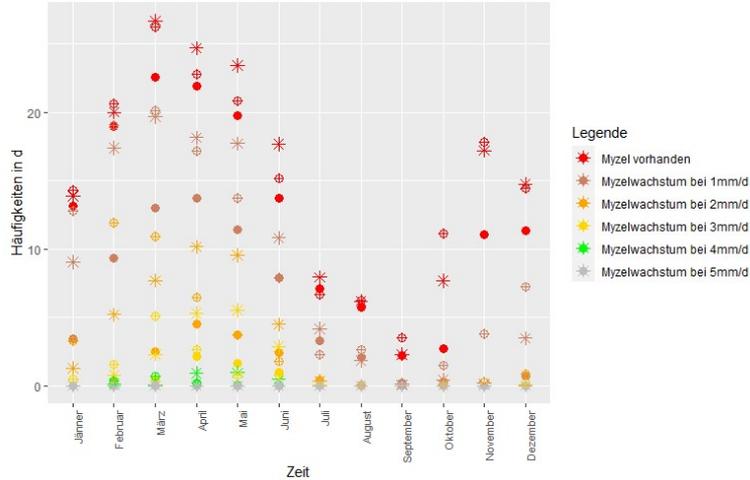
Abbildung 134: Vergleich der relativen Luftfeuchtigkeitsverläufe RH61, RH62 und RH01

In Abbildung 135 ist die Beurteilung des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule zu erkennen. Aus den oberen beiden Diagrammen geht hervor, dass RH62 und RH01 stärker von Schimmel befallen sind als RH61. In der überwiegenden Anzahl der Monate setzt RH62 den Spitzenwert fest.

Monatsmittelwerte Schimmel und Holzfäule

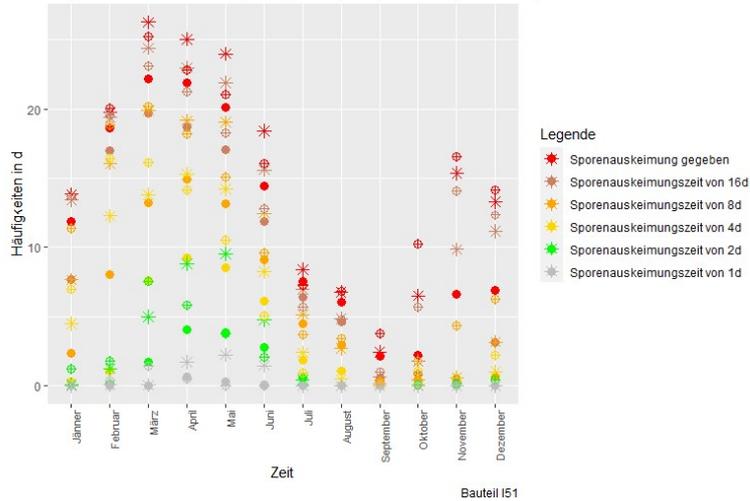
Häufigkeiten des Myzellwachstums

Vergleich der Sensoren RH61 (Kreis), RH62 (Stern) und RH01 (Fadenkreuz)



Häufigkeiten der Sporenauskeimung

Vergleich der Sensoren RH61 (Kreis), RH62 (Stern) und RH01 (Fadenkreuz)



Häufigkeiten der Holzfäule

Vergleich der Sensoren RH61 (Kreis), RH62 (Stern) und RH01 (Fadenkreuz)

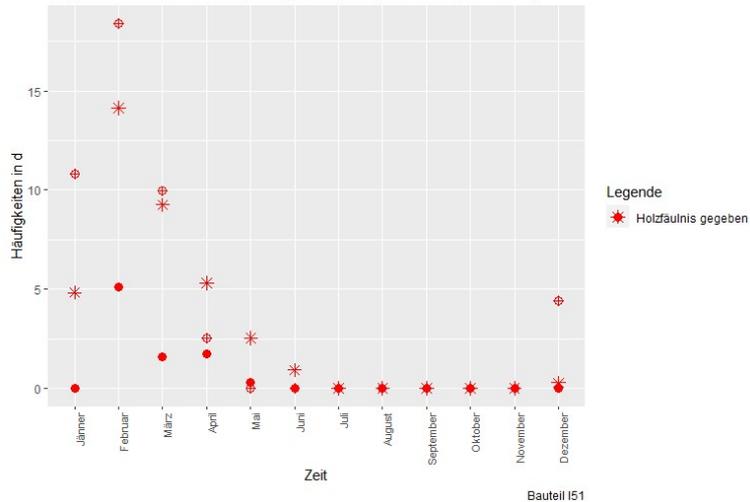


Abbildung 135: Monatsmittelwerte des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule von RH61, RH62 und RH01

Aus den Jahresmittelwerten in Abbildung 136 ist ein steigender Trend des Schimmelpilzwachstums erkennbar. Bei der Holzfäule ist zuerst eine Steigerung der Dauer erkennbar, welche bis 2013 anhält. Danach sinken die Werte bis 2015 ab.

RH61 ist meist sowohl beim Schimmel als auch bei der Holzfäule unter RH62 und RH01. Außerdem ist erkennbar, dass die Entstehung von Holzfäule bei RH61 erst ab 2014 möglich ist. In relativen Werten ausgedrückt, kann hier bei RH61 zu 43%, bei RH62 zu 54% und bei RH01 zu 53% der Zeit Schimmel entstehen. Bei der Holzfäule belaufen sich diese Werte für RH61 auf 2,5%, bei RH62 auf 1 Aus den Jahresmittelwerten in 1% und bei RH01 auf 14%.

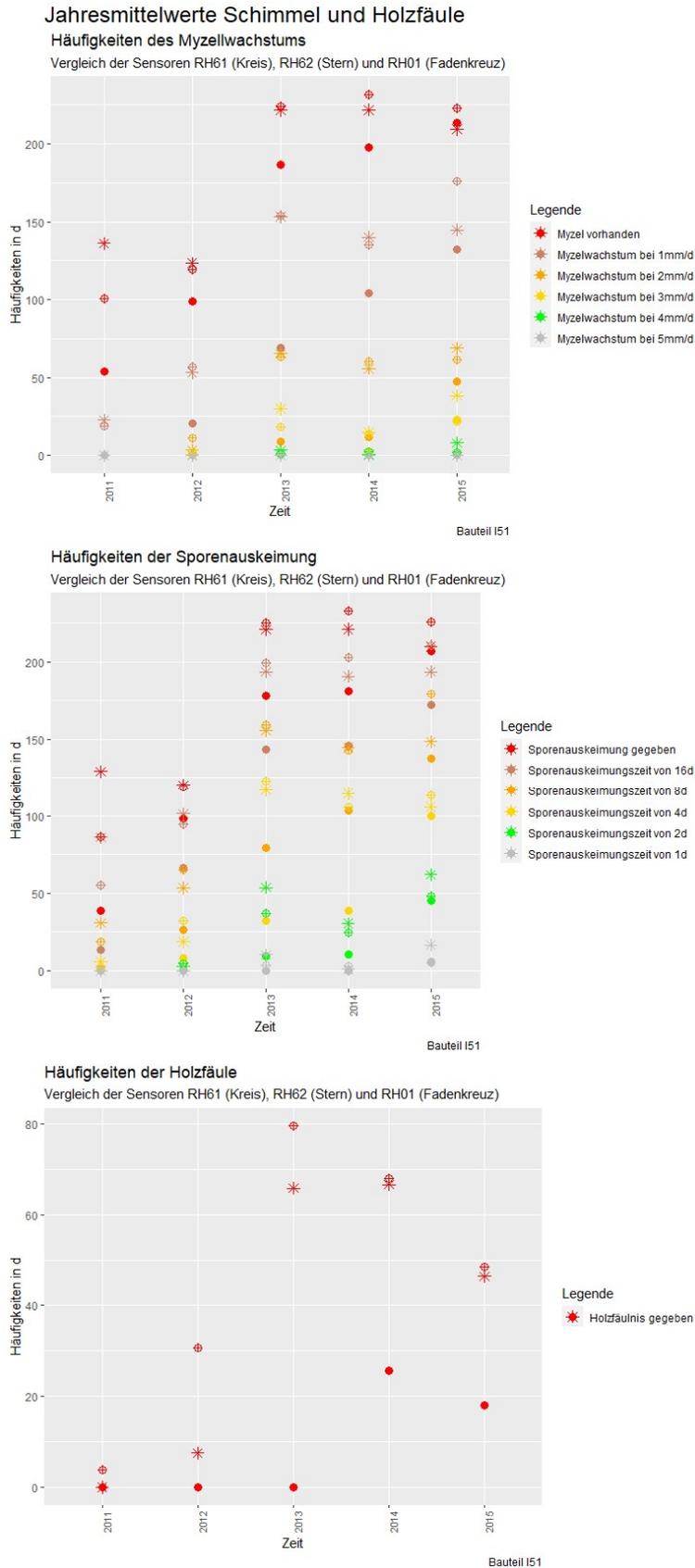


Abbildung 136: Jahresmittelwerte des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule von RH61, RH62 und RH01

Aus den Monats- und Jahresmittelwerten des Kondensates (Abbildung 137) kann man erkennen, dass es nur vereinzelt zu sehr geringen Zeiten von Kondensation kommt. Diese treten im Jänner und Februar auf, wobei der absolute Spitzenwert im Jänner bei einem Tag liegt.

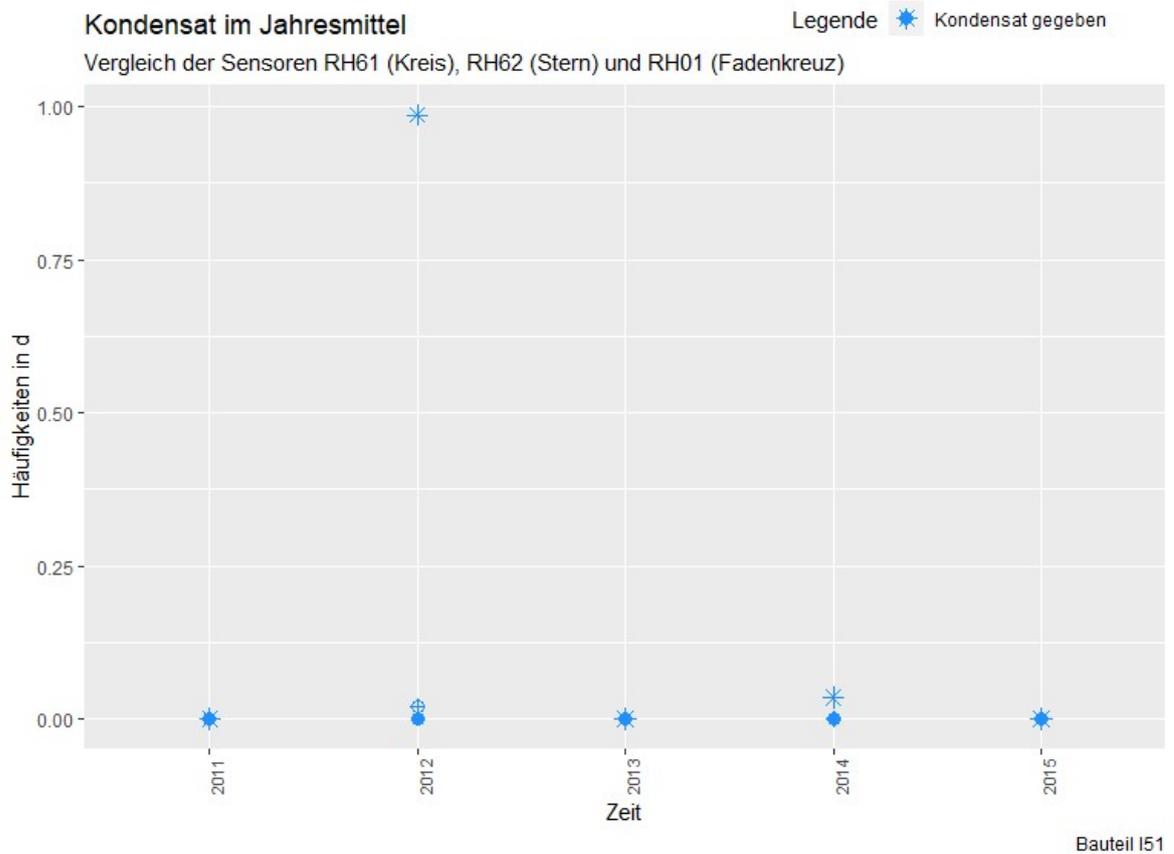
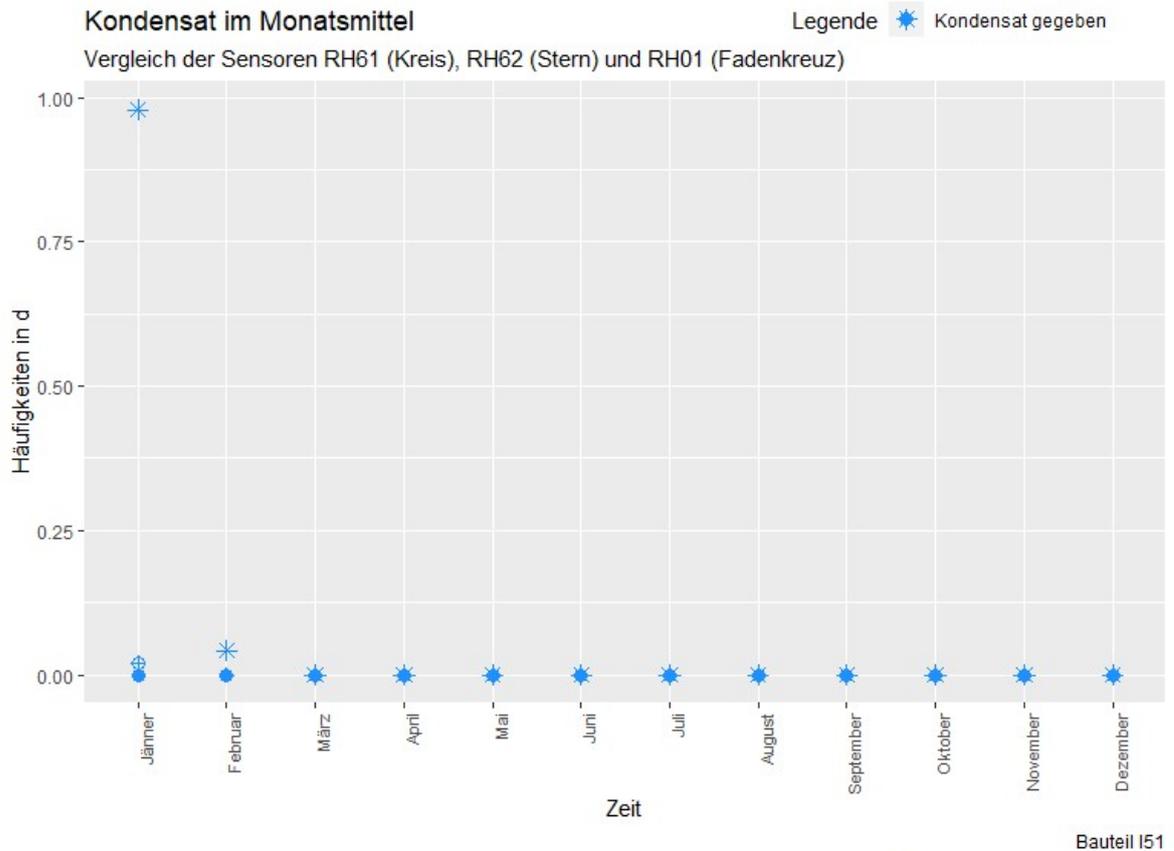


Abbildung 137: Monatsmittelwerte des Kondensats von RH61, RH62 und RH01

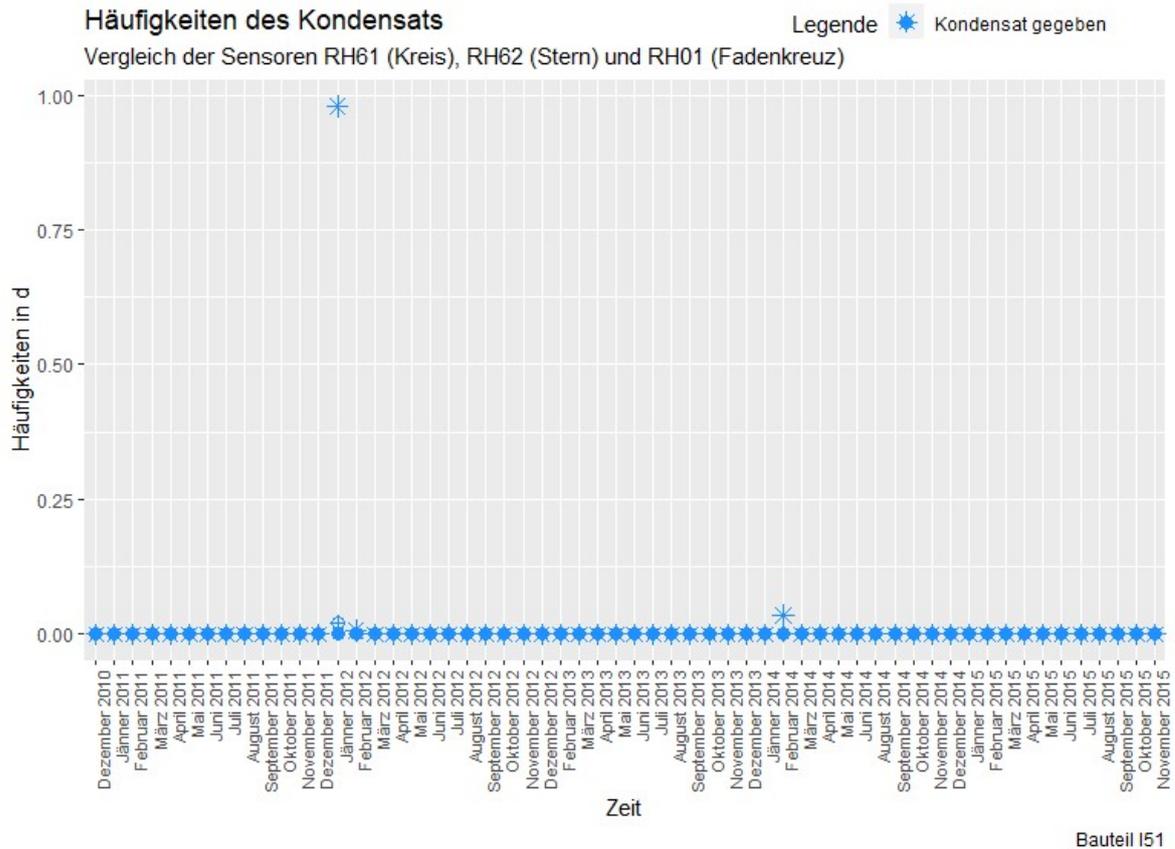


Abbildung 138: Monatsmittelwerte des Kondensats von RH61, RH62 und RH01

4.5 Temperatursensoren

Nun folgt die Untersuchung der Temperatursensoren des Bauteils I51.

4.5.1 Sensor TR01 und TR02 (rot)

Diese zwei Sensoren befinden sich unmittelbar unter der Dachhaut und zeichnen dort die Temperatur auf. Der Sensor TR01 wird durch das PV-Modul verdeckt, während TR02 nicht verdeckt wird. Die Aufzeichnung der Sensoren beginnt im 3. Quartal 2011 und endet im Dezember 2015.

In Abbildung 139 sind die gefilterten Messwerte von TR01 zu sehen. Diese sind über fünf Jahre aufgezeichnet worden. Es gibt kaum Ausreißer und nur eine Periode um den Jahreswechsel 2012/13, in dem die Daten im Bereich über 0°C scheinbar abgeschnitten sind. Die Trendlinie geht nach oben, wobei der Datensatz ab der zweiten Hälfte des letzten Aufzeichnungsjahres hohe Temperaturen im Bereich von bis zu 60°C abbildet.

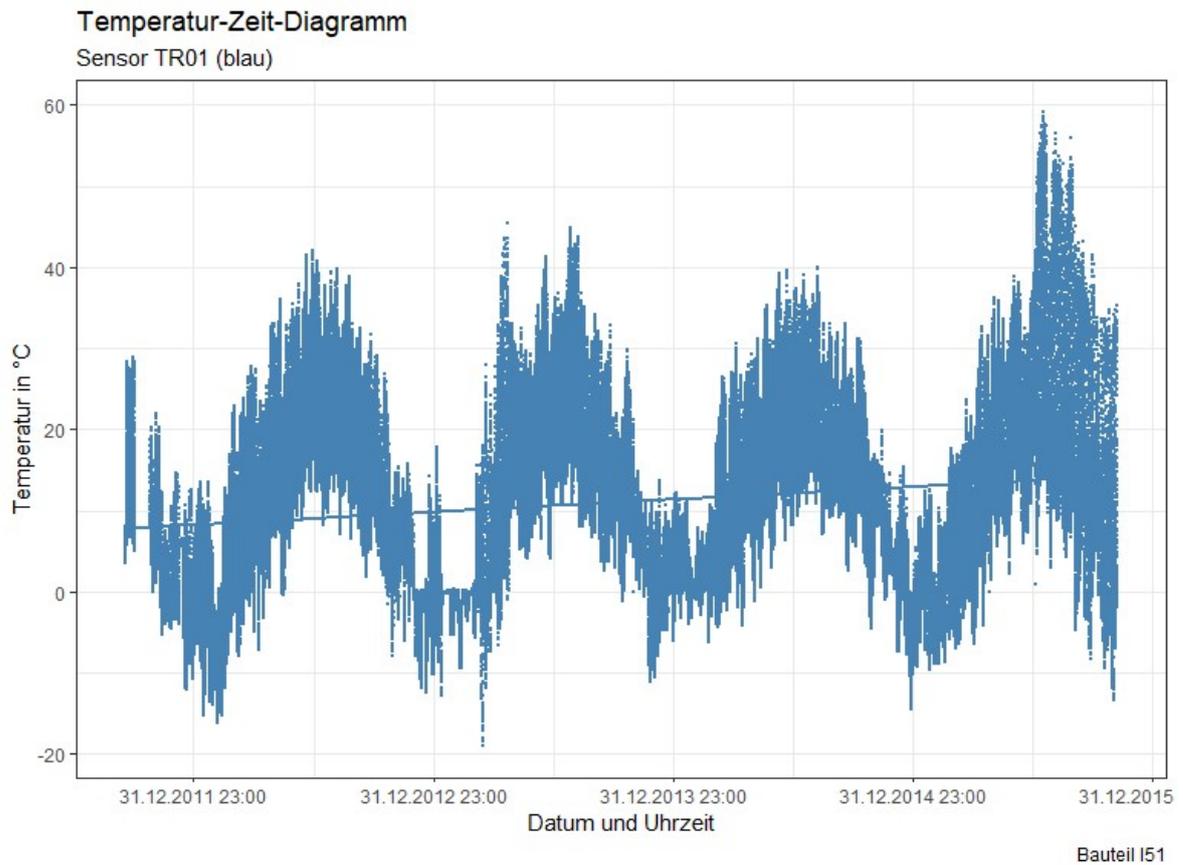


Abbildung 139: Temperatur-Zeit-Diagramm TR01 gefiltert

Aus Abbildung 140 kann man den gefilterten Temperaturverlauf des Sensors TR02 ablesen. Die Aufzeichnungsperioden sind dieselben wie bei TR01, wobei dieser Sensor jetzt nicht durch das PV-Modul verdeckt wird. Der Verlauf dieses Sensors kann nicht als gleichförmig bezeichnet werden. Die Schwankungsbreite verändert sich im Laufe der Zeit öfters. Ein paar gleichförmigere Zeiträume wurden aufgezeichnet. Der Bereich vom zweiten Quartal 2012 bis erstem Quartal 2013 sollte nicht betrachtet werden, da dieser Unregelmäßigkeiten im Verlauf erkennen lässt.

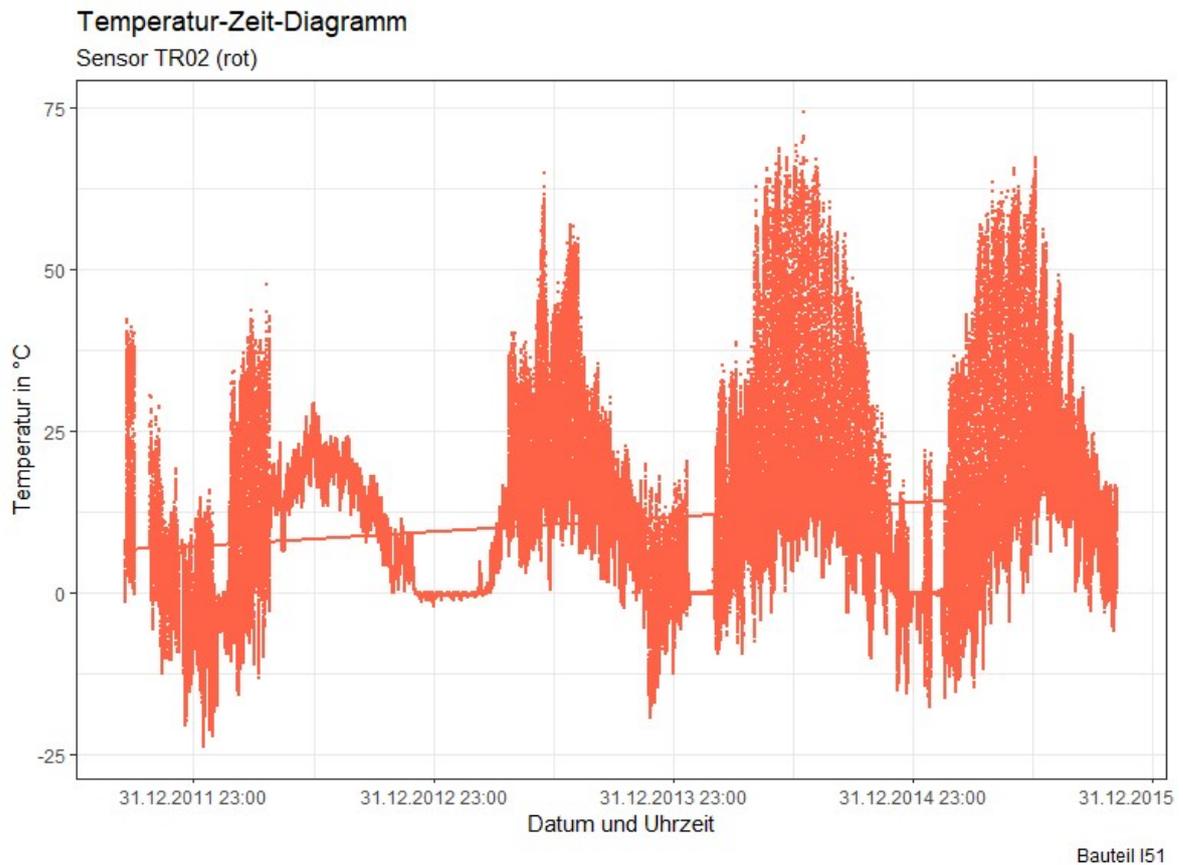


Abbildung 140: Temperatur-Zeit-Diagramm TR02 gefiltert

In Abbildung 141 werden die Messdaten der Sensoren TR01 und TR02 überlagert dargestellt, um anhand dieses Vergleichs den Einfluss des PV-Moduls erkennen zu können. Da die Daten von März 2012 bis März 2013 nicht repräsentativ sind, werden nur die übrigen Bereiche miteinander verglichen. Das PV-Modul verringert die Streuung der Temperaturen, wobei die mittleren Temperaturen sehr ähnlich bleiben, was an den nahe beieinanderliegenden Trendlinien abzulesen ist. Erst ab Mitte 2014 haben die Temperaturverläufe eine ähnliche Schwankungsbreite.

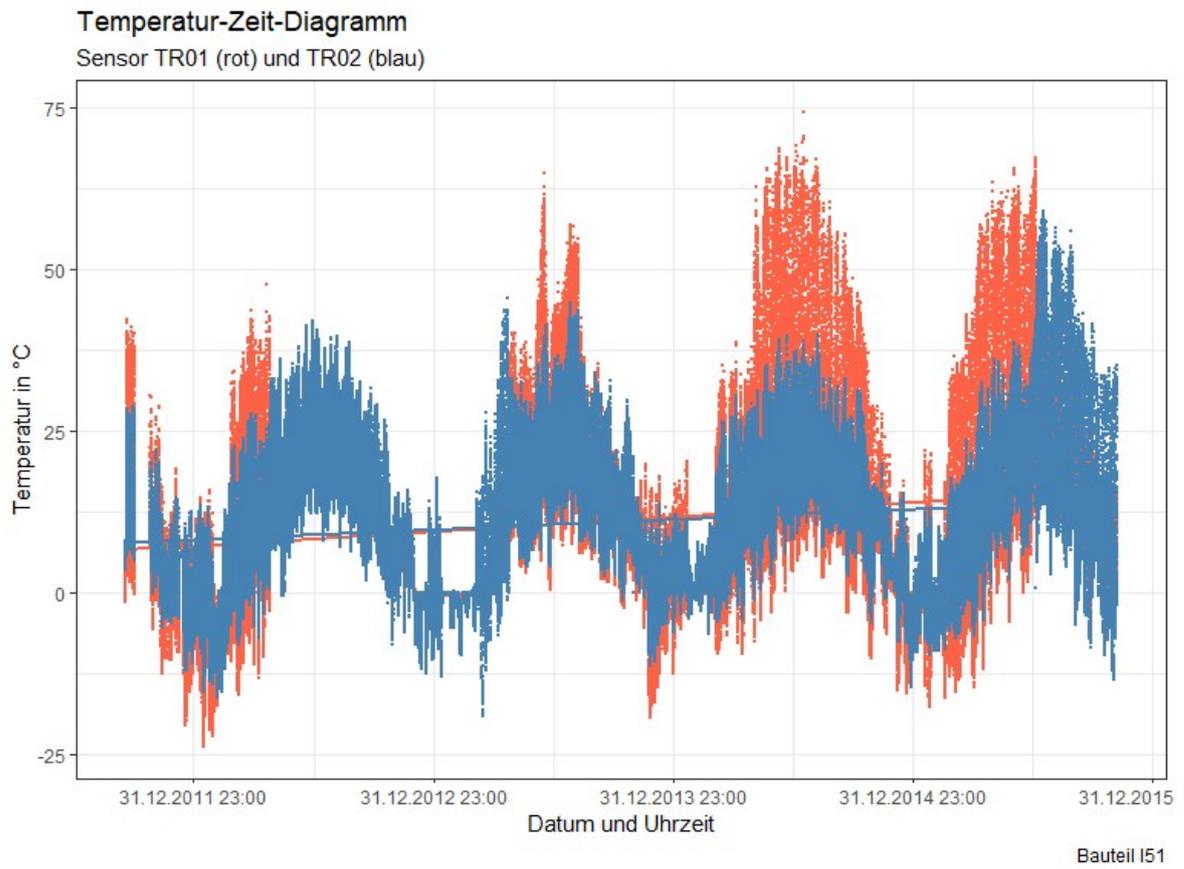


Abbildung 141: Temperatur-Zeit-Diagramm TR01 und TR02 gefiltert

4.5.2 Sensor I51T und I51RH (rot)

Die Sensoren I51T und I51RH sind raumseitig befestigt. Während I51T lediglich die Temperatur misst, misst I51RH die relative Luftfeuchtigkeit und die Temperatur im Raum. Die beiden Temperaturverläufe werden hier miteinander verglichen.

Beim direkten Vergleich der beiden Datensätze (Abbildung 142) kann man erkennen, dass die beiden Verläufe fast ident miteinander sind. Die zwei wesentlichen Unterschiede belaufen sich auf die Neigung und Lage der Trendlinie und die aufzeichnungsfreien Bereiche. Diese Unterschiede scheinen sehr miteinander verbunden zu sein, da man die Neigung der Trendlinie durch die leeren Bereiche, als auch durch den etwas höher liegenden Mittelwert erklären kann. Der Mittelwert von I51T liegt bei 22,24 °C, während der Mittelwert von I51RH_T bei 22,75 °C liegt.

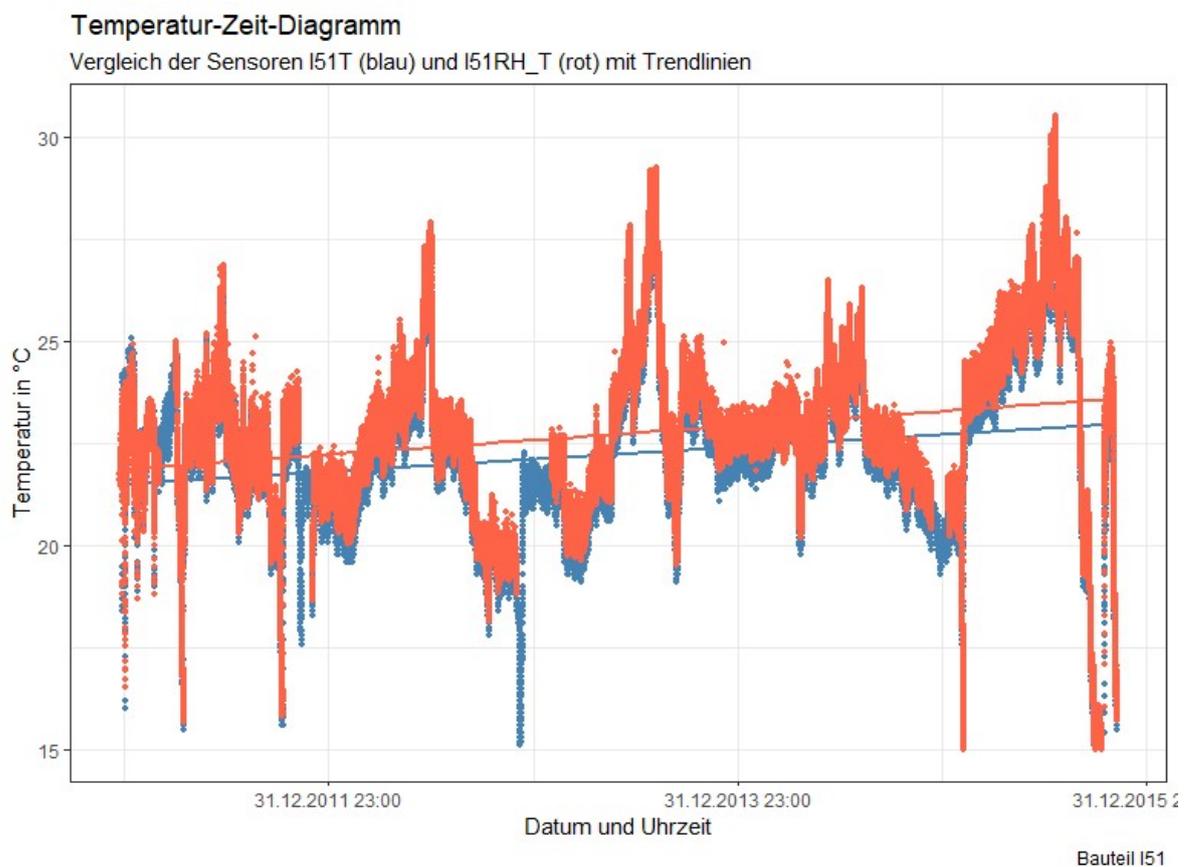


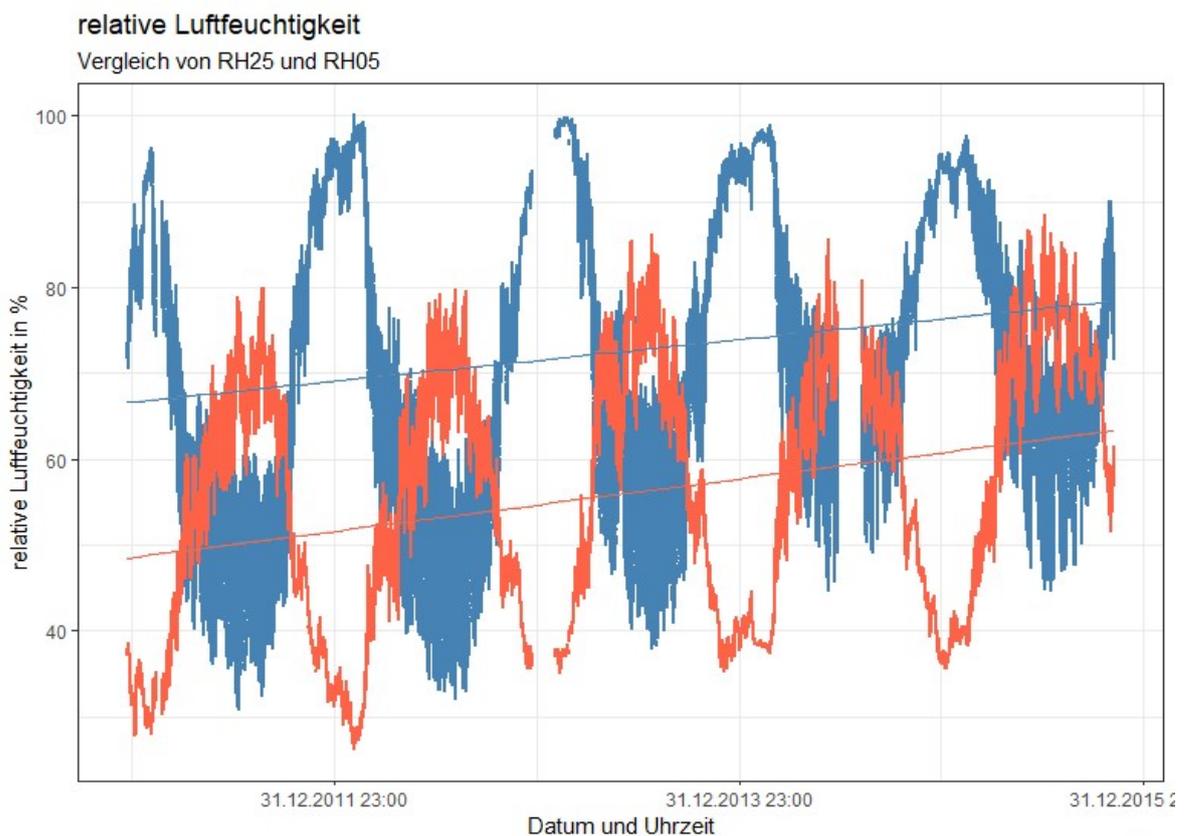
Abbildung 142: Vergleich der gefilterten Sensoren I51T_T und I51RH_T

4.6 Wärmestromuntersuchung

Aus dem Vergleich des inneren mit dem äußeren Sensor derselben Position kann man auf den Wärmestrom schließen, welcher durch die Wärmedämmung fließt. Zunächst wird die Herleitung durchgeführt, welche durch die Sensoren RH05 und RH25 veranschaulicht wird. Die Wärmestromuntersuchung wird zuerst mit konstanter Wärmeleitfähigkeit durchgeführt und danach mit feuchtigkeits- und temperaturabhängiger Wärmeleitfähigkeit, um so deren Einfluss auf die Wärmeströmung und somit auch die Wärmeverluste zu beleuchten.

4.6.1 Wärmestromuntersuchung bei konstantem U-Wert an den Sensorpositionen

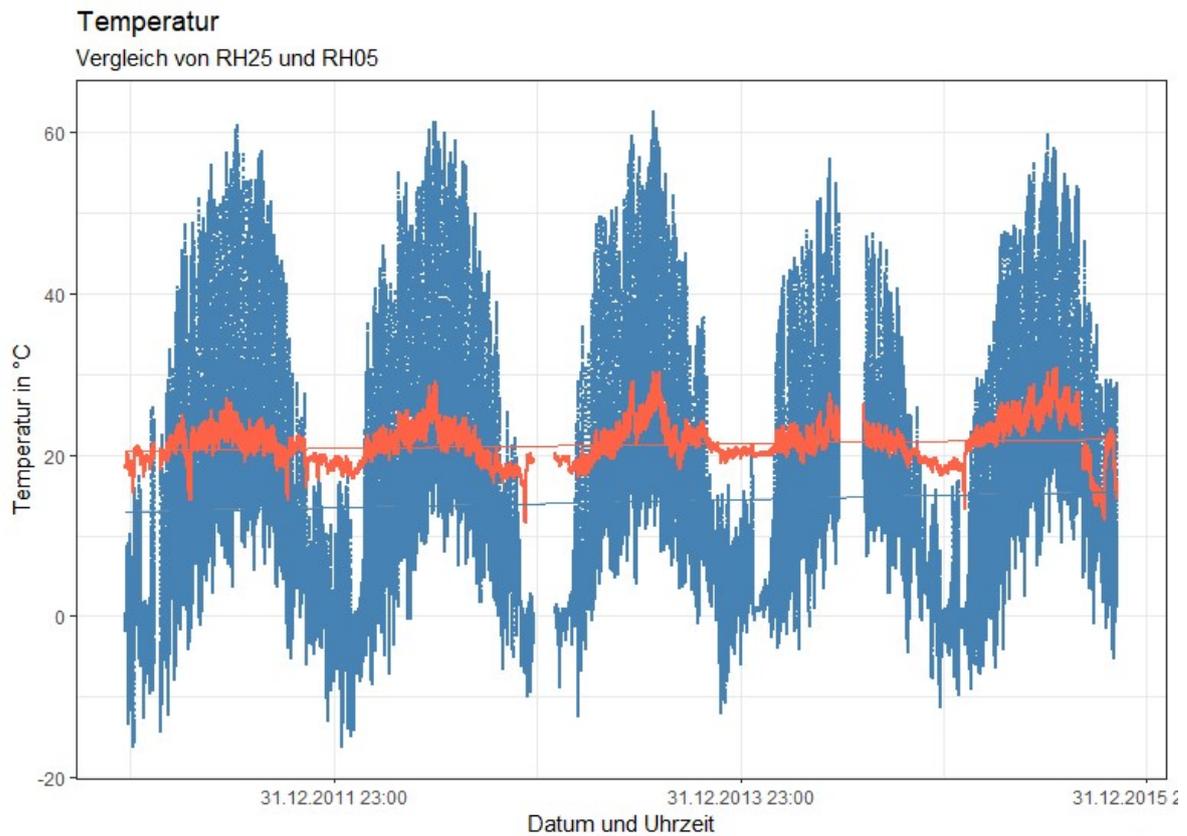
Im direkten Vergleich (Abbildung 143) der relativen Luftfeuchtigkeit (innen und außen) an der 5. Sensorposition, also RH05 und RH25, sieht man die reziproke Proportionalität zwischen der inneren relativen Luftfeuchtigkeit und der äußeren. Die zwei linearen Trendlinien zeigen an, dass sich die beiden relativen Luftfeuchtigkeiten zunehmend in ihrem Mittel, wenn auch nur wenig, aneinander angleichen und dass der Mittelwert von Jahr zu Jahr bei beiden steigt.



151

Abbildung 143: Vergleich der Sensoren RH05_RH und RH25_RH

In Abbildung 144 sind die Temperaturen eingetragen und man kann erkennen, dass der Verlauf im Innenraum fast konstant ist, wobei die Außentemperaturen stark fluktuieren. Die Trendlinien beider Sensoren weisen eine leichte Steigung auf, wobei sie trotzdem fast konstant sind.



151

Abbildung 144: Vergleich der Sensoren RH05_T und RH25_T

Die Wärmestromdichte wird wie folgt berechnet:

Formel 12: Berechnung des Wärmestroms

$$q = \frac{\lambda}{d} \cdot (\theta_1 - \theta_2)$$

Darin sind:

- q Wärmestromdichte in W/m²
- λ Wärmeleitfähigkeit in W/(m·K)
- d Schichtdicke in m
- θ_1 Oberflächentemperatur Schichtgrenze 1 in K
- θ_2 Oberflächentemperatur Schichtgrenze 2 in K

Dieser berechnete Wärmestrom wird beispielhaft in Abbildung 145 (RH05) dargestellt, wobei zusätzlich drei Linien eingefügt werden. Die schwarze durchgehende Linie zeigt den Nullpunkt an. Wenn die Werte oberhalb der Nulllinie sind, strömt die Wärme von innen nach außen (positive Wärmeströmung) und wenn sie unterhalb sind, strömt Wärme von außen nach innen (negative Wärmeströmung). Dann werden zwei Trendlinien eingefügt, die eine weist einen linearen Verlauf auf, während die andere auf einer multiplen Regression der allgemeinen Sinusfunktion basiert. Die lineare Trendlinie dient dazu, eine Tendenz oder einen Trend zu erkennen. Die Trendlinie der Sinusregression zeigt den Wärmestromverlauf sinusförmig ohne Schwankungsbreiten an. Dieser Sinusverlauf ist

nützlich, um die Zeit einschätzen zu können, wann eine negative bzw. positive Wärmeströmung erfolgt.

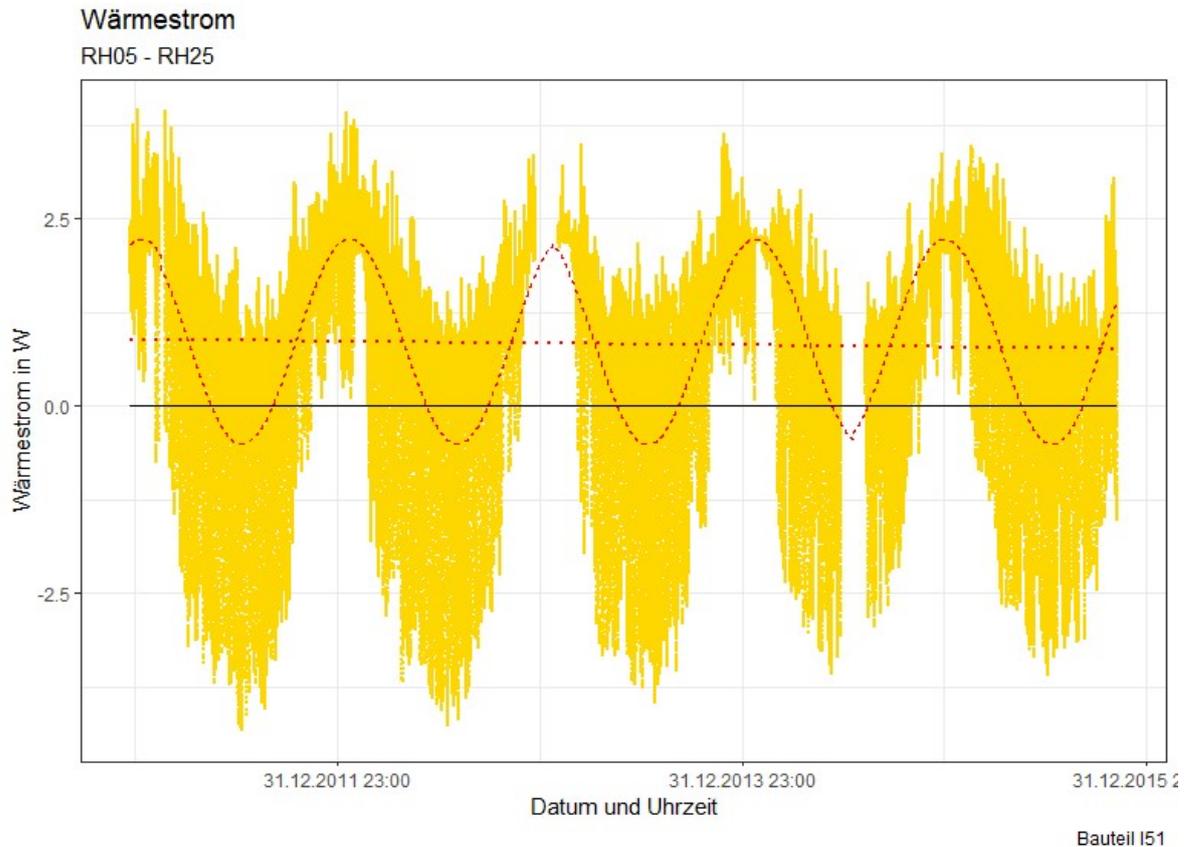


Abbildung 145: Wärmestrom der Sensorposition 5

Im obersten Diagramm der Abbildung 147 werden die Sensorpositionen 1 und 2 (siehe Abbildung 146) miteinander verglichen. Der Mittelwert des Wärmestromes der Position 2 ist um ca. ein Achtel Watt größer als der Mittelwert der Position 1. Dies kann aus der linearen Trendlinie abgeleitet werden. An den Sinuswellen kann man erkennen, dass diese sich im Sommer, wenn die Wärme von außen nach innen strömt, sehr ähnlich sind. Im Winter zeigen die Spitzen eine Differenz um bis zu einem halben Watt. Das Verhältnis der Differenz zwischen Position 1 und 2 sind bei den Maximalpunkten annähernd gleich. Daraus kann geschlossen werden, dass die Position 1 besser gedämmt ist als die Position 2.

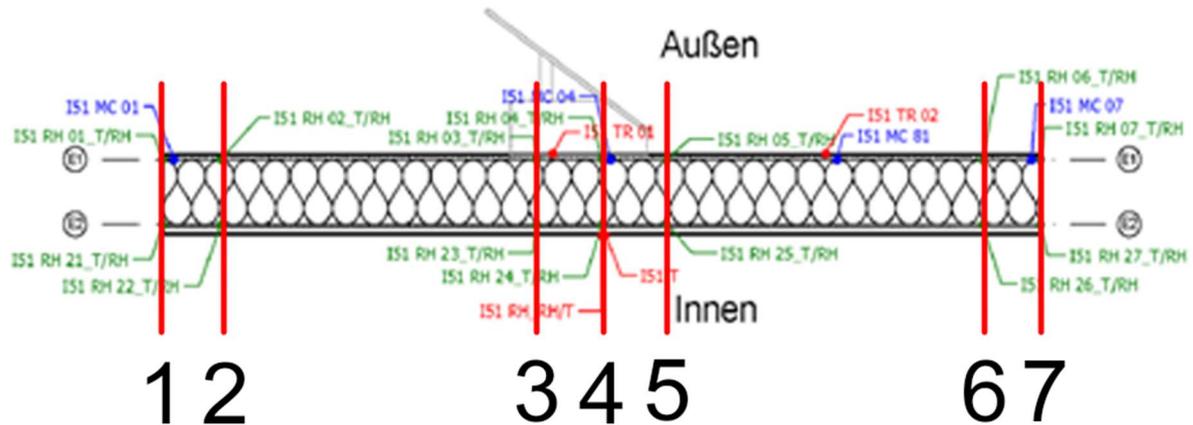


Abbildung 146: Schnitt des Aufbaus mit den Wärmestrom-Positionen

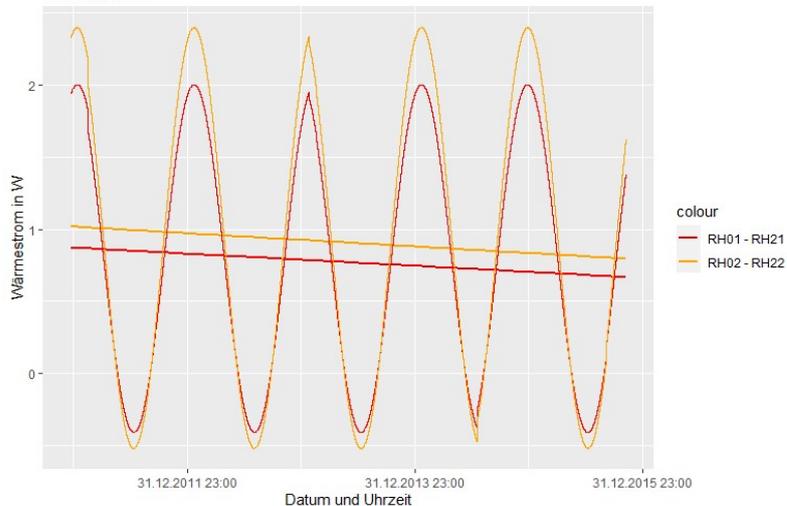
Beim mittleren Diagramm (Abbildung 147) werden die Positionen 3, 4 und 5 behandelt. Die Positionen 3 und 4 sind sich sehr ähnlich, wobei bei beiden Positionen die Wärmeströme im Mittel keine negativen Werte abbilden. Bei der fünften Position sind die Werte im Winter ein wenig über den anderen, wogegen sie im Sommer deutlich unter den Positionen 3 und 4 liegen. Dieses Verhalten zeigt, dass durch das PV-Modul der Wärmestrom im Sommer reduziert wird. Die tiefere Seite des PV-Moduls, also Position 4, zeigt im Sommer einen geringeren positiven Wärmestrom und im Winter einen größeren negativen Wärmestrom. Daraus kann man ableiten, dass die Dämpfung der Temperaturhochwerte bei Position 4 schwächer ist und der dämmende Effekt im Winter stärker ist.

Aus dem untersten Diagramm kann man erkennen, dass die Positionen 6 und 7 nahezu ident sind, wobei die Unterschiede sich mit dem Extremstellen der Außentemperatur vergrößern. Die Position 6 weist eine stärkere Schwankung auf als die Position 7.

Überlagerungen der Wärmeströme

Wärmeströme linearisiert

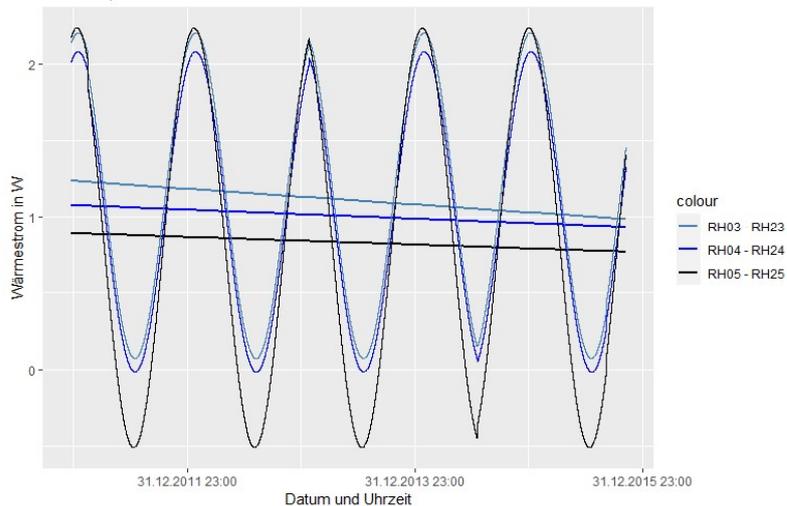
Position 1 und 2



Bauteil I51

Wärmeströme linearisiert

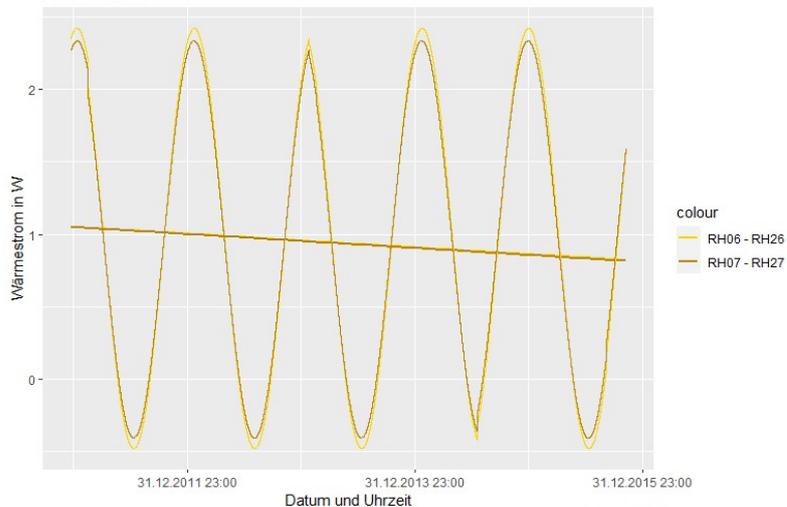
Position 3, 4 und 5



Bauteil I51

Wärmeströme linearisiert

Position 6 und 7



Bauteil I51

Abbildung 147: Vergleich der Sinuswellen und der linearen Trendlinien der Wärmeströme

4.6.2 Wärmestromuntersuchung bei feuchte- und temperaturabhängigen U-Wert an den Sensorpositionen

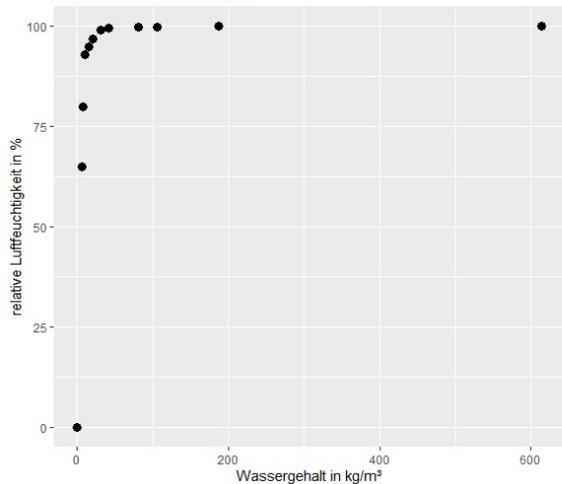
Die Wärmeleitfähigkeit des Aufbaus kann als konstant betrachtet werden, jedoch kann die Wärmeleitfähigkeit des Materials durch äußere Umstände wie Wassergehalt und Temperatur beeinflusst werden. Dieser Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung kann aus WUFI entnommen werden und wird in Abbildung 148 dargestellt. Dabei wird zuerst, da die Wassergehaltsmessung nicht zuverlässig erscheint (Siehe Kapitel 88), von der relativen Luftfeuchtigkeit (Abbildung 148 Grafik oben) auf den dadurch entstehenden Wassergehalt umgerechnet. Dieser wird anschließend, in der mittleren Grafik, in die Wärmeleitfähigkeit umgerechnet. Zusätzlich verändert die Temperatur ebenfalls die Wärmeleitfähigkeit des Materials. Diese Veränderung wird von der Basis-Wärmeleitfähigkeit abgezogen, um die Veränderung zu erhalten. Die Veränderung der Wärmeleitfähigkeit aufgrund der Temperatur wird anschließend zur Wärmeleitfähigkeit des Wassergehaltes addiert, wobei diese Wärmeleitfähigkeit als dynamische Wärmeleitfähigkeit bezeichnet wird. Dieser Ablauf geschieht sowohl für den Außen- als auch den innenliegenden Sensor, um dann die beiden dynamischen Wärmeleitfähigkeiten zu mitteln. Wichtig anzumerken ist, dass die Punkte in der folgenden Grafik lediglich von WUFI generiert wurden.

Bei dieser Art der Berechnung der Wärmeleitfähigkeit ist es wichtig anzumerken, dass diese eine reine Annäherung ist. Die beiden Programme (WUFI und Delphin) berechnen die temperatur- und feuchtigkeitsabhängige Wärmeleitfähigkeit auf verschiedene Weise [18]. Die genaue Interaktion zwischen Temperatur und Feuchtigkeit in Bezug auf die Wärmeleitfähigkeit ist ein Forschungsthema für die Zukunft.

Tabellen zur Berechnung der Wärmeleitfähigkeit

Feuchtespeicherfunktion

ISOCELL Zellulosedämmstoff

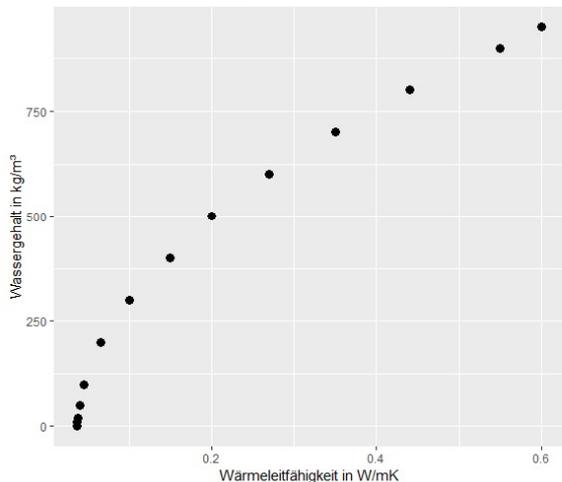


Angaben aus Wufi entnommen

	RH	MC
1	0	0
2	65	6.1
3	80	7.9
4	93	10.2
5	95	14.7
6	97	20.1
7	99	30.4
8	99.5	41.2
9	99.9	80.7
10	99.95	106
11	99.99	187
12	100	614

Wärmeleitfähigkeit, feuchteabhängig

ISOCELL Zellulosedämmstoff

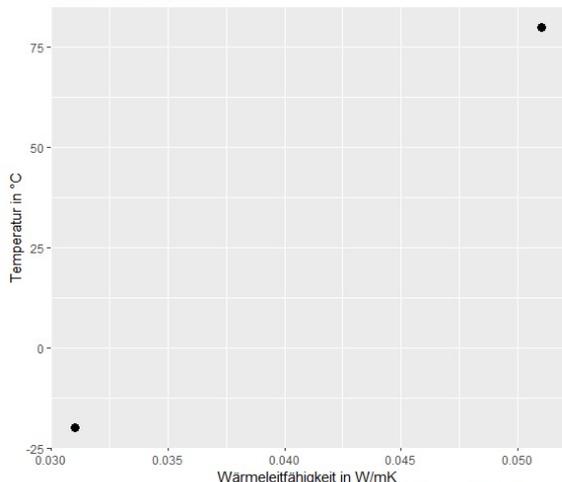


Angaben aus Wufi entnommen

	MC	lambda
1	0	0.037
2	10	0.037
3	20	0.038
4	50	0.04
5	100	0.045
6	200	0.065
7	300	0.1
8	400	0.15
9	500	0.2
10	600	0.27
11	700	0.35
12	800	0.44
13	900	0.55
14	950	0.6

Wärmeleitfähigkeit, temperaturabhängig

ISOCELL Zellulosedämmstoff



Angaben aus Wufi entnommen

	Temp	lambda
1	-20	0.031
2	80	0.051

Abbildung 148: Tabellen zur Berechnung der Wärmeleitfähigkeit auf Basis der generierten (Quelle: WUFI)

Diese gemittelten, dynamischen Wärmeleitfähigkeiten werden dann betrachtet (Abbildung 149, oberstes Diagramm). In dieser Abbildung wird die konstante, die feuchtigkeitsabhängige und die dynamische Wärmeleitfähigkeit betrachtet. Die feuchteabhängige Veränderung beträgt bei Position 1 (RH01 – RH21) meist 0,002 W/mK. Die Veränderung, die durch die Temperatur auftritt, begrenzt sich auf ca. 0,003 W/mK.

Im mittleren Diagramm sind die U-Werte der Mindestanforderung nach [11] und [12] eingetragen:

- $U1 = 0.73 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($R1 = 1.2 \text{ m}^2\text{K/W}$, nach [11])
- $U2 = 1.39 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($R2 = 0.55 \text{ m}^2\text{K/W}$, nach [11])

Und der U-Wert für Decken gegen Außenluft nach [13]:

- $U3 = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$

Die Werte U1 und U2 werden in der DIN dazu benutzt, Mindestwerte für die hygienischen und gesundheitlichen Anforderungen festzulegen. U1 wird aus einer aktuelleren Fassung entnommen, wobei bei jedem U-Wert, der unter U1 liegt, angenommen werden kann, dass die hygienischen und gesundheitlichen Anforderungen des Innenraums, vor allem in Bezug auf Schimmelpilz, erfüllt werden. Werte zwischen U1 und U2 dienen dazu den grenzwertigen Zustand des Aufbaus darzustellen, indem es fraglich ist, ob es nicht zu einer Vernachlässigung der Anforderungen kommt. Wenn der U-Wert größer als U2 ist, kann davon ausgegangen werden, dass diese Anforderungen nicht erfüllt werden können. U3 ist der aus energiesparenden Gründen notwendige U-Wert und wird hier als Vergleichswert eingefügt, da dieser konstante U-Wert bei Neubauten nicht überschritten werden darf. Aus diesen ist ersichtlich, dass es durch die temperatur- und feuchtigkeitsabhängige Wärmeleitfähigkeit zu keiner Überschreitung des U-Wertes dieser Sensorposition kommt. U1, U2 und U3 werden bei allen Positionen überprüft, wobei sie bei keiner Position überschritten werden.

Im untersten Diagramm wird der stationäre U-Wert ($0,01167 \text{ W/m}^2\text{K}$) mit dem dynamischen aufgetragen. Die Auswirkungen aus Temperatur und Materialfeuchtigkeit belaufen sich dabei auf ca. 16 %.

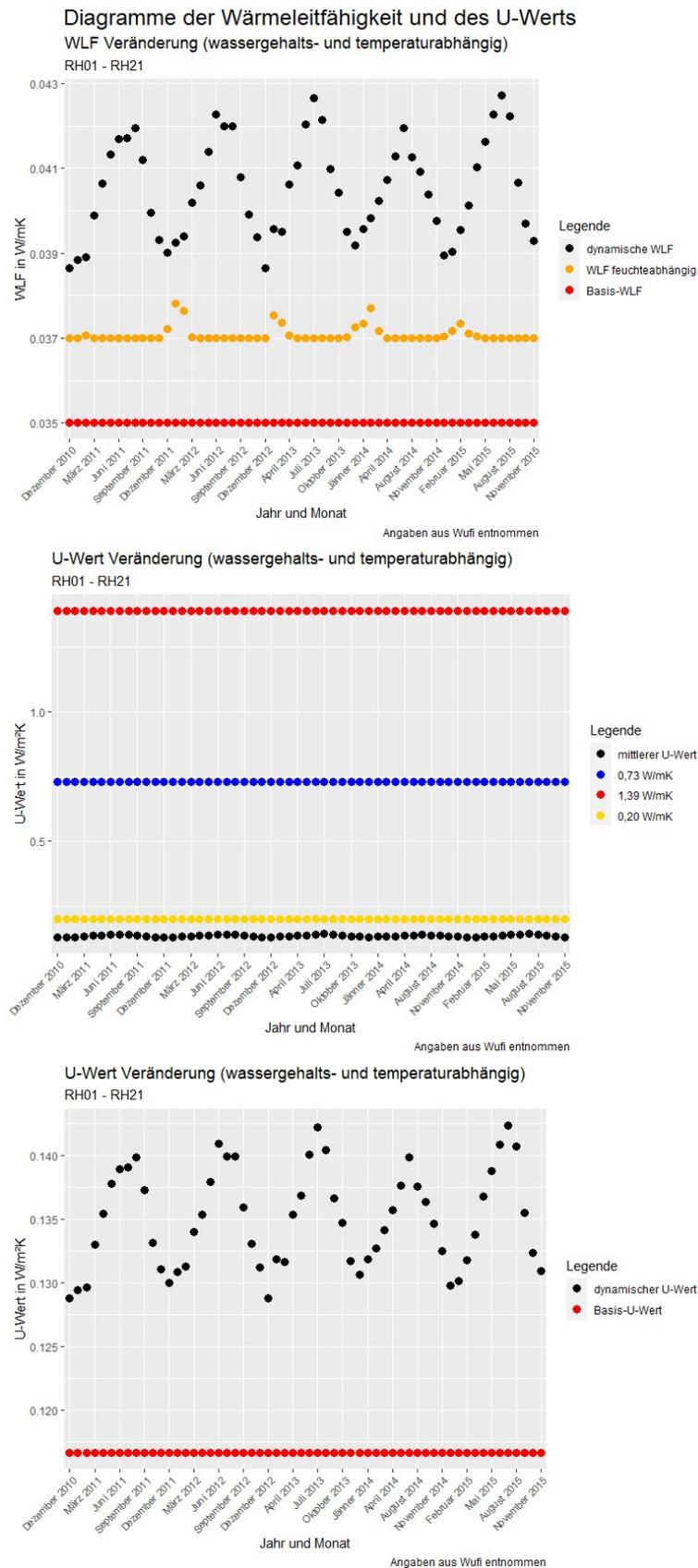


Abbildung 149: Diagramme der Wärmeleitfähigkeit und des U-Werts Position 1 (RH01 – RH21)

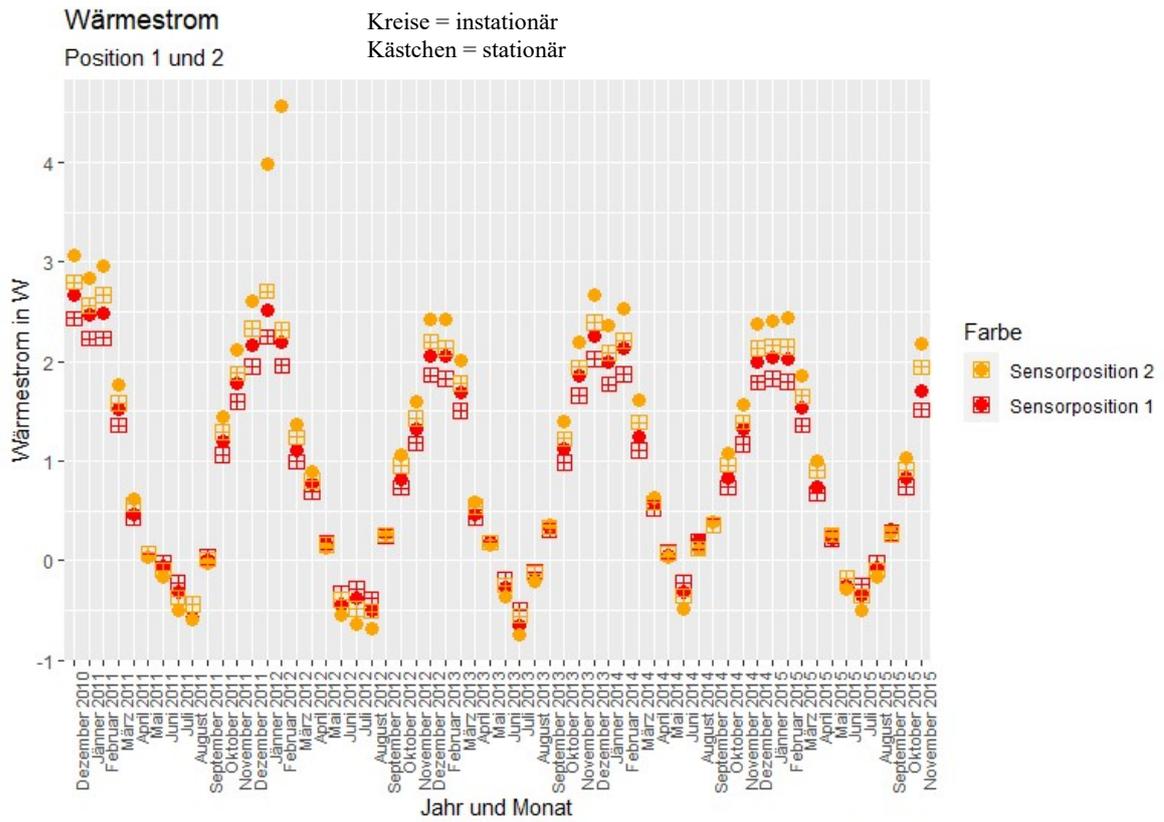
Ein Vergleich der konstanten Wärmeströme mit den dynamischen wird in Abbildung 150 dargestellt. Die Wärmeströme der konstanten U-Werte werden durch die Kästchen, während die der dynamischen durch die ausgefüllten Kreise symbolisiert werden.

In der obersten Abbildung werden Position 1 und 2 abgebildet. Da die Wärmeströme direkt mit den U-Werten zusammenhängen, sind diese je näher sie gegen Null gehen, nah beieinander bzw. überlappen sich sogar. Umso höher die Wärmeströme sind, desto weiter entfernen sich die dynamischen von den konstanten. Der dynamische Wärmestrom liegt meist, bis auf den Jänner und Februar 2012, nahe beim konstanten Wärmestrom. In diesen beiden Monaten herrschten für die Position 2 Bedingungen, die den Wärmestrom um mehr als ein Drittel erhöhten.

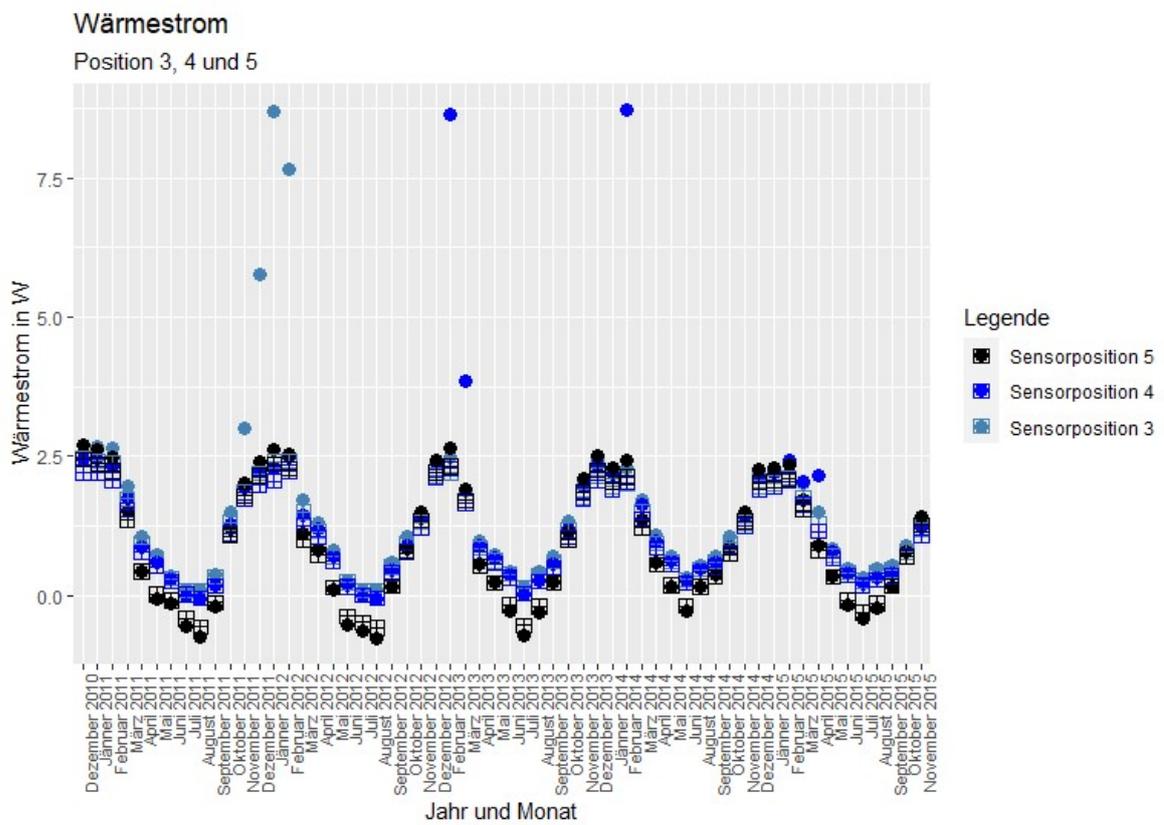
In der mittleren Abbildung werden die Positionen 3, 4 und 5 betrachtet. Auffallend hier sind die vereinzelt Punkte der dritten und vierten Position in den Wintermonaten, da diese stark, z.B.: im Februar 2013 um bis zu 200 %, über dem konstanten Wärmestrom liegen.

In der unteren Abbildung werden die Positionen 6 und 7 abgebildet. Bei beiden treten im Winter vereinzelt Werte der dynamischen Wärmeströme auf, die dreimal so groß sind wie die der zugehörigen konstanten Wärmeströme.

Die Wertebereiche der drei Grafiken untereinander variieren nicht allzu stark. Sie liegen überwiegend in einem Bereich zwischen $-0,5\text{ W}$ und $+2,5\text{ W}$. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die dynamischen Wärmeströme überwiegend um bis zu 10% von den statischen abweichen. Vor allem im Winter sind jedoch auch weitaus größere Abweichungen möglich.



Bauteil I51



Bauteil I51

Abbildung 150: Wärmeströme mit variablen und konstanten U-Wert

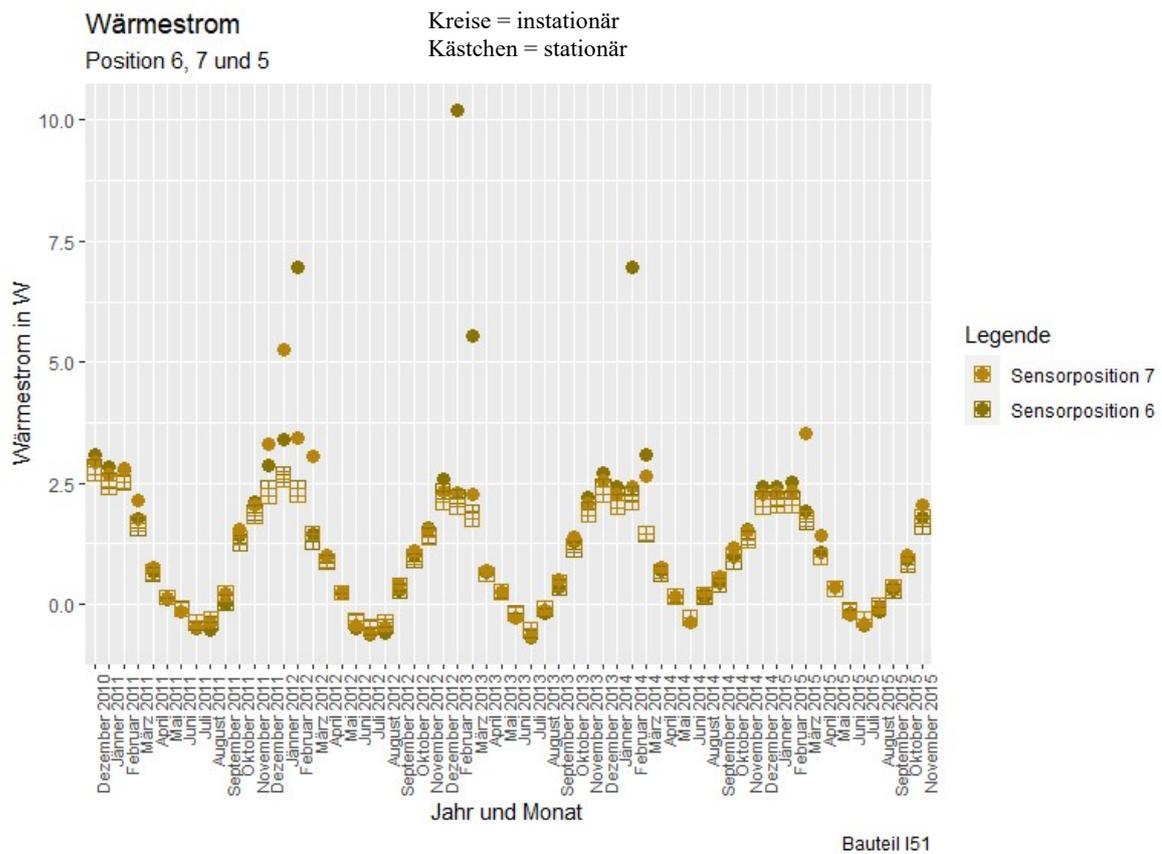


Abbildung 151: Wärmeströme mit variablen und konstanten U-Wert

In Tabelle 15: Mittelwerte und Standardabweichungen der dynamischen Wärmeströme sind die Mittelwerte und die Standardabweichungen der Wärmeströme, welche über die dynamische Wärmeleitfähigkeit berechnet wurden, über den gesamten Zeitraum abgebildet.

Tabelle 15: Mittelwerte und Standardabweichungen der dynamischen Wärmeströme

Sensorposition	Mittelwert [W]	Standardabweichung [W]
1	0,843	1,526
2	1,040	1,962
3	1,536	2,007
4	1,390	1,903
5	0,898	1,757
6	1,386	2,646
7	1,196	2,095

Aus diesem in Zusammenhang mit den in Abbildung 152 ersichtlichem beispielhaften Ausschnitt, der mittels Sinusregression gebildeten Wärmeströme, kann sich ein Gesamtbild über das Verhalten der Wärmeströme gemacht werden. Zuerst erkennbar ist, dass die dritte und vierte Position keine bzw. kaum Werte im negativen Wärmestrombereich aufweisen. Das ist wieder die Auswirkung des PV-Moduls. Die erste Position hat im Vergleich den geringsten Mittelwert und die geringste Standardabweichung, woraus man die geringsten Wärmeverluste ableiten kann. Dadurch, dass es bei den Positionen 1 und 2

zu wenig bis gar keinen Kondensationen kommt, kann man auf einen besseren U-Wert im Bereich des Wandanschlusses schließen. Dieser U-Wert beeinflusst natürlich den PSI-Wert im Bereich der Wärmebrücke. Die höchste Standardabweichung und den zweithöchsten Mittelwert kann man bei der Position 6 erkennen. Dies kann aus einer möglichen hohen Durchfeuchtung dieses Bereiches geschlossen werden.

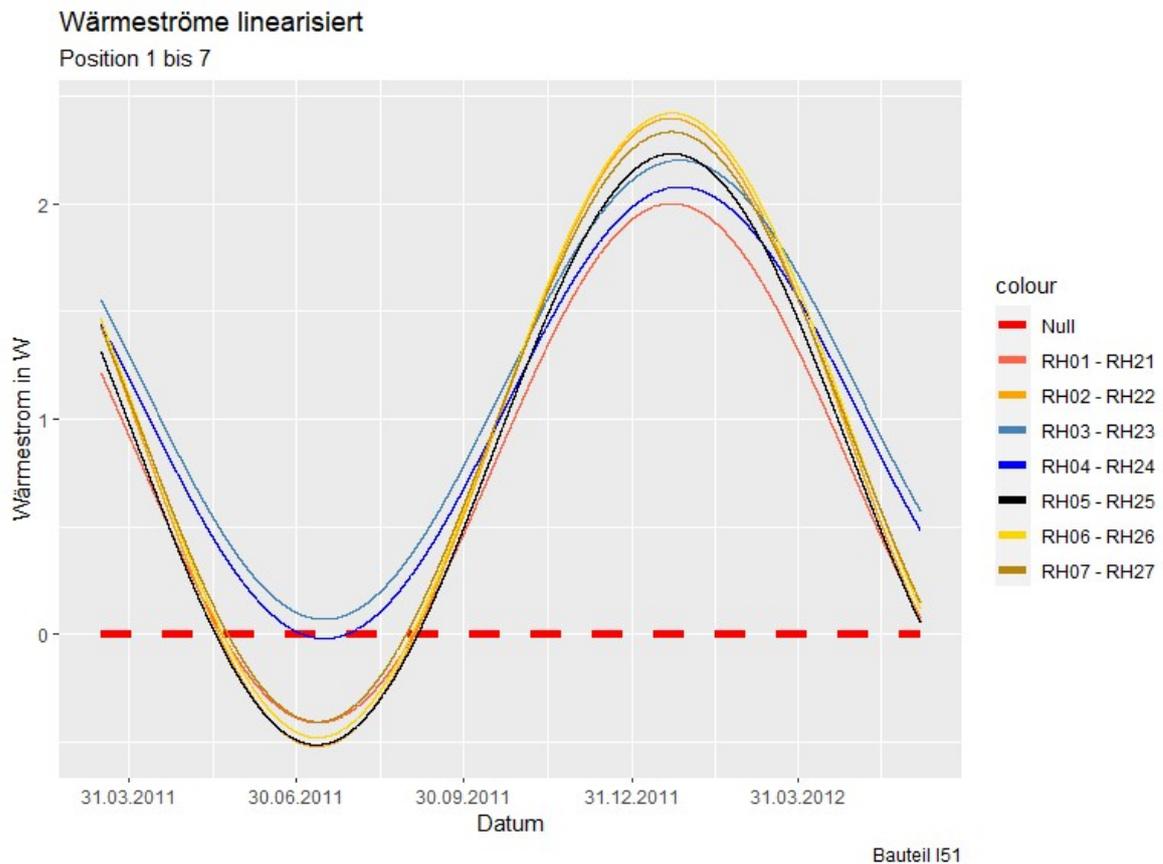


Abbildung 152: Vergleich der linearisierten Wärmeströme der Sensorpositionen 1 bis 7

Die Wärmeströme in Abbildung 152 sind mittels des konstanten U-Wertes berechnet worden und sind in Tabelle 16 in Tabellenform abgebildet. Beim Vergleich der Werte der dynamischen und konstant berechneten Wärmeströme sind die Veränderungen der Wärmeleitfähigkeit in Bezug auf Temperatur und Feuchtigkeit zusammengefasst ersichtlich gemacht.

Tabelle 16: Mittelwerte und Standardabweichungen der Wärmeströme

Sensorposition	Mittelwert [W]	Standardabweichung [W]
1	0,770	0,831
2	0,906	1,005
3	1,112	0,736
4	1,006	0,724
5	0,828	0,946
6	0,938	1,000
7	0,934	0,944

4.7 Zusammenfassung der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Resultate der Analyse der kombinierten Sensoren diskutiert. Zuerst werden die relative Luftfeuchtigkeit und die Temperaturen der Sensoren anhand von Boxplots miteinander verglichen. Danach wird die Bewertung der einzelnen Sensoren bezüglich der Bildung von Schimmelpilz, Holzfäule und Kondensat durchgeführt.

4.7.1 Vergleich der außenliegenden Sensoren

Wenn man die Temperatur- und relativen Luftfeuchtigkeitswerte nebeneinander als Boxplot visualisiert, kann man den Einfluss, der aus der Geometrie, aus den verschiedenen angrenzenden Aufbauten oder aus der PV-Anlage entsteht, analysieren. Dies wird zuerst bei den äußeren Sensoren durchgeführt.

Alle Messwerte der äußeren Sensoren (Abbildung 153) haben ihren oberen Whisker bei ca. 100% relativer Luftfeuchtigkeit. Außerdem gibt es kaum Ausreißer im unteren Bereich und keine im oberen Bereich der Werte.

Der Sensor RH01 hat einen Median bei 80% und die Breite der Quartile liegt bei ca. 10%. Beim Vergleich mit dem nebenliegenden Sensor (RH02) erkennt man, dass der Median unter diesem und die Schwankungsbreite darüber liegt. Dadurch kann man auf eine geringere Austrocknungswahrscheinlichkeit bei RH01 schließen.

Die Messwerte der Sensoren unter dem PV-Modul (RH03 und RH04) unterscheiden sich voneinander, sodass der Median und das obere Quartil von RH03 über dem RH04 und RH05 liegt. Die Streuung der Daten wird von RH03 zu RH04 und dann RH05 immer größer. Dies spricht dafür, dass die durchschnittliche Feuchtigkeitsbelastung im höheren Bereich des PV-Moduls stärker ausfallen kann. Der Sensor RH05 weist den kleinsten Median, Quartil und unteren Whisker auf, woraus man auf eine größere Austrocknungsrate schließen kann.

Im Firstbereich (RH07) ist der Median und das obere Quartil höher als bei RH06, was für eine mögliche niedrigere Austrocknungswahrscheinlichkeit und höhere Durchfeuchtung sprechen kann.

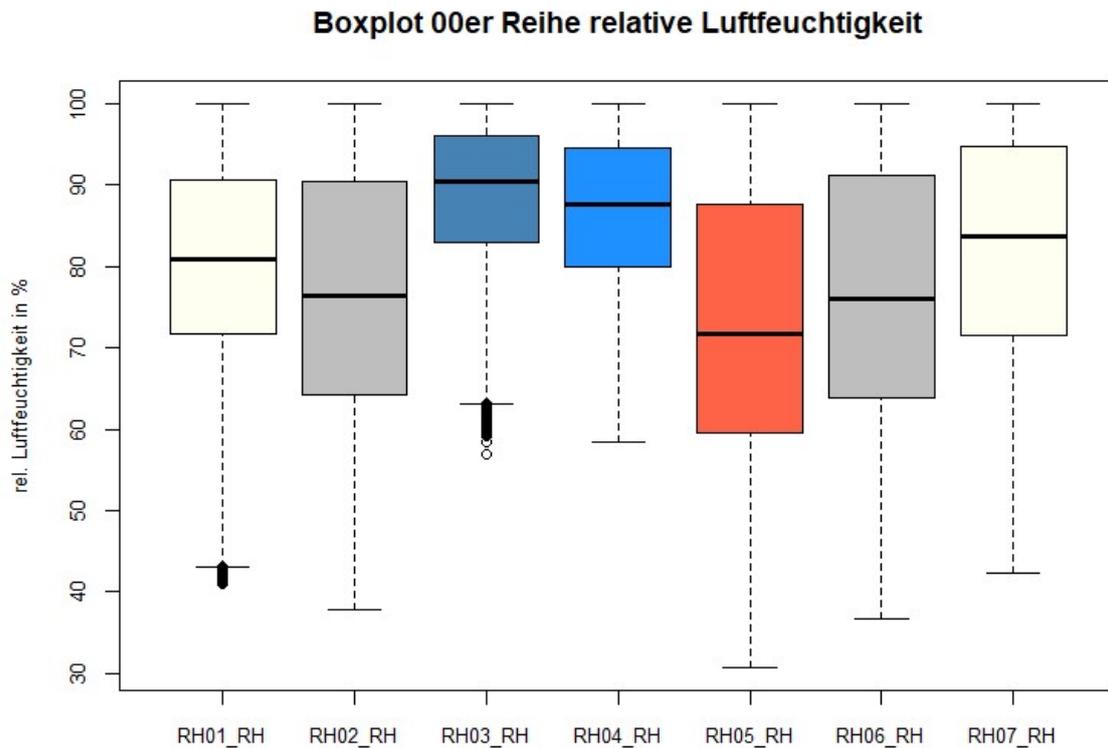


Abbildung 153: Boxplots der äußeren Luftfeuchtigkeitssensoren

Die Messwerte der Temperatur der äußeren Sensoren (Abbildung 154) haben alle keine Ausreißer im unteren Bereich und nur RH03 hat keine im oberen Bereich.

RH01 liegt im Mittel ein wenig höher als RH02 und die Streuung ist zudem bei RH01 geringer als bei RH02. Dies zeigt, dass RH01 vor Fluktuationen stärker geschützt ist als RH02. Dieser Effekt könnte durch die Geometrie und die Orientierung des Gebäudes ausgelöst werden.

Die geringste Streuung weisen die Sensoren unter den PV-Modulen (RH03 und RH04) auf. Es kann davon ausgegangen werden, dass durch das Modul die Temperaturen von RH03 und RH04 gedämpft werden. RH05 weist einen niedrigeren Median als (RH03 und RH04), aber eine größere Streuung und viele Ausreißer im oberen Temperaturbereich. Die höheren Temperaturen sprechen für ein höheres Austrocknungspotential. Das PV-Modul wirkt im Allgemeinen temperaturdämpfend, was im Sommer schützend gegen Überhitzung des Raumes und im Winter eine stärkere Auskühlung vermeidet.

Die Mediane der Sensoren RH06 und RH07 sind fast auf gleichem Niveau. Die Schwankungsbreite ist bei allerdings RH07 geringer.

Die beiden Sensoren im nahen Randbereich (RH02 und RH06) weisen wieder ähnliche Merkmale auf.

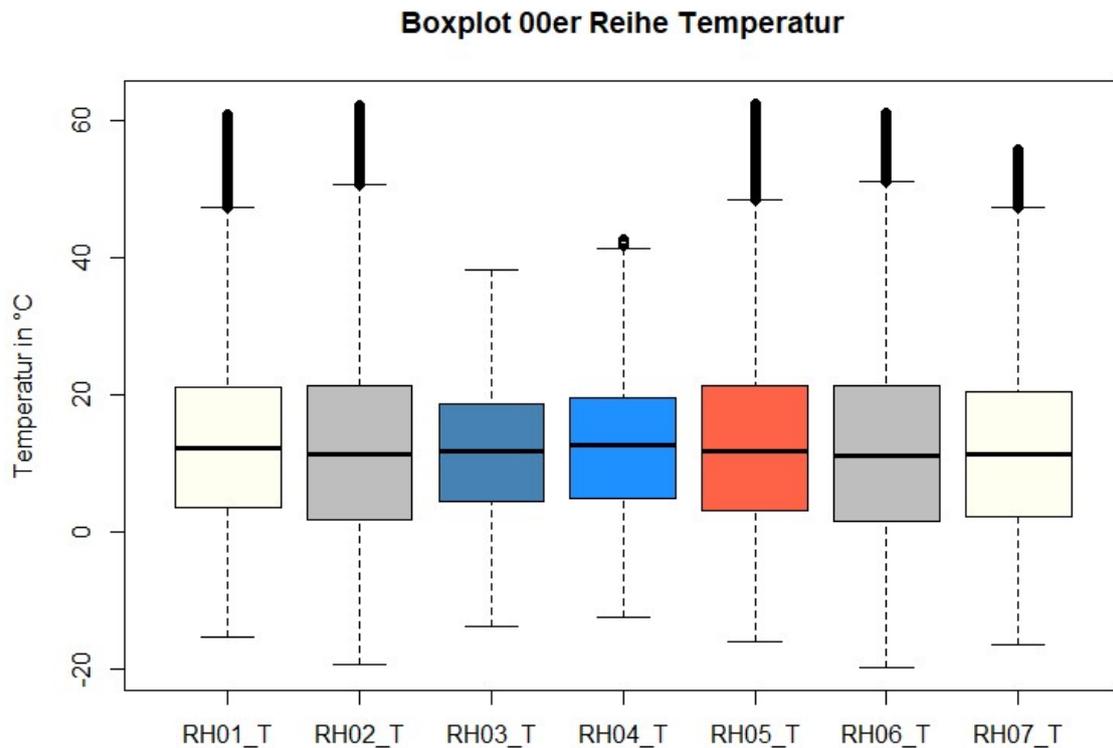


Abbildung 154: Boxplots der äußeren Temperatursensoren

4.7.2 Vergleich der innenliegenden Sensoren

Als Nächstes werden die innenliegenden Sensoren, zuerst die relative Luftfeuchtigkeit und dann die Temperaturen, miteinander verglichen. Die ganz am Rand befindlichen Sensoren werden elfenbeinfarben dargestellt und die nächstgelegenen in Grau. Die unter dem aufgeständerten PV-Modul befindlichen Sensoren werden in verschiedenen Blautönen dargestellt. Die Sensorposition 5 wird in Rot abgebildet. Beginnend beim Traufbereich (Position 1) wird der Reihe nach bis zum First (Position 7) jeder Sensor abgearbeitet.

Die relative Luftfeuchtigkeit des Sensors RH21 (Abbildung 155) ist im Median, im unteren Quantil und oberen Quantil höher als die anderen Sensoren. Der obere Whisker ist im selben Bereich wie der des Sensors RH22, jedoch liegen die anderen oberen Whiskers unter den beiden. Der Übergang von Wand- zu Dachaufbau hat bei diesem Aufbau somit einen höheren Einfluss auf die Feuchtigkeit als der Übergang von einem zum anderen Dachaufbau.

Die Sensoren RH23 und RH24 sind fast ident. Der einzige sichtbare Unterschied ist, dass der obere Whisker bei RH24 ein wenig höher liegt als der von RH23. Der Einfluss des Abstandes von Dachhaut bis zur PV-Anlage hat somit nur einen geringen Einfluss auf die Feuchtigkeit im inneren Bereich des Bauteils. Der Unterschied zwischen RH23 und RH24 gegenüber dem Sensor RH25 ist größer. Der Median und alle darüber liegenden Merkmale des Boxplots sind höher bei RH25 als bei den Sensoren unter dem PV-Modul. Das bedeutet, dass die Wirkung des PV-Moduls im Inneren des Bauteils in diesem Zusammenhang kaum spürbar ist, da die Unterschiede zwischen den Sensoren marginal sind.

Der Median des Sensors RH26 liegt über dem des Sensors RH25. Die Schwankungsbreite dieses Sensors ist um einiges größer als der von RH25, sowohl in positive als auch in negative Richtung. Die Messwerte von RH27 sind im Median höher als von RH26, die Schwankungsbreite wieder geringer.

Die Tatsache, dass die Messwerte von RH26 und RH22 sehr ähnlich sind, spricht dafür, dass im Bereich von RH25 noch Einflüsse aus dem PV-Modul herrschen und RH22 bzw. RH26 eher noch den Zustand des Dachaufbaus in ungestörter Form darstellen.

Boxplot 20er Reihe relative Luftfeuchtigkeit

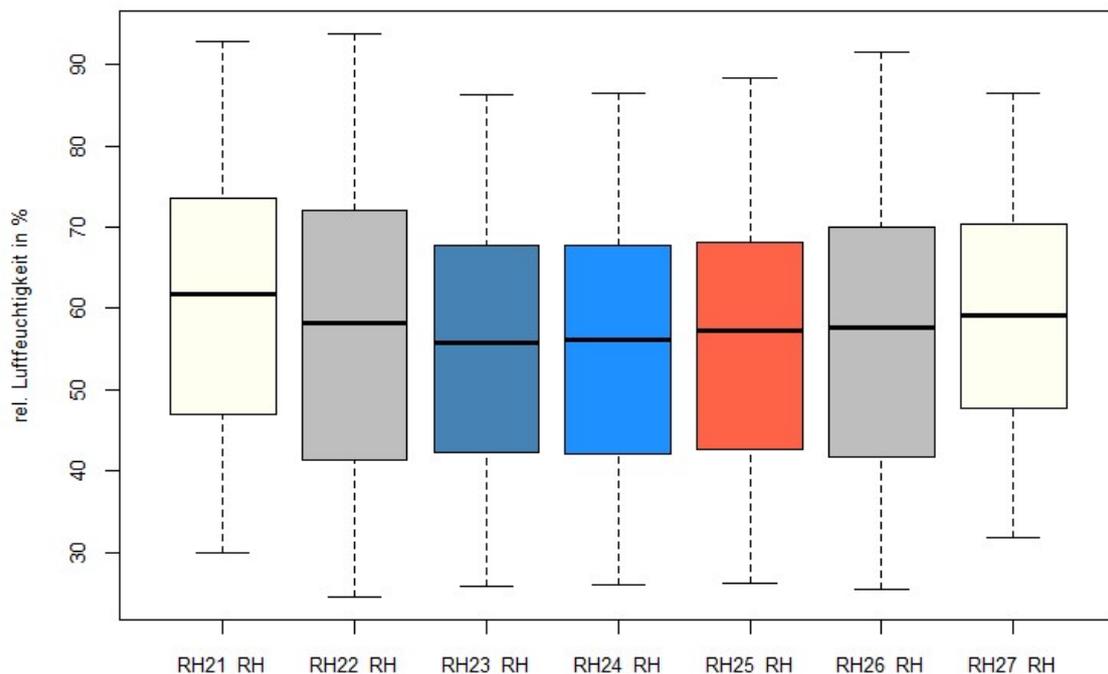


Abbildung 155: Boxplots der inneren Luftfeuchtigkeitssensoren

Bei der Betrachtung der Temperatur (Abbildung 156) erkennt man den Einfluss des Wandanschlusses. Der Median (RH21) liegt unter den anderen Sensoren, die Schwankungsbreite ist jedoch um einiges höher als bei den anderen. Erkennbar ist, dass der Median bei RH22 über dem von RH25 liegt, die Schwankungsbreite ist im Vergleich aber größer. Die größere Schwankungsbreite kann aus der Orientierung des Gebäudes hervorgehen, wobei dies auch mit dem Einfluss der zweidimensionalen Wärmebrücke, einhergeht.

Die Messwerte unter dem PV-Modul (RH23 und RH24) sind ident. Die Mediane liegen über, die Schwankungsbreite aber unter RH25. Die PV-Anlage hat somit auf die Temperatur auf der Innenseite der Dämmung eine dämpfende Wirkung.

Der Firstbereich verhält sich ähnlich wie der Traufbereich. Zuerst zeichnet sich ein höherer Median mit geringerer Schwankung, jedoch mit größeren Ausreißern ab (RH26) und dann ein geringerer Median mit größerer Schwankungsbreite und geringeren Ausreißern.

Es kann geschlussfolgert werden, dass im Bereich des Sensors RH25 Einflüsse aus der PV-Anlage herrschen, welche im fernen Randbereich (RH22 und RH26) nicht vorhanden sind, da die zwei Sensoren (RH22 und RH26) sehr ähnliche Merkmale aufweisen.

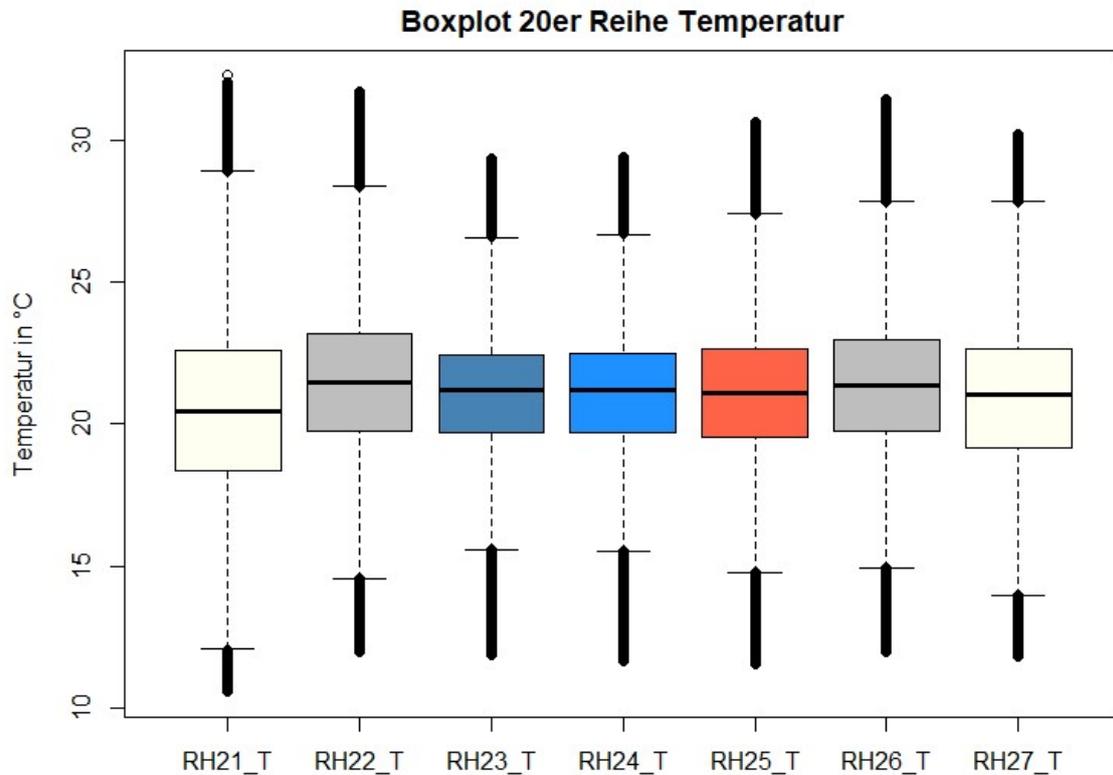


Abbildung 156: Boxplots der inneren Temperatursensoren

4.7.3 Schimmelpilz-, Holzfäule- und Kondensatbewertung der Sensoren

Bei der Bewertung der Risiken zur Bildung von Schimmelpilz, Holzfäule und Kondensat wird, falls ein Messpunkt das Kriterium für das Entstehen von z.B.: Holzfäule erfüllt, dies binär vermerkt. Dieser binäre Eintrag stellt somit ein 10 Minuten Intervall dar. Nun werden diese Einträge für jeden Monat zur Bildung der Monatsmittelwerte summiert und dann diese Einträge über alle Monate der gesamten Aufzeichnungszeit wiederum summiert. Daraus entsteht eine Wertung für die gesamte Aufzeichnungszeit der Sensoren.

Die Bildung von Schimmelpilz ist hier ein Sonderfall, da es für das Myzelwachstum und die Sporenbildung jeweils 6 Kurven gibt, durch welche diese bewertet werden kann. Hier wird für jeden Punkt die Überschreitung einer dieser Linien binär bewertet und diese dann gemittelt, also durch 12 dividiert. Beispielsweise wird bei der Myzelbewertung für den Fall, dass ein Punkt über der dritten Linie liegt die Zahl drei und falls er über der fünften liegt die Zahl fünf vergeben. Die Bewertung pro 10 Minutenintervall wird anschließend durch 144 (1 Tag umfasst 114 mal 10 Minuten Intervalle) dividiert, um den Wert in Tagen zu erhalten. Es ist an dieser Stelle wichtig anzumerken, dass diese Art von Bewertung für das Entstehen von Schimmelpilz die Aussagen über die Wachstumsraten im Mittel darstellt, wobei die unterste Linie kein definiertes Wachstum hat. Daraus lässt sich ableiten, dass ein kurzer Zeitraum mit hoher Wachstumsrate z.B.: 5mm/d in einer Stunde (= 12 Punkte

durch 12 mal 1 Stunde = 1 Bewertungspunkt) gleich groß ist, wie wenn über einen langen Zeitraum z.B.: 6 Stunden lediglich Schimmelpilzwachstum möglich wäre (= zwei Punkte durch 12 mal 6 Stunden = 1 Bewertungspunkt). Außerdem fließt in diese Bewertung der Bereich ein, in dem Schimmelpilzwachstum möglich, ein Wachstum aber nicht erkennbar ist.

In Abbildung 157 ist diese Bewertung für alle drei Kriterien der innenliegenden Sensoren dargestellt, wobei auf der Abszisse die Sensoren und auf der Ordinate die Häufigkeiten bzw. die Bewertung abgebildet sind. Die Bildung von Schimmelpilz hebt sich deutlich in ihrer Größenordnung von den anderen beiden Kriterien ab. Danach kommt die Holzfäule, wobei diese bei drei Sensoren sichtbar auftritt und schlussendlich das Kondensat, welches bei keinem Sensor vorhanden ist.

Die Bewertung von Schimmelpilz und Holzfäule liefert beim Traufbereich das schlechteste Ergebnis. Schimmel kann an über 200 Tagen entstehen. Holzfäule kann an ca. 37,5 Tagen entstehen. Am besten fällt die Bewertung bei den Sensoren unter dem PV-Modul aus. Dort kann zwischen 75 und 100 Tagen Schimmel entstehen. Dies kann auf die dämpfende Wirkung des PV-Moduls auf die Temperatur zurückgeführt werden, welche somit für die raumseitige Konstruktion von Vorteil ist. Im Firstbereich weist RH26 eine um über 20% höhere Schimmelpilzbewertung als bei RH27 auf, welche knapp unter 125 Tagen liegt. Die Holzfäule von RH26 liegt bei ca. 15 Tagen.

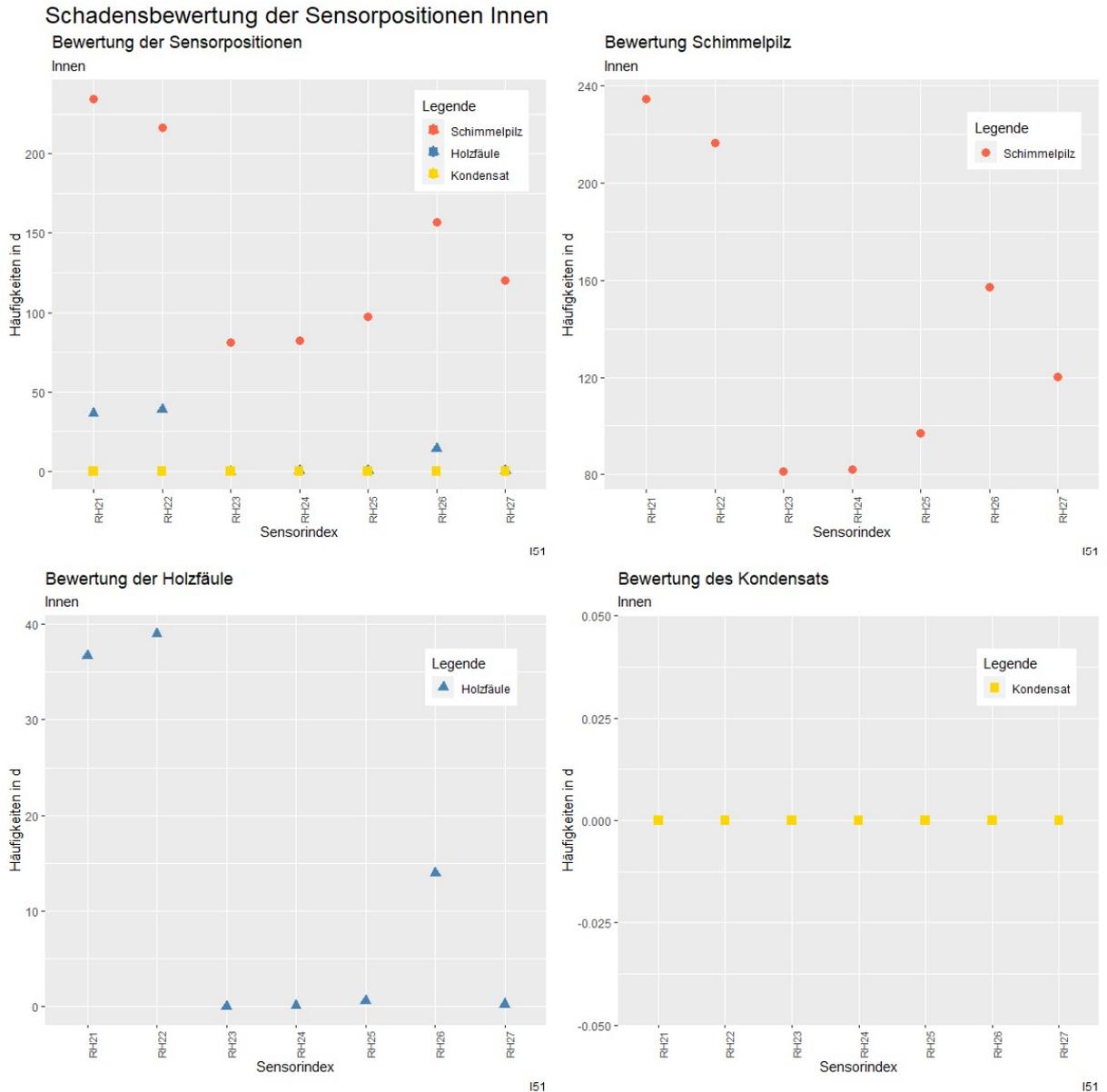


Abbildung 157: Bewertung der kombinierten innenliegenden Sensoren

Nun werden als Nächstes nur die außenliegenden Sensoren in Abbildung 158 betrachtet. Die Schimmelpilzbewertung liegt bei über 700 Tage, wobei die nächsthöchste Schimmelpilzbewertung bei ca. 450 Tagen liegt. Dieser Unterschied ist ebenfalls bei der Holzfäule zu erkennen mit über 500 Tagen wobei die nächsthöchste bei 350 Tagen liegt. Das Kondensat der beiden liegt ebenfalls mit 300 Tagen höher als bei den anderen, wobei der Sensor RH06 mit ca. 375 Tagen als einziger über diesen liegt. Der Sensor RH05 ist der am besten bewertete Sensor, welcher bei der Schimmelpilzbewertung bei unter 150 Tagen liegt und der nächsthöhere Wert ist von RH02 bei 200 Tagen. Der Einzige, der eine niedrigere Holzfäulebewertung hat als RH05 (ca. 125 Tage), ist der Sensor RH61 (ca. 50 Tage). Daraus kann man den negativen Einfluss, den ein PV-Modul auf das innere einer Konstruktion hat, deutlich erkennen.

Wenn man den Traufbereich betrachtet (RH01, RH02, RH61 und RH62) kann man zwei Feststellungen treffen. Als erstes sieht man, dass RH61 am besten bewertet ist und RH02 am zweitbesten bewertet ist und dass RH62 und RH01 sehr ähnliche Werte aufzeigen.

Im Firstbereich (RH06, RH07, RH41 und RH42) kann man die Höhe der Kondensatbewertung von RH06 als Ausreißer bezeichnen. Denn selbst die Schimmel und Holzfäulebewertung liegt unter der Kondensatbewertung. RH06 ist in Bezug auf Schimmelpilz und Holzfäule am besten bewertet. Beim Vergleich von RH07 und RH42 kann man die ähnlichen Höhen der Schimmel- und Holzfäulebewertung erkennen, wobei sich die Kondensatbewertung als einzige deutlich unterscheidet.

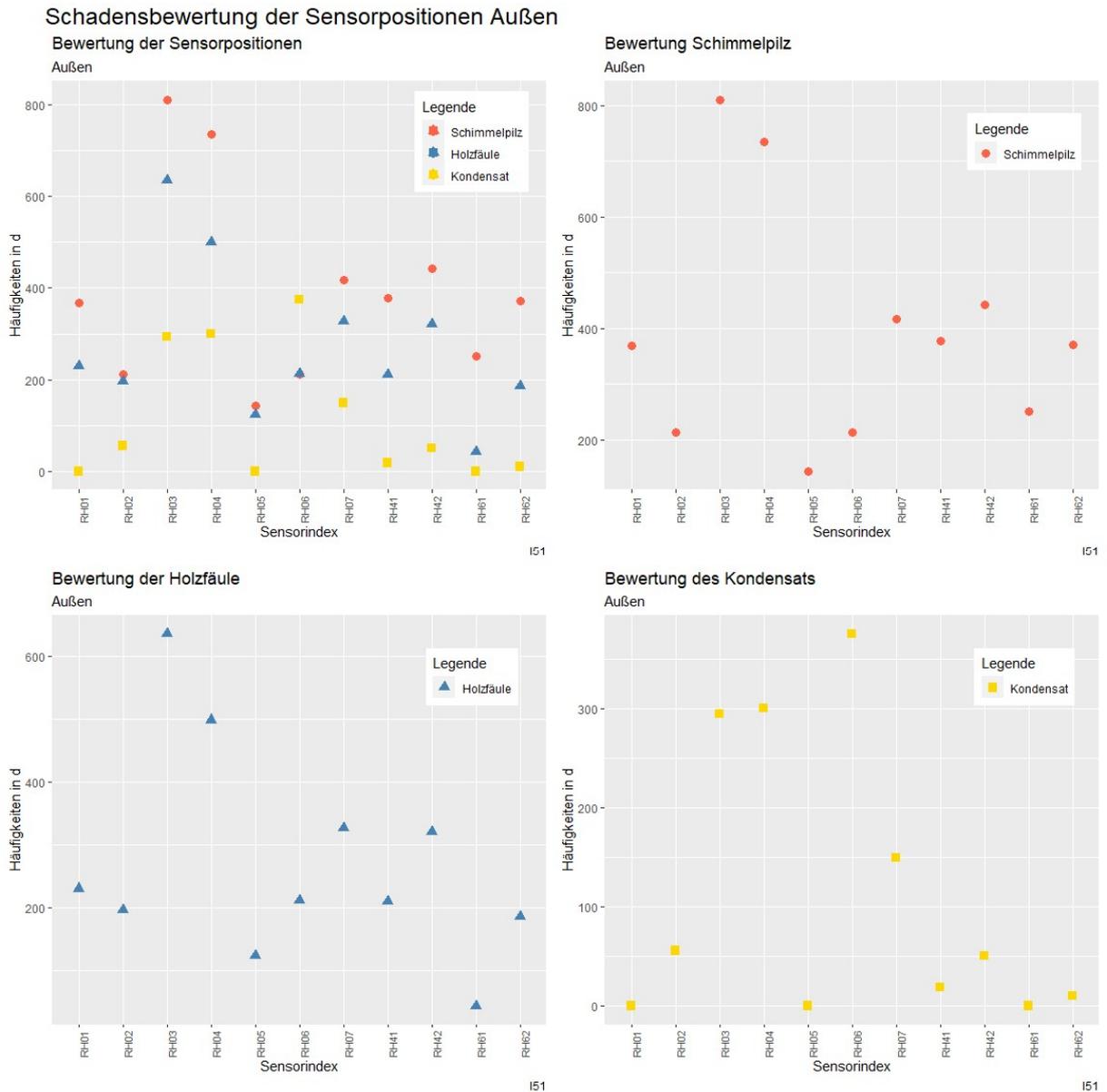


Abbildung 158: Bewertung der kombinierten außenliegenden Sensoren

In Abbildung 159 sind alle Bewertungen der kombinierten Sensoren abgebildet, um diese in Relation setzen zu können.

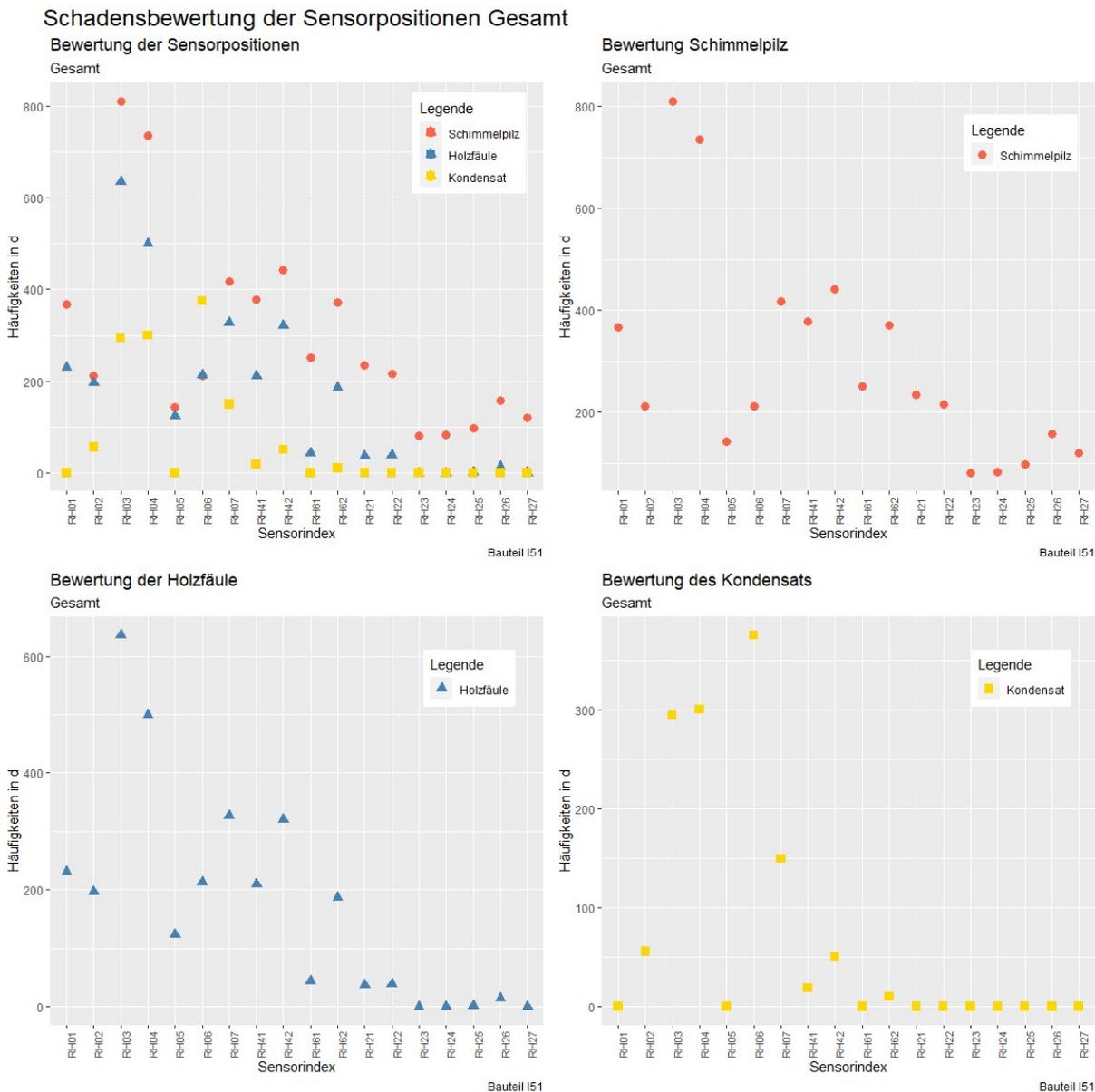


Abbildung 159: Bewertung der kombinierten Sensoren

Die in Abbildung 159 ersichtlichen Werte sind in Tabelle 17 und Tabelle 18 als Werte in Tabellenform abgebildet.

Tabelle 17: Ergebnisse der Bewertung von Schimmel-, Holzfäule- und Kondensatbildung der äußeren Sensoren

Sensor	Dauer der Entstehung von		
	Schimmelpilz	Holzfäule	Kondensat
in Tagen			
RH01	368,08	230,66	0,208
RH02	212,19	195,92	55,903
RH03	811,11	635,58	294,236
RH04	735,82	498,98	300,208
RH05	142,98	123,06	0,069
RH06	212,82	212,25	374,861
RH07	417,31	326,68	149,375
RH41	377,99	210,17	18,889
RH42	442,22	320,43	50,764
RH61	251,37	43,69	0
RH62	371,18	186,44	10,208

Tabelle 18: Ergebnisse der Bewertung von Schimmel-, Holzfäule- und Kondensatbildung der äußeren Sensoren

Sensor	Dauer der Entstehung von		
	Schimmelpilz	Holzfäule	Kondensat
in Tagen			
RH21	234,75	36,68	0
RH22	216,38	38,94	0
RH23	81,31	0,01	0
RH24	82,24	0,12	0
RH25	97,14	0,62	0
RH26	157,2	13,96	0
RH27	120,35	0,24	0

4.8 Interpretation der Ergebnisse

In diesem Kapitel geht es darum, die Ergebnisse der Bewertung mit Hilfe der Messtheorie zu interpretieren. Denn wenn man nun die Grenzen der Sensoren bzw. die Standardabweichung und deren Verteilung (siehe Kapitel 4.1) bei den Ergebnissen berücksichtigt, kann gesagt werden, dass Aussagen über die Tendenzen der Sensoren grundsätzlich zulässig sind. Die Abbildung 160 wird als Beispiel hierfür herangezogen, wobei hier sind insgesamt vier Rechtecke (Rot, Orange, Gelb und Grün) eingezeichnet, die die Sensoren in vier Gruppen einteilen. In diesen Gruppen werden die Sensoren nach ihren Tendenzen in Bezug auf die Schadensanfälligkeiten eingeteilt. Diese Einteilung wird aufgrund der Messunsicherheiten sehr konservativ gehalten und diese konservative Einstellung wird bei der Diskussion der Gruppen weiter thematisiert. Es wird auf eine Verteilung der Schadenswahrscheinlichkeit der Sensoren innerhalb einer Gruppe eingegangen, wobei hier wieder Grenzfälle in der Messunsicherheit hervorgehoben werden.

Die orange Gruppe beinhaltet die Sensoren RH03 und RH04. Diese haben die höchste Schadensanfälligkeit in Bezug auf Schimmelpilz, Holzfäule und Kondensat. Das Modell der Schimmelpilzbeurteilung funktioniert grundsätzlich nur an der Oberfläche, wobei es als Vergleich zwischen den Sensoren trotzdem Aufschlüsse zwischen diesen aufzeigt. Diese sind bei allen drei Schadenskategorien stets weit über den anderen Sensoren. Dies lässt sich einerseits bei den Wärmeströmen (Abbildung 152) erkennen, da die beiden hier den geringsten Wärmestrom von außen nach innen zeigen und somit eine Austrocknung kaum möglich ist. Diese erhöhte Schadensanfälligkeit geht dadurch hervor, dass diese beiden Sensoren unterhalb der PV-Anlage angebracht wurden.

Die gelbe Gruppe beinhaltet die restlichen außenliegenden Sensoren (RH01, RH02, RH05, RH06, RH07, RH41, RH42, RH61 und RH62), welche eine ähnliche Schadensanfälligkeit haben. Bei genauerer Betrachtung fällt auf, dass das Bauteil, je näher man an dessen Grenzen kommt, schadensanfälliger ist. RH05 ist zum Beispiel beim Schimmelpilz am niedrigsten, was durch die Lage von RH05, mittig im Bauteil mit den geringsten Auswirkungen von Wärmebrücken, begründbar ist. Warum jedoch RH61 bei Holzfäule eine geringere Schadenswahrscheinlichkeit hat als RH05 kann man wieder anhand der Messtheorie begründen. Beim Kondensat ist die Gleichwertigkeit von RH05, RH01 und RH61 durch die Art der Berechnung begründet, da hier ein instationär berechneter Grenzwert überschritten werden muss.

Im grünen Bereich sind die innenliegenden Sensoren (RH21, RH22, RH23, RH24, RH25, RH26 und RH27) definiert. Hier kann wieder je weiter man sich von Bauteilmitte entfernt eine höhere Schadenswahrscheinlichkeit erkannt werden. Beim Schimmelpilz trifft dies bis auf RH27 zu, welcher mit sinkender Wahrscheinlichkeit von Schimmelpilz und Holzfäule befallen wird.

Das rote Rechteck zeigt die Beurteilung des Kondensats vom Sensor RH06, da dieser deutlich von den anderen entfernt liegt. Daraus kann entweder von einem Problem im Bauteil z.B.: undichte Stelle in der Abdichtung ausgegangen werden oder von einer Auswirkung der Messunsicherheit.

Zusammenfassend bedeutet das, dass die Sensoren im orangen Rechteck eine höhere Wahrscheinlichkeit besitzen einen Schaden des Bauteils zu verursachen als die im gelben Rechteck. Die Sensoren im gelben Rechteck besitzen wiederum eine höhere Schadenswahrscheinlichkeit als die im grünen Rechteck.

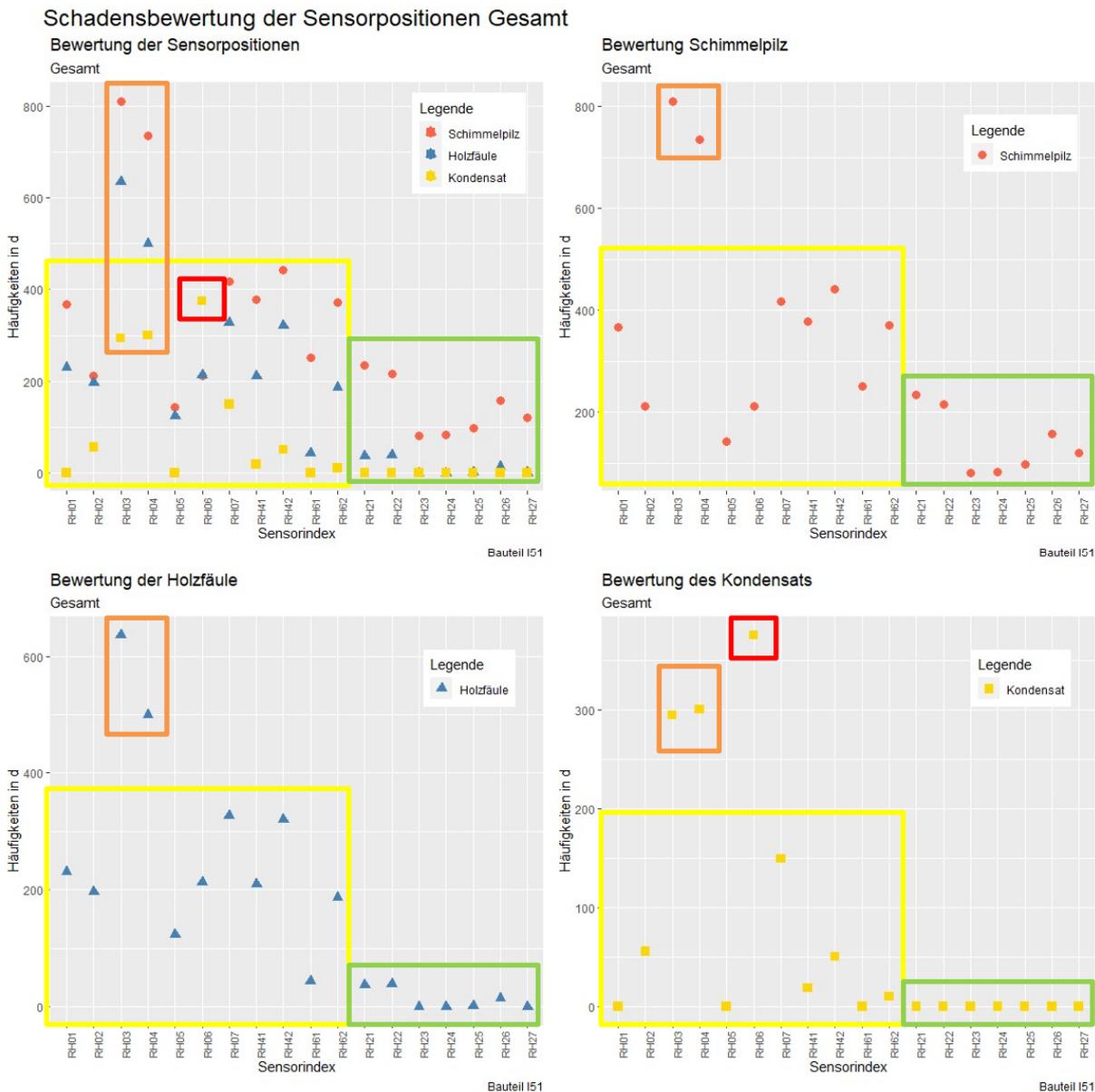


Abbildung 160: Aussagekraft der Bewertung der kombinierten Sensoren

4.9 Zusammenfassung

Im Kapitel 4 werden die Sensoren des Bauteils I51 analysiert. Die Wassergehaltssensoren liefern kaum bzw. keine brauchbaren Ergebnisse, da diese über lange Zeiträume Ausfälle aufweisen. Die kombinierten Sensoren haben alle geringfügige Ausfälle, die allerdings die Brauchbarkeit der Ergebnisse nicht einschränken. Die kombinierten Sensoren werden dann nach den folgenden Themen beurteilt.

- Allgemeine Beurteilung der Sensoren
- Allgemeiner Vergleich von Sensordaten
- Beurteilung der Isoplethen, inklusive Schimmelpilz- und Holzfäulebildung
- Beurteilung der Kondensatbildung

Bei diesen Sensoren gibt es eine Schwankungsbreite. Innerhalb dieser werden die Ergebnisse aufgezeichnet, durch die eine genaue Aussage über den Vergleich von Sensoren erschwert wird. Die durch die PV-Anlage verdeckten Sensoren haben dabei das größte Schadenspotential- zumindest an der Außenseite des Bauteils. Die Sensoren auf der Bauteilinnenseite zeigen zwar Unterschiede, jedoch kann man aufgrund der Schwankungsbreite keine Schlüsse aus diesen ziehen. Die Temperatursensoren haben kaum Ausfälle, jedoch können aus den Verläufen kaum Erkenntnisse der Schadensbeurteilung extrahiert werden.

Es wird anschließend noch eine Wärmestromuntersuchung an Sensorpositionen durchgeführt, um eine mögliche Durchfeuchtung der Wärmedämmung nachzuweisen. Aus dieser zeigt sich, dass ein Wärmestrom von außen nach innen (z.B.: im Sommer) durch die PV-Anlage vermindert ist. Außerdem ist aus den höheren Mittelwerten der Wärmeströme ein größerer Wärmeverlust und somit eine höhere Durchfeuchtung, durch die PV-Anlage verursacht, der Wärmedämmung vorhanden

5 Vergleich von Delphin mit WUFI

Die Programme WUFI und Delphin gehören zur Familie der instationären Simulationsprogramme. In beiden ist es möglich sowohl 1D als auch 2D Aufbauten zu erstellen und diese zu berechnen. Dreidimensionale Aufbauten sowie eine grundsätzliche Berechnung eines Stofftransportes (z.B.: Salztransport) sind nur in Delphin möglich. In ihrer Verwendung zur Analyse von 1D Dachaufbauten sind sie sich jedoch so ähnlich, dass ein grundlegender Vergleich der beiden durchführbar ist, um Ähnlichkeiten und Differenzen genauer zu beleuchten.

Zu diesem Thema gibt es bereits ein paar Erkenntnisse aus der Forschung, wobei die vorhandene Literatur begrenzt ist. Bei einem Vergleich zwischen WUFI und Delphin wurde Sandstein hygrothermisch analysiert. Dort korrelierten die Temperaturverläufe beider Programme, der Gesamtwassergehalt weicht jedoch stärker ab [26]. Bei einer anderen Arbeit wurden die Rechenmodelle der beiden Programme miteinander verglichen, wobei zahlreiche Unterschiede festgestellt wurden, unter anderem auch, dass die Schwerkraft (siehe Formel 13) im WUFI nicht berücksichtigt wurde [18].

In den Programmen werden dieselben Klimabedingungen verwendet. Außen wird die Klimadatei, die Villach in den Jahren 2011 – 2014 (Tabelle 19) widerspiegelt, verwendet. In dieser ist Regen zwar vorhanden, wobei dieser bei der Berechnung nicht verwendet wird, da davon ausgegangen wird, dass die Abdichtung funktionsfähig ist.

Tabelle 19: vorhandene Datensätze in der Außenklimadatei „Villach 2011 – 2014“

Außenklimadatensätze	Einheit
Temperatur	° C
relative Luftfeuchtigkeit	%
direkte Normalstrahlung	W/m ²
diffuse Horizontalstrahlung	W/m ²
Windrichtung	Deg
Windgeschwindigkeit	m/s
Regen	l/m ² h

Das Innenklima (Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit) wurde ebenfalls importiert und für die Berechnung in Delphin angepasst. Die Randbedingungen wurden, wie in Tabelle 6, Tabelle 7 und Tabelle 8, soweit möglich übernommen. Einzelne Parameter, vor allem in Bezug auf das Materialverhalten sind in Delphin anders geregelt

In Delphin wird der Aufbau I51, so wie schon in WUFI, in 1D eingegeben. Die Dicken der unterschiedlichen Materialien können Tabelle 1 entnommen werden. Die Schichten können als Grafik in Abbildung 161 betrachtet werden.



Abbildung 161: Aufbau (oben = außen; Gesamtbreite = 37,5cm) I51 in Delphin (links) und WUFI (rechts)

Die verwendeten Materialien und deren Eigenschaften in Delphin sind in Tabelle 20 mit den Vergleichswerten aus WUFI abgebildet. Hier sind die Eigenschaften dargestellt, welche in beiden Programmen als Parameter gleichermaßen vorhanden sind. Andere Eigenschaften können hier nicht so einfach verglichen werden, da diese in beiden Programmen über Funktionen geregelt werden. Aus diesem Grund werden die Materialkennwerte von Wufi übernommen, um eine möglichst hohe Übereinstimmung zu erzeugen.

Tabelle 20: Vergleich der verwendeten Materialien in WUFI und in Delphin

Name		OSB-Platte	Luftschicht 25 mm (horizontal)	Zellulose Einblas- dämmung	Gipsfaser- platte
Rohdichte [kg/m ³]	Delphin	595	1,3	55,2162	1133,35
	<i>Delta</i>	-20,00	-0,60	5,22	-19,65
	Wufi	615	1,9	50	1153
Wärmeleit- fähigkeit [W/mK]	Delphin	0,13	0,156	0,0482	0,3405
	<i>Delta</i>	0,00	0,00	0,01	0,02
	Wufi	0,13	0,155	0,037	0,32
Wärme- kapazität [J/kgK]	Delphin	1500	1050	2544,42	1228,37
	<i>Delta</i>	100,00	50,00	434,42	28,37
	Wufi	1400	1000	2110	1200
μ [-]	Delphin	165	0,4	2,0487	16,8313
	<i>Delta</i>	94,29%	78,43%	113,82%	105,20%
	Wufi	175	0,51	1,8	16
Porosität [m ³ /m ³]	Delphin	0,9	1	0,926378	0,626451
	<i>Delta</i>	0,00	0,00	-0,02	0,11
	Wufi	0,9	0,999	0,95	0,52

Ein weiterer wichtiger Punkt ist es, dass bei diesem Vergleich die ersten drei Jahre der beiden Simulationen miteinander verglichen werden, da das Außenklima in Delphin hier nicht als zyklischer Jahresdatensatz implementiert wurde. Das erste Jahr ist das wichtigste und wird als Anhaltspunkt für den weiteren Verlauf der Simulation herangezogen. Denn im ersten Jahr kann schon ein vermindertes Rücktrocknungsverhalten im Sommer betrachtet werden, welches über die Jahre zu einer Durchfeuchtung des Aufbaus kommen kann. Diese drei Jahre sind ausreichend, um einen Vergleich der beiden Programme darzustellen.

5.1 Vergleich der Simulationsergebnisse

Nun werden die Ausgaben der Simulationen miteinander verglichen, wobei zuerst die Anfangswerte der Ausgaben auf Übereinstimmung betrachtet werden. Folgende Vergleiche werden durchgeführt.

- Gesamtwassergehalt des Aufbaus
- Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit der Außenoberfläche
- Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit der Innenoberfläche
- Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Wassergehalt der äußeren OSB-Platte
- Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Wassergehalt der inneren OSB-Platte
- Wassergehalt der Wärmedämmung

Außerdem werden Diagramme erstellt in denen die Eigenschaften je Schicht pro Programm für beide Programme miteinander verglichen werden.

- Temperatur der äußeren und inneren OSB-Platte
- Relative Luftfeuchtigkeit der äußeren und inneren OSB-Platte

Die Wassergehalte der OSB-Platten werden in einem Diagramm für beide Programme betrachtet und die Wassergehalte der Wärmedämmung beider Programme werden extra verglichen.

Drei Grenzwerte werden bei der Betrachtung der relativen Luftfeuchtigkeit nach [14] und nach [15] in Bezug auf die Schadenswahrscheinlichkeit in die entsprechenden Diagramme eingefügt.

- > 80 % relative Luftfeuchtigkeit und > 5 °C Temperatur, um die Entstehung von Schimmelpilz abzubilden
- > 95 % relative Luftfeuchtigkeit und > 5 °C Temperatur, um die Entstehung von Holzfäule abzubilden
- > 100 % relative Luftfeuchtigkeit, um die Entstehung von Kondensat abzubilden

Zusätzlich dazu wird bei den Temperatur-Diagrammen der 5 °C Grenzwert eingefügt unter diesem kann die Bildung von Schimmelpilz und Holzfäule ausgeschlossen werden.

Zuerst wird in Abbildung 162 der Gesamtwassergehalt des Aufbaus betrachtet. Bei diesem kann ein wesentlicher Unterschied zwischen den beiden Programmen festgestellt werden. Die Differenzen können auf die Flüssigkeitstransportformeln zurückgeführt werden, da bei DELPHIN eine zusätzliche Gravitationskomponente enthalten ist, welche WUFI nicht implementiert hat (siehe Formel 13 [17]).

Formel 13: Kapillarer bzw. Konvektiver Flüssigwassertransport, flüssig

$$j_{conv}^{ml} = -Kl(w) \left(\frac{\partial p_c}{\partial x} + \rho_l * g \right)$$

j_{conv}^{ml}	kapillarer bzw. konvektiver Flüssigwassertransport, flüssig [kg/m ² *s]
$Kl(w)$	Flüssigwasserleitfähigkeit [s]
∂p_c	Kapillardruckgefälle [Pa]
ρ_l	Dichte von Wasser [kg/m ³]
g	Erdbeschleunigung [m/s ²]

Der Unterschied zwischen den beiden Berechnungen beträgt ca. den Faktor 8, wobei bei beiden ein sinusförmiger Verlauf zu erkennen ist. Der Gesamtwassergehalt von WUFI alleine, in Abbildung 163, bildet diesen sinusförmigen Verlauf im geringeren Ausmaß ab.

Bei den Abbildungen in denen WUFI und Delphin miteinander verglichen werden kann man die gemessenen Werte der Sensoren ebenfalls inkludieren, um so die tatsächlichen Bedingungen mitaufzunehmen. Dies kann aus zeitlichen Gründen nicht mehr in dieser Arbeit mitaufgenommen werden.

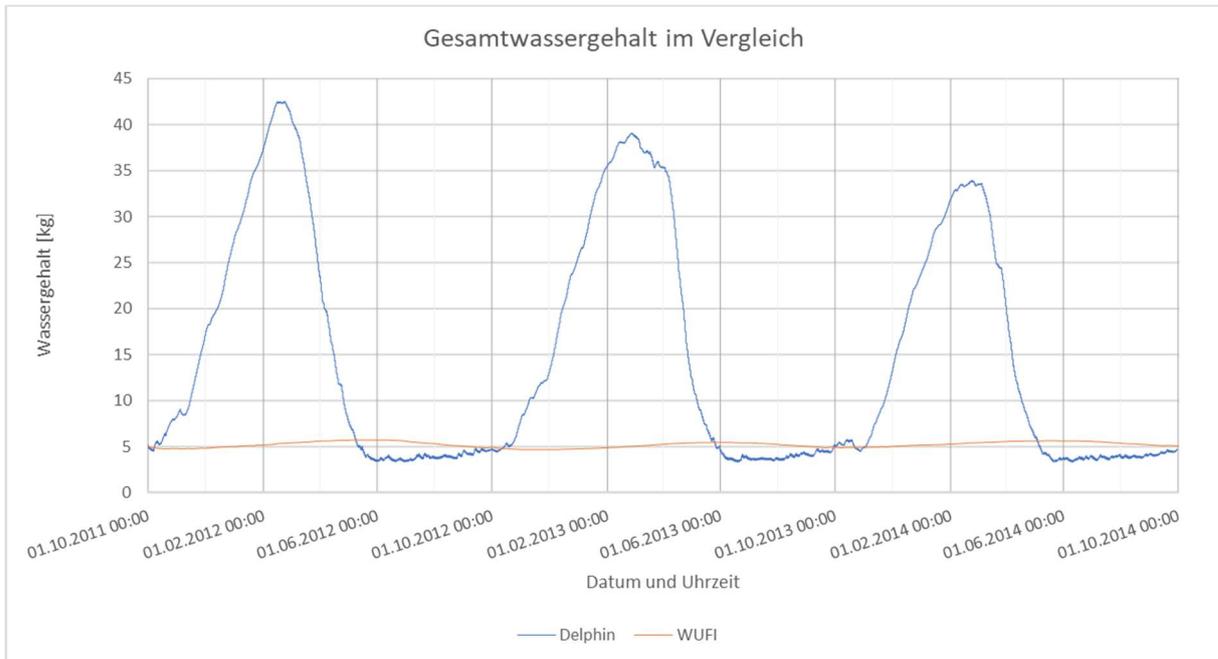


Abbildung 162: Gesamtwassergehalt des Aufbaus I51 von WUFI und Delphin im Vergleich

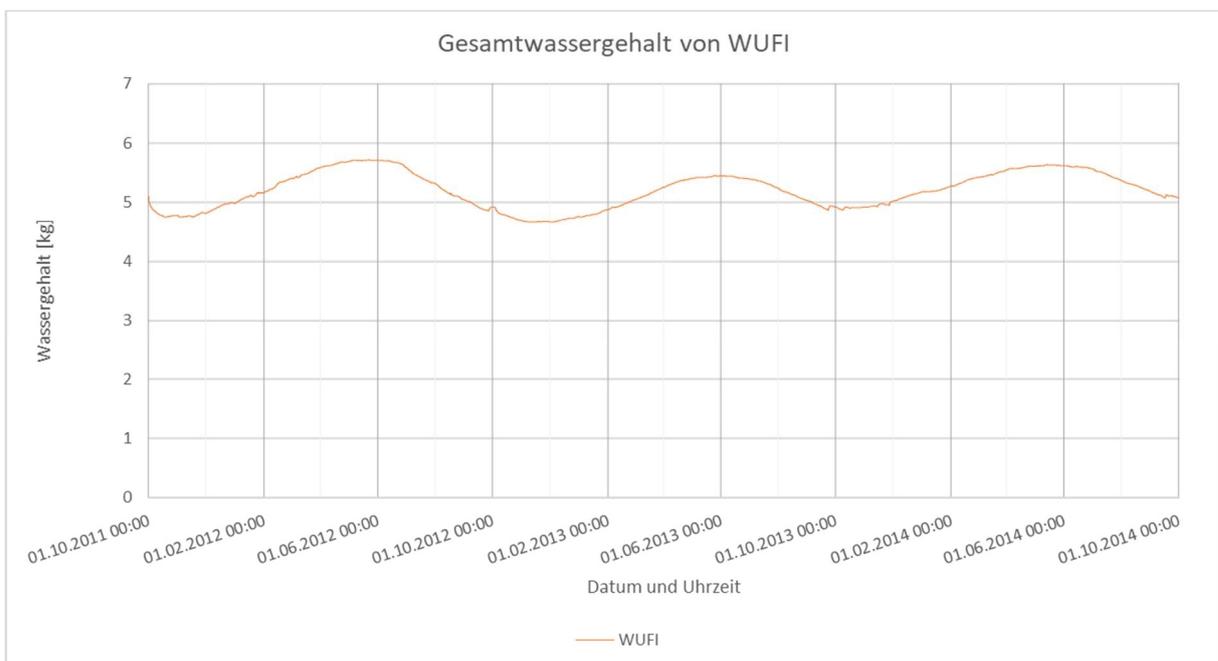


Abbildung 163: Gesamtwassergehalt von WUFI

In Abbildung 164 sind die Verläufe der Außenoberfläche im Vergleich dargestellt, wobei diese sich sehr ähneln. Delphin zeichnet jedoch um bis zu 10 % höhere Werte im Sommer ab.

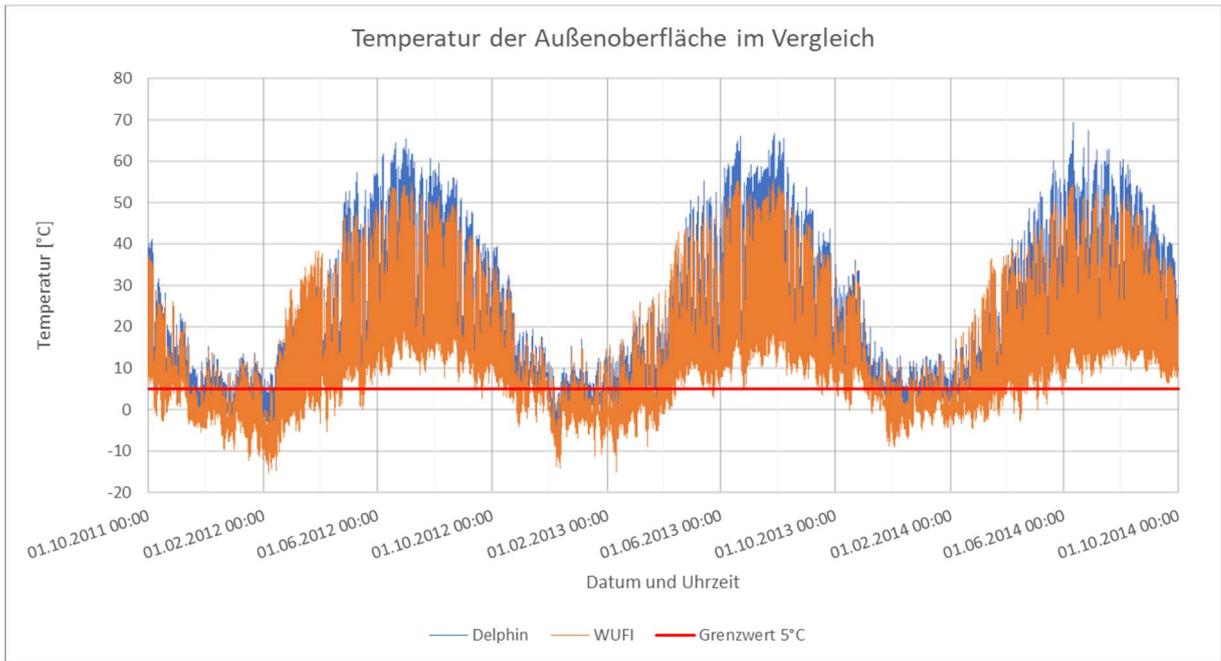


Abbildung 164: Temperatur der Außenoberfläche im Vergleich

Bei der Betrachtung der relativen Luftfeuchtigkeit der Außenoberfläche, siehe, sind größere Differenzen zu erkennen. Delphin erreicht hier in den Wintermonaten Werte von bis zu 100 %. Diese Perioden mit den Spitzenwerten zeichnen sich über mehrere Monate ab. Anschließend gibt es Tiefs im August von ca. 20 %. Bei WUFI hingegen sind die Werte vorwiegend in einem Bereich von 50 bis 85 %. Der Verlauf von WUFI zeigt eine deutliche Sinusform, wobei die Position der Spitzenwerte sich zwischen den beiden Programmen deutlich unterscheidet.

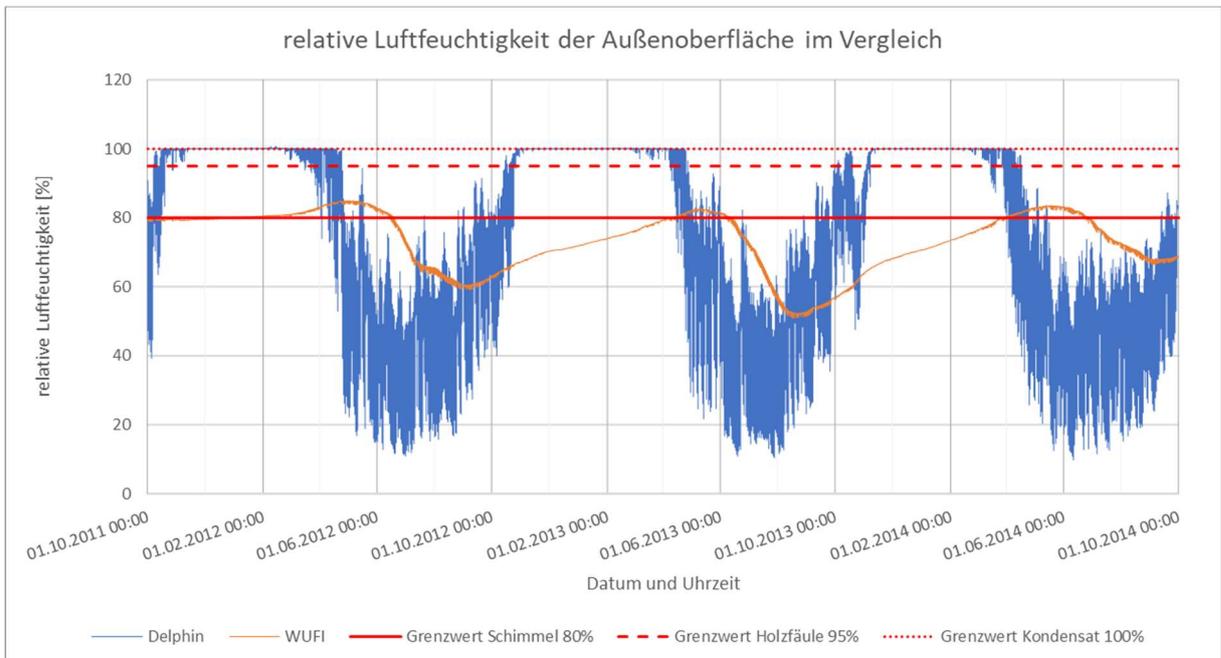


Abbildung 165: relative Luftfeuchtigkeit der Außenoberfläche im Vergleich

Wenn man nun die Temperatur der Innenoberfläche (Abbildung 166) betrachtet kann man erkennen, dass die Temperatur von WUFI grundsätzlich fast ident ist mit dem des

Innenklimas (Abbildung 167). Bei Delphin hingegen erkennt man keine wirkliche Übereinstimmung zwischen den beiden, sondern nur eine Ähnlichkeit.

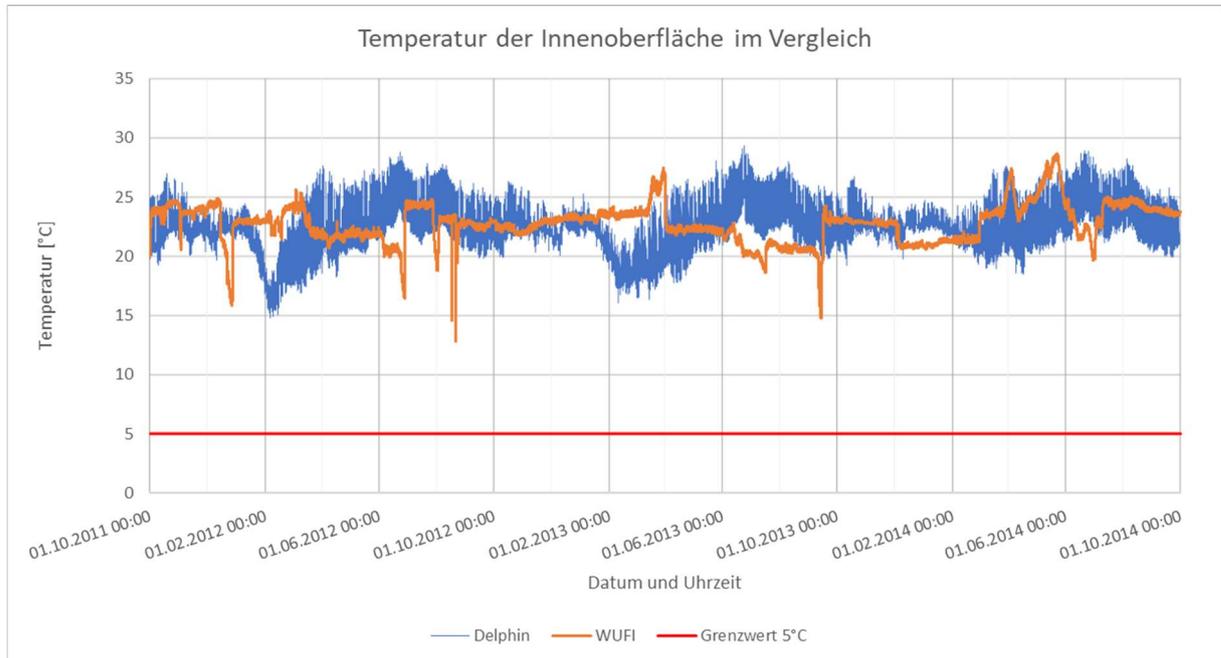


Abbildung 166: Temperatur der Innenoberfläche im Vergleich



Abbildung 167: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit des Innenklimas in Villach

Die relative Luftfeuchtigkeit der Innenoberfläche (Abbildung 168) der beiden Programme bilden einen sinusförmigen Verlauf ab, wobei dieser zeitlich versetzt voneinander. Die Wertebereiche der beiden Programme sind jedoch auf ähnlichem Niveau und kein der Wert, nach dem Anfangswert, überschreitet einen der Grenzwerte.

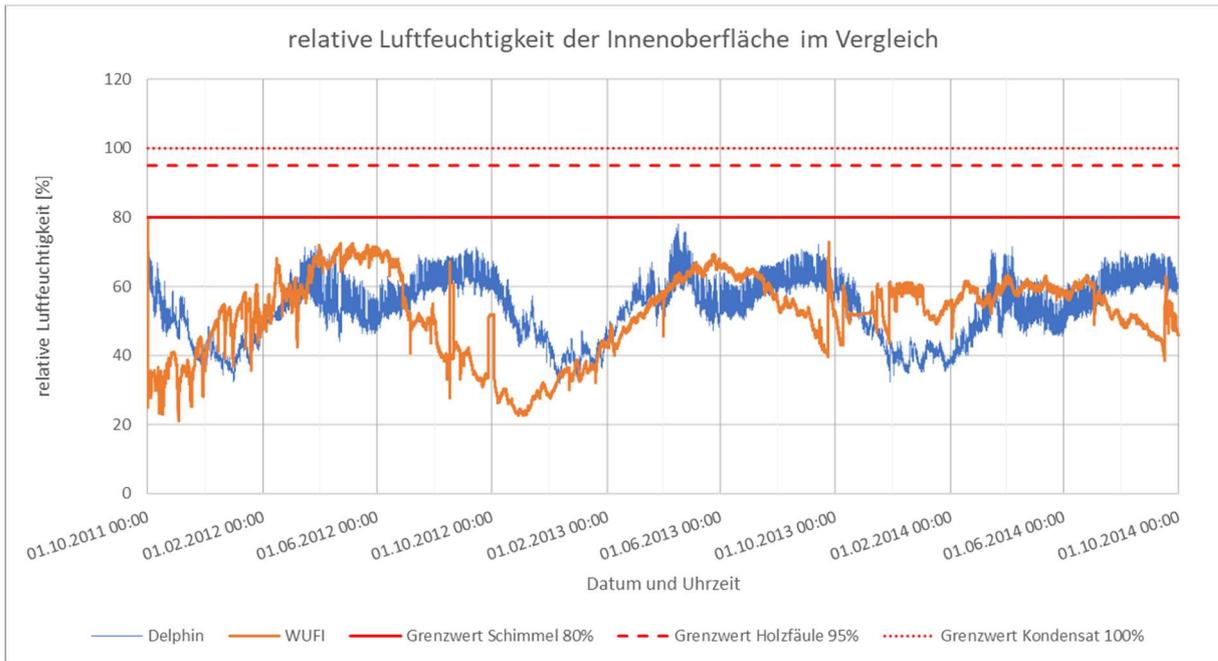


Abbildung 168: relative Luftfeuchtigkeit der Innenoberfläche im Vergleich

Die Temperaturverläufe der äußeren OSB-Platte, siehe Abbildung 169, ähneln sich wie in Abbildung 164 auch, wieder sehr. Die Werte von Delphin liegen wieder in einem höheren Bereich als die von WUFI.

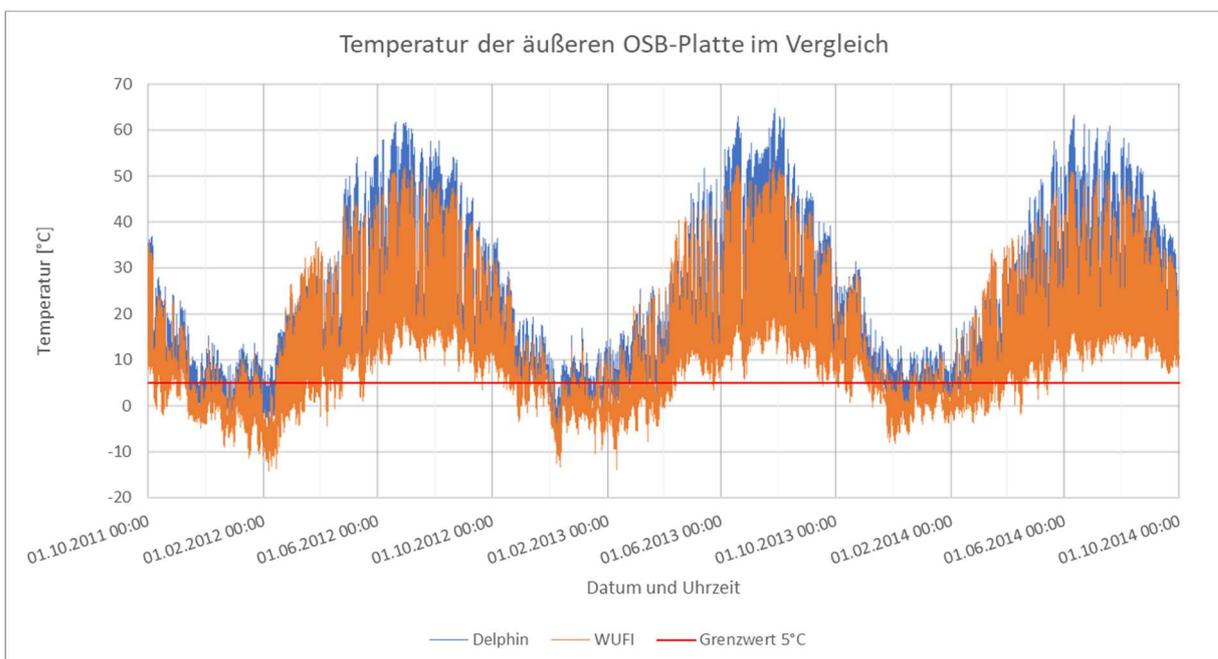


Abbildung 169: Temperatur der äußeren OSB-Platte im Vergleich

Die relative Luftfeuchtigkeit der äußeren OSB-Platte (Abbildung 170) ist wieder ähnlich zu der der Außenoberfläche (Abbildung 164). Delphin besitzt Werte im Winter über mehrere Monate bei 100 % und danach Minima von bis zu 20 %. WUFI hat einen sinusförmigen Verlauf, wobei Spitzenwerte von 85 % im Juni auftreten, gefolgt von Tiefstwerten im September bei 60 %.

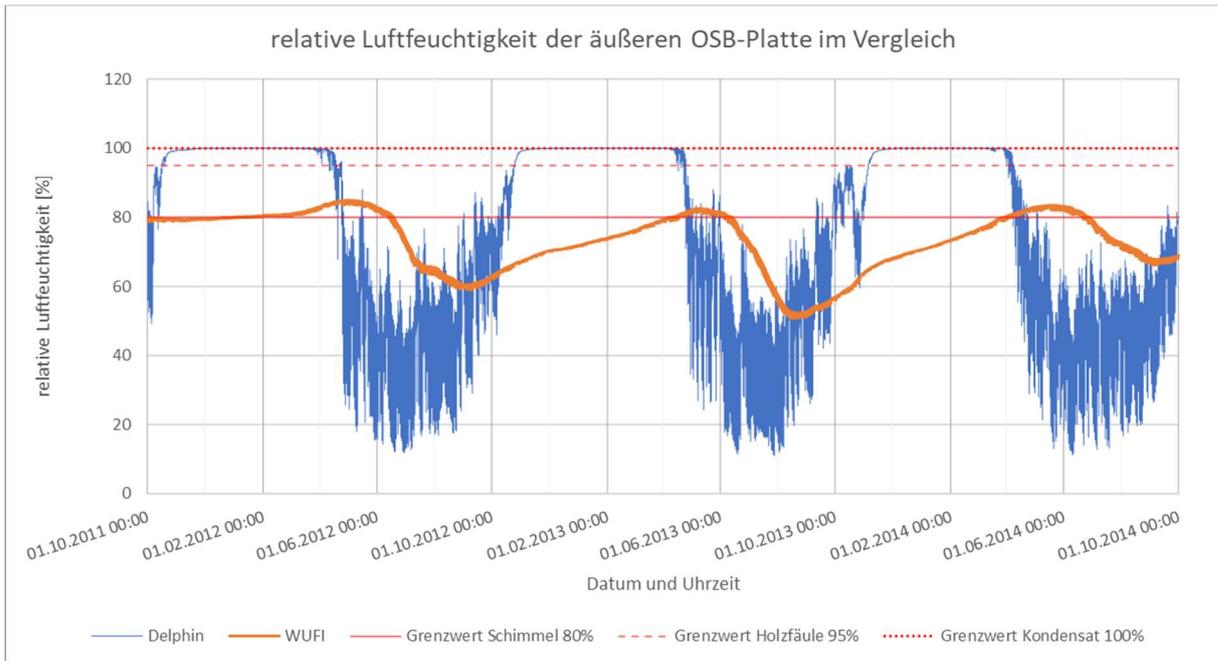


Abbildung 170: relative Luftfeuchtigkeit der äußeren OSB-Platte im Vergleich

Der Wassergehalt der äußeren OSB-Platte ist bei Delphin wieder um den Faktor 8 höher als bei WUFI. Bei Delphin ist der Höchstwert im Februar erkennbar, wobei die Höchstwerte über einen Bereich von ca. 3 Monaten verteilt liegen. Die Tiefstwerte von Delphin sind ca. auf selber Höhe wie die von WUFI bei ca. 100 kg/m³. WUFI hat den Bereich mit den Höchstwerten ca. um 1 Monat versetzt im März, wobei dieser im Bereich von max. 120 kg/m³.

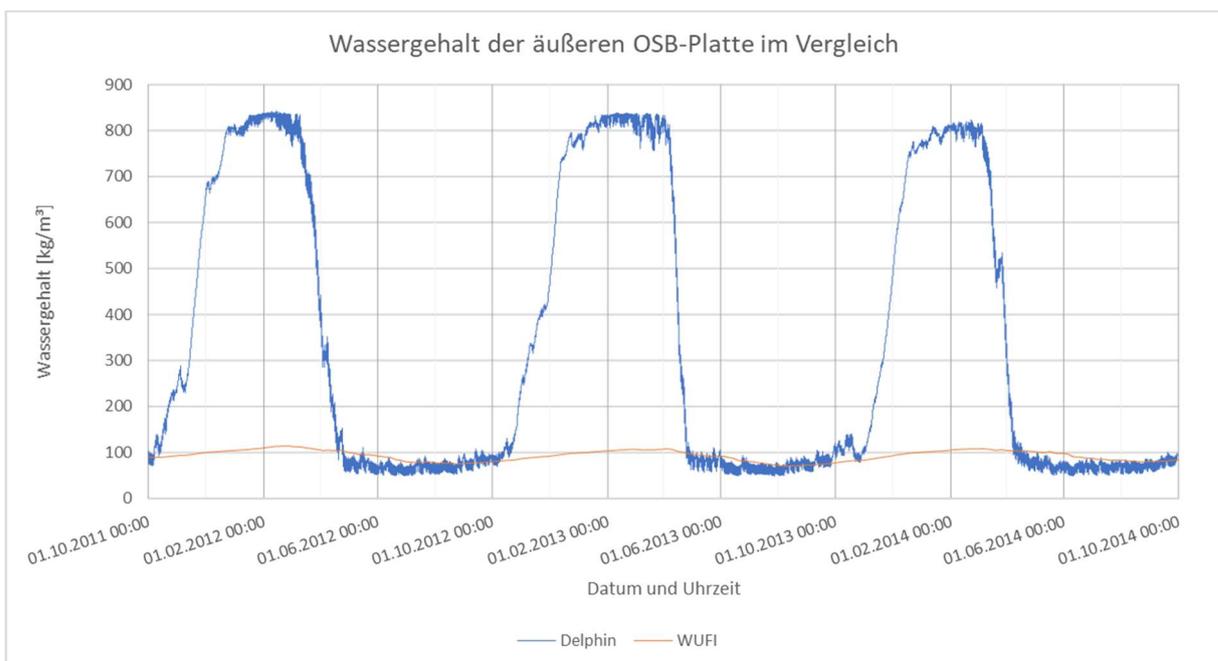


Abbildung 171: Wassergehalt der äußeren OSB-Platte im Vergleich

Bei der Temperatur der inneren OSB-Platte (Abbildung 172) hat WUFI einen Verlauf mit sehr geringer Schwankungsbreite. Dieser liegt außerdem sehr konstant im Bereich zwischen 20 und 25 °C. Die Temperatur bei Delphin hingegen hat im Winter einen

Tiefpunkt von bis zu 0 °C, im ersten Jahr, und ist im restlichen Jahr relativ konstant, wobei die Schwankungsbreite durchaus 15 °C betragen kann.

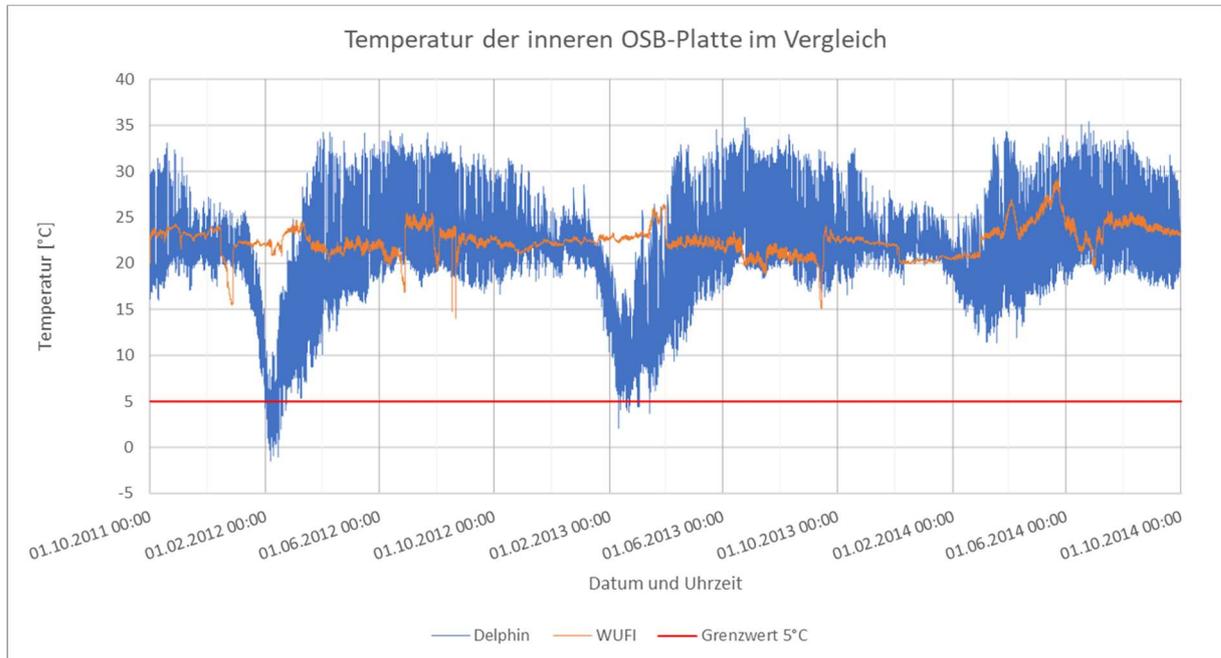


Abbildung 172: Temperatur der inneren OSB-Platte im Vergleich

Bei der relativen Luftfeuchtigkeit der inneren OSB-Platte (Abbildung 173) fällt auf, dass sich bei WUFI eine sehr deutliche Sinusform einstellt, während bei Delphin die Kurve in drei Teile geteilt werden kann. Der erste Teil tritt im ersten Quartal jedes Jahres auf und hat die höchsten Werte, von 80 bis 100 %. Der zweite Teil tritt im zweiten und dritten Quartal auf und hat die Werte von 40 bis 80 %. Der dritte Teil liegt im vierten Quartal und hat die niedrigsten Werte vom 20 bis 60 %. Außerdem sind die Hochpunkte der beiden Kurven phasenversetzt, während zumindest die erste Hälfte der Tiefpunkte von WUFI mit denen von Delphin übereinstimmt.

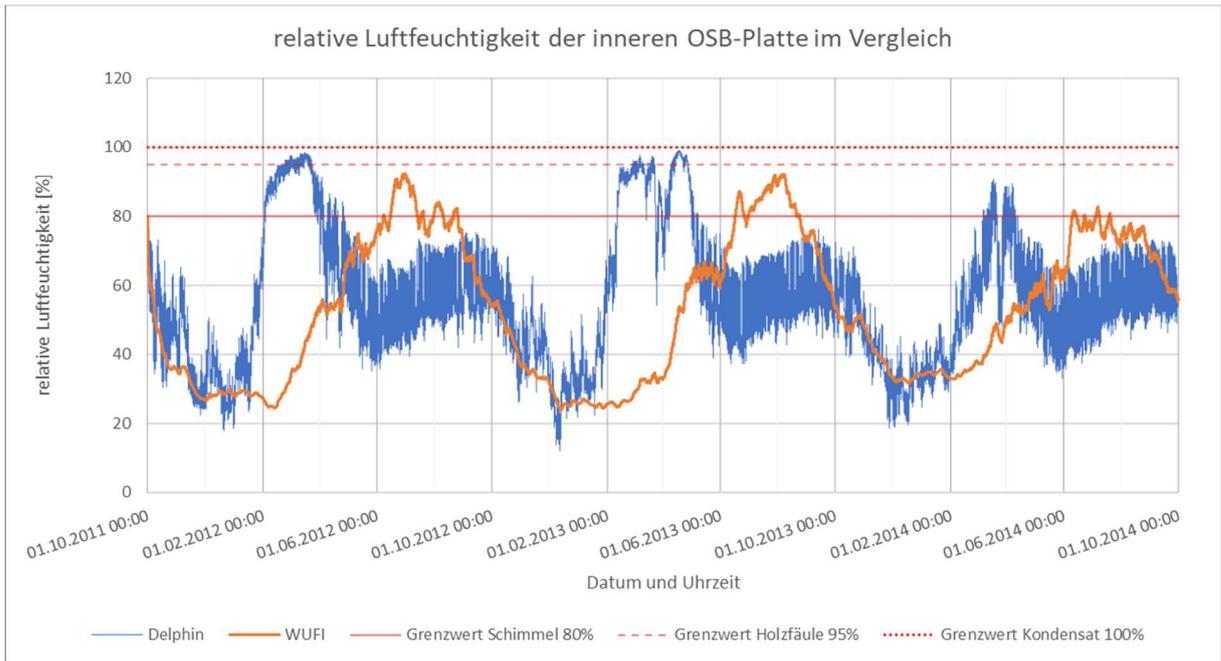


Abbildung 173: relative Luftfeuchtigkeit der äußeren OSB-Platte im Vergleich

Der Wassergehalt der inneren OSB-Platte (Abbildung 174) hat bei beiden Kurven ein ähnliches Niveau zwischen 50 und 100 kg. Die Kurve von Delphin hat jedoch Höchstwerte von März bis Mai jeden Jahres. Die drei Teile, welche in der vorigen Abbildung deutlich abgebildet wurden, sind hier auch, in reduzierter Form, zu erkennen. Die Kurve von WUFI zeigt wieder einen sinusförmigen Verlauf, wobei die Höchstwerte phasenversetzt zu Delphin abgebildet werden.

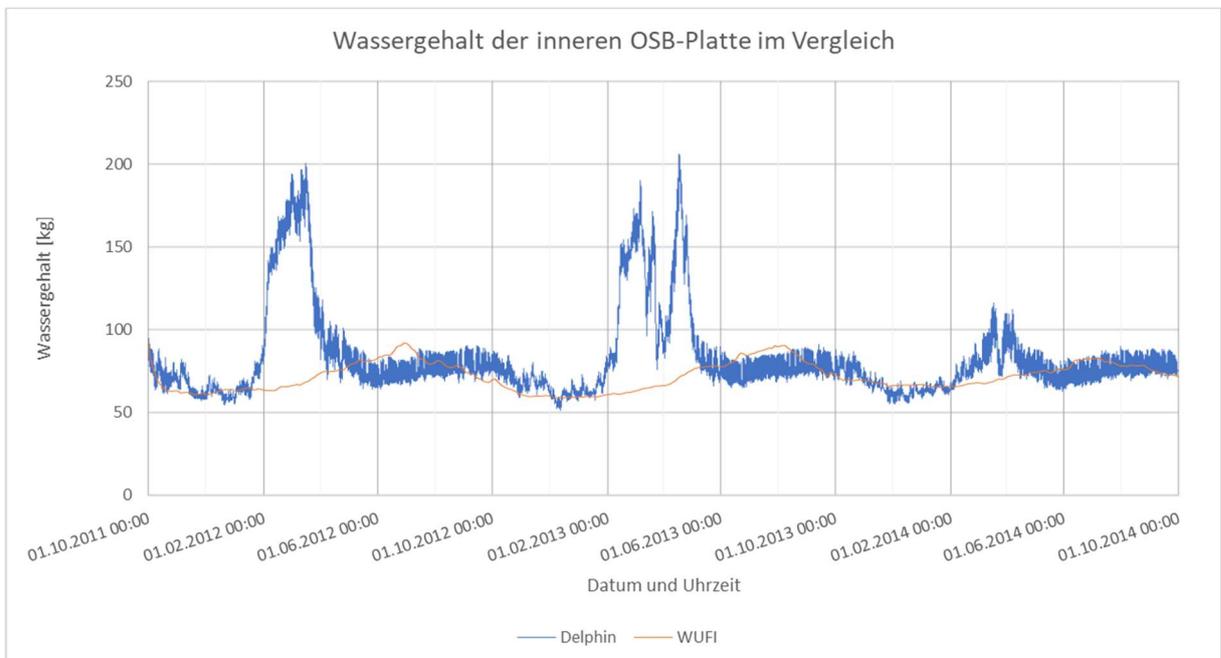


Abbildung 174: Wassergehalt der inneren OSB-Platte im Vergleich

In Abbildung 175 wird der Wassergehalt der Wärmedämmung der beiden Programme betrachtet. Die Kurve von WUFI zeigt wieder einen sinusförmigen Verlauf und liegt stets zwischen 5 und 8 kg. Die Kurve von Delphin zeigt Höchstwerte von bis zu 60 kg. Die Werte

von Delphin sind im Februar und März um bis zu 14-mal höher als die von WUFI. In den anderen Perioden liegt Delphin meist jedoch unter den Werten von WUFI.

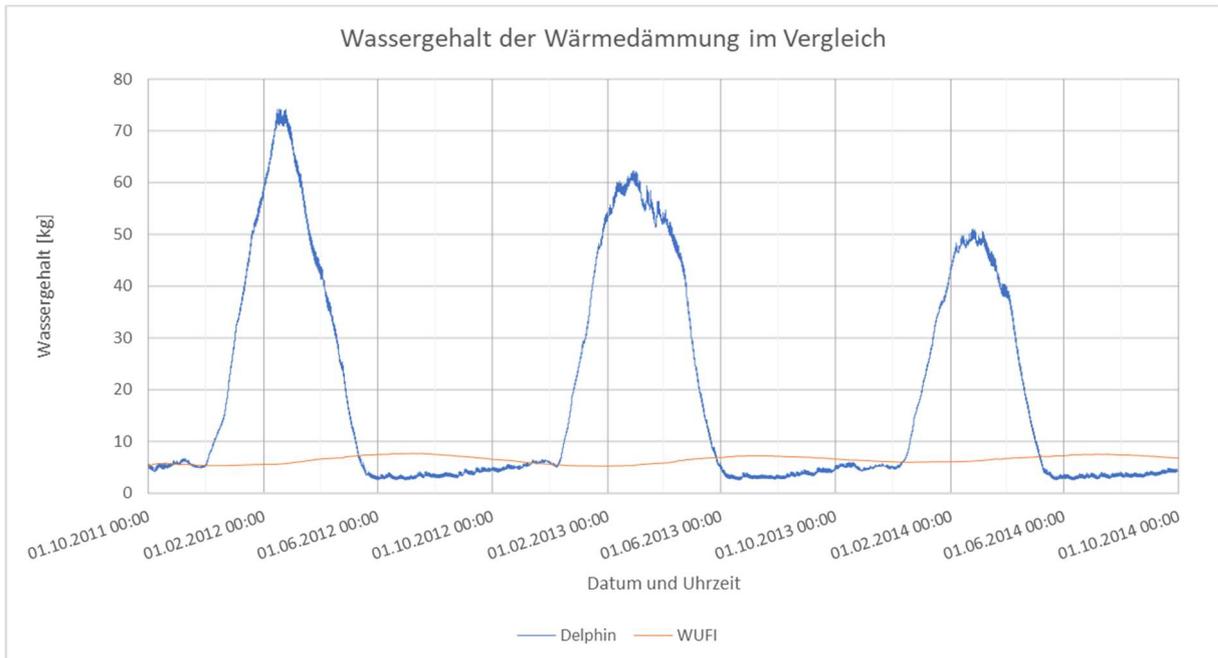


Abbildung 175: Wassergehalt der Wärmedämmung im Vergleich

Um die Unterschiede der Berechnungsarten nochmal zu verdeutlichen werden in den nachfolgenden 4 Abbildungen, einerseits die Temperatur und andererseits der Wassergehalt in den einzelnen betrachteten Schichten pro Simulationsprogramm dargestellt.

In Abbildung 176 werden die Temperaturverläufe der inneren und äußeren OSB-Platte von Delphin abgebildet, während in Abbildung 177 die Temperaturverläufe von WUFI abgebildet sind. Zu sehen ist, dass die Temperatur der äußeren OSB-Platte bei WUFI und Delphin sehr ähnlich sind. Die Temperatur der inneren OSB-Platte unterscheiden sich jedoch deutlich voneinander, wobei Delphin gerade im Winter konservativere Ergebnisse liefert.

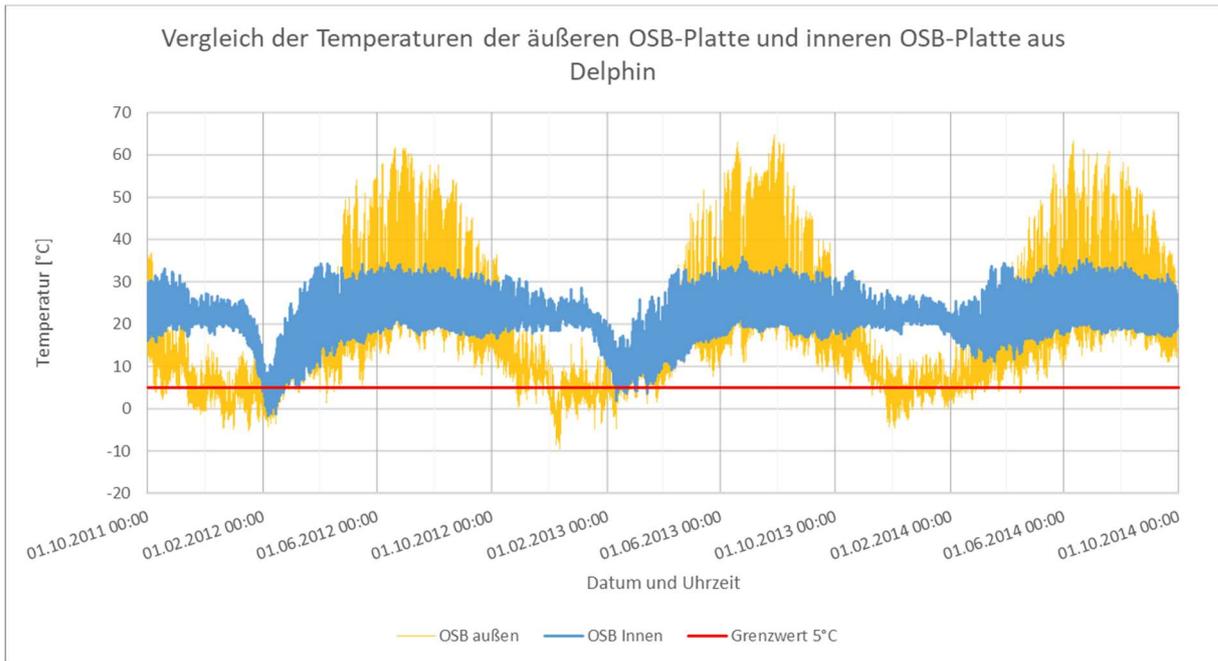


Abbildung 176: Vergleich der Temperaturen der äußeren und der inneren OSB-Platte aus Delphin

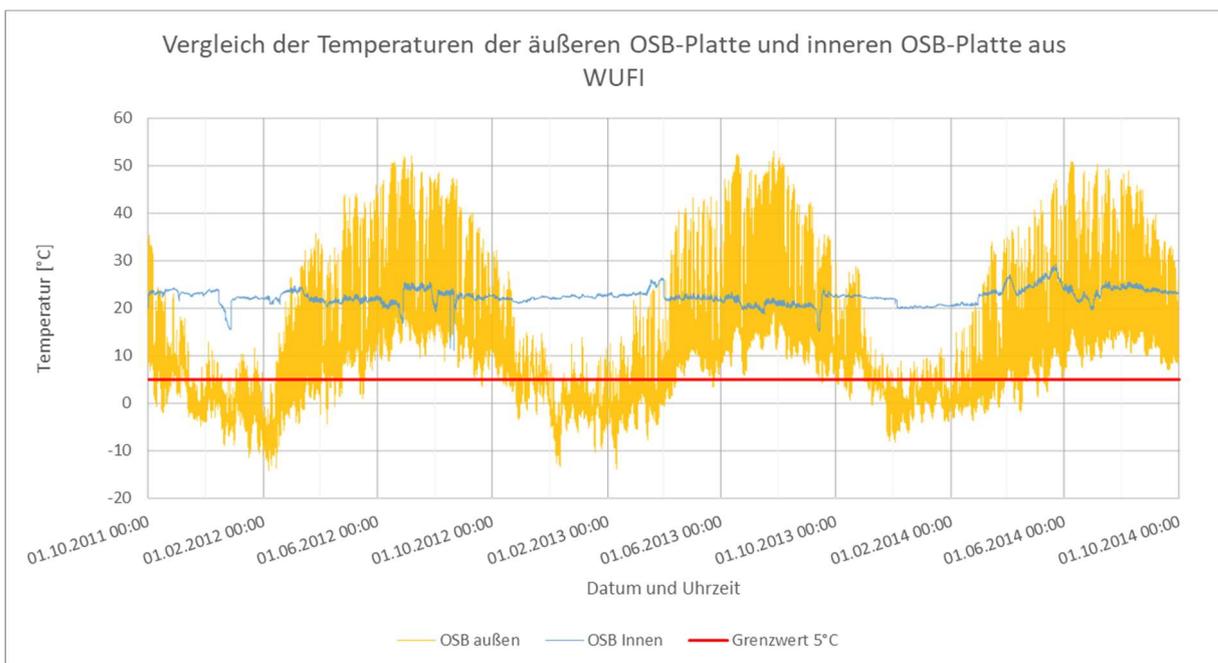


Abbildung 177: Vergleich der Temperaturen der äußeren OSB-Platte und inneren OSB-Platte aus WUFI

In Abbildung 178 sind die relativen Luftfeuchtigkeiten der äußeren und inneren OSB-Platte von Delphin abgebildet und in Abbildung 179 die von WUFI. Hier kann man den Unterschied der Berechnungsart nochmals deutlich vergleichen. Während bei Delphin durchaus starke Schwankungen über einen kurzen Zeitraum vorhanden sind, ist dies bei der Berechnung von WUFI nicht der Fall. Dort haben die Kurven eine geringe Schwankungsbreite. Die Wertebereiche der Kurven sind ähnlich, wobei die Kurven an sich sehr verschiedene Formen aufzeigen.

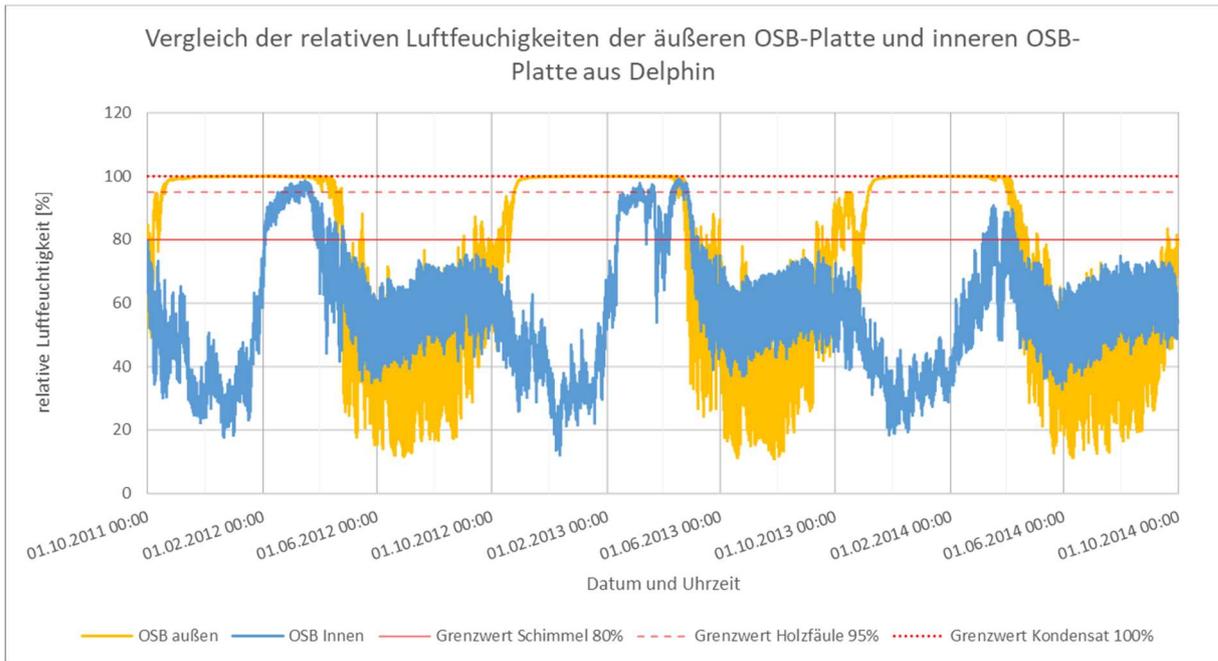


Abbildung 178: Vergleich der relativen Luftfeuchtigkeiten der äußeren OSB-Platte und inneren OSB-Platte aus Delphin

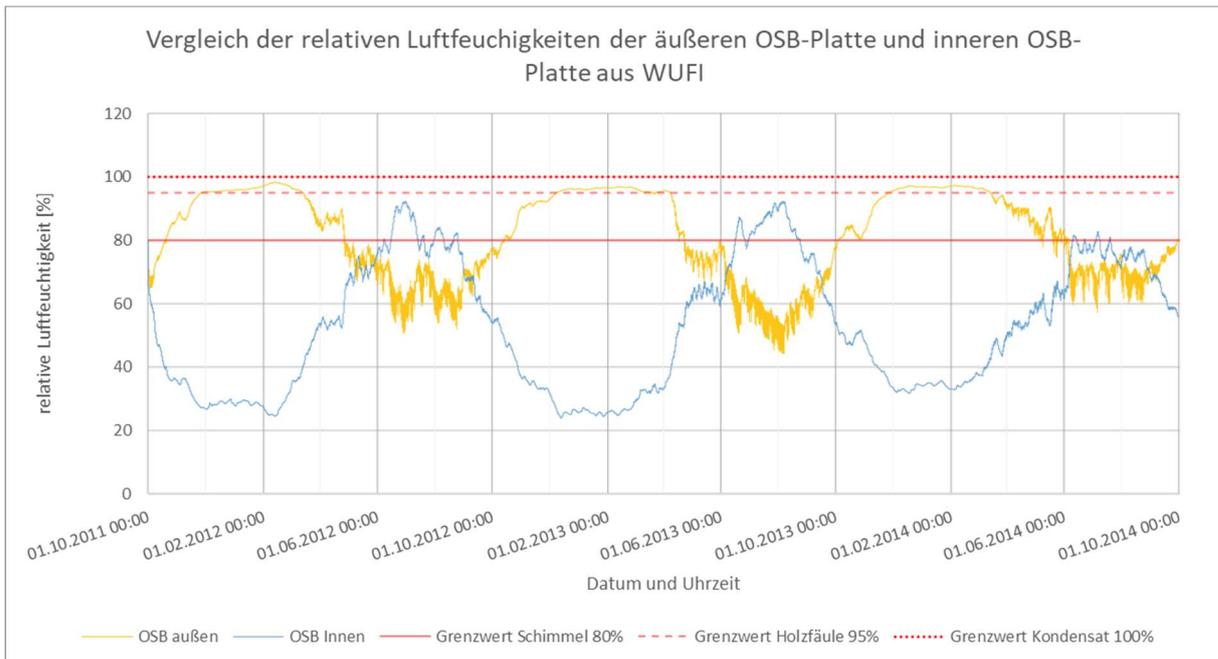


Abbildung 179: Vergleich der relativen Luftfeuchtigkeiten der äußeren OSB-Platte und inneren OSB-Platte aus WUFI

Die Wassergehalte der Wärmedämmung und der inneren OSB-Platte sind für Delphin und WUFI in Abbildung 180 und die äußere OSB-Platte für Delphin und WUFI in Abbildung 181 abgebildet. Die Unterschiede der Wassergehalte sind deutlich, während WUFI wieder Sinuskurven abbildet, zeigt sich für Delphin das Verhalten von eher konstanten Wassergehalten auf niedrigem Niveau gefolgt von Platos auf höherem. Die Wassergehalte im unteren Niveau sind sich in ihrer Höhe z.B.: für die innere OSB-Platte sind Werte zwischen 60 und 80 kg üblich.

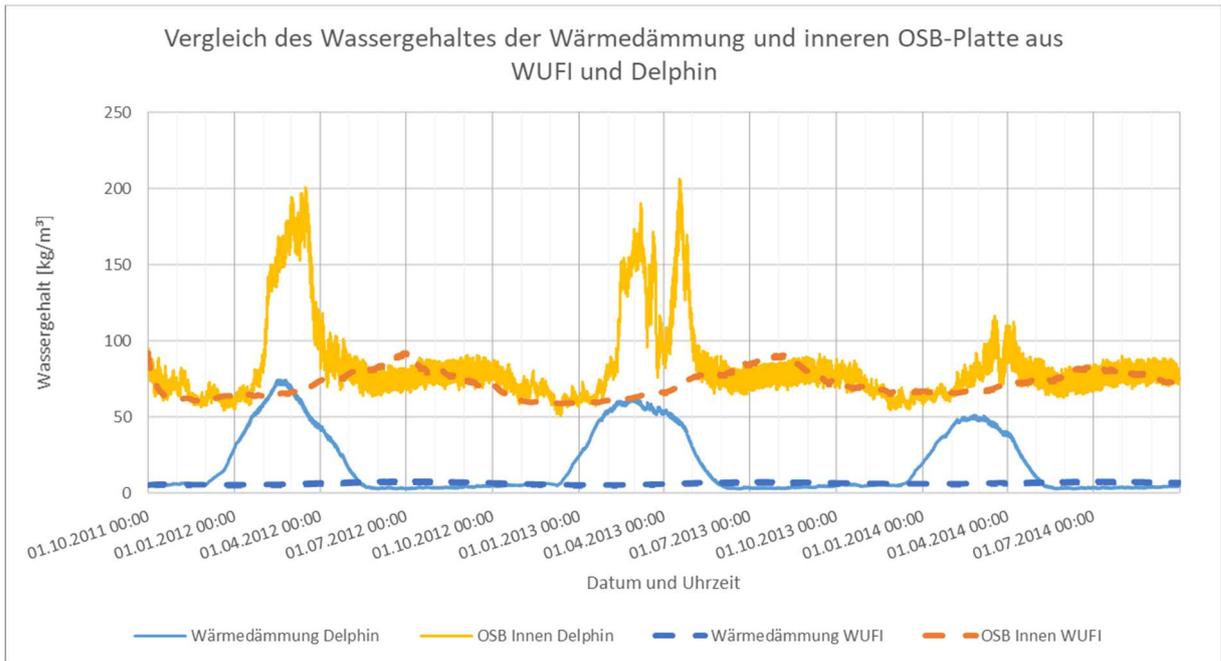


Abbildung 180: Vergleich des Wassergehaltes der Wärmedämmung und inneren OSB-Platte aus Delphin und WUFI

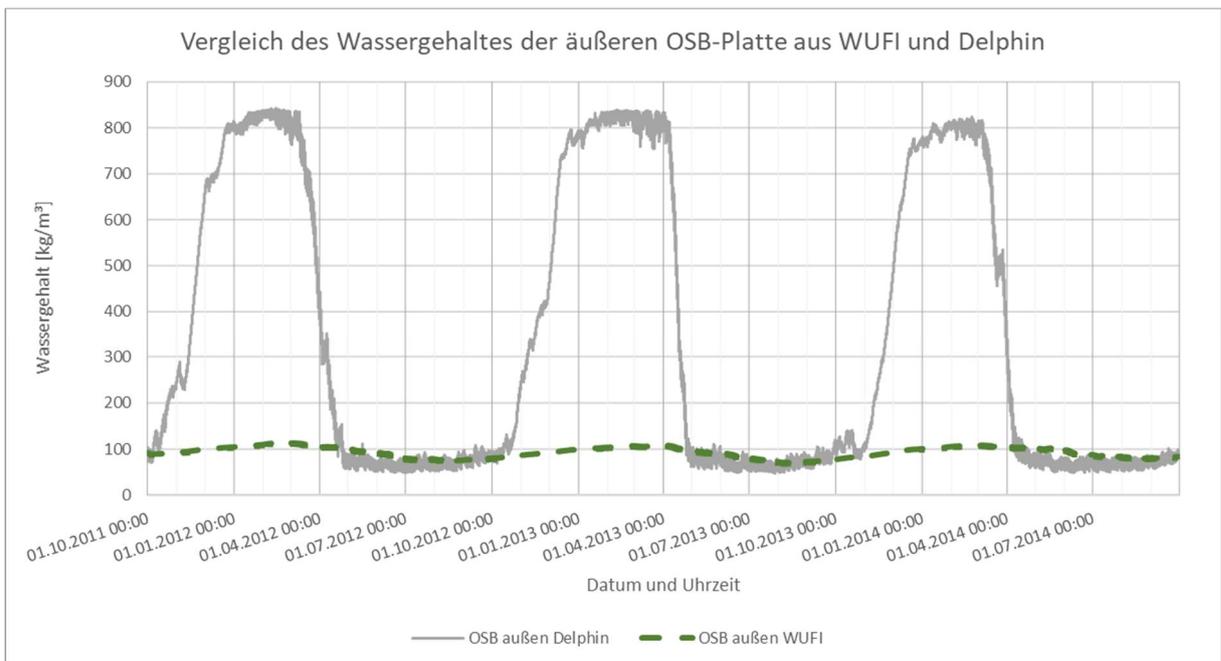


Abbildung 181: Vergleich des Wassergehaltes der äußeren OSB-Platte aus Delphin und WUFI

5.2 Schlussfolgerungen

Die beiden Programme ähneln sich in ihrer Methodik zur instationären Berechnung, wobei die Unterschiede deutlich erkennbar sind. Die einzigen Verläufe, bei denen beide Programme starke Ähnlichkeiten zeigten, sind die Temperaturen der Außenoberfläche und der äußeren OSB-Platte. Bei den restlichen zeigte sich, dass WUFI deutlich konservativere Ergebnisse bei den relativen Luftfechtigkeiten und den Wassergehalten lieferte. Die Wassergehalte zeigen dabei in ihrer Form größere Übereinstimmung zwischen den beiden Programmen als die relative Luftfechtigkeiten.

Durch eine Berechnung mit Delphin, im Vergleich zu WUFI, ist insgesamt eine kritischere Betrachtung der Bauteile möglich, wodurch der Vorteil der automatischen Sensitivitätsanalyse kann ebenfalls genutzt werden.

5.3 Zusammenfassung

Die instationären Simulationsprogramme WUFI und Delphin werden mit denselben Randbedingungen verglichen, um so eine Entscheidungsbasis für den AG Isocell in Bezug auf die automatische Sensitivitätsanalyse zu schaffen. Aus diesem Vergleich geht hervor, dass die beiden Programme sich in ihrer Berechnung ähneln, wobei beispielsweise bei der Berechnung des Gesamtwassergehalts mit Delphin teilweise viel höhere Werte entstehen. Eine Verwendung von Delphin für die automatische Validierung ist somit möglich, sofern die konservativeren Ergebnisse beim Vergleich mit WUFI beachtet werden. Dieser Vergleich zeigt, dass es gravierende Unterschiede in der Schadensbeurteilung, alleine durch die Wahl des Programmes bei denselben Randbedingungen, geben kann.

6 Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick

In diesem Kapitel wird zuerst eine Zusammenfassung über die Arbeit gegeben. Anschließend werden im Ausblick Punkte genannt, welche bei einem Forschungsprojekt zu diesem Thema interessant wären.

6.1 Zusammenfassung

In dieser Arbeit werden Sensitivitätsanalyse anhand von Messdaten für ein Bauteil (I51) durchgeführt. Die Wahl und die Anzahl der statistischen Kenngröße ist von großer Bedeutung. Die zwei Kennzahlen (Delta²-Fehler und der Korrelationskoeffizient) sind eine Kombination, durch die eine manuelle Validierung durchgeführt werden könnte. Da es sich bei WUFI um eine eindimensionale Simulation handelt, ist es außerdem wichtig, die zu betrachtenden Sensoren ebenfalls in einer Dimension bei der Sensitivitätsanalyse zu betrachten. Dies bedeutet, dass es bei einem Bauteil zu bis zu sieben Validierungen kommen kann und pro Validierung mindestens zehn Sensordaten betrachtet werden und diese mit mindestens zwei Kennzahlen betrachtet werden. Eine Validierung für ein komplettes Bauteil durchzuführen, zieht somit einen erheblichen Aufwand mit sich, wodurch nun der Fokus auf die automatische Sensitivitätsanalyse mittels Delphin gelegt wird.

Als Nächstes werden die Sensordaten eines Bauteils (I51) analysiert. Die Sensortypen (Wassergehalts- und Temperatursensoren) werden kurz analysiert, da sie einerseits wenig aussagekräftige Ergebnisse liefern und andererseits so viele Ausfälle haben, dass sich keine Erkenntnisse extrahieren lassen. Die kombinierten Sensoren werden detaillierter betrachtet, wobei diese zuerst allgemein beurteilt werden. Dann werden sie mit ähnlichen Sensoren verglichen. Aus den Isoplethen kann folglich die Beurteilung der Schimmelpilz- und Holzfäulebildung erfolgen. Zusätzlich wird noch die theoretische Kondensation dieser Sensoren berechnet. Durch eine Wärmestromuntersuchung kann außerdem auf eine mögliche Durchfeuchtung der Wärmedämmung geschlossen werden. Diese Beurteilungen der kombinierten Sensoren werden dann einer Bewertung unterzogen, um diese miteinander vergleichen zu können. Aus diesem Vergleich geht hervor, dass die außenliegenden Sensoren des Bauteils unter der PV-Anlage am schadensträchtigsten sind. Die außenliegenden Sensoren zeichnen, je näher sie zum Rand des Bauteils kommen, höhere Schadensanfälligkeiten auf. Die innenliegenden Sensoren weisen ebenso höhere Dauern von Schimmel und Holzfäule in den Randbereichen auf, wobei es Innen zu keiner Kondensatbildung kommt.

Beim Vergleich von WUFI und Delphin werden mit denselben Randbedingungen und einer ähnlichen Berechnungsweise ähnliche Ergebnisse in ihrer Form erzielt, die jedoch in ihrer Höhe stark unterschiedlich sind. Der Gesamtwassergehalt von Delphin hat teilweise den 8-fachen Wert als WUFI.

6.2 Diskussion

Hier werden einzelne Sachverhalte der Untersuchung angegeben und kritisch betrachtet, um Schwachpunkte der Vorgehensweise aufzuzeigen und mögliche Verbesserungen für die Zukunft zu finden.

Bei der Beurteilung der Sensoren gibt es ein paar Punkte, welche beachtet werden sollten. Einerseits gehört der Umgang mit Ausfällen geregelt, also ab wann Sensordaten aufgrund von Messausfällen keine Ergebnisse liefern können, da die Ausfälle einen gewissen Prozentsatz ausmachen- z.B.: Ab 50% pro Jahr. Ein anderer Punkt ist die Systematik der Interpretationen in Bezug auf die Messabweichungen der benutzten Instrumente, da hier zu genaue Aussagen nicht eindeutig gemacht werden konnten, ohne die Toleranzen in der Analyse zu berücksichtigen. Die Aussagen können durch das Einpflegen der Abweichungen zwar nicht genauer getroffen werden, jedoch können die Unsicherheiten hervorgehoben werden. Die Schimmelpilzbeurteilung wurde mit einem Modell durchgeführt, welches generell nur für Bauteiloberflächen gilt, wobei es für das Innere von Bauteilen kein Modell gibt. Die dynamische Wärmeleitfähigkeit wurde vereinfacht berechnet, da einerseits beide Programme (WUFI und Delphin) unterschiedliche Herangehensweisen für dieses Problem zeigen und es andererseits kein geregeltes Vorgehen für dieses Problem gibt.

Der Unterschied zwischen den Programmen WUFI und Delphin ist kritisch, da bei denselben Randbedingungen und grundsätzlichen Vorgehensweisen solch unterschiedliche Ergebnisse erzielt wurden.

6.3 Ausblick

In dieser Arbeit werden viele Untersuchungen im Zusammenhang mit den Sensordaten bearbeitet, jedoch war es nicht möglich alle Themen zu behandeln. Aus diesem Grund wird in diesem Kapitel auf Themen verwiesen, welche für zukünftige Forschungen von Interesse wären.

Der erste und naheliegendste Punkt ist, die restlichen Sensoren und Aufbauten zu untersuchen, da durch diese Untersuchungen ein Vergleich hergestellt werden kann. Durch die Vergleichbarkeit können dann Vorteile und Nachteile der jeweiligen Materialien untersucht und hervorgehoben werden, um so z.B.: die Materialien situationspezifischer einsetzen zu können.

Ein Wachstum-Zeit-Diagramm der Schimmelpilz- und Holzfäulebildung wäre ein Punkt, welcher für eine bessere Übersicht ergänzt werden könnte.

Ein zweiter wichtiger Punkt wäre, die Messtheorie in die Analyse zu integrieren und anstatt eines Wertes (dem Messwert) einen Messbereich (Messwert \pm Toleranz) anzugeben. Dies konnte durch die Komplexität, vor allem in Bezug auf die Schimmelpilzuntersuchung, in dieser Zeit nicht ermöglicht werden. Durch die Angabe des Messbereiches können Aussagen über die Sensoren noch sicherer getroffen werden.

Der dritte Punkt ist die Analyse des Außenklimas und die Einbindung des Außenklimas bei der Analyse der Sensoren, um dadurch zum Beispiel signifikante Unterschiede in der Jahresmitteltemperatur bei den einzelnen Sensoren mit der Außentemperatur zu vergleichen.

Eine automatische Sensitivitätsanalyse mit Delphin durchzuführen, stellt einen weiteren Punkt dar, um die Aufbauten über einen längeren Zeitraum untersuchen zu können und so noch aussagekräftigere Ergebnisse zu erhalten. Außerdem wäre es hier interessant, die Simulationsergebnisse von Delphin mit den Sensordaten zu vergleichen, um somit eine mögliche, grundsätzlich bessere Übereinstimmung der Verläufe (z.B.: Temperaturverlauf) zu betrachten und so die Sensitivitätsanalyse noch einfacher zu gestalten. Beim Vergleich von WUFI und Delphin können zusätzlich auch die tatsächlichen Sensordaten ins Auge gefasst werden.

7 Anhang

7.1 Syntax

7.1.1 Syntax für den Vergleich der Sensoren (Kurzversion)

@Gößeringer Daniel

```

data4_NA <- import('C:/Users/Daniel/Desktop/MA Temp/Data analysis/Sensordat
en txt/Aufbau I514.txt',header = TRUE, dec = ",")
data4 <- data4_NA[complete.cases(data4_NA),]
data4$timestamp <- as.POSIXct(data4$timestamp, format = "%Y-%m-%d %H:%M:%S"
, tz = "CET")
data4$V1 <- seq(252384)
data4 <- filter(data4, V1 < 241951)

#####          INPUT          #####
S1 <- "RH03"
S2 <- "RH04"
S3 <- "RH05"

data1 <- data.frame(
  V1 =data4$V1,
  timestamp = data4$timestamp,
  RH = as.numeric(data4$I51RH03_RH),
  TEMP = as.numeric(data4$I51RH03_T)
)
data2 <- data.frame(
  V1 =data4$V1,
  timestamp = data4$timestamp,
  RH = as.numeric(data4$I51RH04_RH),
  TEMP = as.numeric(data4$I51RH04_T)
)
data3 <- data.frame(
  V1 =data4$V1,
  timestamp = data4$timestamp,
  RH = as.numeric(data4$I51RH05_RH),
  TEMP = as.numeric(data4$I51RH05_T)
)
#####          INPUT END          #####

TEMP_ACHSE <- "Temperatur in °C"
ZEIT_ACHSE <- "Datum und Uhrzeit"
BAUTEIL <- "I51"

NAMEISO1 <- paste0(S1, " - ", S3, " (grau)")
NAMEISO2 <- paste0(S2, " - ", S3, " (grau)")
NAMEISO3 <- paste0(S2, " - ", S1, " (grau)")

TIMEY <- "Datum und Uhrzeit"

```

```

NAME1 <- paste0("Sensor ", S1)
NAME2 <- paste0("Sensor ", S2)
NAME3 <- paste0("Sensor ", S3)

SUB_gg1 <- paste0(NAME1, "_RH (blau) mit Trendlinie")
SUB_gg2 <- paste0(NAME1, "_T (blau) mit Trendlinie")
SUB_gg3 <- paste0(NAME2, "_RH (rot) mit Trendlinie")
SUB_gg4 <- paste0(NAME2, "_T (rot) mit Trendlinie")
SUB_gg5 <- paste0(NAME3, "_RH (grau) mit Trendlinie")
SUB_gg6 <- paste0(NAME3, "_T (grau) mit Trendlinie")

BAUTEIL <- "Bauteil I51"

SUB_ggg1 <- paste0("Vergleich der Sensoren ", S1, ", ", S2, " und " ,S3 )
SUB_ggg2 <- paste0("Vergleich der Sensoren ", S1, ", ", S2, " und " ,S3, "
mit Trendlinien")

SUB_ggg1_1 <- paste0("Vergleich der Sensoren ", S1, " (Kreis), ", S2, " (St
ern) und " ,S3, " (Fadenkreuz)" )

SUB_mold11 <- paste0(S1, " - Sporenauskeimungszeit")
SUB_mold12 <- paste0(S1, " - Myzelwachstum")
SUB_faul1 <- paste0(S1, " - Holzfäule")

SUB_mold21 <- paste0(S2, " - Sporenauskeimungszeit")
SUB_mold22 <- paste0(S2, " - Myzelwachstum")
SUB_faul2 <- paste0(S2, " - Holzfäule")

SUB_mold31 <- paste0(S3, " - Sporenauskeimungszeit")
SUB_mold32 <- paste0(S3, " - Myzelwachstum")
SUB_faul3 <- paste0(S3, " - Holzfäule")

path_out = "C:/Users/Daniel/Desktop/MA TEMP/Data analysis/working code/4 Me
ta-Analyse//"
breaks <- c(1293836400,1325372400,1356994800,1388530800, 1420066800,1451602
800)

TIME <- data4$timestamp
Month <- months(TIME)
Year <- format(TIME,format="%y")
Year2 <- paste0("20", Year,sep = "")
YandM <- paste(Month,Year2,sep = " ")

M_factor <- factor(
  x = Month,
  levels = c("Jänner","Februar","März", "April", "Mai", "Juni", "Juli", "Au
gust", "September", "Oktober", "November","Dezember")
)

Y_factor <- factor(
  x = Year2,
  levels = c("2011", "2012", "2013", "2014", "2015")
)

```

```

)

YandM_factor <- factor(
  x = YandM,
  levels = c("Dezember 2010","Jänner 2011","Februar 2011","März 2011", "Apr
il 2011", "Mai 2011", "Juni 2011", "Juli 2011", "August 2011", "September 2
011", "Oktober 2011", "November 2011","Dezember 2011","Jänner 2012","Februa
r 2012","März 2012", "April 2012", "Mai 2012", "Juni 2012", "Juli 2012", "A
ugust 2012", "September 2012", "Oktober 2012", "November 2012","Dezember 20
12","Jänner 2013","Februar 2013","März 2013", "April 2013", "Mai 2013", "Ju
ni 2013", "Juli 2013", "August 2013", "September 2013", "Oktober 2013", "No
vember 2013","Dezember 2013","Jänner 2014","Februar 2014","März 2014", "Apr
il 2014", "Mai 2014", "Juni 2014", "Juli 2014", "August 2014", "September 2
014", "Oktober 2014", "November 2014","Dezember 2014","Jänner 2015","Februa
r 2015","März 2015", "April 2015", "Mai 2015", "Juni 2015", "Juli 2015", "A
ugust 2015", "September 2015", "Oktober 2015", "November 2015","Dezember 20
15" )
)

Mean_Temp_1Y <- aggregate(TEMP ~ Y_factor, data1, mean)
Mean_RH_1Y <- aggregate(RH ~ Y_factor, data1, mean)

Mean_Temp_2Y <- aggregate(TEMP ~ Y_factor, data2, mean)
Mean_RH_2Y <- aggregate(RH ~ Y_factor, data2, mean)

Mean_Temp_3Y <- aggregate(TEMP ~ Y_factor, data3, mean)
Mean_RH_3Y <- aggregate(RH ~ Y_factor, data3, mean)

Mean_Temp_1M <- aggregate(TEMP ~ M_factor, data1, mean)
Mean_RH_1M <- aggregate(RH ~ M_factor, data1, mean)

Mean_Temp_2M <- aggregate(TEMP ~ M_factor, data2, mean)
Mean_RH_2M <- aggregate(RH ~ M_factor, data2, mean)

Mean_Temp_3M <- aggregate(TEMP ~ M_factor, data3, mean)
Mean_RH_3M <- aggregate(RH ~ M_factor, data3, mean)

Mean_Temp_1 <- aggregate(TEMP ~ YandM_factor, data1, mean)
Mean_RH_1 <- aggregate(RH ~ YandM_factor, data1, mean)

Mean_Temp_2 <- aggregate(TEMP ~ YandM_factor, data2, mean)
Mean_RH_2 <- aggregate(RH ~ YandM_factor, data2, mean)

Mean_Temp_3 <- aggregate(TEMP ~ YandM_factor, data3, mean)
Mean_RH_3 <- aggregate(RH ~ YandM_factor, data3, mean)

fit_the_curve <-function(rel_F, Temp)
{
  a <- rel_F
  x <- Temp

```

```
fit <- lm(a~poly(x,2, raw = T))
xx <- seq(0,60, length=600)

Fitted <- data.frame(
  Temp = xx,
  rel_F = predict(fit, data.frame(x=xx))
)
return(Fitted)
}

fit_the_curve2 <-function(rel_F, Temp)
{
  a <- rel_F
  x <- Temp

  fit <- lm(a~poly(x,2, raw = T))
  xx <- seq(0,30, length=600)

  Fitted <- data.frame(
    Temp = xx,
    rel_F = predict(fit, data.frame(x=xx))
  )
  return(Fitted)
}

myzel_0 <- fit_the_curve(
  rel_F = c(90,71,90),
  Temp = c(0,30,60)
)

myzel_01 <- fit_the_curve(
  rel_F = c(96,76,96),
  Temp = c(0,30,60)
)

myzel_02 <- fit_the_curve(
  rel_F = c(100,81,100),
  Temp = c(0,30,60)
)

myzel_03 <- fit_the_curve(
  rel_F = c(100,83,100),
  Temp = c(2,30,58)
)

myzel_04 <- fit_the_curve(
  rel_F = c(100,87.5,100),
  Temp = c(4,30,56)
)

myzel_05 <- fit_the_curve(
  rel_F = c(100,92,100),
  Temp = c(7,30,53)
```

```
)

spores_0 <- fit_the_curve(
  rel_F = c(92.5,70,92.5),
  Temp = c(0,30,60)
)

spores_16 <- fit_the_curve(
  rel_F = c(94,72,94),
  Temp = c(0,30,60)
)

spores_8 <- fit_the_curve(
  rel_F = c(97,74,97),
  Temp = c(0,30,60)
)

spores_4 <- fit_the_curve(
  rel_F = c(99,77,99),
  Temp = c(0,30,60)
)

spores_2 <- fit_the_curve(
  rel_F = c(100,80,100),
  Temp = c(2,30,58)
)

spores_1 <- fit_the_curve(
  rel_F = c(100,85,100),
  Temp = c(5,30,55)
)

fit_the_coef <-function(rel_F, Temp)
{
  a <- rel_F
  x <- Temp

  fit <- lm(a~poly(x,2, raw = T))
  xx <- seq(0,60, length=600)

  b <- coef(fit)
  return(b)
}

coef_myzel_0 <- fit_the_coef(
  rel_F = c(90,71,90),
  Temp = c(0,30,60)
)

coef_myzel_01 <- fit_the_coef(
  rel_F = c(96,76,96),
  Temp = c(0,30,60)
)
```

```
)  
  
coef_myzel_02 <- fit_the_coef(  
  rel_F = c(100,81,100),  
  Temp = c(0,30,60)  
)  
  
coef_myzel_03 <- fit_the_coef(  
  rel_F = c(100,83,100),  
  Temp = c(2,30,58)  
)  
  
coef_myzel_04 <- fit_the_coef(  
  rel_F = c(100,87.5,100),  
  Temp = c(4,30,56)  
)  
  
coef_myzel_05 <- fit_the_coef(  
  rel_F = c(100,92,100),  
  Temp = c(7,30,53)  
)  
  
coef_spores_0 <- fit_the_coef(  
  rel_F = c(92.5,70,92.5),  
  Temp = c(0,30,60)  
)  
  
coef_spores_16 <- fit_the_coef(  
  rel_F = c(94,72,94),  
  Temp = c(0,30,60)  
)  
  
coef_spores_8 <- fit_the_coef(  
  rel_F = c(97,74,97),  
  Temp = c(0,30,60)  
)  
  
coef_spores_4 <- fit_the_coef(  
  rel_F = c(99,77,99),  
  Temp = c(0,30,60)  
)  
  
coef_spores_2 <- fit_the_coef(  
  rel_F = c(100,80,100),  
  Temp = c(2,30,58)  
)  
  
coef_spores_1 <- fit_the_coef(  
  rel_F = c(100,85,100),  
  Temp = c(5,30,55)  
)  
  
holz_faul <- fit_the_curve2(  

```

```

rel_F = c(95,86),
Temp = c(0,30)
)

data_filt <- data1

df_filt_myzel_0 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_myzel_0[1]+coef_myzel_0[2]*TEMP+coef_myzel_0[3]*TEMP^2)

df_filt_myzel_01 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_myzel_01[1]+coef_myzel_01[2]*TEMP+coef_myzel_01[3]*TEMP^2)

df_filt_myzel_02 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_myzel_02[1]+coef_myzel_02[2]*TEMP+coef_myzel_02[3]*TEMP^2)

df_filt_myzel_03 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_myzel_03[1]+coef_myzel_03[2]*TEMP+coef_myzel_03[3]*TEMP^2)

df_filt_myzel_04 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_myzel_04[1]+coef_myzel_04[2]*TEMP+coef_myzel_04[3]*TEMP^2)

df_filt_myzel_05 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_myzel_05[1]+coef_myzel_05[2]*TEMP+coef_myzel_05[3]*TEMP^2)

df_filt_spores_0 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_spores_0[1]+coef_spores_0[2]*TEMP+coef_spores_0[3]*TEMP^2)

df_filt_spores_1 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_spores_1[1]+coef_spores_1[2]*TEMP+coef_spores_1[3]*TEMP^2)

df_filt_spores_2 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_spores_2[1]+coef_spores_2[2]*TEMP+coef_spores_2[3]*TEMP^2)

df_filt_spores_4 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_spores_4[1]+coef_spores_4[2]*TEMP+coef_spores_4[3]*TEMP^2)

df_filt_spores_8 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_spores_8[1]+coef_spores_8[2]*TEMP+coef_spores_8[3]*TEMP^2)

df_filt_spores_16 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_spores_16[1]+coef_spores_16[2]*TEMP+coef_spores_16[3]*TEMP^2)

df_filt_faul <- filter(data_filt, between(TEMP,0,30) & RH >= 95-0.3*TEMP)

myzel_test <- function(TEMP, RH, C1, C2, C3){
  i <- ifelse (between(TEMP,0,60) & RH >= C1+C2*TEMP+C3*TEMP^2, 1,0)
  return(i)
}

faul_test <- function(TEMP, RH){
  i <- ifelse (between(TEMP,0,30) & RH >= 95-0.3*TEMP, 1,0)

```

```

return(i)
}

data_filt$myzel0 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_myzel_0[1]
,coef_myzel_0[2],coef_myzel_0[3])
data_filt$myzel1 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_myzel_01[1]
,coef_myzel_01[2],coef_myzel_02[3])
data_filt$myzel2 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_myzel_02[1]
,coef_myzel_02[2],coef_myzel_02[3])
data_filt$myzel3 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_myzel_03[1]
,coef_myzel_03[2],coef_myzel_03[3])
data_filt$myzel4 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_myzel_04[1]
,coef_myzel_04[2],coef_myzel_04[3])
data_filt$myzel5 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_myzel_05[1]
,coef_myzel_05[2],coef_myzel_05[3])

data_filt$spores0 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_spores_0[
1],coef_spores_0[2],coef_spores_0[3])
data_filt$spores1 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_spores_1[
1],coef_spores_1[2],coef_spores_1[3])
data_filt$spores2 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_spores_2[
1],coef_spores_2[2],coef_spores_2[3])
data_filt$spores4 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_spores_4[
1],coef_spores_4[2],coef_spores_4[3])
data_filt$spores8 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_spores_8[
1],coef_spores_8[2],coef_spores_8[3])
data_filt$spores16 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_spores_1
6[1],coef_spores_16[2],coef_spores_16[3])

data_filt$faul <- faul_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH)

#write.csv( file=paste0(path_out, S1,"_GESAMT", ".csv", sep = ""), data_fil
t )

TIME <- data_filt$timestamp
Month <- months(TIME)
Year <- format(TIME,format="%y")
Year2 <- paste0("20", Year,sep = "")
YandM <- paste(Month,Year2,sep = " ")

RH11_M <- factor(
  x = Month,
  levels = c("Jänner","Februar","März", "April", "Mai", "Juni", "Juli", "Au
gust", "September", "Oktober", "November","Dezember")
)

RH11_Y <- factor(
  x = Year2,
  levels = c("2011", "2012", "2013", "2014", "2015")
)

Get_TIME <- function(TIME){
  TIME <- as.POSIXct(TIME)

```

```

Month <- months(TIME)
Year <- format(TIME,format="%y")
Year2 <- paste0("20", Year,sep = "")
YandM <- paste(Month,Year2,sep = " ")

YandM_factor <- factor(
  x = YandM,
  levels = c("Dezember 2010","Jänner 2011","Februar 2011","März 2011", "Apr
il 2011", "Mai 2011", "Juni 2011", "Juli 2011", "August 2011", "September 2
011", "Oktober 2011", "November 2011","Dezember 2011","Jänner 2012","Februa
r 2012","März 2012", "April 2012", "Mai 2012", "Juni 2012", "Juli 2012", "A
ugust 2012", "September 2012", "Oktober 2012", "November 2012","Dezember 20
12","Jänner 2013","Februar 2013","März 2013", "April 2013", "Mai 2013", "Ju
ni 2013", "Juli 2013", "August 2013", "September 2013", "Oktober 2013", "No
vember 2013","Dezember 2013","Jänner 2014","Februar 2014","März 2014", "Apr
il 2014", "Mai 2014", "Juni 2014", "Juli 2014", "August 2014", "September 2
014", "Oktober 2014", "November 2014","Dezember 2014","Jänner 2015","Februa
r 2015", "März 2015", "April 2015", "Mai 2015", "Juni 2015", "Juli 2015", "A
ugust 2015", "September 2015", "Oktober 2015", "November 2015","Dezember 20
15" )
)
return(YandM_factor)
}
#####
Get_IT <- function(TIME, STUFF){
  if (length(STUFF) == 0L){
    break
  }else{
    LEN <- STUFF

    LEN <- aggregate(LEN ~ TIME,,sum)

    return(LEN)
  }
}
#####

RH11_YM <- Get_TIME(data_filt$timestamp)

M_RH11_faul <- Get_IT(RH11_YM,data_filt$faul)
M_RH11_myzel_0 <- Get_IT(RH11_YM,data_filt$myzel0)
M_RH11_myzel_01 <- Get_IT(RH11_YM,data_filt$myzel1)
M_RH11_myzel_02 <- Get_IT(RH11_YM,data_filt$myzel2)
M_RH11_myzel_03 <- Get_IT(RH11_YM,data_filt$myzel3)
M_RH11_myzel_04 <- Get_IT(RH11_YM,data_filt$myzel4)
M_RH11_myzel_05 <- Get_IT(RH11_YM,data_filt$myzel5)
M_RH11_spores_0 <- Get_IT(RH11_YM,data_filt$spores0)
M_RH11_spores_1 <- Get_IT(RH11_YM,data_filt$spores1)
M_RH11_spores_2 <- Get_IT(RH11_YM,data_filt$spores2)
M_RH11_spores_4 <- Get_IT(RH11_YM,data_filt$spores4)
M_RH11_spores_8 <- Get_IT(RH11_YM,data_filt$spores8)
M_RH11_spores_16 <- Get_IT(RH11_YM,data_filt$spores16)

```

```

MM_RH11_faul <- Get_IT(RH11_M,data_filt$faul)
MM_RH11_myzel_0 <- Get_IT(RH11_M,data_filt$myzel0)
MM_RH11_myzel_01 <- Get_IT(RH11_M,data_filt$myzel1)
MM_RH11_myzel_02 <- Get_IT(RH11_M,data_filt$myzel2)
MM_RH11_myzel_03 <- Get_IT(RH11_M,data_filt$myzel3)
MM_RH11_myzel_04 <- Get_IT(RH11_M,data_filt$myzel4)
MM_RH11_myzel_05 <- Get_IT(RH11_M,data_filt$myzel5)
MM_RH11_spores_0 <- Get_IT(RH11_M,data_filt$spores0)
MM_RH11_spores_1 <- Get_IT(RH11_M,data_filt$spores1)
MM_RH11_spores_2 <- Get_IT(RH11_M,data_filt$spores2)
MM_RH11_spores_4 <- Get_IT(RH11_M,data_filt$spores4)
MM_RH11_spores_8 <- Get_IT(RH11_M,data_filt$spores8)
MM_RH11_spores_16 <- Get_IT(RH11_M,data_filt$spores16)

YM_RH11_faul <- Get_IT(RH11_Y,data_filt$faul)
YM_RH11_myzel_0 <- Get_IT(RH11_Y,data_filt$myzel0)
YM_RH11_myzel_01 <- Get_IT(RH11_Y,data_filt$myzel1)
YM_RH11_myzel_02 <- Get_IT(RH11_Y,data_filt$myzel2)
YM_RH11_myzel_03 <- Get_IT(RH11_Y,data_filt$myzel3)
YM_RH11_myzel_04 <- Get_IT(RH11_Y,data_filt$myzel4)
YM_RH11_myzel_05 <- Get_IT(RH11_Y,data_filt$myzel5)
YM_RH11_spores_0 <- Get_IT(RH11_Y,data_filt$spores0)
YM_RH11_spores_1 <- Get_IT(RH11_Y,data_filt$spores1)
YM_RH11_spores_2 <- Get_IT(RH11_Y,data_filt$spores2)
YM_RH11_spores_4 <- Get_IT(RH11_Y,data_filt$spores4)
YM_RH11_spores_8 <- Get_IT(RH11_Y,data_filt$spores8)
YM_RH11_spores_16 <- Get_IT(RH11_Y,data_filt$spores16)

data_filt <- data2

df_filt_myzel_0 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_myze
l_0[1]+coef_myzel_0[2]*TEMP+coef_myzel_0[3]*TEMP^2)

df_filt_myzel_01 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_myze
l_01[1]+coef_myzel_01[2]*TEMP+coef_myzel_01[3]*TEMP^2)

df_filt_myzel_02 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_myze
l_02[1]+coef_myzel_02[2]*TEMP+coef_myzel_02[3]*TEMP^2)

df_filt_myzel_03 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_myze
l_03[1]+coef_myzel_03[2]*TEMP+coef_myzel_03[3]*TEMP^2)

df_filt_myzel_04 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_myze
l_04[1]+coef_myzel_04[2]*TEMP+coef_myzel_04[3]*TEMP^2)

df_filt_myzel_05 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_myze
l_05[1]+coef_myzel_05[2]*TEMP+coef_myzel_05[3]*TEMP^2)

df_filt_spores_0 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_spo
res_0[1]+coef_spores_0[2]*TEMP+coef_spores_0[3]*TEMP^2)

df_filt_spores_1 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_spo
res_1[1]+coef_spores_1[2]*TEMP+coef_spores_1[3]*TEMP^2)

```

```

df_filt_spores_2 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_spo
res_2[1]+coef_spores_2[2]*TEMP+coef_spores_2[3]*TEMP^2)

df_filt_spores_4 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_spo
res_4[1]+coef_spores_4[2]*TEMP+coef_spores_4[3]*TEMP^2)

df_filt_spores_8 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_spo
res_8[1]+coef_spores_8[2]*TEMP+coef_spores_8[3]*TEMP^2)

df_filt_spores_16 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_sp
ores_16[1]+coef_spores_16[2]*TEMP+coef_spores_16[3]*TEMP^2)

df_filt_faul <- filter(data_filt, between(TEMP,0,30) & RH >= 95-0.3*TEMP)

data_filt$myzel0 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_myzel_0[1]
,coef_myzel_0[2],coef_myzel_0[3])
data_filt$myzel1 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_myzel_01[1]
],coef_myzel_01[2],coef_myzel_02[3])
data_filt$myzel2 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_myzel_02[1]
],coef_myzel_02[2],coef_myzel_02[3])
data_filt$myzel3 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_myzel_03[1]
],coef_myzel_03[2],coef_myzel_03[3])
data_filt$myzel4 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_myzel_04[1]
],coef_myzel_04[2],coef_myzel_04[3])
data_filt$myzel5 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_myzel_05[1]
],coef_myzel_05[2],coef_myzel_05[3])

data_filt$spores0 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_spores_0[
1],coef_spores_0[2],coef_spores_0[3])
data_filt$spores1 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_spores_1[
1],coef_spores_1[2],coef_spores_1[3])
data_filt$spores2 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_spores_2[
1],coef_spores_2[2],coef_spores_2[3])
data_filt$spores4 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_spores_4[
1],coef_spores_4[2],coef_spores_4[3])
data_filt$spores8 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_spores_8[
1],coef_spores_8[2],coef_spores_8[3])
data_filt$spores16 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_spores_1
6[1],coef_spores_16[2],coef_spores_16[3])

data_filt$faul <- faul_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH)

#write.csv( file=paste0(path_out, S2,"_GESAMT", ".csv", sep = ""), data_fil
t )

TIME <- data_filt$timestamp
Month <- months(TIME)
Year <- format(TIME,format="%y")
Year2 <- paste0("20", Year,sep = "")
YandM <- paste(Month,Year2,sep = " ")

RH222_M <- factor(

```

```

x = Month,
  levels = c("Jänner", "Februar", "März", "April", "Mai", "Juni", "Juli", "August", "September", "Oktober", "November", "Dezember")
)

RH222_Y <- factor(
  x = Year2,
  levels = c("2011", "2012", "2013", "2014", "2015")
)

RH222_YM <- Get_TIME(data_filt$timestamp)

M_RH222_faul <- Get_IT(RH222_YM, data_filt$faul)
M_RH222_myzel_0 <- Get_IT(RH222_YM, data_filt$myzel0)
M_RH222_myzel_01 <- Get_IT(RH222_YM, data_filt$myzel1)
M_RH222_myzel_02 <- Get_IT(RH222_YM, data_filt$myzel2)
M_RH222_myzel_03 <- Get_IT(RH222_YM, data_filt$myzel3)
M_RH222_myzel_04 <- Get_IT(RH222_YM, data_filt$myzel4)
M_RH222_myzel_05 <- Get_IT(RH222_YM, data_filt$myzel5)
M_RH222_spores_0 <- Get_IT(RH222_YM, data_filt$spores0)
M_RH222_spores_1 <- Get_IT(RH222_YM, data_filt$spores1)
M_RH222_spores_2 <- Get_IT(RH222_YM, data_filt$spores2)
M_RH222_spores_4 <- Get_IT(RH222_YM, data_filt$spores4)
M_RH222_spores_8 <- Get_IT(RH222_YM, data_filt$spores8)
M_RH222_spores_16 <- Get_IT(RH222_YM, data_filt$spores16)

MM_RH222_faul <- Get_IT(RH222_M, data_filt$faul)
MM_RH222_myzel_0 <- Get_IT(RH222_M, data_filt$myzel0)
MM_RH222_myzel_01 <- Get_IT(RH222_M, data_filt$myzel1)
MM_RH222_myzel_02 <- Get_IT(RH222_M, data_filt$myzel2)
MM_RH222_myzel_03 <- Get_IT(RH222_M, data_filt$myzel3)
MM_RH222_myzel_04 <- Get_IT(RH222_M, data_filt$myzel4)
MM_RH222_myzel_05 <- Get_IT(RH222_M, data_filt$myzel5)
MM_RH222_spores_0 <- Get_IT(RH222_M, data_filt$spores0)
MM_RH222_spores_1 <- Get_IT(RH222_M, data_filt$spores1)
MM_RH222_spores_2 <- Get_IT(RH222_M, data_filt$spores2)
MM_RH222_spores_4 <- Get_IT(RH222_M, data_filt$spores4)
MM_RH222_spores_8 <- Get_IT(RH222_M, data_filt$spores8)
MM_RH222_spores_16 <- Get_IT(RH222_M, data_filt$spores16)

YM_RH222_faul <- Get_IT(RH222_Y, data_filt$faul)
YM_RH222_myzel_0 <- Get_IT(RH222_Y, data_filt$myzel0)
YM_RH222_myzel_01 <- Get_IT(RH222_Y, data_filt$myzel1)
YM_RH222_myzel_02 <- Get_IT(RH222_Y, data_filt$myzel2)
YM_RH222_myzel_03 <- Get_IT(RH222_Y, data_filt$myzel3)
YM_RH222_myzel_04 <- Get_IT(RH222_Y, data_filt$myzel4)
YM_RH222_myzel_05 <- Get_IT(RH222_Y, data_filt$myzel5)
YM_RH222_spores_0 <- Get_IT(RH222_Y, data_filt$spores0)
YM_RH222_spores_1 <- Get_IT(RH222_Y, data_filt$spores1)
YM_RH222_spores_2 <- Get_IT(RH222_Y, data_filt$spores2)
YM_RH222_spores_4 <- Get_IT(RH222_Y, data_filt$spores4)
YM_RH222_spores_8 <- Get_IT(RH222_Y, data_filt$spores8)
YM_RH222_spores_16 <- Get_IT(RH222_Y, data_filt$spores16)

```

```

data_filt <- data3

df_filt_myzel_0 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_myzel_0[1]+coef_myzel_0[2]*TEMP+coef_myzel_0[3]*TEMP^2)

df_filt_myzel_01 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_myzel_01[1]+coef_myzel_01[2]*TEMP+coef_myzel_01[3]*TEMP^2)

df_filt_myzel_02 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_myzel_02[1]+coef_myzel_02[2]*TEMP+coef_myzel_02[3]*TEMP^2)

df_filt_myzel_03 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_myzel_03[1]+coef_myzel_03[2]*TEMP+coef_myzel_03[3]*TEMP^2)

df_filt_myzel_04 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_myzel_04[1]+coef_myzel_04[2]*TEMP+coef_myzel_04[3]*TEMP^2)

df_filt_myzel_05 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_myzel_05[1]+coef_myzel_05[2]*TEMP+coef_myzel_05[3]*TEMP^2)

df_filt_spores_0 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_spores_0[1]+coef_spores_0[2]*TEMP+coef_spores_0[3]*TEMP^2)

df_filt_spores_1 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_spores_1[1]+coef_spores_1[2]*TEMP+coef_spores_1[3]*TEMP^2)

df_filt_spores_2 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_spores_2[1]+coef_spores_2[2]*TEMP+coef_spores_2[3]*TEMP^2)

df_filt_spores_4 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_spores_4[1]+coef_spores_4[2]*TEMP+coef_spores_4[3]*TEMP^2)

df_filt_spores_8 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_spores_8[1]+coef_spores_8[2]*TEMP+coef_spores_8[3]*TEMP^2)

df_filt_spores_16 <- filter(data_filt, between(TEMP,0,60) & RH >= coef_spores_16[1]+coef_spores_16[2]*TEMP+coef_spores_16[3]*TEMP^2)

df_filt_faul <- filter(data_filt, between(TEMP,0,30) & RH >= 95-0.3*TEMP)

data_filt$myzel0 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_myzel_0[1],coef_myzel_0[2],coef_myzel_0[3])
data_filt$myzel1 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_myzel_01[1],coef_myzel_01[2],coef_myzel_02[3])
data_filt$myzel2 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_myzel_02[1],coef_myzel_02[2],coef_myzel_02[3])
data_filt$myzel3 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_myzel_03[1],coef_myzel_03[2],coef_myzel_03[3])
data_filt$myzel4 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_myzel_04[1],coef_myzel_04[2],coef_myzel_04[3])
data_filt$myzel5 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_myzel_05[1],coef_myzel_05[2],coef_myzel_05[3])

```

```

data_filt$spores0 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_spores_0[
1],coef_spores_0[2],coef_spores_0[3])
data_filt$spores1 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_spores_1[
1],coef_spores_1[2],coef_spores_1[3])
data_filt$spores2 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_spores_2[
1],coef_spores_2[2],coef_spores_2[3])
data_filt$spores4 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_spores_4[
1],coef_spores_4[2],coef_spores_4[3])
data_filt$spores8 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_spores_8[
1],coef_spores_8[2],coef_spores_8[3])
data_filt$spores16 <- myzel_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH,coef_spores_1
6[1],coef_spores_16[2],coef_spores_16[3])

data_filt$faul <- faul_test(data_filt$TEMP, data_filt$RH)

#write.csv( file=paste0(path_out, S3,"_GESAMT", ".csv", sep = ""), data_fil
t )

TIME <- data_filt$timestamp
Month <- months(TIME)
Year <- format(TIME,format="%y")
Year2 <- paste0("20", Year,sep = "")
YandM <- paste(Month,Year2,sep = " ")

RH33_M <- factor(
  x = Month,
  levels = c("Jänner","Februar","März", "April", "Mai", "Juni", "Juli", "Au
gust", "September", "Oktober", "November","Dezember")
)

RH33_Y <- factor(
  x = Year2,
  levels = c("2011", "2012", "2013", "2014", "2015")
)

MM_RH33_faul <- Get_IT(RH33_M,data_filt$faul)
MM_RH33_myzel_0 <- Get_IT(RH33_M,data_filt$myzel0)
MM_RH33_myzel_01 <- Get_IT(RH33_M,data_filt$myzel1)
MM_RH33_myzel_02 <- Get_IT(RH33_M,data_filt$myzel2)
MM_RH33_myzel_03 <- Get_IT(RH33_M,data_filt$myzel3)
MM_RH33_myzel_04 <- Get_IT(RH33_M,data_filt$myzel4)
MM_RH33_myzel_05 <- Get_IT(RH33_M,data_filt$myzel5)
MM_RH33_spores_0 <- Get_IT(RH33_M,data_filt$spores0)
MM_RH33_spores_1 <- Get_IT(RH33_M,data_filt$spores1)
MM_RH33_spores_2 <- Get_IT(RH33_M,data_filt$spores2)
MM_RH33_spores_4 <- Get_IT(RH33_M,data_filt$spores4)
MM_RH33_spores_8 <- Get_IT(RH33_M,data_filt$spores8)
MM_RH33_spores_16 <- Get_IT(RH33_M,data_filt$spores16)

YM_RH33_faul <- Get_IT(RH33_Y,data_filt$faul)
YM_RH33_myzel_0 <- Get_IT(RH33_Y,data_filt$myzel0)
YM_RH33_myzel_01 <- Get_IT(RH33_Y,data_filt$myzel1)

```

```

YM_RH33_myzel_02 <- Get_IT(RH33_Y,data_filt$myzel2)
YM_RH33_myzel_03 <- Get_IT(RH33_Y,data_filt$myzel3)
YM_RH33_myzel_04 <- Get_IT(RH33_Y,data_filt$myzel4)
YM_RH33_myzel_05 <- Get_IT(RH33_Y,data_filt$myzel5)
YM_RH33_spores_0 <- Get_IT(RH33_Y,data_filt$spores0)
YM_RH33_spores_1 <- Get_IT(RH33_Y,data_filt$spores1)
YM_RH33_spores_2 <- Get_IT(RH33_Y,data_filt$spores2)
YM_RH33_spores_4 <- Get_IT(RH33_Y,data_filt$spores4)
YM_RH33_spores_8 <- Get_IT(RH33_Y,data_filt$spores8)
YM_RH33_spores_16 <- Get_IT(RH33_Y,data_filt$spores16)

```

```
RH33_YM <- Get_TIME(data_filt$timestamp)
```

```

M_RH33_faul <- Get_IT(RH33_YM,data_filt$faul)
M_RH33_myzel_0 <- Get_IT(RH33_YM,data_filt$myzel0)
M_RH33_myzel_01 <- Get_IT(RH33_YM,data_filt$myzel1)
M_RH33_myzel_02 <- Get_IT(RH33_YM,data_filt$myzel2)
M_RH33_myzel_03 <- Get_IT(RH33_YM,data_filt$myzel3)
M_RH33_myzel_04 <- Get_IT(RH33_YM,data_filt$myzel4)
M_RH33_myzel_05 <- Get_IT(RH33_YM,data_filt$myzel5)
M_RH33_spores_0 <- Get_IT(RH33_YM,data_filt$spores0)
M_RH33_spores_1 <- Get_IT(RH33_YM,data_filt$spores1)
M_RH33_spores_2 <- Get_IT(RH33_YM,data_filt$spores2)
M_RH33_spores_4 <- Get_IT(RH33_YM,data_filt$spores4)
M_RH33_spores_8 <- Get_IT(RH33_YM,data_filt$spores8)
M_RH33_spores_16 <- Get_IT(RH33_YM,data_filt$spores16)

```

```
Rd <- 461.5 #J/kg*K
```

```
KELVIN_CALC <- function(TEMP){
```

```

  K <- TEMP + 273.15
  return (K)
}
```

```
SAETT_DRUCK <- function(TEMP){
```

```

  ifelse(TEMP>0,PS <- 610.5*exp(1)^(17.269*TEMP/(237.3+TEMP)),PS <- 610.5*exp(1)^(21.875*TEMP/(265.5+TEMP)))
  return (PS)
}
```

```
ABS_LUFTFEUCHTE <- function(KELVIN, PS, RH){
```

```

  Cd_i <- (RH*PS*10)/(Rd*KELVIN)
  return(Cd_i)
}
```

```
SAETT_FEUCHTE <- function(KELVIN, PS){  
  Cs_i <- (PS*1000)/(Rd*KELVIN)  
  return(Cs_i)  
}  
  
TAU_TEMP <- function(TEMP, RH){  
  TAU <- (((RH/100)^(1/8.02))*(109.8+TEMP))-109.8  
  return(TAU)  
}  
  
TAU_UBER <- function(TEMP, TAU){  
  i <- ifelse (TEMP <= TAU, TEMP, TAU)  
  return(i)  
}  
  
TAUTEST <- function(TEMP, TAU){  
  i <- ifelse (TEMP <= TAU, 10,0)  
  return(i)  
}  
  
data1$KELVIN_TEMP <- sapply(  
  data1$TEMP,  
  KELVIN_CALC  
)  
  
data1$SAETT_DAMPF_DRUCK <- sapply(  
  data1$TEMP,  
  SAETT_DRUCK  
)  
  
data1$ABSOLUTE_LUFTFEUCHTE <- mapply(  
  ABS_LUFTFEUCHTE,  
  data1$KELVIN_TEMP,  
  data1$SAETT_DAMPF_DRUCK,  
  data1$RH  
)  
  
data1$SAETT_FEUCHTE <- mapply(  
  SAETT_FEUCHTE,  
  data1$KELVIN_TEMP,  
  data1$SAETT_DAMPF_DRUCK  
)  
  
data1$TAU <- mapply(  
  TAU_TEMP,
```

```
data1$TEMP,
data1$RH
)

data1$KONDENSAT <- mapply(
  TAU_UBER,
  data1$TEMP,
  data1$TAU
)

data1$TAU_TEST <- mapply(
  TAUTEST,
  data1$TEMP,
  data1$TAU
)
M_RH11_K <- Get_IT(RH11_YM,data1$TAU_TEST/10)
MM_RH11_K <- Get_IT(RH11_M,data1$TAU_TEST/10)
YM_RH11_K <- Get_IT(RH11_Y,data1$TAU_TEST/10)

data2$KELVIN_TEMP <- sapply(
  data2$TEMP,
  KELVIN_CALC
)

data2$SAETT_DAMPF_DRUCK <- sapply(
  data2$TEMP,
  SAETT_DRUCK
)

data2$ABSOLUTE_LUFTFEUCHTE <- mapply(
  ABS_LUFTFEUCHTE,
  data2$KELVIN_TEMP,
  data2$SAETT_DAMPF_DRUCK,
  data2$RH
)

data2$SAETT_FEUCHTE <- mapply(
  SAETT_FEUCHTE,
  data2$KELVIN_TEMP,
  data2$SAETT_DAMPF_DRUCK
)

data2$TAU <- mapply(
  TAU_TEMP,
  data2$TEMP,
  data2$RH
)

data2$KONDENSAT <- mapply(
  TAU_UBER,
  data2$TEMP,
  data2$TAU
```

```
)  
  
data2$TAU_TEST <- mapply(  
  TAUTEST,  
  data2$TEMP,  
  data2$TAU  
)  
  
M_RH222_K <- Get_IT(RH222_YM,data2$TAU_TEST/10)  
MM_RH222_K <- Get_IT(RH222_M,data2$TAU_TEST/10)  
YM_RH222_K <- Get_IT(RH222_Y,data2$TAU_TEST/10)  
  
data3$KELVIN_TEMP <- sapply(  
  data3$TEMP,  
  KELVIN_CALC  
)  
  
data3$SAETT_DAMPF_DRUCK <- sapply(  
  data3$TEMP,  
  SAETT_DRUCK  
)  
  
data3$ABSOLUTE_LUFTFEUCHTE <- mapply(  
  ABS_LUFTFEUCHTE,  
  data3$KELVIN_TEMP,  
  data3$SAETT_DAMPF_DRUCK,  
  data3$RH  
)  
  
data3$SAETT_FEUCHTE <- mapply(  
  SAETT_FEUCHTE,  
  data3$KELVIN_TEMP,  
  data3$SAETT_DAMPF_DRUCK  
)  
  
data3$TAU <- mapply(  
  TAU_TEMP,  
  data3$TEMP,  
  data3$RH  
)  
  
data3$KONDENSAT <- mapply(  
  TAU_UBER,  
  data3$TEMP,  
  data3$TAU  
)  
  
data3$TAU_TEST <- mapply(  
  TAUTEST,  
  data3$TEMP,  
  data3$TAU  
)
```

```
M_RH33_K <- Get_IT(RH33_YM,data3$TAU_TEST/10)
MM_RH33_K <- Get_IT(RH33_M,data3$TAU_TEST/10)
YM_RH33_K <- Get_IT(RH33_Y,data3$TAU_TEST/10)
```

7.1.2 Syntax für die Wärmestrombetrachtung

```
@Gößeringer Daniel
```

```
data4_NA <- import('C:/Users/Daniel/Desktop/MA Temp/Data analysis/Sensordat  
en txt/Aufbau I514.txt',header = TRUE, dec = ",")  
data4 <- data4_NA[complete.cases(data4_NA),]  
data4$timestamp <- as.POSIXct(data4$timestamp, format = "%Y-%m-%d %H:%M:%S"  
, tz = "CET")
```

```
cols.num <- c( 2 : 37)  
data4[cols.num] <- sapply(data4[cols.num],as.numeric)
```

```
data4$V1 <- seq(252384)  
data4 <- filter(data4, V1 < 241952)
```

```
gg2 <- ggplot(data = data4, aes(x = timestamp)) +  
  
  geom_point(aes(y = I51RH05_T), col="steelblue", size=0.1) +  
  geom_point(aes(y = I51RH25_T), col="tomato", size=0.1) +  
  
  geom_smooth(aes(y = I51RH05_T),method = lm, col="steelblue", size=0.1) +  
  geom_smooth(aes(y = I51RH25_T),method = lm, col="tomato", size=0.1) +  
  
  scale_x_datetime(labels = date_format("%d.%m.%Y %H:%M"))+  
  labs(title="Temperatur", subtitle= "Vergleich von RH25 und RH05", y="Temp  
eratur in °C", x="Datum und Uhrzeit", caption="I51")+  
  theme_bw()
```

```
gg2
```

```
gg1 <- ggplot(data = data4, aes(x = timestamp)) +  
  
  geom_point(aes(y = I51RH05_RH), col="steelblue", size=0.1) +  
  geom_point(aes(y = I51RH25_RH), col="tomato", size=0.1) +  
  
  geom_smooth(aes(y = I51RH05_RH),method = lm, col="steelblue", size=0.1) +  
  geom_smooth(aes(y = I51RH25_RH),method = lm, col="tomato", size=0.1) +  
  
  scale_x_datetime(labels = date_format("%d.%m.%Y %H:%M"))+  
  labs(title="relative Luftfeuchtigkeit", subtitle= "Vergleich von RH25 und  
RH05", y="relative Luftfeuchtigkeit in %", x="Datum und Uhrzeit", caption=  
"I51")+  
  theme_bw()
```

```
gg1
```

```
LAMBDA <- 0.035 #W/mK  
d <- 0.30 #m
```

```
R <- d/LAMBDA  
U <- LAMBDA/d
```

```

KELVIN_CALC <- function(TEMP){
  K <- TEMP + 273.15
  return (K)
}

#q1 <- U*(data4$I51RH21_T-data4$I51RH01_T)
q2 <- U*(data4$I51RH22_T-data4$I51RH02_T)
q3 <- U*(data4$I51RH23_T-data4$I51RH03_T)
q4 <- U*(data4$I51RH24_T-data4$I51RH04_T)
q5 <- U*(data4$I51RH25_T-data4$I51RH05_T)
q6 <- U*(data4$I51RH26_T-data4$I51RH06_T)
q7 <- U*(data4$I51RH27_T-data4$I51RH07_T)

data4$KELVIN_TEMP21 <- sapply(
  data4$I51RH21_T,
  KELVIN_CALC
)

data4$KELVIN_TEMP01 <- sapply(
  data4$I51RH01_T,
  KELVIN_CALC
)
q1 <- U*(data4$KELVIN_TEMP21-data4$KELVIN_TEMP01)

sine_fitting <- function(QQ){

  time_col <- as.POSIXct(data4$timestamp, format = "%d.%m.%Y %H:%M", tz = "
CET") #converts String to time
  num_time_col <- as.numeric(time_col)

  Time <- num_time_col

  sine_model <- nls(QQ ~ a + b * sin(pi*Time*c + d),
    start = list(a = 50, b = 50,c = 0.000000069,d = -285.1),
    control = list(maxiter = 500, tol = 1e-05, minFactor = 1/
1000))

new.data <- data.frame(time_col = seq(min(time_col),max(time_col),len = 241
951))

sine_data <- data.frame(Time = new.data$time_col,Sine = predict(sine_model,
newdata = new.data))

return(sine_data)
}

sine_fitting5 <- function(QQ){

  time_col <- as.POSIXct(data4$timestamp, format = "%d.%m.%Y %H:%M", tz = "
CET") #converts String to time
  num_time_col <- as.numeric(time_col)

```

```
Time <- num_time_col

sine_model <- nls(QQ ~ a + b * sin(pi*Time*c + d),
                 start = list(a = 50, b = 1000,c = 0.000000039,d = -285.1)
,
                 control = list(maxiter = 500, tol = 1e-05, minFactor = 1/
1000))

new.data <- data.frame(time_col = seq(min(time_col),max(time_col),len = 241
951))

sine_data <- data.frame(Time = new.data$time_col,Sine = predict(sine_model,
newdata = new.data))

return(sine_data)
}

sine_fitting2 <- function(QQ){

  time_col <- as.POSIXct(data4$timestamp, format = "%d.%m.%Y %H:%M", tz = "
CET") #converts String to time
  num_time_col <- as.numeric(time_col)

  Time <- num_time_col

  sine_model <- nls(QQ ~ a + b * sin(pi*Time*c + d),
                   start = list(a = 50, b = 100,c = 0.000000069,d = -285.1),
                   control = list(maxiter = 500, tol = 1e-05, minFactor = 1/
1000))

new.data <- data.frame(time_col = seq(min(time_col),max(time_col),len = 241
951))

sine_data <- data.frame(Time = new.data$time_col,Sine = predict(sine_model,
newdata = new.data))

return(sine_data)
}

sine_fitting6 <- function(QQ){

  time_col <- as.POSIXct(data4$timestamp, format = "%d.%m.%Y %H:%M", tz = "
CET") #converts String to time
  num_time_col <- as.numeric(time_col)

  Time <- num_time_col

  sine_model <- nls(QQ ~ a + b * sin(pi*Time*c + d),
```

```

      start = list(a = 50, b = 200,c = 0.000000059,d = -285.1),
      control = list(maxiter = 500, tol = 1e-05, minFactor = 1/
1000))

new.data <- data.frame(time_col = seq(min(time_col),max(time_col),len = 241
951))

sine_data <- data.frame(Time = new.data$time_col,Sine = predict(sine_model,
newdata = new.data))

return(sine_data)
}

QQ1 <- sine_fitting(
  QQ <- q1
)

QQ2 <- sine_fitting2(
  QQ <- q2
)

QQ3 <- sine_fitting(
  QQ <- q3
)

QQ4 <- sine_fitting(
  QQ <- q4
)

QQ5 <- sine_fitting5(
  QQ <- q5
)

QQ6 <- sine_fitting6(
  QQ <- q6
)

QQ7 <- sine_fitting(
  QQ <- q7
)

gg1 <- ggplot()+

  geom_point(data = data4, aes(x = timestamp,y = q1), col="gold", size=0.1)
+
  geom_smooth(data = data4, aes(x = timestamp,y = q1),method="lm", col = "r
ed", linetype = "dotted", se = F)+

  geom_line(data= QQ1, aes(x =Time, y= Sine ),col = "red", linetype = "dash
ed" )+
  geom_line(data= QQ1, aes(x =Time, y= 0 ),col = "black" )+

```

```

scale_x_datetime(labels = date_format("%.d.%.m.%.Y %H:%M"))+
labs(title="Wärmestrom", subtitle="RH01 - RH21", y="Wärmestrom in W", x="
Datum und Uhrzeit", caption="Bauteil I51")+
theme_bw()

gg2 <- ggplot(data = data4, aes(x = timestamp)) +

geom_point(data = data4, aes(x = timestamp,y = q2), col="gold", size=0.1)
+
geom_smooth(data = data4, aes(x = timestamp,y = q2),method="lm", col = "r
ed", linetype = "dotted", se = F)+

geom_line(data= QQ2, aes(x =Time, y= Sine ),col = "red", linetype = "dash
ed" )+
geom_line(data= QQ2, aes(x =Time, y= 0 ),col = "black" )+

scale_x_datetime(labels = date_format("%.d.%.m.%.Y %H:%M"))+
labs(title="Wärmestrom", subtitle="RH02 - RH22", y="Wärmestrom in W", x="
Datum und Uhrzeit", caption="Bauteil I51")+
theme_bw()

grid.arrange(gg1,gg2,top = textGrob(
  "Wärmeströme der Positionen 1 und 2",
  gp = gpar( fontsize = 18),
  hjust = 0, x = 0.05), nrow = 2)

gg3 <- ggplot(data = data4, aes(x = timestamp)) +

geom_point(data = data4, aes(x = timestamp,y = q3), col="gold", size=0.1)
+
geom_smooth(data = data4, aes(x = timestamp,y = q3),method="lm", col = "r
ed", linetype = "dotted", se = F)+

geom_line(data= QQ3, aes(x =Time, y= Sine ),col = "red", linetype = "dash
ed" )+
geom_line(data= QQ3, aes(x =Time, y= 0 ),col = "black" )+

scale_x_datetime(labels = date_format("%.d.%.m.%.Y %H:%M"))+
labs(title="Wärmestrom", subtitle="RH03 - RH23", y="Wärmestrom in W", x="
Datum und Uhrzeit", caption="Bauteil I51")+
theme_bw()

gg4 <- ggplot(data = data4, aes(x = timestamp)) +

geom_point(data = data4, aes(x = timestamp,y = q4), col="gold", size=0.1)
+
geom_smooth(data = data4, aes(x = timestamp,y = q4),method="lm", col = "r
ed", linetype = "dotted", se = F)+

```

```

geom_line(data= QQ4, aes(x =Time, y= Sine ),col = "red", linetype = "dash
ed" )+
geom_line(data= QQ4, aes(x =Time, y= 0 ),col = "black" )+

scale_x_datetime(labels = date_format("%d.%m.%Y %H:%M"))+
labs(title="Wärmestrom", subtitle="RH04 - RH24", y="Wärmestrom in W", x="
Datum und Uhrzeit", caption="Bauteil I51")+
theme_bw()

gg5 <- ggplot(data = data4, aes(x = timestamp)) +

geom_point(data = data4, aes(x = timestamp,y = q5), col="gold", size=0.1)
+
geom_smooth(data = data4, aes(x = timestamp,y = q5),method="lm", col = "r
ed", linetype = "dotted", se = F)+

geom_line(data= QQ5, aes(x =Time, y= Sine ),col = "red", linetype = "dash
ed" )+
geom_line(data= QQ5, aes(x =Time, y= 0 ),col = "black" )+

scale_x_datetime(labels = date_format("%d.%m.%Y %H:%M"))+
labs(title="Wärmestrom", subtitle="RH05 - RH25", y="Wärmestrom in W", x="
Datum und Uhrzeit", caption="Bauteil I51")+
theme_bw()

grid.arrange(gg3,gg4,gg5,top = textGrob(
  "Wärmeströme der Positionen 3, 4 und 5",
  gp = gpar( fontsize = 18),
  hjust = 0, x = 0.05), nrow = 3)

gg6 <- ggplot(data = data4, aes(x = timestamp)) +

geom_point(data = data4, aes(x = timestamp,y = q6), col="gold", size=0.1)
+
geom_smooth(data = data4, aes(x = timestamp,y = q6),method="lm", col = "r
ed", linetype = "dotted", se = F)+

geom_line(data= QQ6, aes(x =Time, y= Sine ),col = "red", linetype = "dash
ed" )+
geom_line(data= QQ6, aes(x =Time, y= 0 ),col = "black" )+

scale_x_datetime(labels = date_format("%d.%m.%Y %H:%M"))+
labs(title="Wärmestrom", subtitle="RH06 - RH26", y="Wärmestrom in W", x="
Datum und Uhrzeit", caption="Bauteil I51")+
theme_bw()

gg7 <- ggplot(data = data4, aes(x = timestamp)) +

```

```

geom_point(data = data4, aes(x = timestamp,y = q7), col="gold", size=0.1)
+
geom_smooth(data = data4, aes(x = timestamp,y = q7),method="lm", col = "red",
linetype = "dotted", se = F)+

geom_line(data= QQ7, aes(x =Time, y= Sine ),col = "red", linetype = "dashed" )+
geom_line(data= QQ7, aes(x =Time, y= 0 ),col = "black" )+

scale_x_datetime(labels = date_format("%d.%m.%Y %H:%M"))+
labs(title="Wärmestromdichte-Diagramm", subtitle="RH07 - RH27", y="Wärmestrom in W",
x="Datum und Uhrzeit", caption="Bauteil I51")+
theme_bw()

grid.arrange(gg6,gg7,top = textGrob(
"Wärmeströme der Positionen 6 und 7",
gp = gpar( fontsize = 18),
hjust = 0, x = 0.05), nrow = 2)

colors <- c("RH01 - RH21" = "red", "RH02 - RH22" = "orange","RH03 - RH23" =
"steelblue","RH04 - RH24" = "blue","RH05 - RH25" = "black","RH06 - RH26" =
"gold","RH07 - RH27" = "darkgoldenrod")

gg11 <- ggplot(data = data4, aes(x = timestamp)) +
geom_smooth(aes(y = q1, color = "RH01 - RH21"),method="lm", se = F)+
geom_smooth(aes(y = q2, color = "RH02 - RH22"),method="lm", se = F)+

geom_line(data= QQ1, aes(x =Time, y= Sine, color = "RH01 - RH21") )+
geom_line(data= QQ2, aes(x =Time, y= Sine, color = "RH02 - RH22") )+

scale_x_datetime(labels = date_format("%d.%m.%Y %H:%M"))+
scale_color_manual(values = colors)+
labs(title="Wärmeströme linearisiert ",subtitle = "Position 1 und 2" ,y="
Wärmestrom in W", x="Datum und Uhrzeit", caption="Bauteil I51")+
theme_gray()

gg22 <- ggplot(data = data4, aes(x = timestamp)) +

geom_smooth(aes(y = q3, color = "RH03 - RH23"),method="lm", se = F)+
geom_smooth(aes(y = q4, color = "RH04 - RH24"),method="lm", se = F)+
geom_smooth(aes(y = q5, color = "RH05 - RH25"),method="lm", se = F,linetype
pe = "dashed")+

geom_line(data= QQ3, aes(x =Time, y= Sine, color = "RH03 - RH23") )+
geom_line(data= QQ4, aes(x =Time, y= Sine, color = "RH04 - RH24") )+

geom_line(data= QQ5, aes(x =Time, y= Sine, color = "RH05 - RH25" ), linet

```

```

type = "dashed" )+

  scale_x_datetime(labels = date_format("%d.%m.%Y %H:%M"))+
  scale_color_manual(values = colors)+
  labs(title="Wärmeströme linearisiert",subtitle="Position 3, 4 ud 5" ,
y="Wärmestrom in W", x="Datum und Uhrzeit", caption="Bauteil I51")+
  theme_gray()

gg33 <- ggplot(data = data4, aes(x = timestamp)) +

geom_smooth(aes(y = q6, color = "RH06 - RH26"),method="lm", se = F)+
geom_smooth(aes(y = q7, color = "RH07 - RH27"),method="lm", se = F)+

geom_line(data= QQ6, aes(x =Time, y= Sine, color = "RH06 - RH26") )+
geom_line(data= QQ7, aes(x =Time, y= Sine, color = "RH07 - RH27") )+

scale_x_datetime(labels = date_format("%d.%m.%Y %H:%M"))+
scale_color_manual(values = colors)+
labs(title="Wärmeströme linearisiert",subtitle="Position 6 und 7" , y=
"Wärmestrom in W", x="Datum und Uhrzeit", caption="Bauteil I51")+
theme_gray()

grid.arrange(gg11,gg22,gg33,top = textGrob(
  "Überlagerungen der Wärmeströme",
  gp = gpar( fontsize = 18),
  hjust = 0, x = 0.05), nrow = 3)

TIME <- data4$timestamp
Month <- months(TIME)
Year <- format(TIME,format="%y")
Year2 <- paste0("20", Year,sep = "")
YandM <- paste(Month,Year2,sep = " ")

YandM_factor <- factor(
  x = YandM,
  levels = c("Dezember 2010","Jänner 2011","Februar 2011","März 2011", "Apr
il 2011", "Mai 2011", "Juni 2011", "Juli 2011", "August 2011", "September 2
011", "Oktober 2011", "November 2011","Dezember 2011","Jänner 2012","Februa
r 2012","März 2012", "April 2012", "Mai 2012", "Juni 2012", "Juli 2012", "A
ugust 2012", "September 2012", "Oktober 2012", "November 2012","Dezember 20
12","Jänner 2013","Februar 2013","März 2013", "April 2013", "Mai 2013", "Ju
ni 2013", "Juli 2013", "August 2013", "September 2013", "Oktober 2013", "No
vember 2013","Dezember 2013","Jänner 2014","Februar 2014","März 2014", "Apr
il 2014", "Mai 2014", "Juni 2014", "Juli 2014", "August 2014", "September 2
014", "Oktober 2014", "November 2014","Dezember 2014","Jänner 2015","Februa
r 2015","März 2015", "April 2015", "Mai 2015", "Juni 2015", "Juli 2015", "A
ugust 2015", "September 2015", "Oktober 2015", "November 2015","Dezember 20
15" )
)

M_factor <- factor(

```

```

  x = Month,
  levels = c("Jänner", "Februar", "März", "April", "Mai", "Juni", "Juli", "August", "September", "Oktober", "November", "Dezember")
)

Y_factor <- factor(
  x = Year2,
  levels = c("2011", "2012", "2013", "2014", "2015")
)

Mean_Wärmestrom_1 <- aggregate(q1 ~ YandM_factor, data4, mean)
Mean_Wärmestrom_2 <- aggregate(q2 ~ YandM_factor, data4, mean)
Mean_Wärmestrom_3 <- aggregate(q3 ~ YandM_factor, data4, mean)
Mean_Wärmestrom_4 <- aggregate(q4 ~ YandM_factor, data4, mean)
Mean_Wärmestrom_5 <- aggregate(q5 ~ YandM_factor, data4, mean)
Mean_Wärmestrom_6 <- aggregate(q6 ~ YandM_factor, data4, mean)
Mean_Wärmestrom_7 <- aggregate(q7 ~ YandM_factor, data4, mean)

MMean_Wärmestrom_1 <- aggregate(q1 ~ M_factor, data4, mean)
MMean_Wärmestrom_2 <- aggregate(q2 ~ M_factor, data4, mean)
MMean_Wärmestrom_3 <- aggregate(q3 ~ M_factor, data4, mean)
MMean_Wärmestrom_4 <- aggregate(q4 ~ M_factor, data4, mean)
MMean_Wärmestrom_5 <- aggregate(q5 ~ M_factor, data4, mean)
MMean_Wärmestrom_6 <- aggregate(q6 ~ M_factor, data4, mean)
MMean_Wärmestrom_7 <- aggregate(q7 ~ M_factor, data4, mean)

YMean_Wärmestrom_1 <- aggregate(q1 ~ Y_factor, data4, mean)
YMean_Wärmestrom_2 <- aggregate(q2 ~ Y_factor, data4, mean)
YMean_Wärmestrom_3 <- aggregate(q3 ~ Y_factor, data4, mean)
YMean_Wärmestrom_4 <- aggregate(q4 ~ Y_factor, data4, mean)
YMean_Wärmestrom_5 <- aggregate(q5 ~ Y_factor, data4, mean)
YMean_Wärmestrom_6 <- aggregate(q6 ~ Y_factor, data4, mean)
YMean_Wärmestrom_7 <- aggregate(q7 ~ Y_factor, data4, mean)

P1 <- ggplot() +

  geom_point(data = Mean_Wärmestrom_1, aes(y = q1, x = YandM_factor, col = "red"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = Mean_Wärmestrom_2, aes(y = q2, x = YandM_factor, col = "orange"), shape = 16, size = 3)+

  labs(title="Wärmestrom", subtitle="Position 1 und 2", y="Wärmestrom in W", x="Jahr und Monat", caption="Angaben aus WUFI entnommen")+
  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
  scale_colour_manual(name = "Legende", values = c("red" = "red", "orange" = "orange"), labels = c("Sensorposition 2", "Sensorposition 1"))

P2 <- ggplot() +

```

```
geom_point(data = Mean_Wärmestrom_3, aes(y = q3, x = YandM_factor, col = "steelblue"), shape = 16, size = 3)+
geom_point(data = Mean_Wärmestrom_4, aes(y = q4, x = YandM_factor, col = "blue"), shape = 16, size = 3)+
geom_point(data = Mean_Wärmestrom_5, aes(y = q5, x = YandM_factor, col = "black"), shape = 16, size = 3)+
```

```
labs(title="Wärmestrom", subtitle="Position 3, 4 und 5", y="Wärmestrom in W", x="Jahr und Monat", caption="Angaben aus WUFI entnommen")+
theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
scale_colour_manual(name = "Legende", values =c("steelblue"= "steelblue", "blue"="blue","black"= "black" ), labels = c("Sensorposition 5","Sensorposition 4","Sensorposition 3"))
```

```
P3 <- ggplot() +
```

```
geom_point(data = Mean_Wärmestrom_6, aes(y = q6, x = YandM_factor, col = "gold"), shape = 16, size = 3)+
geom_point(data = Mean_Wärmestrom_7, aes(y = q7, x = YandM_factor, col = "darkgoldenrod"), shape = 16, size = 3)+
```

```
labs(title="Wärmestrom", subtitle="Position 6 und 7", y="Wärmestrom in W", x="Jahr und Monat", caption="Angaben aus WUFI entnommen")+
theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
scale_colour_manual(name = "Legende", values =c("gold"= "gold", "darkgoldenrod"="darkgoldenrod"), labels = c("Sensorposition 7","Sensorposition 6"))
```

```
grid.arrange(P1,P2,P3,top = textGrob(
  "Monatsmittelwerte pro Jahr der Wärmeströme",
  gp = gpar( fontsize = 18),
  hjust = 0, x = 0.05), nrow = 3)
```

```
P1 <- ggplot() +
```

```
geom_point(data = YMean_Wärmestrom_1, aes(y = q1, x = Y_factor, col = "red"), shape = 16, size = 3)+
geom_point(data = YMean_Wärmestrom_2, aes(y = q2, x = Y_factor, col = "orange"), shape = 16, size = 3)+
```

```
labs(title="Wärmestrom", subtitle="Position 1 und 2", y="Wärmestrom in W", x="Jahr", caption="Angaben aus WUFI entnommen")+
theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
scale_colour_manual(name = "Legende", values =c("red"= "red", "orange"="orange"))
```

```
range" ), labels = c("Sensorposition 2","Sensorposition 1"))
```

```
P2 <- ggplot() +
```

```
  geom_point(data = YMean_Wärmestrom_3, aes(y = q3, x = Y_factor, col = "steelblue"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = YMean_Wärmestrom_4, aes(y = q4, x = Y_factor, col = "blue"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = YMean_Wärmestrom_5, aes(y = q5, x = Y_factor, col = "black"), shape = 16, size = 3)+

  labs(title="Wärmestrom", subtitle="Position 3, 4 und 5", y="Wärmestrom in W", x="Jahr", caption="Angaben aus WUFI entnommen")+
  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
  scale_colour_manual(name = "Legende", values = c("steelblue"= "steelblue", "blue"="blue", "black"= "black" ), labels = c("Sensorposition 5","Sensorposition 4","Sensorposition 3"))
```

```
P3 <- ggplot() +
```

```
  geom_point(data = YMean_Wärmestrom_6, aes(y = q6, x = Y_factor, col = "gold"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = YMean_Wärmestrom_7, aes(y = q7, x = Y_factor, col = "darkgoldenrod"), shape = 16, size = 3)+

  labs(title="Wärmestrom", subtitle="Position 6 und 7", y="Wärmestrom in W", x="Jahr", caption="Angaben aus WUFI entnommen")+
  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
  scale_colour_manual(name = "Legende", values = c("gold"= "gold", "darkgoldenrod"="darkgoldenrod"), labels = c("Sensorposition 7","Sensorposition 6"))
```

```
grid.arrange(P1,P2,P3,top = textGrob(
  "Jahresmittelwerte der Wärmeströme",
  gp = gpar( fontsize = 18),
  hjust = 0, x = 0.05), nrow = 3)
```

```
P1 <- ggplot() +
```

```
  geom_point(data = MMean_Wärmestrom_1, aes(y = q1, x = M_factor, col = "red"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = MMean_Wärmestrom_2, aes(y = q2, x = M_factor, col = "orange"), shape = 16, size = 3)+
```

```
nge"), shape = 16, size = 3)+
```

```
  labs(title="Wärmestrom", subtitle="Position 1 und 2", y="Wärmestrom in W",
, x="Monat", caption="Angaben aus WUFI entnommen")+
  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
  scale_colour_manual(name = "Legende", values =c("red"= "red", "orange"="orange" ), labels = c("Sensorposition 2","Sensorposition 1"))
```

```
P2 <- ggplot() +
```

```
  geom_point(data = MMean_Wärmestrom_3, aes(y = q3, x = M_factor, col ="steelblue"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = MMean_Wärmestrom_4, aes(y = q4, x = M_factor, col ="blue"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = MMean_Wärmestrom_5, aes(y = q5, x = M_factor, col ="black"), shape = 16, size = 3)+
```

```
  labs(title="Wärmestrom", subtitle="Position 3, 4 und 5", y="Wärmestrom in W", x="Monat", caption="Angaben aus WUFI entnommen")+
  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
  scale_colour_manual(name = "Legende", values =c("steelblue"= "steelblue", "blue"="blue","black"= "black" ), labels = c("Sensorposition 5","Sensorposition 4","Sensorposition 3"))
```

```
P3 <- ggplot() +
```

```
  geom_point(data = MMean_Wärmestrom_6, aes(y = q6, x = M_factor, col ="gold"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = MMean_Wärmestrom_7, aes(y = q7, x = M_factor, col ="darkgoldenrod"), shape = 16, size = 3)+
```

```
  labs(title="Wärmestrom", subtitle="Position 6 und 7", y="Wärmestrom in W",
, x="Monat", caption="Angaben aus WUFI entnommen")+
  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
  scale_colour_manual(name = "Legende", values =c("gold"= "gold", "darkgoldenrod"="darkgoldenrod"), labels = c("Sensorposition 7","Sensorposition 6"))
```

```
grid.arrange(P1,P2,P3,top = textGrob(
  "Monatsmittelwerte der Wärmeströme",
  gp = gpar( fontsize = 18),
  hjust = 0, x = 0.05), nrow = 3)
```

```

Input_RH1 <- data4$I51RH01_RH
Input_RH2 <- data4$I51RH21_RH
Input_TEMP1 <- data4$I51RH01_T
Input_TEMP2 <- data4$I51RH21_T
NAME = "RH01 - RH21"

LAMBDA <- 0.035
d <- 0.30

RH_zu_MC <- data.frame(
  RH = c(0,65,80,93,95,97,99,99.5,99.9,99.95,99.99,100),
  MC = c(0,6.1,7.9,10.2,14.7,20.1,30.4,41.2,80.7,106,187,614)
)

MC_zu_lambda <- data.frame(
  MC = c(0,10,20,50,100,200,300,400,500,600,700,800,900,950),
  lambda = c(0.037,0.037,0.038,0.04,0.045,0.065,0.1,0.15,0.2,0.27,0.35,0.44,
,0.55,0.6)
)

Temp_zu_lambda <- data.frame(
  Temp = c(-20,80),
  lambda = c(0.031,0.051)
)

#RH_zu_MC_approx <- data.frame(approx(RH_zu_MC$RH, RH_zu_MC$MC, method="l
inear", n=100000))

T1 <- tableGrob(RH_zu_MC)

T2 <- tableGrob(MC_zu_lambda)

T3 <- tableGrob(Temp_zu_lambda)

P1 <- ggplot() +
  geom_point(data =RH_zu_MC, aes(y = RH, x = MC), col ="black", shape = 16,
size = 3)+
  #geom_smooth(data =RH_zu_MC, aes(y = RH, x = MC), col ="black", se =F, si
ze = 0.5)+

  labs(title="Feuchtespeicherfunktion", subtitle="ISOCELL Zellulosedämmstof
f ", y= "relative Luftfeuchtigkeit in %", x="Wassergehalt in kg/m³", captio
n="Angaben aus WUFI entnommen")

P2 <- ggplot() +
  geom_point(data =MC_zu_lambda, aes(y = MC, x = lambda), col ="black", sha
pe = 16, size = 3)+
  #eom_smooth(data =RH_zu_MC, aes(y = RH, x = MC), col ="black", se =F, siz
e = 0.5)+

```

```

  labs(title="Wärmeleitfähigkeit, feuchteabhängig", subtitle="ISOCELL Zellular-
  losedämmstoff ", y= "Wassergehalt in kg/m³", x="Wärmeleitfähigkeit in W/mK"
  , caption="Angaben aus WUFI entnommen")

P3 <- ggplot() +
  geom_point(data =Temp_zu_lambda, aes(y = Temp, x = lambda), col ="black",
  shape = 16, size = 3)+

  labs(title="Feuchtespeicherfunktion", subtitle="ISOCELL Zellulosedämmstoff
  f ", y= "Temperatur in °C", x="Wärmeleitfähigkeit in W/mK", caption="Angabe
  n aus WUFI entnommen")

grid.arrange(P1,T1, P2, T2,P3, T3,top = textGrob(
  "Tabellen zur Berechnung der Wärmeleitfähigkeit",
  gp = gpar( fontsize = 18),
  hjust = 1, x = 0.74), nrow = 3, ncol = 2,widths = c(3, 1),layout_matrix
  = rbind(c(1, 2),c(3,4),c(5,6)))

RH_MC_conversion <- function(RH){

  a <- RH
  b <- approx(x = RH_zu_MC$RH, y = RH_zu_MC$MC, xout = a, method = "linear"
  , yleft = 0, yright = 614, rule = 2)

  return(b$y)
}

MC_lambda_conversion <- function(MC){

  a <- MC
  b <- approx(x = MC_zu_lambda$MC, y = MC_zu_lambda$lambda, xout = a, metho
  d = "linear", yleft = 0, yright = 614, rule = 2)
  c <- b$y - LAMBDA
  return(c)
}

TEMP_lambda_conversion <- function(TEMP){

  a <- TEMP
  b <- approx(x = Temp_zu_lambda$Temp, y = Temp_zu_lambda$lambda, xout = a,
  method = "linear", yleft = 0, yright = 614, rule = 2)
  c <- b$y - LAMBDA

  return(c)
}

Calc_dyn_lambda <- function(RH, TEMP){

  MC_01 <- sapply(
    RH,

```

```
    RH_MC_conversion
  )

lambda_01 <- sapply(
  MC_01,
  MC_lambda_conversion
)

lambda_02 <- sapply(
  TEMP,
  TEMP_lambda_conversion
)

lambda_dyn <- LAMBDA + lambda_01 + lambda_02

return(lambda_dyn)
}

#CALLING THE FUNCTION
data4$lambda_dyn_1 <- mapply(
  Calc_dyn_lambda,
  Input_RH1,
  Input_TEMP1
)

#CALLING THE FUNCTION
data4$lambda_dyn_2 <- mapply(
  Calc_dyn_lambda,
  Input_RH2,
  Input_TEMP2
)

Calc_dyn_lambda_MOnly <- function(RH, TEMP){

  MC_01 <- sapply(
    RH,
    RH_MC_conversion
  )

  lambda_01 <- sapply(
    MC_01,
    MC_lambda_conversion
  )

  lambda_dyn <- LAMBDA + lambda_01

  return(lambda_dyn)
}

#CALLING THE FUNCTION
data4$lambda_dyn_1_MOnly <- mapply(
  Calc_dyn_lambda_MOnly,
```

```
Input_RH1,
Input_TEMP1
)

#CALLING THE FUNCTION
data4$lambda_dyn_2_MConly <- mapply(
  Calc_dyn_lambda_MConly,
  Input_RH2,
  Input_TEMP2
)

#FUNCTION
Calc_U_dyn <- function (LAMBDA_DYN, TIME){

  a <- LAMBDA_DYN

  U <- a/d
  return(U)
}

#CALLING THE FUNCTION
data4$U_1 <- mapply(
  Calc_U_dyn,
  data4$lambda_dyn_1,
  data4$timestamp
)

data4$U_2 <- mapply(
  Calc_U_dyn,
  data4$lambda_dyn_2,
  data4$timestamp
)

Mean_U_in_and_outside <- function (U1,U2){
  U_mean <- (U1 + U2)/2
  return (U_mean)
}

#CALLING THE FUNCTION
data4$U_Mean_1_2 <- mapply(
  Mean_U_in_and_outside,
  data4$U_1,
  data4$U_2
)

data4$lambda_Mean_1_2 <- mapply(
  Mean_U_in_and_outside,
  data4$lambda_dyn_1,
  data4$lambda_dyn_2
)

data4$lambda_Mean_1_2_MConly <- mapply(
  Mean_U_in_and_outside,
  data4$lambda_dyn_1_MConly,
```

```

data4$lambda_dyn_2_MOnly
)

TIME <- data4$timestamp
Month <- months(TIME)
Year <- format(TIME,format="%y")
Year2 <- paste0("20", Year,sep = "")
YandM <- paste(Month,Year2,sep = " ")

M_factor <- factor(
  x = Month,
  levels = c("Jänner","Februar","März", "April", "Mai", "Juni", "Juli", "August", "September", "Oktober", "November","Dezember")
)

Y_factor <- factor(
  x = Year2,
  levels = c("2011", "2012", "2013", "2014", "2015")
)

YandM_factor <- factor(
  x = YandM,
  levels = c("Dezember 2010","Jänner 2011","Februar 2011","März 2011", "April 2011", "Mai 2011", "Juni 2011", "Juli 2011", "August 2011", "September 2011", "Oktober 2011", "November 2011","Dezember 2011","Jänner 2012","Februar 2012","März 2012", "April 2012", "Mai 2012", "Juni 2012", "Juli 2012", "August 2012", "September 2012", "Oktober 2012", "November 2012","Dezember 2012","Jänner 2013","Februar 2013","März 2013", "April 2013", "Mai 2013", "Juni 2013", "Juli 2013", "August 2013", "September 2013", "Oktober 2013", "November 2013","Dezember 2013","Jänner 2014","Februar 2014","März 2014", "April 2014", "Mai 2014", "Juni 2014", "Juli 2014", "August 2014", "September 2014", "Oktober 2014", "November 2014","Dezember 2014","Jänner 2015","Februar 2015","März 2015", "April 2015", "Mai 2015", "Juni 2015", "Juli 2015", "August 2015", "September 2015", "Oktober 2015", "November 2015","Dezember 2015" )
)

Mean_lambda_1 <- aggregate( lambda_dyn_1 ~YandM_factor , data4 , mean )
Mean_U_1 <- aggregate( U_1 ~ YandM_factor , data4 , mean )

Mean_lambda_2 <- aggregate( lambda_dyn_2 ~ YandM_factor , data4 , mean )
Mean_U_2 <- aggregate( U_2 ~ YandM_factor, data4 , mean )

Mean_U_1_2 <- aggregate( U_Mean_1_2 ~ YandM_factor , data4 , mean )
Mean_lambda_1_2 <- aggregate( lambda_Mean_1_2 ~ YandM_factor , data4 , mean )
)

Mean_lambda_1_2_MOnly <- aggregate( lambda_Mean_1_2_MOnly ~ YandM_factor , data4 , mean )

MMean_lambda_1 <- aggregate( lambda_dyn_1 ~M_factor , data4 , mean )

```

```

MMean_U_1 <- aggregate( U_1 ~ M_factor , data4 , mean )

MMean_lambda_2 <- aggregate( lambda_dyn_2 ~ M_factor , data4 , mean )
MMean_U_2 <- aggregate( U_2 ~ M_factor, data4 , mean )

MMean_U_1_2 <- aggregate( U_Mean_1_2 ~ M_factor , data4 , mean )
MMean_lambda_1_2 <- aggregate( lambda_Mean_1_2 ~ M_factor , data4 , mean )

MMean_lambda_1_2_MOnly <- aggregate( lambda_Mean_1_2_MOnly ~ M_factor , d
ata4 , mean )

YMean_lambda_1 <- aggregate( lambda_dyn_1 ~Y_factor , data4 , mean )
YMean_U_1 <- aggregate( U_1 ~ Y_factor , data4 , mean )

YMean_lambda_2 <- aggregate( lambda_dyn_2 ~ Y_factor , data4 , mean )
YMean_U_2 <- aggregate( U_2 ~ Y_factor, data4 , mean )

YMean_U_1_2 <- aggregate( U_Mean_1_2 ~ Y_factor , data4 , mean )
YMean_lambda_1_2 <- aggregate( lambda_Mean_1_2 ~ Y_factor , data4 , mean )

YMean_lambda_1_2_MOnly <- aggregate( lambda_Mean_1_2_MOnly ~ Y_factor , d
ata4 , mean )

every_nth = function(n) {
  return(function(x) {x[c(TRUE, rep(FALSE, n - 1))]])
}

PPP1 <- ggplot() +

  geom_point(data = Mean_lambda_1_2, aes(y = lambda_Mean_1_2, x = YandM_fac
tor, col ="black"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = Mean_lambda_1_2_MOnly, aes(y = lambda_Mean_1_2_MOnly,
x = YandM_factor, col ="orange"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = Mean_U_1_2, aes(y = 0.035, x = YandM_factor, col ="red"
), shape = 16, size = 3)+

  labs(title="WLF Veränderung (wassergehalts- und temperaturabhängig)", sub
title=NAME, y="WLF in W/mK", x="Jahr und Monat", caption="Bauteil I51")+
  scale_x_discrete(breaks = every_nth(n = 3))+
  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=45, hjust = 1))+
  scale_colour_manual(name = "Legende", values =c("black"="black","orange"=
"orange","red"= "red" ), labels = c("dynamische WLF","WLF feuchteabhängig"
,"Basis-WLF"))

  #coord_cartesian( ylim=c(0.03,0.05)

PPP2 <- ggplot() +
  geom_point(data = Mean_U_1_2, aes(y = U_Mean_1_2, x = YandM_factor, col =
"black"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = Mean_U_1_2, aes(y = 0.73, x = YandM_factor, col ="blue"

```

```

), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = Mean_U_1_2, aes(y = 1.39, x = YandM_factor, col ="red")
, shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = Mean_U_1_2, aes(y = 0.20, x = YandM_factor, col ="yellow")
, shape = 16, size = 3)+

  labs(title="U-Wert Veränderung (wassergehalts- und temperaturabhängig)",
subtitle=NAME, y="U-Wert in W/m²K", x="Jahr und Monat", caption="Bauteil I5
1")+
  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=45, hjust = 1))+
  scale_x_discrete(breaks = every_nth(n = 3))+
  scale_colour_manual(name = "Legende",
    values =c("black"="black","blue"="blue","red"= "red", "yellow" = "
gold" ), labels = c("mittlerer U-Wert","0,73 W/mK", "1,39 W/mK", "0,20 W/mK
"))

#coord_cartesian( ylim=c(0,1.5))

PPP3 <- ggplot() +

  geom_point(data = Mean_U_1_2, aes(y = U_Mean_1_2, x = YandM_factor, col =
"black"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = Mean_U_1_2, aes(y = 0.116666666, x = YandM_factor, col
="red"), shape = 16, size = 3)+

  labs(title="U-Wert Veränderung (wassergehalts- und temperaturabhängig)",
subtitle=NAME, y="U-Wert in W/m²K", x="Jahr und Monat", caption="Bauteil I5
1")+
  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=45, hjust = 1))+
  scale_x_discrete(breaks = every_nth(n = 3))+
  scale_colour_manual(name = "Legende", values =c("black"="black","red"= "r
ed" ), labels = c("dynamischer U-Wert","Basis-U-Wert"))

#coord_cartesian( ylim=c(0.1,0.15))

grid.arrange(PPP1,PPP2,PPP3,top = textGrob(
  "Diagramme der Wärmeleitfähigkeit und des U-Werts",
  gp = gpar( fontsize = 18),
  hjust = 1, x = 0.81), nrow = 3)

```

```

PP1 <- ggplot() +

  geom_point(data = MMean_lambda_1_2, aes(y = lambda_Mean_1_2, x = M_factor
, col ="black"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = MMean_lambda_1_2_MConly, aes(y = lambda_Mean_1_2_MConly
, x = M_factor, col ="orange"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = MMean_U_1_2, aes(y = 0.035, x = M_factor, col ="red"),
shape = 16, size = 3)+

  labs(title="WLF Veränderung (wassergehalts- und temperaturabhängig)", sub

```

```

title=NAME, y="WLF in W/mK", x="Jahr und Monat", caption="Bauteil I51")+

  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
  scale_colour_manual(name = "Legende", values =c("black"="black", "orange"=
"orange", "red"= "red" ), labels = c("dynamische WLF", "WLF feuchteabhängig"
, "Basis-WLF"))

#coord_cartesian( ylim=c(0.03,0.05)

PP2 <- ggplot() +
  geom_point(data = MMean_U_1_2, aes(y = U_Mean_1_2, x = M_factor, col ="bl
ack"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = MMean_U_1_2, aes(y = 0.73, x = M_factor, col ="blue"),
shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = MMean_U_1_2, aes(y = 1.39, x = M_factor, col ="red"), s
hape = 16, size = 3)+

  labs(title="U-Wert Veränderung (wassergehalts- und temperaturabhängig)",
subtitle=NAME, y="U-Wert in W/m2K", x="Jahr und Monat", caption="Bauteil I5
1")+

  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
  scale_colour_manual(name = "Legende",
  values =c("black"="black", "blue"="blue", "red"= "red" ), labels = c
("mittlerer U-Wert", "0,73 W/mK", "1,39 W/mK"))

#coord_cartesian( ylim=c(0,1.5))

PP3 <- ggplot() +

  geom_point(data = MMean_U_1_2, aes(y = U_Mean_1_2, x = M_factor, col ="bl
ack"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = MMean_U_1_2, aes(y = 0.116666666, x = M_factor, col ="r
ed"), shape = 16, size = 3)+

  labs(title="U-Wert Veränderung (wassergehalts- und temperaturabhängig)",
subtitle=NAME, y="U-Wert in W/m2K", x="Jahr und Monat", caption="Bauteil I5
1")+

  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
  scale_colour_manual(name = "Legende", values =c("black"="black", "red"= "r
ed" ), labels = c("dynamischer U-Wert", "Basis-U-Wert"))

#coord_cartesian( ylim=c(0.1,0.15))

grid.arrange(P1,P2,P3,top = textGrob(
  "Diagramme der Wärmeleitfähigkeit und des U-Werts",
  gp = gpar( fontsize = 18),
  hjust = 1, x = 0.81), nrow = 3)

```

```

P1 <- ggplot() +

  geom_point(data = YMean_lambda_1_2, aes(y = lambda_Mean_1_2, x = Y_factor
, col ="black"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = YMean_lambda_1_2_MOnly, aes(y = lambda_Mean_1_2_MOnly
, x = Y_factor, col ="orange"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = YMean_U_1_2, aes(y = 0.035, x = Y_factor, col ="red"),
shape = 16, size = 3)+

  labs(title="WLF Veränderung (wassergehalts- und temperaturabhängig)", sub
title=NAME, y="WLF in W/mK", x="Jahr und Monat", caption="Bauteil I51")+
  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
  scale_colour_manual(name = "Legende", values =c("black"="black","orange"=
"orange","red"= "red" ), labels = c("dynamische WLF","WLF feuchteabhängig"
,"Basis-WLF"))

  #coord_cartesian( ylim=c(0.03,0.05)

P2 <- ggplot() +
  geom_point(data = YMean_U_1_2, aes(y = U_Mean_1_2, x = Y_factor, col ="bl
ack"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = YMean_U_1_2, aes(y = 0.73, x = Y_factor, col ="blue"),
shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = YMean_U_1_2, aes(y = 1.39, x = Y_factor, col ="red"), s
hape = 16, size = 3)+

  labs(title="U-Wert Veränderung (wassergehalts- und temperaturabhängig)",
subtitle=NAME, y="U-Wert in W/m²K", x="Jahr und Monat", caption="Bauteil I5
1")+
  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
  scale_colour_manual(name = "Legende",
    values =c("black"="black","blue"="blue","red"= "red" ), labels = c
("mittlerer U-Wert","0,73 W/mK", "1,39 W/mK"))

  #coord_cartesian( ylim=c(0,1.5))

P3 <- ggplot() +

  geom_point(data = YMean_U_1_2, aes(y = U_Mean_1_2, x = Y_factor, col ="bl
ack"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = YMean_U_1_2, aes(y = 0.1166666666, x = Y_factor, col ="r
ed"), shape = 16, size = 3)+

  labs(title="U-Wert Veränderung (wassergehalts- und temperaturabhängig)",
subtitle=NAME, y="U-Wert in W/m²K", x="Jahr und Monat", caption="Bauteil I5
1")+
  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
  scale_colour_manual(name = "Legende", values =c("black"="black","red"= "r
ed" ), labels = c("dynamischer U-Wert","Basis-U-Wert"))

  #coord_cartesian( ylim=c(0.1,0.15))

```

```

grid.arrange(P1,P2,P3,top = textGrob(
  "Diagramme der Wärmeleitfähigkeit und des U-Werts",
  gp = gpar( fontsize = 18),
  hjust = 1, x = 0.81), nrow = 3)

T1 <- tableGrob(Mean_lambda_1_2)

T2 <- tableGrob(Mean_U_1_2)

T3 <- tableGrob(Mean_U_1_2)

grid.arrange(PPP1, PPP2, T2,PPP3,top = textGrob(
  "Diagramme der Wärmeleitfähigkeit und des U-Werts",
  gp = gpar( fontsize = 18),
  hjust = 0, x = 0.045), nrow = 3, ncol = 2,widths = c(5, 2),layout_matrix = rbind(c(1, 3),c(2,3),c(4,3)))

T1 <- tableGrob(MMean_lambda_1_2)

T2 <- tableGrob(MMean_U_1_2)

T3 <- tableGrob(MMean_U_1_2)

grid.arrange(PP1,T1, PP2, T2,PP3,top = textGrob(
  "Diagramme der Wärmeleitfähigkeit und des U-Werts monatlich",
  gp = gpar( fontsize = 18),
  hjust = 0, x = 0.045), nrow = 3, ncol = 2,widths = c(5, 2),layout_matrix = rbind(c(1, 2),c(3,4),c(5)))

T1 <- tableGrob(YMean_lambda_1_2)

T2 <- tableGrob(YMean_U_1_2)

T3 <- tableGrob(YMean_U_1_2)

grid.arrange(P1,T1, P2, T2,P3,top = textGrob(
  "Diagramme der Wärmeleitfähigkeit und des U-Werts jährlich",
  gp = gpar( fontsize = 18),
  hjust = 0, x = 0.045), nrow = 3, ncol = 2,widths = c(5, 2),layout_matrix = rbind(c(1, 2),c(3,4),c(5)))

data_U1 <- import('C:/Users/Daniel/Desktop/MA Temp/Data analysis/working code/2 A-I/6 Wärmestrom/Data_out/data_out_01.csv',header = TRUE, dec = ",")
data_U2 <- import('C:/Users/Daniel/Desktop/MA Temp/Data analysis/working code/2 A-I/6 Wärmestrom/Data_out/data_out_02.csv',header = TRUE, dec = ",")
data_U3 <- import('C:/Users/Daniel/Desktop/MA Temp/Data analysis/working code/2 A-I/6 Wärmestrom/Data_out/data_out_03.csv',header = TRUE, dec = ",")
data_U4 <- import('C:/Users/Daniel/Desktop/MA Temp/Data analysis/working code/2 A-I/6 Wärmestrom/Data_out/data_out_04.csv',header = TRUE, dec = ",")
data_U5 <- import('C:/Users/Daniel/Desktop/MA Temp/Data analysis/working code/2 A-I/6 Wärmestrom/Data_out/data_out_05.csv',header = TRUE, dec = ",")
data_U6 <- import('C:/Users/Daniel/Desktop/MA Temp/Data analysis/working co

```

```
de/2 A-I/6 Wärmestrom/Data_out/data_out_06.csv',header = TRUE, dec = ",")
data_U7 <- import('C:/Users/Daniel/Desktop/MA Temp/Data analysis/working co
de/2 A-I/6 Wärmestrom/Data_out/data_out_07.csv',header = TRUE, dec = ",")

LAMBDA <- 0.035 #W/mK
d <- 0.30 #m

U <- LAMBDA/d

qq1 <- U*(data4$I51RH21_T-data4$I51RH01_T)
qq2 <- U*(data4$I51RH22_T-data4$I51RH02_T)
qq3 <- U*(data4$I51RH23_T-data4$I51RH03_T)
qq4 <- U*(data4$I51RH24_T-data4$I51RH04_T)
qq5 <- U*(data4$I51RH25_T-data4$I51RH05_T)
qq6 <- U*(data4$I51RH26_T-data4$I51RH06_T)
qq7 <- U*(data4$I51RH27_T-data4$I51RH07_T)

dyn_q <- function (U, TEMP_20, TEMP_00){

  a <- as.numeric(U)
  q <- a*(TEMP_20 - TEMP_00)
  return(q)
}

q1 <- mapply(
  dyn_q,
  data_U1$U1,
  data4$I51RH21_T,
  data4$I51RH01_T
)

q2 <- mapply(
  dyn_q,
  data_U2$U2,
  data4$I51RH22_T,
  data4$I51RH02_T
)

q3 <- mapply(
  dyn_q,
  data_U3$U3,
  data4$I51RH23_T,
  data4$I51RH03_T
)

q4 <- mapply(
  dyn_q,
  data_U4$U4,
  data4$I51RH24_T,
  data4$I51RH04_T
)

q5 <- mapply(
```

```

dyn_q,
data_U5$U5,
data4$I51RH25_T,
data4$I51RH05_T
)

q6 <- mapply(
  dyn_q,
  data_U6$U6,
  data4$I51RH26_T,
  data4$I51RH06_T
)

q7 <- mapply(
  dyn_q,
  data_U7$U7,
  data4$I51RH27_T,
  data4$I51RH07_T
)

TIME <- data4$timestamp
Month <- months(TIME)
Year <- format(TIME,format="%y")
Year2 <- paste0("20", Year,sep = "")
YandM <- paste(Month,Year2,sep = " ")

M_factor <- factor(
  x = Month,
  levels = c("Jänner","Februar","März", "April", "Mai", "Juni", "Juli", "August", "September", "Oktober", "November","Dezember")
)

Y_factor <- factor(
  x = Year2,
  levels = c("2011", "2012", "2013", "2014", "2015")
)

YandM_factor <- factor(
  x = YandM,
  levels = c("Dezember 2010","Jänner 2011","Februar 2011","März 2011", "April 2011", "Mai 2011", "Juni 2011", "Juli 2011", "August 2011", "September 2011", "Oktober 2011", "November 2011","Dezember 2011","Jänner 2012","Februar 2012", "März 2012", "April 2012", "Mai 2012", "Juni 2012", "Juli 2012", "August 2012", "September 2012", "Oktober 2012", "November 2012","Dezember 2012","Jänner 2013","Februar 2013","März 2013", "April 2013", "Mai 2013", "Juni 2013", "Juli 2013", "August 2013", "September 2013", "Oktober 2013", "November 2013","Dezember 2013","Jänner 2014","Februar 2014","März 2014", "April 2014", "Mai 2014", "Juni 2014", "Juli 2014", "August 2014", "September 2014", "Oktober 2014", "November 2014","Dezember 2014","Jänner 2015","Februar 2015", "März 2015", "April 2015", "Mai 2015", "Juni 2015", "Juli 2015", "August 2015", "September 2015", "Oktober 2015", "November 2015","Dezember 2015" )
)

```

```

Mean_Wärmestrom_1 <- aggregate(q1 ~ YandM_factor, data4, mean)
Mean_Wärmestrom_2 <- aggregate(q2 ~ YandM_factor, data4, mean)
Mean_Wärmestrom_3 <- aggregate(q3 ~ YandM_factor, data4, mean)
Mean_Wärmestrom_4 <- aggregate(q4 ~ YandM_factor, data4, mean)
Mean_Wärmestrom_5 <- aggregate(q5 ~ YandM_factor, data4, mean)
Mean_Wärmestrom_6 <- aggregate(q6 ~ YandM_factor, data4, mean)
Mean_Wärmestrom_7 <- aggregate(q7 ~ YandM_factor, data4, mean)

Mean_Wärmestrom_qq1 <- aggregate(qq1 ~ YandM_factor, data4, mean)
Mean_Wärmestrom_qq2 <- aggregate(qq2 ~ YandM_factor, data4, mean)
Mean_Wärmestrom_qq3 <- aggregate(qq3 ~ YandM_factor, data4, mean)
Mean_Wärmestrom_qq4 <- aggregate(qq4 ~ YandM_factor, data4, mean)
Mean_Wärmestrom_qq5 <- aggregate(qq5 ~ YandM_factor, data4, mean)
Mean_Wärmestrom_qq6 <- aggregate(qq6 ~ YandM_factor, data4, mean)
Mean_Wärmestrom_qq7 <- aggregate(qq7 ~ YandM_factor, data4, mean)

MMean_Wärmestrom_1 <- aggregate(q1 ~ M_factor, data4, mean)
MMean_Wärmestrom_2 <- aggregate(q2 ~ M_factor, data4, mean)
MMean_Wärmestrom_3 <- aggregate(q3 ~ M_factor, data4, mean)
MMean_Wärmestrom_4 <- aggregate(q4 ~ M_factor, data4, mean)
MMean_Wärmestrom_5 <- aggregate(q5 ~ M_factor, data4, mean)
MMean_Wärmestrom_6 <- aggregate(q6 ~ M_factor, data4, mean)
MMean_Wärmestrom_7 <- aggregate(q7 ~ M_factor, data4, mean)

MMean_Wärmestrom_qq1 <- aggregate(qq1 ~ M_factor, data4, mean)
MMean_Wärmestrom_qq2 <- aggregate(qq2 ~ M_factor, data4, mean)
MMean_Wärmestrom_qq3 <- aggregate(qq3 ~ M_factor, data4, mean)
MMean_Wärmestrom_qq4 <- aggregate(qq4 ~ M_factor, data4, mean)
MMean_Wärmestrom_qq5 <- aggregate(qq5 ~ M_factor, data4, mean)
MMean_Wärmestrom_qq6 <- aggregate(qq6 ~ M_factor, data4, mean)
MMean_Wärmestrom_qq7 <- aggregate(qq7 ~ M_factor, data4, mean)

YMean_Wärmestrom_1 <- aggregate(q1 ~ Y_factor, data4, mean)
YMean_Wärmestrom_2 <- aggregate(q2 ~ Y_factor, data4, mean)
YMean_Wärmestrom_3 <- aggregate(q3 ~ Y_factor, data4, mean)
YMean_Wärmestrom_4 <- aggregate(q4 ~ Y_factor, data4, mean)
YMean_Wärmestrom_5 <- aggregate(q5 ~ Y_factor, data4, mean)
YMean_Wärmestrom_6 <- aggregate(q6 ~ Y_factor, data4, mean)
YMean_Wärmestrom_7 <- aggregate(q7 ~ Y_factor, data4, mean)

YMean_Wärmestrom_qq1 <- aggregate(qq1 ~ Y_factor, data4, mean)
YMean_Wärmestrom_qq2 <- aggregate(qq2 ~ Y_factor, data4, mean)
YMean_Wärmestrom_qq3 <- aggregate(qq3 ~ Y_factor, data4, mean)
YMean_Wärmestrom_qq4 <- aggregate(qq4 ~ Y_factor, data4, mean)
YMean_Wärmestrom_qq5 <- aggregate(qq5 ~ Y_factor, data4, mean)
YMean_Wärmestrom_qq6 <- aggregate(qq6 ~ Y_factor, data4, mean)
YMean_Wärmestrom_qq7 <- aggregate(qq7 ~ Y_factor, data4, mean)

MEAN_P <- data.frame(
  Position = c("1", "2", "3", "4", "5", "6", "7"),
  Mittelwerte = c(mean(q1),mean(q2),mean(q3),mean(q4),mean(q5),mean(q6),mea

```

```

n(q7)),
  Standardabweichung = c(sd(q1),sd(q2),sd(q3),sd(q4),sd(q5),sd(q6),sd(q7))
  )
g <- as.data.table(MEAN_P)

Table1 <- grid.table(g,rows = NULL)

grid.newpage()
grid.draw(Table1)

P1 <- ggplot() +

  geom_point(data = Mean_Wärmestrom_1, aes(y = q1, x = YandM_factor, col = "
red"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = Mean_Wärmestrom_2, aes(y = q2, x = YandM_factor, col = "
orange"), shape = 16, size = 3)+

  geom_point(data = Mean_Wärmestrom_qq1, aes(y = qq1, x = YandM_factor, col
="red"), shape = 12, size = 3)+
  geom_point(data = Mean_Wärmestrom_qq2, aes(y = qq2, x = YandM_factor, col
="orange"), shape = 12, size = 3)+

  labs(title="Wärmestrom", subtitle="Position 1 und 2", y="Wärmestrom in W"
, x="Jahr und Monat", caption="Bauteil I51")+
  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
  scale_colour_manual(name = "Farbe", values =c("red"= "red", "orange"="ora
nge" ), labels = c("Sensorposition 2","Sensorposition 1"))

P2 <- ggplot() +

  geom_point(data = Mean_Wärmestrom_3, aes(y = q3, x = YandM_factor, col = "
steelblue"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = Mean_Wärmestrom_4, aes(y = q4, x = YandM_factor, col = "
blue"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = Mean_Wärmestrom_5, aes(y = q5, x = YandM_factor, col = "
black"), shape = 16, size = 3)+

  geom_point(data = Mean_Wärmestrom_qq3, aes(y = qq3, x = YandM_factor, col
="steelblue"), shape = 12, size = 3)+
  geom_point(data = Mean_Wärmestrom_qq4, aes(y = qq4, x = YandM_factor, col
="blue"), shape = 12, size = 3)+
  geom_point(data = Mean_Wärmestrom_qq5, aes(y = qq5, x = YandM_factor, col
="black"), shape = 12, size = 3)+

  labs(title="Wärmestrom", subtitle="Position 3, 4 und 5", y="Wärmestrom in
W", x="Jahr und Monat", caption="Bauteil I51")+

```

```

theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
scale_colour_manual(name = "Legende", values =c("steelblue"= "steelblue",
"blue"="blue","black"= "black" ), labels = c("Sensorposition 5","Sensorpos
ition 4","Sensorposition 3"))

P3 <- ggplot() +

  geom_point(data = Mean_Wärmestrom_6, aes(y = q6, x = YandM_factor, col = "
gold4"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = Mean_Wärmestrom_7, aes(y = q7, x = YandM_factor, col = "
darkgoldenrod"), shape = 16, size = 3)+

  geom_point(data = Mean_Wärmestrom_qq6, aes(y = qq6, x = YandM_factor, col
="gold4"), shape = 12, size = 3)+
  geom_point(data = Mean_Wärmestrom_qq7, aes(y = qq7, x = YandM_factor, col
="darkgoldenrod"), shape = 12, size = 3)+

  labs(title="Wärmestrom", subtitle="Position 6, 7 und 5", y="Wärmestrom in
W", x="Jahr und Monat", caption="Bauteil I51")+
  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
  scale_colour_manual(name = "Legende", values =c("gold4"= "gold4", "darkgo
ldenrod"="darkgoldenrod" ), labels = c("Sensorposition 7","Sensorposition 6
"))

grid.arrange(P1,P2,P3,top = textGrob(
  "Wärmeströme im Monatsmittel pro Jahr",
  gp = gpar( fontsize = 18),
  hjust = 0, x = 0.05), nrow = 3)

P1 <- ggplot() +

  geom_point(data = MMean_Wärmestrom_1, aes(y = q1, x = M_factor, col ="red
"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = MMean_Wärmestrom_2, aes(y = q2, x = M_factor, col ="ora
nge"), shape = 16, size = 3)+

  geom_point(data = MMean_Wärmestrom_qq1, aes(y = qq1, x = M_factor, col ="
red"), shape = 12, size = 3)+
  geom_point(data = MMean_Wärmestrom_qq2, aes(y = qq2, x = M_factor, col ="
orange"), shape = 12, size = 3)+
  theme(legend.position = "none")+

  labs(title="Wärmestrom im Monatsmittel", subtitle="Position 1 und 2", y="
Wärmestrom in W", x="Monat", caption="Bauteil I51")+
  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
  scale_colour_manual(name = "Farbe", values =c("red"= "red", "orange"="ora
nge" ), labels = c("Sensorposition 2","Sensorposition 1"))

```

```
PP1 <- ggplot() +  
  
  geom_point(data = YMean_Wärmestrom_1, aes(y = q1, x = Y_factor, col = "red"  
"), shape = 16, size = 3)+  
  geom_point(data = YMean_Wärmestrom_2, aes(y = q2, x = Y_factor, col = "ora  
nge"), shape = 16, size = 3)+  
  
  geom_point(data = YMean_Wärmestrom_qq1, aes(y = qq1, x = Y_factor, col = "  
red"), shape = 12, size = 3)+  
  geom_point(data = YMean_Wärmestrom_qq2, aes(y = qq2, x = Y_factor, col = "  
orange"), shape = 12, size = 3)+  
  
  labs(title="Wärmestrom im Jahresmittel", subtitle="Position 1 und 2", y="  
Wärmestrom in W", x="Jahr", caption="Bauteil I51")+  
  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+  
  scale_colour_manual(name = "Legende", values = c("red" = "red", "orange" = "o  
range" ), labels = c("Sensorposition 2", "Sensorposition 1"))  
  
PP2 <- ggplot() +  
  
  geom_point(data = MMean_Wärmestrom_3, aes(y = q3, x = M_factor, col = "ste  
elblue"), shape = 16, size = 3)+  
  geom_point(data = MMean_Wärmestrom_4, aes(y = q4, x = M_factor, col = "blu  
e"), shape = 16, size = 3)+  
  geom_point(data = MMean_Wärmestrom_5, aes(y = q5, x = M_factor, col = "bla  
ck"), shape = 16, size = 3)+  
  
  geom_point(data = MMean_Wärmestrom_qq3, aes(y = qq3, x = M_factor, col = "  
steelblue"), shape = 12, size = 3)+  
  geom_point(data = MMean_Wärmestrom_qq4, aes(y = qq4, x = M_factor, col = "  
blue"), shape = 12, size = 3)+  
  geom_point(data = MMean_Wärmestrom_qq5, aes(y = qq5, x = M_factor, col = "  
black"), shape = 12, size = 3)+  
  theme(legend.position = "none")+  
  
  labs(title="Wärmestrom im Monatsmittel", subtitle="Position 3, 4 und 5",  
y="Wärmestrom in W", x="Monat", caption="Bauteil I51")+  
  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+  
  scale_colour_manual(name = "Legende", values = c("steelblue" = "steelblue",  
"blue" = "blue", "black" = "black" ), labels = c("Sensorposition 5", "Sensorpos  
ition 4", "Sensorposition 3"))  
  
PP2 <- ggplot() +  
  
  geom_point(data = YMean_Wärmestrom_3, aes(y = q3, x = Y_factor, col = "ste  
elblue"), shape = 16, size = 3)+
```

```

geom_point(data = YMean_Wärmestrom_4, aes(y = q4, x = Y_factor, col = "blue"), shape = 16, size = 3)+
geom_point(data = YMean_Wärmestrom_5, aes(y = q5, x = Y_factor, col = "black"), shape = 16, size = 3)+

geom_point(data = YMean_Wärmestrom_qq3, aes(y = qq3, x = Y_factor, col = "steelblue"), shape = 12, size = 3)+
geom_point(data = YMean_Wärmestrom_qq4, aes(y = qq4, x = Y_factor, col = "blue"), shape = 12, size = 3)+
geom_point(data = YMean_Wärmestrom_qq5, aes(y = qq5, x = Y_factor, col = "black"), shape = 12, size = 3)+

labs(title="Wärmestrom im Jahresmittel", subtitle="Position 3, 4 und 5", y="Wärmestrom in W", x="Jahr", caption="Bauteil I51")+
theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
scale_colour_manual(name = "Legende", values = c("steelblue"= "steelblue", "blue"="blue","black"= "black" ), labels = c("Sensorposition 5","Sensorposition 4","Sensorposition 3"))

P3 <- ggplot() +

geom_point(data = MMean_Wärmestrom_6, aes(y = q6, x = M_factor, col = "gold4"), shape = 16, size = 3)+
geom_point(data = MMean_Wärmestrom_7, aes(y = q7, x = M_factor, col = "darkgoldenrod"), shape = 16, size = 3)+

geom_point(data = MMean_Wärmestrom_qq6, aes(y = qq6, x = M_factor, col = "gold4"), shape = 12, size = 3)+
geom_point(data = MMean_Wärmestrom_qq7, aes(y = qq7, x = M_factor, col = "darkgoldenrod"), shape = 12, size = 3)+
theme(legend.position = "none")+

labs(title="Wärmestrom im Monatsmittel", subtitle="Position 6 und 7", y="Wärmestrom in W", x="Monat", caption="Bauteil I51")+
theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
scale_colour_manual(name = "Legende", values = c("gold4"= "gold4", "darkgoldenrod"="darkgoldenrod" ), labels = c("Sensorposition 7","Sensorposition 6"))

PP3 <- ggplot() +

geom_point(data = YMean_Wärmestrom_6, aes(y = q6, x = Y_factor, col = "gold4"), shape = 16, size = 3)+
geom_point(data = YMean_Wärmestrom_7, aes(y = q7, x = Y_factor, col = "darkgoldenrod"), shape = 16, size = 3)+

geom_point(data = YMean_Wärmestrom_qq6, aes(y = qq6, x = Y_factor, col = "gold4"), shape = 12, size = 3)+
geom_point(data = YMean_Wärmestrom_qq7, aes(y = qq7, x = Y_factor, col = "darkgoldenrod"), shape = 12, size = 3)+

```

```

labs(title="Wärmestrom im Jahresmittel", subtitle="Position 6 und 7", y="
Wärmestrom in W", x="Jahr", caption="Bauteil I51")+
theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
scale_colour_manual(name = "Legende", values =c("gold4"= "gold4", "darkgo
ldenrod"="darkgoldenrod" ), labels = c("Sensorposition 7","Sensorposition 6
"))

```

```

grid.arrange(P1,PP1,P2,PP2,P3,PP3, top = textGroB(
"Wärmeströme im Monats- und Jahresmittel",
gp = gpar( fontsize = 18),
hjust = 0.5, x = 0.5), nrow = 3, ncol = 2)

```

```
PP3 <- ggplot() +
```

```

geom_point(data = YMean_Wärmestrom_1, aes(y = q1, x = Y_factor, col ="A1"
), shape = 16, size = 3)+
geom_point(data = YMean_Wärmestrom_2, aes(y = q2, x = Y_factor, col ="A2"
), shape = 16, size = 3)+

```

```

geom_point(data = YMean_Wärmestrom_3, aes(y = q3, x = Y_factor, col ="A3"
), shape = 16, size = 3)+
geom_point(data = YMean_Wärmestrom_4, aes(y = q4, x = Y_factor, col ="A4"
), shape = 16, size = 3)+
geom_point(data = YMean_Wärmestrom_5, aes(y = q5, x = Y_factor, col ="A5"
), shape = 16, size = 3)+

```

```

geom_point(data = YMean_Wärmestrom_6, aes(y = q6, x = Y_factor, col ="A6"
), shape = 16, size = 3)+
geom_point(data = YMean_Wärmestrom_7, aes(y = q7, x = Y_factor, col ="A7"
), shape = 16, size = 3)+

```

```

labs(title="dynamischer Wärmestrom im Jahresmittel", subtitle="Sensorposi
tion 1 bis 7", y="Wärmestrom in W", x="Jahr", caption="Bauteil I51")+
theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
scale_colour_manual(name = "Legende", values =c("A1"= "red", "A2"="orange
","A3"= "steelblue", "A4"="blue","A5"= "black", "A6"= "gold", "A7"="darkgol
denrod" ), labels = c("A1" = "Sensorposition 1" ,"A2" = "Sensorposition 2"
,"A3" = "Sensorposition 3", "A4" = "Sensorposition 4","A5" = "Sensorpositio
n 5","A6" = "Sensorposition 6","A7" = "Sensorposition 7"))

```

```
PP3
```

```

df <- data.frame(INDEX = seq(from = 1, to = 7, by = 1),
                NAMES = c ("Position 1", "Position 2","Position 3","Positi
on 4","Position 5","Position 6","Position 7"),
                Mean_Wärme_var = c(mean(Mean_Wärmestrom_1$q1),mean(Mean_Wä
rmestrom_2$q2),mean(Mean_Wärmestrom_3$q3),mean(Mean_Wärmestrom_4$q4),mean(M
ean_Wärmestrom_5$q5),mean(Mean_Wärmestrom_6$q6),mean(Mean_Wärmestrom_7$q7)
),

```

```

Mean_Wärme_kon = c(mean(Mean_Wärmestrom_qq1$qq1),mean(Mean
_Wärmestrom_qq2$qq2),mean(Mean_Wärmestrom_qq3$qq3),mean(Mean_Wärmestrom_qq4
$qq4),mean(Mean_Wärmestrom_qq5$qq5),mean(Mean_Wärmestrom_qq6$qq6),mean(Mean
_Wärmestrom_qq7$qq7)),

sd_Wärme_var = c(sd(Mean_Wärmestrom_1$q1),sd(Mean_Wärmest
rom_2$q2),sd(Mean_Wärmestrom_3$q3),sd(Mean_Wärmestrom_4$q4),sd(Mean_Wärmest
rom_5$q5),sd(Mean_Wärmestrom_6$q6),sd(Mean_Wärmestrom_7$q7)),

sd_Wärme_kon = c(sd(Mean_Wärmestrom_qq1$qq1),sd(Mean_Wärme
strom_qq2$qq2),sd(Mean_Wärmestrom_qq3$qq3),sd(Mean_Wärmestrom_qq4$qq4),sd(M
ean_Wärmestrom_qq5$qq5),sd(Mean_Wärmestrom_qq6$qq6),sd(Mean_Wärmestrom_qq7$
qq7)))

myft2 <- flextable(
  head(df),
  col_keys = c("INDEX", "NAMES", "Mean_Wärme_var", "sd_Wärme_var", "Mean_Wär
me_kon" , "sd_Wärme_kon")
)
myft2 <- autofit(myft2)
myft2

df2 <- data.frame(INDEX = seq(from = 1, to = 7, by = 1),
  NAMES = c ("Position 1", "Position 2","Position 3","Positi
on 4","Position 5","Position 6","Position 7"),
  Mean_Wärme_var_month = c(mean(MMean_Wärmestrom_1$q1),mean(
MMean_Wärmestrom_2$q2),mean(MMean_Wärmestrom_3$q3),mean(MMean_Wärmestrom_4$
q4),mean(MMean_Wärmestrom_5$q5),mean(MMean_Wärmestrom_6$q6),mean(MMean_Wärm
estrom_7$q7)),

  MMean_Wärme_kon_month = c(mean(MMean_Wärmestrom_qq1$qq1),m
ean(MMean_Wärmestrom_qq2$qq2),mean(MMean_Wärmestrom_qq3$qq3),mean(MMean_Wär
mestrom_qq4$qq4),mean(MMean_Wärmestrom_qq5$qq5),mean(MMean_Wärmestrom_qq6$
q6),mean(MMean_Wärmestrom_qq7$qq7)),

  sd_Wärme_var_month = c(sd(MMean_Wärmestrom_1$q1),sd(MMean
_Wärmestrom_2$q2),sd(MMean_Wärmestrom_3$q3),sd(MMean_Wärmestrom_4$q4),sd(MM
ean_Wärmestrom_5$q5),sd(MMean_Wärmestrom_6$q6),sd(MMean_Wärmestrom_7$q7)),

  sd_Wärme_kon_month = c(sd(MMean_Wärmestrom_qq1$qq1),sd(MMe
an_Wärmestrom_qq2$qq2),sd(MMean_Wärmestrom_qq3$qq3),sd(MMean_Wärmestrom_qq4
$qq4),sd(MMean_Wärmestrom_qq5$qq5),sd(MMean_Wärmestrom_qq6$qq6),sd(MMean_Wä
rmestrom_qq7$qq7)))

myft3 <- flextable(
  head(df2),
  col_keys = c("INDEX", "NAMES", "Mean_Wärme_var_month", "sd_Wärme_var_month
", "Mean_Wärme_kon_month" , "sd_Wärme_kon_month")
)
myft3 <- autofit(myft3)
myft3

```

```

df3 <- data.frame(INDEX = seq(from = 1, to = 7, by = 1),
                  NAMES = c ("Position 1", "Position 2", "Position 3", "Position 4", "Position 5", "Position 6", "Position 7"),
                  Mean_Wärme_var_year = c(mean(YMean_Wärmestrom_1$q1), mean(YMean_Wärmestrom_2$q2), mean(YMean_Wärmestrom_3$q3), mean(YMean_Wärmestrom_4$q4), mean(YMean_Wärmestrom_5$q5), mean(YMean_Wärmestrom_6$q6), mean(YMean_Wärmestrom_7$q7)),
                  Mean_Wärme_kon_year = c(mean(YMean_Wärmestrom_qq1$qq1), mean(YMean_Wärmestrom_qq2$qq2), mean(YMean_Wärmestrom_qq3$qq3), mean(YMean_Wärmestrom_qq4$qq4), mean(YMean_Wärmestrom_qq5$qq5), mean(YMean_Wärmestrom_qq6$qq6), mean(YMean_Wärmestrom_qq7$qq7)),
                  sd_Wärme_var_year = c(sd(YMean_Wärmestrom_1$q1), sd(YMean_Wärmestrom_2$q2), sd(YMean_Wärmestrom_3$q3), sd(YMean_Wärmestrom_4$q4), sd(YMean_Wärmestrom_5$q5), sd(YMean_Wärmestrom_6$q6), sd(YMean_Wärmestrom_7$q7)),
                  sd_Wärme_kon_year = c(sd(YMean_Wärmestrom_qq1$qq1), sd(YMean_Wärmestrom_qq2$qq2), sd(YMean_Wärmestrom_qq3$qq3), sd(YMean_Wärmestrom_qq4$qq4), sd(YMean_Wärmestrom_qq5$qq5), sd(YMean_Wärmestrom_qq6$qq6), sd(YMean_Wärmestrom_qq7$qq7)))

myft4 <- flextable(
  head(df3),
  col_keys = c("INDEX", "NAMES", "Mean_Wärme_var_year", "sd_Wärme_var_year", "Mean_Wärme_kon_year", "sd_Wärme_kon_year")
)
myft4 <- autofit(myft4)
myft4

P1 <- ggplot() +

  geom_point(data = Mean_Wärmestrom_1, aes(y = q1, x = YandM_factor, col = "red"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = Mean_Wärmestrom_2, aes(y = q2, x = YandM_factor, col = "orange"), shape = 16, size = 3)+

  labs(title="Wärmeströme", subtitle="Position 1 und 2", y="Wärmestrom in W", x="Jahr und Monat", caption="Bauteil I51")+
  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
  scale_colour_manual(name = "Legende", values = c("red" = "red", "orange" = "orange"), labels = c("Sensorposition 2", "Sensorposition 1"))

P2 <- ggplot() +

  geom_point(data = Mean_Wärmestrom_3, aes(y = q3, x = YandM_factor, col = "steelblue"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = Mean_Wärmestrom_4, aes(y = q4, x = YandM_factor, col = "blue"), shape = 16, size = 3)+

```

```
geom_point(data = Mean_Wärmestrom_5, aes(y = q5, x = YandM_factor, col = "black"), shape = 16, size = 3)+
```

```
labs(title="Wärmeströme", subtitle="Position 3, 4 und 5", y="Wärmestrom in W", x="Jahr und Monat", caption="Bauteil I51")+
theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
scale_colour_manual(name = "Legende", values =c("steelblue"= "steelblue", "blue"="blue","black"= "black" ), labels = c("Sensorposition 5","Sensorposition 4","Sensorposition 3"))
```

```
P3 <- ggplot() +
```

```
geom_point(data = Mean_Wärmestrom_6, aes(y = q6, x = YandM_factor, col = "gold4"), shape = 16, size = 3)+
```

```
geom_point(data = Mean_Wärmestrom_7, aes(y = q7, x = YandM_factor, col = "darkgoldenrod"), shape = 16, size = 3)+
```

```
labs(title="Wärmeströme", subtitle="Position 6 und 7", y="Wärmestrom in W", x="Jahr und Monat", caption="Bauteil I51")+
theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
scale_colour_manual(name = "Legende", values =c("gold4"= "gold4", "darkgoldenrod"="darkgoldenrod"), labels = c("Sensorposition 7","Sensorposition 6"))
```

```
grid.arrange(P1,P2,P3,top = textGrob(
  "Wärmeströme, tempertaur- und feuchteabhängig",
  gp = gpar( fontsize = 18),
  hjust = 0, x = 0.05), nrow = 3)
```

```
P1 <- ggplot() +
```

```
geom_point(data = MMean_Wärmestrom_1, aes(y = q1, x = M_factor, col = "red"), shape = 16, size = 3)+
```

```
geom_point(data = MMean_Wärmestrom_2, aes(y = q2, x = M_factor, col = "orange"), shape = 16, size = 3)+
```

```
labs(title="Wärmeströme", subtitle="Position 1 und 2", y="Wärmestrom in W", x="Jahr und Monat", caption="Bauteil I51")+
theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
scale_colour_manual(name = "Legende", values =c("red"= "red", "orange"="orange"), labels = c("Sensorposition 2","Sensorposition 1"))
```

```

P2 <- ggplot() +

  geom_point(data = MMean_Wärmestrom_3, aes(y = q3, x = M_factor, col ="steelblue"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = MMean_Wärmestrom_4, aes(y = q4, x = M_factor, col ="blue"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = MMean_Wärmestrom_5, aes(y = q5, x = M_factor, col ="black"), shape = 16, size = 3)+

  labs(title="Wärmeströme", subtitle="Position 3, 4 und 5", y="Wärmestrom in W", x="Jahr und Monat", caption="Bauteil I51")+
  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
  scale_colour_manual(name = "Legende", values =c("steelblue"= "steelblue", "blue"="blue","black"= "black" ), labels = c("Sensorposition 5","Sensorposition 4","Sensorposition 3"))

P3 <- ggplot() +

  geom_point(data = MMean_Wärmestrom_6, aes(y = q6, x = M_factor, col ="gold4"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = MMean_Wärmestrom_7, aes(y = q7, x = M_factor, col ="darkgoldenrod"), shape = 16, size = 3)+

  labs(title="Wärmeströme", subtitle="Position 6 und 7", y="Wärmestrom in W", x="Jahr und Monat", caption="Bauteil I51")+
  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
  scale_colour_manual(name = "Legende", values =c("gold4"= "gold4", "darkgoldenrod"="darkgoldenrod"), labels = c("Sensorposition 7","Sensorposition 6"))

grid.arrange(P1,P2,P3,top = textGrob(
  "Wärmeströme, tempertaur- und feuchteabhängig",
  gp = gpar( fontsize = 18),
  hjust = 0, x = 0.05), nrow = 3)

```

```

P1 <- ggplot() +

  geom_point(data = YMean_Wärmestrom_1, aes(y = q1, x = Y_factor, col ="red"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = YMean_Wärmestrom_2, aes(y = q2, x = Y_factor, col ="orange"), shape = 16, size = 3)+

```

```

labs(title="Wärmeströme", subtitle="Position 1 und 2", y="Wärmestrom in W
", x="Jahr und Monat", caption="Bauteil I51")+
theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
scale_colour_manual(name = "Legende", values =c("red"= "red", "orange"="o
range"), labels = c("Sensorposition 2","Sensorposition 1"))

```

```
P2 <- ggplot() +
```

```

geom_point(data = YMean_Wärmestrom_3, aes(y = q3, x = Y_factor, col ="ste
elblue"), shape = 16, size = 3)+
geom_point(data = YMean_Wärmestrom_4, aes(y = q4, x = Y_factor, col ="blu
e"), shape = 16, size = 3)+
geom_point(data = YMean_Wärmestrom_5, aes(y = q5, x = Y_factor, col ="bla
ck"), shape = 16, size = 3)+

```

```

labs(title="Wärmeströme", subtitle="Position 3, 4 und 5", y="Wärmestrom i
n W", x="Jahr und Monat", caption="Bauteil I51")+
theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
scale_colour_manual(name = "Legende", values =c("steelblue"= "steelblue",
"blue"="blue","black"= "black" ), labels = c("Sensorposition 5","Sensorpos
ition 4","Sensorposition 3"))

```

```
P3 <- ggplot() +
```

```

geom_point(data = YMean_Wärmestrom_6, aes(y = q6, x = Y_factor, col ="gol
d4"), shape = 16, size = 3)+
geom_point(data = YMean_Wärmestrom_7, aes(y = q7, x = Y_factor, col ="dar
kgoldenrod"), shape = 16, size = 3)+

```

```

labs(title="Wärmeströme", subtitle="Position 6 und 7", y="Wärmestrom in W
", x="Jahr und Monat", caption="Bauteil I51")+
theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
scale_colour_manual(name = "Legende", values =c("gold4"= "gold4", "darkgo
ldenrod"="darkgoldenrod"), labels = c("Sensorposition 7","Sensorposition 6"
))

```

```

grid.arrange(P1,P2,P3,top = textGrob(
  "Wärmeströme, tempertaur- und feuchteabhängig",
  gp = gpar( fontsize = 18),
  hjust = 0, x = 0.05), nrow = 3) ©Göberinger Daniel

```

7.1.3 Syntax für den Vergleich der inneren und der äußeren Sensoren

@Gößeringer Daniel

```

data4_NA <- import('C:/Users/Daniel/Desktop/MA Temp/Data analysis/Sensordat
en txt/Aufbau I514.txt',header = TRUE, dec = ",")
data4 <- data4_NA[complete.cases(data4_NA),]
data4$timestamp <- as.POSIXct(data4$timestamp, format = "%Y-%m-%d %H:%M:%S"
, tz = "CET")

cols.num <- c( 2 : 37)
data4[cols.num] <- sapply(data4[cols.num],as.numeric)

data4$V1 <- seq(252384)
data4 <- filter(data4, V1 < 241952)

  colors = c("ivory","gray", "steelblue", "dodgerblue", "tomato", "gray", "
ivory")
  names = c("RH21_RH","RH22_RH","RH23_RH","RH24_RH","RH25_RH","RH26_RH","RH
27_RH")

  boxplot(data4$I51RH21_RH,
          data4$I51RH22_RH,
          data4$I51RH23_RH,
          data4$I51RH24_RH,
          data4$I51RH25_RH,
          data4$I51RH26_RH,
          data4$I51RH27_RH,
          varwidth = F,
          ylab = "rel. Luftfeuchtigkeit in %",
          #xlab = names,
          notch = F,
          col = colors,
          main = "Boxplot 20er Reihe relative Luftfeuchtigkeit",
          horizontal = F,
          names = names,
          cex.axis = 0.8,
          cex.lab = 0.8

          )

{
  par(mfrow =c(2,1))

  colors = c("ivory","gray", "steelblue", "dodgerblue", "tomato", "gray","i
vory")
  names = c("RH01_RH","RH02_RH","RH03_RH","RH04_RH","RH05_RH","RH06_RH","RH
07_RH")

  boxplot(data4$I51RH01_RH,
          data4$I51RH02_RH,
          data4$I51RH03_RH,

```

```

    data4$I51RH04_RH,
    data4$I51RH05_RH,
    data4$I51RH06_RH,
    data4$I51RH07_RH,
    varwidth = F,
    ylab = "rel. Luftfeuchtigkeit in %",
    #xlab = names,
    notch = F,
    col = colors,
    main = "Boxplot 00er Reihe relative Luftfeuchtigkeit",
    horizontal = F,
    names = names,
    cex.axis = 0.8,
    cex.lab = 0.8

)

colors = c("ivory","gray", "steelblue", "dodgerblue", "tomato", "gray", "
ivory")
names = c("RH21_RH","RH22_RH","RH23_RH","RH24_RH","RH25_RH","RH26_RH","RH
27_RH")

boxplot(data4$I51RH21_RH,
        data4$I51RH22_RH,
        data4$I51RH23_RH,
        data4$I51RH24_RH,
        data4$I51RH25_RH,
        data4$I51RH26_RH,
        data4$I51RH27_RH,
        varwidth = F,
        ylab = "rel. Luftfeuchtigkeit in %",
        #xlab = names,
        notch = F,
        col = colors,
        main = "Boxplot 20er Reihe relative Luftfeuchtigkeit",
        horizontal = F,
        names = names,
        cex.axis = 0.8,
        cex.lab = 0.8

)

}

colors = c("ivory","gray", "steelblue", "dodgerblue", "tomato", "gray","i
vory")
names = c("RH21_T","RH22_T","RH23_T","RH24_T","RH25_T","RH26_T","RH27_T")

boxplot(data4$I51RH21_T,
        data4$I51RH22_T,
        data4$I51RH23_T,
        data4$I51RH24_T,
        data4$I51RH25_T,

```

```

        data4$I51RH26_T,
        data4$I51RH27_T,
        varwidth = F,
        ylab = "Temperatur in °C",
        #xlab = names,
        notch = F,
        col = colors,
        main = "Boxplot 20er Reihe Temperatur",
        horizontal = F,
        border = "black",
        names = names
    )
}
par(mfrow =c(2,1))

colors = c("ivory","gray", "steelblue", "dodgerblue", "tomato", "gray","i
vory")
names = c("RH01_T","RH02_T","RH03_T","RH04_T","RH05_T","RH06_T","RH07_T")

boxplot(data4$I51RH01_T,
        data4$I51RH02_T,
        data4$I51RH03_T,
        data4$I51RH04_T,
        data4$I51RH05_T,
        data4$I51RH06_T,
        data4$I51RH07_T,
        varwidth = F,
        ylab = "Temperatur in °C",
        #xlab = names,
        notch = F,
        col = colors,
        main = "Boxplot 00er Reihe Temperatur",
        horizontal = F,
        border = "black",
        names = names
    )

colors = c("ivory","gray", "steelblue", "dodgerblue", "tomato", "gray","i
vory")
names = c("RH21_T","RH22_T","RH23_T","RH24_T","RH25_T","RH26_T","RH27_T")

boxplot(data4$I51RH21_T,
        data4$I51RH22_T,
        data4$I51RH23_T,
        data4$I51RH24_T,
        data4$I51RH25_T,
        data4$I51RH26_T,
        data4$I51RH27_T,
        varwidth = F,
        ylab = "Temperatur in °C",
        #xlab = names,

```

```
notch = F,  
col = colors,  
main = "Boxplot 20er Reihe Temperatur",  
horizontal = F,  
border = "black",  
names = names  
)
```

```
}@Gößeringer Daniel
```

7.1.4 Bewertung der Schimmelpilz-, Holzfäule und des Kondensats

@Gößeringer Daniel

```
path <- 'C:/Users/Daniel/Desktop/MA Temp/Data analysis/working code/4 Meta-Analyse//'
```

```
files <- list.files(path=path, pattern="*.csv")
```

```
for(file in files){
  perpos <- which(strsplit(file, "")[[1]]==".")
  assign(
    gsub(" ", "", substr(file, 1, perpos-1)),
    read.csv(paste(path, file, sep="")))
}
BAUTEIL <- "I51"
```

```
Get_TIME <- function(TIME){
  TIME <- as.POSIXct(TIME)
  Month <- months(TIME)
  Year <- format(TIME, format="%y")
  Year2 <- paste0("20", Year, sep = "")
  YandM <- paste(Month, Year2, sep = " ")
```

```
YandM_factor <- factor(
  x = YandM,
  levels = c("Dezember 2010", "Jänner 2011", "Februar 2011", "März 2011", "April 2011", "Mai 2011", "Juni 2011", "Juli 2011", "August 2011", "September 2011", "Oktober 2011", "November 2011", "Dezember 2011", "Jänner 2012", "Februar 2012", "März 2012", "April 2012", "Mai 2012", "Juni 2012", "Juli 2012", "August 2012", "September 2012", "Oktober 2012", "November 2012", "Dezember 2012", "Jänner 2013", "Februar 2013", "März 2013", "April 2013", "Mai 2013", "Juni 2013", "Juli 2013", "August 2013", "September 2013", "Oktober 2013", "November 2013", "Dezember 2013", "Jänner 2014", "Februar 2014", "März 2014", "April 2014", "Mai 2014", "Juni 2014", "Juli 2014", "August 2014", "September 2014", "Oktober 2014", "November 2014", "Dezember 2014", "Jänner 2015", "Februar 2015", "März 2015", "April 2015", "Mai 2015", "Juni 2015", "Juli 2015", "August 2015", "September 2015", "Oktober 2015", "November 2015", "Dezember 2015" )
)
return(YandM_factor)
}
```

```
Get_MTIME <- function(TIME){
  TIME <- as.POSIXct(TIME)
  Month <- months(TIME)
```

```
M_factor <- factor(
  x = Month,
  levels = c("Jänner", "Februar", "März", "April", "Mai", "Juni", "Juli", "August", "September", "Oktober", "November", "Dezember")
)
```

```

return(M_factor)
}

Get_YTIME <- function(TIME){
  TIME <- as.POSIXct(TIME)

  Year <- format(TIME,format="%y")
  Year2 <- paste0("20", Year,sep = "")

Y_factor <- factor(
  x = YandM,
  levels = c("2011", "2012", "2013", "2014", "2015")
)
return(Y_factor)
}

#####
Get_IT <- function(TIME, STUFF){
  if (length(STUFF) == 0L){
    break
  }else{

LEN <- STUFF

  LEN <- aggregate(LEN ~ TIME,,sum)

  return(LEN)
}
}
#####

RH_YM <- Get_TIME(RH01_GESAMT$timestamp)

M_RH01_faul <- Get_IT(RH_YM,RH01_GESAMT$faul)
M_RH01_myzel_0 <- Get_IT(RH_YM,RH01_GESAMT$myzel0)
M_RH01_myzel_01 <- Get_IT(RH_YM,RH01_GESAMT$myzel1)
M_RH01_myzel_02 <- Get_IT(RH_YM,RH01_GESAMT$myzel2)
M_RH01_myzel_03 <- Get_IT(RH_YM,RH01_GESAMT$myzel3)
M_RH01_myzel_04 <- Get_IT(RH_YM,RH01_GESAMT$myzel4)
M_RH01_myzel_05 <- Get_IT(RH_YM,RH01_GESAMT$myzel5)
M_RH01_spores_0 <- Get_IT(RH_YM,RH01_GESAMT$spores0)
M_RH01_spores_1 <- Get_IT(RH_YM,RH01_GESAMT$spores1)
M_RH01_spores_2 <- Get_IT(RH_YM,RH01_GESAMT$spores2)
M_RH01_spores_4 <- Get_IT(RH_YM,RH01_GESAMT$spores4)
M_RH01_spores_8 <- Get_IT(RH_YM,RH01_GESAMT$spores8)
M_RH01_spores_16 <- Get_IT(RH_YM,RH01_GESAMT$spores16)

M_RH01_tau <- Get_IT(RH_YM,RH01_KONDENSAT$Tau_Test)

Schimmelbewertung_RH01 <- sum(M_RH01_myzel_0$LEN)+sum(M_RH01_myzel_01$LEN)+
sum(M_RH01_myzel_02$LEN)+sum(M_RH01_myzel_03$LEN)+sum(M_RH01_myzel_04$LEN)+
sum(M_RH01_myzel_05$LEN)+sum(M_RH01_spores_0$LEN)+sum(M_RH01_spores_1$LEN)+

```

```
sum(M_RH01_spores_2$LEN)+sum(M_RH01_spores_4$LEN)+sum(M_RH01_spores_8$LEN)+  
sum(M_RH01_spores_16$LEN)
```

```
Holzfäulebewertung_RH01 <- sum(M_RH01_faul$LEN)
```

```
Kondensatbewertung_RH01 <- sum(M_RH01_tau$LEN)
```

```
##### Analog für alle Sensoren (RH02 bis RH62) #####
```

```
RE_df <- data.frame(  
  INDEX = seq(from = 1, to = 18, by = 1),  
  NAMES = c("RH01", "RH02", "RH03", "RH04", "RH05", "RH06", "RH07", "RH41", "RH42",  
  "RH61", "RH62", "RH21", "RH22", "RH23", "RH24", "RH25", "RH26", "RH27"),  
  SB = c(Schimmelbewertung_RH01,  
  Schimmelbewertung_RH02,  
  Schimmelbewertung_RH03,  
  Schimmelbewertung_RH04,  
  Schimmelbewertung_RH05,  
  Schimmelbewertung_RH06,  
  Schimmelbewertung_RH07,  
  Schimmelbewertung_RH41,  
  Schimmelbewertung_RH42,  
  Schimmelbewertung_RH61,  
  Schimmelbewertung_RH62,  
  Schimmelbewertung_RH21,  
  Schimmelbewertung_RH22,  
  Schimmelbewertung_RH23,  
  Schimmelbewertung_RH24,  
  Schimmelbewertung_RH25,  
  Schimmelbewertung_RH26,  
  Schimmelbewertung_RH27),  
  
  HB = c(Holzfäulebewertung_RH01,  
  Holzfäulebewertung_RH02,  
  Holzfäulebewertung_RH03,  
  Holzfäulebewertung_RH04,  
  Holzfäulebewertung_RH05,  
  Holzfäulebewertung_RH06,  
  Holzfäulebewertung_RH07,  
  Holzfäulebewertung_RH41,  
  Holzfäulebewertung_RH42,  
  Holzfäulebewertung_RH61,  
  Holzfäulebewertung_RH62,  
  Holzfäulebewertung_RH21,  
  Holzfäulebewertung_RH22,  
  Holzfäulebewertung_RH23,  
  Holzfäulebewertung_RH24,  
  Holzfäulebewertung_RH25,  
  Holzfäulebewertung_RH26,  
  Holzfäulebewertung_RH27),  
  
  KB = c(Kondensatbewertung_RH01,  
  Kondensatbewertung_RH02,
```

```
Kondensatbewertung_RH03,  
Kondensatbewertung_RH04,  
Kondensatbewertung_RH05,  
Kondensatbewertung_RH06,  
Kondensatbewertung_RH07,  
Kondensatbewertung_RH41,  
Kondensatbewertung_RH42,  
Kondensatbewertung_RH61,  
Kondensatbewertung_RH62,  
Kondensatbewertung_RH21,  
Kondensatbewertung_RH22,  
Kondensatbewertung_RH23,  
Kondensatbewertung_RH24,  
Kondensatbewertung_RH25,  
Kondensatbewertung_RH26,  
Kondensatbewertung_RH27))
```

```
path_out = "C:/Users/Daniel/Desktop/MA TEMP/Data analysis/working code/4 Me  
ta-Analyse/"
```

```
write.csv( file=paste0(path_out,BAUTEIL,"_SB_HB_KB", ".csv", sep = ""), RE_  
df )
```

```
RE_out_df <- data.frame(  
  INDEX = seq(from = 1, to = 11, by = 1),  
  NAMES = c("RH01", "RH02", "RH03", "RH04", "RH05", "RH06", "RH07", "RH41", "RH42",  
"RH61", "RH62"),  
  SB = c(Schimmelbewertung_RH01,  
Schimmelbewertung_RH02,  
Schimmelbewertung_RH03,  
Schimmelbewertung_RH04,  
Schimmelbewertung_RH05,  
Schimmelbewertung_RH06,  
Schimmelbewertung_RH07,  
Schimmelbewertung_RH41,  
Schimmelbewertung_RH42,  
Schimmelbewertung_RH61,  
Schimmelbewertung_RH62),  
  
  HB = c(Holzfäulebewertung_RH01,  
Holzfäulebewertung_RH02,  
Holzfäulebewertung_RH03,  
Holzfäulebewertung_RH04,  
Holzfäulebewertung_RH05,  
Holzfäulebewertung_RH06,  
Holzfäulebewertung_RH07,  
Holzfäulebewertung_RH41,  
Holzfäulebewertung_RH42,  
Holzfäulebewertung_RH61,  
Holzfäulebewertung_RH62),  
  
  KB = c(Kondensatbewertung_RH01,  
Kondensatbewertung_RH02,
```

```

Kondensatbewertung_RH03,
Kondensatbewertung_RH04,
Kondensatbewertung_RH05,
Kondensatbewertung_RH06,
Kondensatbewertung_RH07,
Kondensatbewertung_RH41,
Kondensatbewertung_RH42,
Kondensatbewertung_RH61,
Kondensatbewertung_RH62))

RE_in_df <- data.frame(
  INDEX = seq(from = 1, to = 7, by = 1),
  NAMES = c("RH21", "RH22", "RH23", "RH24", "RH25", "RH26", "RH27"),
  SB = c(
    Schimmelbewertung_RH21,
    Schimmelbewertung_RH22,
    Schimmelbewertung_RH23,
    Schimmelbewertung_RH24,
    Schimmelbewertung_RH25,
    Schimmelbewertung_RH26,
    Schimmelbewertung_RH27),

  HB = c(
    Holzfäulebewertung_RH21,
    Holzfäulebewertung_RH22,
    Holzfäulebewertung_RH23,
    Holzfäulebewertung_RH24,
    Holzfäulebewertung_RH25,
    Holzfäulebewertung_RH26,
    Holzfäulebewertung_RH27),

  KB = c(
    Kondensatbewertung_RH21,
    Kondensatbewertung_RH22,
    Kondensatbewertung_RH23,
    Kondensatbewertung_RH24,
    Kondensatbewertung_RH25,
    Kondensatbewertung_RH26,
    Kondensatbewertung_RH27))

RE_TABLE1 <- RE_out_df
v1 <- 1/(6*24)
v2 <- 1/(6*24*12)
RE_TABLE1$HB <- round(data.frame(mapply(`*`, RE_TABLE1$HB, v1)), 2)
RE_TABLE1$KB <- round(data.frame(mapply(`*`, RE_TABLE1$KB, v1)), 3)
RE_TABLE1$SB <- round(data.frame(mapply(`*`, RE_TABLE1$SB, v2)), 2)

colnames(RE_TABLE1) <- c("Index", "Sensoren", "Schimmel", "Holzfäule", "Kondensat")

t1 <- as.data.table(RE_TABLE1)

```

```

RE_TABLE2 <- RE_in_df
RE_TABLE2$HB <- round(data.frame(mapply(`*`, RE_TABLE2$HB, v1)), 2)
RE_TABLE2$KB <- round(data.frame(mapply(`*`, RE_TABLE2$KB, v1)), 3)
RE_TABLE2$SB <- round(data.frame(mapply(`*`, RE_TABLE2$SB, v2)), 2)

colnames(RE_TABLE2) <- c("Index", "Sensoren", "Schimmel", "Holzfäule", "Kon
densat")

t2 <- as.data.table(RE_TABLE2)

Table1 <- grid.table(t1, rows = NULL)

grid.newpage()
grid.draw(Table1)

Table2 <- grid.table(t2, rows = NULL)

grid.newpage()
grid.draw(Table2)

P1 <- ggplot() +

  geom_point(data = RE_in_df, aes(y = SB/(12*6*24), x = INDEX, col = "Schimm
elpilz"), shape = 16, size = 3)+

  labs(title="Bewertung Schimmelpilz", subtitle="Innen", y="Häufigkeiten in
d", x="Sensorindex", caption=BAUTEIL)+

  theme(legend.position = c(0.85,0.85))+
  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
  scale_x_discrete(limit = RE_in_df$NAMES)+

  scale_colour_manual(name = "Legende", breaks=c("Schimmelpilz"), values =c(
"Schimmelpilz"= "tomato"))

P2 <- ggplot() +

  geom_point(data = RE_in_df, aes(y = HB/(6*24), x = INDEX, col = "Holzfäule
"), shape = 17, size = 3)+

  labs(title="Bewertung der Holzfäule", subtitle="Innen", y="Häufigkeiten i
n d", x="Sensorindex", caption=BAUTEIL)+

  theme(legend.position = c(0.85,0.85))+
  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
  scale_x_discrete(limit = RE_in_df$NAMES)+

  scale_colour_manual(name = "Legende", breaks=c("Holzfäule"), values =c( "H
olzfäule" = "steelblue"))

```

```

P3 <- ggplot() +

  geom_point(data = RE_in_df, aes(y = KB/(6*24), x = INDEX, col ="Kondensat
"), shape = 15, size = 3)+

  labs(title="Bewertung des Kondensats", subtitle="Innen", y="Häufigkeiten
in d", x="Sensorindex", caption=BAUTEIL)+

  theme(legend.position = c(0.85,0.85))+
  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
  scale_x_discrete(limit = RE_in_df$NAMES)+

  scale_colour_manual(name = "Legende",breaks=c( "Kondensat"), values =c("K
ondensat" = "gold"))

P4 <- ggplot() +

  geom_point(data = RE_in_df, aes(y = SB/(12*6*24), x = INDEX, col ="Schimm
elpilz"), shape = 16, size = 3)+
  geom_point(data = RE_in_df, aes(y = HB/(6*24), x = INDEX, col ="Holzfäule
"), shape = 17, size = 3)+
  geom_point(data = RE_in_df, aes(y = KB/(6*24), x = INDEX, col ="Kondensat
"), shape = 15, size = 3)+

  labs(title="Bewertung der Sensorpositionen ", subtitle="Innen", y="Häufig
keiten in d", x="Sensorindex", caption=BAUTEIL)+

  theme(legend.position = c(0.85,0.85))+
  theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
  scale_x_discrete(limit = RE_in_df$NAMES)+

  scale_colour_manual(name = "Legende",breaks=c("Schimmelpilz", "Holzfäule"
, "Kondensat"), values =c("Schimmelpilz"= "tomato", "Holzfäule" = "steelblu
e", "Kondensat" = "gold"))

grid.arrange(P4,P1,P2,P3,top = textGrob(
  "Schadensbewertung der Sensorpositionen Innen",
  gp = gpar( fontsize = 18),
  hjust = 0, x = 0.04), nrow = 2, ncol = 2)

```

```

P1 <- ggplot() +

  geom_point(data = RE_out_df, aes(y = SB/(12*6*24), x = INDEX, col ="Schim
melpilz"), shape = 16, size = 3)+

  labs(title="Bewertung Schimmelpilz", subtitle="Außen", y="Häufigkeiten in
d", x="Sensorindex", caption=BAUTEIL)+

```

```

theme(legend.position = c(0.85,0.85))+
theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
scale_x_discrete(limit = RE_out_df$NAMES)+

scale_colour_manual(name = "Legende",breaks=c("Schimmelpilz"), values =c(
"Schimmelpilz"= "tomato"))

P2 <- ggplot() +

geom_point(data = RE_out_df, aes(y = HB/(6*24), x = INDEX, col ="Holzfäule"), shape = 17, size = 3)+

labs(title="Bewertung der Holzfäule", subtitle="Außen", y="Häufigkeiten in d", x="Sensorindex", caption=BAUTEIL)+

theme(legend.position = c(0.85,0.85))+
theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
scale_x_discrete(limit = RE_out_df$NAMES)+

scale_colour_manual(name = "Legende",breaks=c("Holzfäule"), values =c( "Holzfäule" = "steelblue"))

P3 <- ggplot() +

geom_point(data = RE_out_df, aes(y = KB/(6*24), x = INDEX, col ="Kondensat"), shape = 15, size = 3)+

labs(title="Bewertung des Kondensats", subtitle="Außen", y="Häufigkeiten in d", x="Sensorindex", caption=BAUTEIL)+

theme(legend.position = c(0.85,0.85))+
theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
scale_x_discrete(limit = RE_out_df$NAMES)+

scale_colour_manual(name = "Legende",breaks=c( "Kondensat"), values =c("Kondensat" = "gold"))

P4 <- ggplot() +

geom_point(data = RE_out_df, aes(y = SB/(12*6*24), x = INDEX, col ="Schimmelpilz"), shape = 16, size = 3)+
geom_point(data = RE_out_df, aes(y = HB/(6*24), x = INDEX, col ="Holzfäule"), shape = 17, size = 3)+
geom_point(data = RE_out_df, aes(y = KB/(6*24), x = INDEX, col ="Kondensat"), shape = 15, size = 3)+

labs(title="Bewertung der Sensorpositionen ", subtitle="Außen", y="Häufigkeiten in d", x="Sensorindex", caption=BAUTEIL)+

theme(legend.position = c(0.85, 0.85))+

```

```

theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
scale_x_discrete(limit = RE_out_df$NAMES)+

  scale_colour_manual(name = "Legende",breaks=c("Schimmelpilz", "Holzfäule"
, "Kondensat"), values =c("Schimmelpilz"= "tomato", "Holzfäule" = "steelblu
e", "Kondensat" = "gold"))

grid.arrange(P4,P1,P2,P3,top = textGrob(
  "Schadensbewertung der Sensorpositionen Außen",
  gp = gpar( fontsize = 18),
  hjust = 0, x = 0.04), nrow = 2, ncol = 2)

```

```

P1 <- ggplot() +

  geom_point(data = RE_df, aes(y = SB/(12*6*24), x = INDEX, col ="Schimmelp
ilz"), shape = 16, size = 3)+

  labs(title="Bewertung Schimmelpilz", subtitle="Gesamt", y="Häufigkeiten i
n d", x="Sensorindex", caption=BAUTEIL)+

  theme(legend.position = c(0.85,0.85))+
theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
scale_x_discrete(limit = RE_df$NAMES)+

  scale_colour_manual(name = "Legende",breaks=c("Schimmelpilz"), values =c(
"Schimmelpilz"= "tomato"))

```

```

P2 <- ggplot() +

  geom_point(data = RE_df, aes(y = HB/(6*24), x = INDEX, col ="Holzfäule"),
shape = 17, size = 3)+

  labs(title="Bewertung der Holzfäule", subtitle="Gesamt", y="Häufigkeiten
in d", x="Sensorindex", caption=BAUTEIL)+

  theme(legend.position = c(0.85,0.85))+
theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
scale_x_discrete(limit = RE_df$NAMES)+

  scale_colour_manual(name = "Legende",breaks=c("Holzfäule"), values =c( "H
olzfäule" = "steelblue"))

```

```

P3 <- ggplot() +

  geom_point(data = RE_df, aes(y = KB/(6*24), x = INDEX, col ="Kondensat"),
shape = 15, size = 3)+

  labs(title="Bewertung des Kondensats", subtitle="Gesamt", y="Häufigkeiten
in d", x="Sensorindex", caption=BAUTEIL)+

```

```

theme(legend.position = c(0.85,0.85))+
theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
scale_x_discrete(limit = RE_df$NAMES)+

scale_colour_manual(name = "Legende",breaks=c( "Kondensat"), values =c("K
ondensat" = "gold"))

P4 <- ggplot() +

geom_point(data = RE_df, aes(y = SB/(12*6*24), x = INDEX, col ="Schimmelp
ilz"), shape = 16, size = 3)+
geom_point(data = RE_df, aes(y = HB/(6*24), x = INDEX, col ="Holzfäule"),
shape = 17, size = 3)+
geom_point(data = RE_df, aes(y = KB/(6*24), x = INDEX, col ="Kondensat"),
shape = 15, size = 3)+

labs(title="Bewertung der Sensorpositionen", subtitle="Gesamt", y="Häufig
keiten in d", x="Sensorindex", caption=BAUTEIL)+

theme(legend.position = c(0.85, 0.85))+
theme(axis.text.x = element_text(size=8, angle=90, hjust = 1))+
scale_x_discrete(limit = RE_df$NAMES)+

scale_colour_manual(name = "Legende",breaks=c("Schimmelpilz", "Holzfäule"
, "Kondensat"), values =c("Schimmelpilz"= "tomato", "Holzfäule" = "steelblu
e", "Kondensat" = "gold"))

grid.arrange(P4,P1,P2,P3,top = textGrob(
  "Schadensbewertung der Sensorpositionen Gesamt",
  gp = gpar( fontsize = 18),
  hjust = 0, x = 0.04), nrow = 2, ncol = 2)

©Gößeringer Daniel

```

7.2 Kalibrierungstabellen

Aufgrund der Größe der Kalibrierungstabellen werden diese als Screenshots eingefügt, aber als Tabellen gekennzeichnet.

7.2.1 Kalibrierung 1

7.2.1.1 Tabelle der verschatteten Simulation

Tabelle 21: Kalibrierung 1 Tabelle der unverschatteten Simulation

2 - Sensitivitätsanalyse
 Aufbau: IS1
 Art: verschattet

Nr.	Parameter	Wert	Standard	CHI ² -Fehler																MW F								
				IS1RH01 RH	F1	IS1RH04 RH	F2	IS1RH03 T	F3	IS1RH04 T	F4	IS1RH23 RH	F5	IS1RH24 RH	F6	IS1RH23 T	F7	IS1RH24 T	F8		IS1TR01	F9	IS1T	F10	IS1RH RH	F11	F12	IS1RH T
Aktuell				127,48	0,00	19 983,67	0,62	#DIV/0!	###	#DIV/0!	###	#BEZUG!	###	#BEZUG!	###	#BEZUG!	###	#DIV/0!	#####	#BEZUG!	#####	27 755 225,30	1,00	1,00	-69 446,86	#DIV/0!		
V3.1a	OSB Beide WLF/mü/WK	3/175/113/13/175/13		28 012,47	0,95	20 513,01	0,63	30 872,86	1,54	102 725,70	0,77	38 956,49	0,88	39 354,23	0,88	2 889,29	0,64	2 902,38	0,66	111,50	0,11	2 260,85	0,82	28 182 744,90	1,00	0,94	+65 753,42	0,82
	Ende vorläufig			38 830,39	1,34	27 379,50	0,84	+2 537,48	0,10	72 848,97	0,54	8 310,41	0,19	8 855,41	0,20	3 306,35	0,73	3 397,72	0,77	27,62	0,03	2 265,57	0,82	27 816 344,13	1,00	0,95	+65 994,77	0,63
V2.16m	PV-Modul Em + Abso	0,02	0,3	40 431,82	1,37	27 799,59	0,86	+2 485,38	0,10	73 084,20	0,55	8 261,91	0,19	8 812,60	0,20	3 298,55	0,73	3 389,42	0,77	-268,34	0,25	2 264,46	0,82	27 812 778,86	1,00	0,95	+65 999,08	0,65
V2.16l	PV-Modul Em + Abso	0,03	0,3	41 005,59	1,38	28 233,50	0,87	+2 493,01	0,10	73 374,17	0,55	8 213,99	0,19	8 770,30	0,20	3 290,79	0,73	3 381,36	0,77	-572,70	0,54	2 263,47	0,82	27 808 990,65	1,00	0,95	+66 002,98	0,67
V2.16k	PV-Modul Em + Abso	0	0,3	39 780,70	1,34	26 973,01	0,83	+2 581,15	0,10	72 574,72	0,54	8 360,18	0,19	8 899,50	0,20	3 314,13	0,74	3 406,00	0,78	356,75	0,34	2 266,64	0,82	27 830 195,08	1,00	0,95	+65 990,83	0,65
V2.16j	PV-Modul Em + Abso	0,05	0,3	42 127,68	1,43	29 141,21	0,90	+2 334,77	0,09	73 939,21	0,55	8 121,35	0,18	8 688,74	0,20	3 275,74	0,73	3 365,07	0,77	-1 155,98	0,09	2 261,51	0,82	27 801 362,86	1,00	0,95	+66 010,83	0,73
V2.16i	PV-Modul Em + Abso	0,1	0,3	45 483,33	1,54	31 640,19	0,97	+1 938,84	0,07	75 399,52	0,56	7 908,81	0,18	8 503,46	0,19	3 240,15	0,72	3 326,94	0,76	-2 480,10	0,34	2 256,49	0,81	27 783 154,63	1,00	0,95	+66 031,00	0,84
V2.16h	PV-Modul Em + Abso	0,32	0,5	39 586,19	1,34	27 224,47	0,84	+2 320,42	0,09	72 901,71	0,54	8 321,00	0,19	8 864,02	0,20	3 310,70	0,74	3 402,35	0,77	385,76	0,36	2 265,97	0,82	27 818 448,00	1,00	0,95	+65 992,93	0,65
V2.16g	PV-Modul Em + Abso	0,31	0,5	39 890,39	1,35	27 379,50	0,84	+2 537,48	0,10	72 848,97	0,54	8 310,41	0,19	8 855,41	0,20	3 306,35	0,73	3 397,72	0,77	27,62	0,03	2 265,57	0,82	27 816 344,13	1,00	0,95	+65 994,77	0,63
V2.16f	PV-Modul Em + Abso	0,35	0,5	39 917,99	1,34	26 787,12	0,82	+1 688,70	0,07	72 897,56	0,54	8 352,40	0,19	8 889,44	0,20	3 323,99	0,74	3 416,48	0,78	1 443,84	0,38	2 266,96	0,82	27 834 071,94	1,00	0,95	+65 987,00	0,73
V2.16e	PV-Modul Em + Abso	0,2	0,5	43 717,44	1,48	29 385,11	0,90	+4 726,86	0,18	72 886,34	0,54	8 200,81	0,19	8 767,82	0,20	3 257,96	0,72	3 346,16	0,76	-4 070,83	0,84	2 261,99	0,82	27 794 379,38	1,00	0,95	+66 015,83	0,96
V2.16d	PV-Modul Em + Abso	0,4	0,5	37 876,37	1,28	26 147,40	0,81	+684,82	0,03	73 006,83	0,55	8 406,26	0,19	8 933,31	0,20	3 346,32	0,74	3 440,19	0,78	7 193,12	0,88	2 268,46	0,82	27 833 561,14	1,00	0,95	+65 978,26	0,86
V2.16c	PV-Modul Em + Abso	0,01	0,5	49 201,39	1,67	34 393,04	1,08	+8 215,22	0,32	73 685,63	0,55	8 036,83	0,18	8 643,90	0,19	3 175,07	0,71	3 257,29	0,74	-33 085,52	1,14	2 254,86	0,81	27 797 786,30	1,00	0,95	+66 056,23	1,04
V2.16b	PV-Modul Em + Abso	0,3	0,5	40 080,47	1,36	27 538,63	0,85	+2 742,67	0,11	72 827,37	0,54	8 300,39	0,19	8 847,39	0,20	3 301,75	0,73	3 392,84	0,77	-316,89	0,30	2 265,23	0,82	27 814 361,33	1,00	0,95	+65 997,01	0,65
V2.15a	PV-Modul Em + Abso	0,6	0,5	34 866,19	1,18	24 831,20	0,76	4 151,84	0,16	74 247,43	0,55	8 654,83	0,20	9 139,49	0,21	3 440,73	0,76	3 540,02	0,81	8 331,76	0,79	2 274,22	0,82	27 860 755,65	1,00	0,95	+65 943,45	1,19
V2.15b	PV-Modul Em + Abso	0,7	0,5	34 286,73	1,16	25 223,20	0,78	7 214,72	0,28	75 495,60	0,56	8 835,70	0,20	9 293,99	0,21	3 494,60	0,78	3 596,75	0,82	12 107,38	1,10	2 276,99	0,82	27 888 033,41	1,00	0,95	+65 926,07	1,18
V2.14d	PV-Modul Emissionszahl	0,7	0,5	46 918,18	1,58	33 306,59	1,03	6 292,46	0,24	80 502,41	0,60	7 507,45	0,17	8 126,74	0,18	3 270,38	0,73	3 358,52	0,76	5 900,15	0,70	2 250,91	0,81	27 787 802,77	1,00	0,95	+66 033,30	1,10
V2.14c	PV-Modul Emissionszahl	0,3	0,5	61 779,97	1,10	48 178,36	1,19	1 332,33	0,05	83 162,50	0,62	7 325,28	0,17	8 028,11	0,18	3 119,51	0,69	3 195,49	0,73	-4 048,48	0,70	2 235,68	0,81	27 705 062,11	1,00	0,95	+66 114,24	1,20
V2.14b	PV-Modul Emissionszahl	0,45	0,5	55 282,71	1,37	38 793,01	1,13	2 786,85	0,11	81 599,16	0,61	7 372,19	0,17	8 043,30	0,18	3 174,10	0,71	3 254,90	0,74	-1 380,85	0,18	2 241,86	0,81	27 737 954,89	1,00	0,95	+66 081,35	0,80
V2.14a	PV-Modul Emissionszahl	0,55	0,5	51 388,31	1,75	36 880,51	1,11	4 084,77	0,16	80 884,40	0,60	7 419,33	0,17	8 069,75	0,18	3 211,39	0,71	3 295,20	0,75	1 530,04	0,45	2 245,63	0,81	27 758 330,75	1,00	0,95	+66 062,06	0,81
V2.13f	PV-Modul Absorptionszahl	0,2	0,3	48 409,81	1,57	33 693,44	1,08	2 147,29	0,08	77 964,74	0,58	7 688,42	0,17	8 297,82	0,19	3 251,84	0,72	3 339,12	0,76	1 586,37	0,50	2 253,39	0,81	27 794 196,13	1,00	0,95	+66 033,35	0,78
V2.13e	PV-Modul Absorptionszahl	0,15	0,3	43 320,45	1,47	30 219,08	0,93	1 801,39	0,07	76 553,30	0,57	7 871,51	0,18	8 454,74	0,19	3 284,97	0,73	3 374,70	0,77	2 807,17	0,46	2 258,14	0,82	27 801 848,85	1,00	0,95	+66 014,00	0,84
V2.13d	PV-Modul Absorptionszahl	0,01	0,3	38 121,13	1,11	25 214,69	0,78	1 637,32	0,06	73 481,94	0,55	8 520,79	0,19	9 027,44	0,20	3 392,06	0,75	3 488,62	0,79	6 341,78	0,88	2 271,44	0,82	27 851 711,83	1,00	0,95	+65 960,54	1,11
V2.13c	PV-Modul Absorptionszahl	0,1	0,3	40 485,09	1,17	28 137,13	0,87	1 560,11	0,06	75 352,77	0,56	8 082,69	0,18	8 639,56	0,19	3 320,86	0,74	3 413,03	0,78	3 886,34	0,58	2 262,94	0,82	27 819 730,00	1,00	0,95	+65 994,70	0,93
V2.13b	PV-Modul Absorptionszahl	0,25	0,3	49 760,62	1,68	38 282,64	1,09	2 760,62	0,11	79 524,37	0,59	7 530,71	0,17	8 166,05	0,18	3 221,07	0,72	3 305,87	0,75	751,43	0,71	2 248,47	0,81	27 798 245,62	1,00	0,95	+66 052,31	0,73
V2.13a	PV-Modul Absorptionszahl	0,35	0,3	57 342,87	1,94	43 110,24	1,18	4 254,12	0,16	83 081,47	0,62	7 278,79	0,16	7 964,55	0,18	3 166,43	0,70	3 246,25	0,74	-377,47	0,36	2 238,91	0,81	27 730 419,25	1,00	0,95	+66 090,86	0,74
V2.12f	OSB beide Wasserdampfdiff	1	175	73 486,41	2,48	58 889,68	1,71	10 658,32	0,41	83 813,28	0,63	12 344,52	0,28	13 112,63	0,29	3 214,63	0,71	3 297,69	0,75	236,52	0,22	2 232,87	0,81	27 662 156,60	1,00	0,95	+66 049,16	0,85
V2.12e	OSB beide Wasserdampfdiff	25	175	53 176,70	1,87	38 256,99	1,13	3 456,50	0,13	81 178,15	0,61	7 394,45	0,17	8 055,20	0,18	3 192,70	0,71	3 275,02	0,75	104,16	0,10	2 243,72	0,81	27 748 382,41	1,00	0,95	+66 072,01	0,70
V2.12d	OSB beide Wasserdampfdiff	50	175	52 946,27	1,80	38 181,38	1,12	2 847,09	0,11	80 620,88	0,60	9 141,44	0,21	9 636,41	0,22	3 163,77	0,70	3 245,91	0,74	146,12	0,14	2 241,20	0,81	27 749 918,43	1,00	0,95	+66 092,30	0,70
V2.12c	OSB beide Wasserdampfdiff	100	175	49 232,18	1,67	34 754,08	1,07	2 932,10	0,11	80 574,71	0,60	16 135,08	0,37	16 388,48	0,37	3 161,40	0,70	3 243,29	0,74	210,78	0,20	2 238,49	0,81	27 748 068,99	1,00	0,95	+66 102,70	0,72
V2.12b	OSB beide Wasserdampfdiff	10000	175	111 136,75	5,79	88 383,00	2,75	4 833,77	0,19	81 401,66	0,61	53 812,48	0,71	54 703,67	0,73	3 259,57	0,72	3 340,25	0,76	423,31	0,40	2 246,93	0,81	27 912 613,27	1,00	0,95	+66 064,35	1,10
V2.12a	OSB beide Wasserdampfdiff	1000	175	80 289,34	2,73	63 109,08	1,88	3 508,64	0,14	81 246,18	0,61	47 545,51	0,68	48 008,96	0,68	3 249,70	0,72	3 331,74	0,76	364,17	0,34	2 242,78	0,81	27 872 964,06	1,00	0,95	+66 084,21	1,00
V2.11a	OSB spez WK beide	2500	1300	49 121,78	1,67	34 586,24	1,06	2 329,17	0,09	76 271,32	0,57	2																

94	ZELL Porosität	0,65	0,95	29 491,38	1,00	32 408,27	1,00	25 892,97	1,00	133 852,56	1,00	44 174,21	1,00	44 511,43	1,00	4 498,28	1,00	4 391,98	1,00	-1 060,99	1,00	2 770,52	1,00	27 732 854,19	1,00	1,00	-69 623,32	1,00
93	ZELL Rohdichte	50000	50	29 963,44	1,01	34 813,28	1,06	18 108,32	0,70	103 323,45	0,77	37 271,07	1,30	37 873,77	1,39	4 158,83	0,92	4 030,66	0,92	-18 077,81	1,32	2 694,33	0,97	27 214 287,60	0,98	1,01	-70 082,38	1,01
92	ZELL Rohdichte	2500	50	27 752,43	0,94	32 693,44	1,03	34 798,52	1,33	121 120,94	0,90	50 436,47	1,14	50 854,56	1,14	4 572,79	1,00	4 462,28	1,00	-3 586,48	1,38	2 744,22	0,99	27 968 159,78	1,01	1,00	-69 503,08	1,34
91	ZELL Rohdichte	0,01	50	28 538,43	1,00	32 356,88	1,00	23 748,39	0,92	137 330,10	1,01	44 013,66	1,00	44 352,69	1,00	4 581,73	1,01	4 472,98	1,01	-869,61	0,82	2 776,78	1,00	27 734 659,43	1,00	1,00	-69 618,80	0,98
90	OSB AUßEN Wärmeleitf. Temp	0,001	0,0002	29 461,33	1,00	32 421,05	1,00	25 492,71	0,98	134 307,88	1,00	44 121,49	1,00	44 458,45	1,00	4 580,98	1,00	4 393,83	1,00	-1 038,70	0,98	2 776,81	1,00	27 731 848,73	1,00	1,00	-69 623,99	1,00
89	OSB AUßEN Wärmeleitf. Temp	1E-05	0,0002	29 494,93	1,00	32 500,40	1,00	26 067,83	1,01	133 794,05	1,00	44 176,08	1,00	44 514,68	1,00	4 498,81	1,00	4 391,54	1,00	-1 061,50	1,00	2 770,48	1,00	27 732 956,40	1,00	1,00	-69 623,21	1,00
88	OSB AUßEN Wärmeleitf. Temp	it generieren		28 492,64	1,00	32 496,88	1,00	28 113,51	1,01	133 790,49	1,00	44 171,78	1,00	44 510,63	1,00	4 498,79	1,00	4 391,52	1,00	-1 061,38	1,00	2 770,48	1,00	27 731 973,68	1,00	1,00	-69 623,17	1,00
87	OSB AUßEN Wärmeleitf. Feucht	3	1,5	29 552,81	1,00	32 563,83	1,00	25 474,09	0,98	136 218,88	1,01	44 340,94	1,00	44 680,90	1,00	4 496,08	1,00	4 388,99	1,00	-969,56	0,91	2 769,58	1,00	27 731 811,12	1,00	1,00	-69 622,97	0,99
86	OSB AUßEN Wärmeleitf. Feucht	it generieren		29 390,37	1,00	32 360,81	1,00	26 486,98	1,00	129 938,03	0,97	43 898,05	0,99	44 233,02	0,99	4 498,68	1,00	4 391,43	1,00	-1 180,27	1,12	2 772,18	1,00	27 730 825,67	1,00	1,00	-69 623,19	1,01
85	OSB AUßEN Flüssigkeitstransp WL	it generieren		31 748,33	1,00	38 077,43	1,08	28 946,00	1,00	133 854,53	1,00	43 537,50	0,99	43 872,18	0,99	4 498,68	1,00	4 391,43	1,00	-1 095,60	1,08	2 770,42	1,00	27 729 460,73	1,00	1,00	-69 625,38	1,01
84	OSB AUßEN Flüssigkeitstransp WL	it generieren		29 484,82	1,00	32 478,08	1,00	25 923,35	1,00	133 854,53	1,00	44 158,78	1,00	44 497,39	1,00	4 499,27	1,00	4 391,98	1,00	-1 061,42	1,00	2 770,52	1,00	27 732 844,62	1,00	1,00	-69 623,34	1,00
83	OSB AUßEN Feuchtespeicherfkt	Appro		21 430,02	0,73	20 572,78	0,63	25 927,12	1,00	133 961,37	1,00	47 880,95	1,08	48 288,45	1,09	4 493,74	1,00	4 386,43	1,00	-1 178,48	1,11	2 770,10	1,00	27 736 689,41	1,00	1,00	-69 618,19	0,97
82	OSB AUßEN Wasserdampfdiffwid	0,01	175	25 377,71	0,86	24 570,10	0,76	21 858,99	0,84	140 123,04	1,00	49 923,31	1,13	50 280,83	1,13	4 475,81	0,99	4 368,84	0,99	-905,55	0,85	2 765,29	1,00	27 717 040,75	1,00	1,00	-69 633,19	0,97
81	OSB AUßEN Wasserdampfdiffwid	100	175	28 024,82	0,95	30 906,05	0,95	26 025,51	1,00	133 869,89	1,00	45 908,77	1,03	45 932,37	1,03	4 496,19	1,00	4 388,90	1,00	-1 083,13	1,03	2 769,65	1,00	27 733 389,07	1,00	1,00	-69 623,17	1,00
80	OSB AUßEN Wasserdampfdiffwid	10000	175	34 871,43	1,18	39 400,48	1,21	36 105,13	1,01	133 664,06	1,00	39 582,10	0,90	39 998,86	0,90	4 509,35	1,00	4 401,09	1,00	-974,50	0,92	2 773,89	1,00	27 731 125,84	1,00	1,00	-69 621,29	1,01
79	OSB AUßEN Wasserdampfdiffwid	1	175	26 285,60	0,89	25 849,91	0,80	24 939,72	0,96	136 440,08	1,01	49 819,91	1,13	50 171,93	1,13	4 475,25	0,99	4 368,27	0,99	-1 076,32	1,08	2 765,57	1,00	27 717 213,00	1,00	1,00	-69 635,27	0,99
78	OSB AUßEN Wärmeleitfähigkeit	1	0,13	28 219,61	1,01	32 867,43	1,01	21 556,33	0,83	132 463,24	1,01	45 070,70	1,01	45 419,36	1,01	4 481,46	1,00	4 375,18	1,00	-532,53	0,50	2 765,21	1,00	27 738 561,05	1,00	1,00	-69 621,69	0,96
77	OSB AUßEN Wärmeleitfähigkeit	10	0,13	28 880,39	1,01	32 898,75	1,01	20 693,72	0,80	133 842,78	1,01	45 382,04	1,01	45 532,71	1,01	4 479,32	1,00	4 373,16	1,00	-464,27	0,44	2 764,55	1,00	27 739 528,88	1,00	1,00	-69 622,02	0,95
76	OSB AUßEN Wärmeleitfähigkeit	0,01	0,13	23 167,86	0,79	22 411,28	0,69	2 087,35	0,08	75 415,55	0,56	34 525,37	0,78	34 696,02	0,78	4 791,99	1,06	4 663,88	1,06	-2 577,73	0,83	2 838,28	1,01	27 648 456,27	1,00	1,00	-69 640,68	0,94
75	OSB AUßEN Spez Wärmekapa	3000	1400	29 607,93	1,00	32 499,87	1,01	34 793,98	1,13	122 642,67	0,92	44 095,85	1,00	44 437,55	1,00	4 495,90	1,00	4 388,44	1,00	-209,73	0,20	2 770,72	1,00	27 731 175,84	1,00	1,00	-69 622,58	0,96
74	OSB AUßEN Spez Wärmekapa	10000	1400	30 022,08	1,02	33 999,90	1,01	36 144,47	1,18	108 697,71	0,81	43 847,20	0,99	44 201,67	0,99	4 488,67	1,00	4 380,27	1,00	-228,67	0,22	2 771,10	1,00	27 735 380,00	1,00	1,00	-69 620,98	1,01
73	OSB AUßEN Spez Wärmekapa	100	1400	29 396,34	1,00	32 313,56	0,99	16 119,02	0,62	147 287,28	1,10	44 211,73	1,00	44 547,86	1,00	4 493,31	1,00	4 399,08	1,00	-2 218,34	1,08	2 770,51	1,00	27 732 477,18	1,00	1,00	-69 634,12	1,01
72	OSB AUßEN Porosität	0,7	0,9	29 484,58	1,00	32 477,67	1,00	28 933,23	1,00	133 850,20	1,00	44 159,30	1,00	44 497,39	1,00	4 499,26	1,00	4 391,97	1,00	-1 061,70	1,00	2 770,52	1,00	27 732 854,19	1,00	1,00	-69 623,39	1,00
71	OSB AUßEN Porosität	0,8	0,9	29 485,28	1,00	32 478,94	1,00	28 942,97	1,00	133 850,17	1,00	44 160,51	1,00	44 498,08	1,00	4 499,25	1,00	4 391,96	1,00	-1 061,70	1,00	2 770,51	1,00	27 732 848,58	1,00	1,00	-69 623,39	1,00
70	OSB Außen ROHDICHTE	3500	615	29 951,23	1,01	33 158,36	1,01	53 288,26	2,05	108 222,96	0,81	43 676,88	0,99	44 026,17	0,99	4 494,06	1,00	4 385,58	1,00	-335,73	0,32	2 772,25	1,00	27 733 320,00	1,00	1,00	-69 621,94	1,01
69	OSB Außen ROHDICHTE	1500	615	29 587,38	1,00	32 891,21	1,01	37 390,33	1,44	118 599,68	0,89	43 925,88	0,99	44 267,04	0,99	4 497,89	1,00	4 390,18	1,00	-233,48	0,22	2 771,83	1,00	27 732 423,79	1,00	1,00	-69 622,44	0,96
68	OSB Außen ROHDICHTE	5	615	29 784,78	1,01	32 782,99	1,01	13 874,13	0,54	165 853,83	1,13	45 192,71	1,02	45 541,08	1,02	4 481,54	1,00	4 375,35	1,00	-2 190,17	1,06	2 764,48	1,00	27 739 079,46	1,00	1,00	-69 621,99	1,01
67	FQ LD Klasse A Luftsäule	10	5	30 219,71	1,01	32 618,41	1,04	26 946,34	1,00	133 805,45	1,00	45 068,01	1,01	45 314,41	1,01	4 497,09	1,00	4 389,82	1,00	-1 035,27	0,98	2 769,90	1,00	27 731 194,71	1,00	1,00	-69 624,51	1,01
66	FQ LD Klasse A Luftsäule	99	5	42 398,57	1,43	51 057,58	1,57	27 398,22	1,05	132 076,94	0,99	44 386,91	1,05	44 638,94	1,05	4 460,58	0,99	4 353,59	0,99	-525,88	0,50	2 758,46	1,00	27 727 438,19	1,00	1,00	-69 636,67	1,11
65	FQ LD Klasse A Luftsäule	0,5	5	28 855,67	0,98	31 472,12	0,97	25 910,98	1,00	133 819,38	1,00	43 386,46	0,98	43 755,60	0,98	4 501,14	1,00	4 391,88	1,00	-1 079,24	1,00	2 771,13	1,00	27 734 187,41	1,00	1,00	-69 621,64	0,99
64	FQ Luftdichtigkeitsklasse	C	A	32 378,89	1,10	37 152,70	1,14	26 313,81	1,01	133 542,81	1,00	48 068,11	1,09	48 277,09	1,09	4 490,28	1,00	4 383,06	1,00	-952,51	0,90	2 767,81	1,00	27 728 391,69	1,00	1,00	-69 627,97	1,01
63	FQ Luftdichtigkeitsklasse	B	A	31 801,55	1,05	34 799,99	1,07	26 148,98	1,01	133 699,38	1,00	46 028,34	1,04	46 301,11	1,04	4 494,79	1,00	4 387,55	1,00	-1 010,78	0,95	2 769,27	1,00	27 729 927,81	1,00	1,00	-69 625,78	1,01
62	Gipsfaserplatte	500	15,8	31 176,28	1,06	36 060,48	1,08	28 001,96	1,00	133 766,13	1,00	45 201,70	1,02	45 638,94	1,02	4 483,97	1,00	4 377,06	1,00	-1 044,08	0,98	2 769,62	1,00	27 731 133,72	1,00	1,00	-69 625,13	1,01
61	Gipsfaserplatte	50	15,8	29 629,49	1,01	32 798,31	1,01	25 912,05	1,00	133 840,91	1,00	44 250,89	1,00	44 599,94	1,00	4 498,03	1,00	4 390,77	1,00	-1 055,36	0,99	2 770,44	1,00	27 732 571,21	1,00	1,00	-69 623,38	1,00
60	Gipsfaserplatte	0	15,8	29 394,91	1,00	32 335,08	1,00	26 998,62																				

25	terr kw RG	0,5	0,2	29 484,82	1,00	32 478,08	1,00	25 923,35	1,00	133 854,53	1,00	44 158,78	1,00	44 497,39	1,00	4 499,27	1,00	4 391,98	1,00	-1 061,42	1,00	2 770,52	1,00	27 732 844,62	1,00	1,00	-69 623,34	1,00
24	terr kw RG	1	0,2	29 484,82	1,00	32 478,08	1,00	25 923,35	1,00	133 854,53	1,00	44 158,78	1,00	44 497,39	1,00	4 499,27	1,00	4 391,98	1,00	-1 061,42	1,00	2 770,52	1,00	27 732 844,62	1,00	1,00	-69 623,34	1,00
23	terr kw RG	0	0,2	29 484,82	1,00	32 478,08	1,00	25 923,35	1,00	133 854,53	1,00	44 158,78	1,00	44 497,39	1,00	4 499,27	1,00	4 391,98	1,00	-1 061,42	1,00	2 770,52	1,00	27 732 844,62	1,00	1,00	-69 623,34	1,00
22	hw SAZ	0,5	0,9	28 897,86	0,98	30 739,59	0,95	17 188,02	0,66	138 968,94	1,02	48 475,90	1,02	44 748,12	1,02	4 990,28	1,02	4 490,48	1,02	-7 990,02	1,02	7 779,32	1,02	27 687 150,18	1,02	1,02	-69 661,80	1,02
21	hw SAZ	1	0,9	28 732,89	1,01	32 958,30	1,01	18 044,18	1,08	133 468,36	1,00	44 151,96	1,00	44 906,98	1,00	4 485,53	1,00	4 378,81	1,00	462,06	0,44	2 768,57	1,00	27 743 330,82	1,00	1,00	-69 616,70	0,96
20	hw SAZ	0	0,9	29 352,00	1,00	29 319,04	0,90	6 191,59	0,24	142 943,66	1,02	45 667,18	1,02	45 854,62	1,02	4 683,42	1,02	4 539,92	1,02	-17 812,82	16,04	2 792,38	1,02	27 619 822,07	1,00	1,00	-69 695,04	1,20
19	kw SAZ	0,5	0,6	28 880,81	1,01	33 307,12	1,01	18 922,40	1,12	128 184,66	0,96	43 528,21	0,99	43 896,12	0,99	4 481,57	1,00	4 374,96	1,00	-474,45	0,45	2 769,04	1,00	27 750 343,75	1,00	1,00	-69 611,01	0,96
18	kw SAZ	1	0,6	28 763,64	1,01	30 674,10	0,94	18 077,31	0,70	161 423,22	1,21	47 977,14	1,09	46 204,42	1,09	4 574,55	1,02	4 464,42	1,02	-1 557,17	1,47	2 772,08	1,00	27 660 937,26	1,00	1,00	-69 622,84	1,04
17	kw SAZ	0	0,6	33 328,29	1,12	38 088,84	1,20	17 077,52	1,22	107 200,78	0,80	42 551,11	0,96	43 052,41	0,97	4 398,39	0,98	4 295,20	0,98	1 180,82	8,88	2 761,32	1,00	27 843 071,12	1,00	1,00	-69 546,90	1,18
16	WÜK Innen	100	8	28 834,48	1,00	32 709,38	1,01	25 855,48	1,00	133 766,63	1,00	44 881,92	1,02	45 252,80	1,02	5 002,92	1,11	4 878,20	1,12	-1 088,33	1,09	3 272,81	1,22	27 317 111,37	0,99	1,00	-69 543,01	1,04
15	WÜK Innen	1	8	28 763,44	0,98	31 062,97	0,96	18 799,82	1,08	134 534,48	1,01	40 323,69	0,91	40 408,20	0,91	2 873,91	0,64	2 871,30	0,65	-833,35	0,79	1 644,24	0,59	31 778 950,31	1,18	0,97	-67 351,62	0,88
14	WÜK Innen	5000	8	29 613,12	1,00	32 718,32	1,01	25 863,84	1,00	133 746,53	1,00	44 942,21	1,02	45 318,62	1,02	5 091,27	1,12	4 926,22	1,12	-1 101,27	1,04	3 446,92	1,22	27 276 002,80	0,98	1,00	-69 517,07	1,05
13	WÜK Innen	1000	8	28 613,32	1,00	32 310,92	1,01	25 857,58	1,00	133 746,78	1,00	44 991,01	1,02	45 304,91	1,02	5 047,12	1,12	4 922,18	1,12	-1 101,28	1,04	3 446,89	1,22	27 279 980,67	0,98	1,00	-69 520,17	1,05
12	sd-Wert Außen	10000	300	29 449,22	1,00	32 462,50	1,00	25 895,32	1,00	133 877,22	1,00	44 202,81	1,00	44 540,12	1,00	4 499,24	1,00	4 391,95	1,00	-1 058,68	1,00	2 770,50	1,00	27 732 844,40	1,00	1,00	-69 623,36	1,00
11	sd-Wert Außen	1	300	28 907,49	1,20	35 840,28	1,10	25 464,00	0,98	144 364,94	1,09	38 371,57	0,87	38 889,84	0,87	4 903,06	1,00	4 895,29	1,00	-1 777,48	1,10	2 772,08	1,00	27 328 176,28	1,00	1,00	-69 621,26	1,02
10	sd-Wert Außen	2000	300	29 454,27	1,00	32 464,50	1,00	25 889,54	1,00	133 879,21	1,00	44 197,85	1,00	44 535,17	1,00	4 499,25	1,00	4 391,96	1,00	-1 057,39	1,00	2 770,50	1,00	27 732 844,44	1,00	1,00	-69 623,38	1,00
9	WÜK und langw. Strahl	500;100	19;6,5	28 766,38	1,01	33 418,01	1,02	17 923,33	0,69	110 360,61	0,82	40 908,85	0,93	41 278,25	0,93	4 908,43	1,00	4 800,67	1,00	-11 391,95	10,78	2 776,88	1,00	27 750 556,28	1,00	1,00	-69 606,17	1,25
8	WÜK und langw. Strahl	500;250	19;6,5	28 756,42	1,01	33 388,01	1,02	18 131,37	0,70	110 960,47	0,83	40 969,76	0,93	41 338,64	0,93	4 908,28	1,00	4 800,52	1,00	-11 197,72	10,55	2 776,72	1,00	27 749 951,67	1,00	1,00	-69 606,76	1,25
7	WÜK und langw. Strahl	500;500	19;6,5	28 827,22	1,14	38 491,56	1,22	17 389,80	1,28	122 364,22	1,08	70 481,30	1,00	70 670,12	1,09	4 425,42	0,98	4 321,46	0,98	61 753,43	58,12	2 737,36	0,99	27 651 371,29	1,00	1,00	-69 704,28	6,22
6	langwellige Strahlungsanteile	0	6,5	28 920,89	1,00	32 728,98	1,01	23 092,05	0,89	126 880,20	0,95	43 009,66	0,97	43 359,73	0,97	4 902,19	1,00	4 894,74	1,00	-4 627,66	8,36	2 772,92	1,00	27 738 303,58	1,00	1,00	-69 617,72	1,16
5	langwellige Strahlungsanteile	19	6,5	29 736,82	1,01	32 898,45	1,00	35 312,88	1,38	149 642,24	1,12	46 672,94	1,08	47 006,92	1,08	4 481,36	1,00	4 374,88	1,00	3 903,01	8,95	2 764,76	1,00	27 728 336,30	1,00	1,00	-69 628,22	1,21
4	Wärmeübergangskoeff (WÜK)	500	19	28 788,34	1,01	33 417,80	1,02	17 924,71	0,69	110 141,32	0,82	40 889,11	0,93	41 258,72	0,93	4 908,43	1,00	4 800,66	1,00	-11 490,72	10,80	2 776,92	1,00	27 750 748,52	1,00	1,00	-69 606,04	1,22
3	Wärmeübergangskoeff (WÜK)	100	19	28 711,32	1,01	33 283,84	1,01	18 763,88	0,72	113 461,67	0,85	41 242,16	0,93	41 608,82	0,94	4 907,30	1,00	4 899,59	1,00	-10 794,16	9,70	2 776,12	1,00	27 748 344,42	1,00	1,00	-69 608,30	1,68
2	WÜK und langw. Strahl	0;0	19;6,5	28 827,22	1,14	38 491,56	1,22	17 389,80	1,28	122 364,22	1,08	70 481,30	1,00	70 670,12	1,09	4 425,42	0,98	4 321,46	0,98	61 753,43	58,12	2 737,36	0,99	27 651 371,29	1,00	1,00	-69 704,28	6,22
1	WÜK und langw. Strahl	100;50	19;6,5	28 854,82	1,01	33 142,32	1,02	19 707,66	0,76	116 754,24	0,87	41 626,85	0,94	41 990,20	0,94	4 905,92	1,00	4 898,27	1,00	-9 035,88	8,51	2 775,18	1,00	27 748 010,42	1,00	1,00	-69 610,50	1,59
0	Startwerte			29 484,82	1,00	32 478,08	1,00	25 923,35	1,00	133 854,53	1,00	44 158,78	1,00	44 497,39	1,00	4 499,27	1,00	4 391,98	1,00	-1 061,42	1,00	2 770,52	1,00	27 732 844,62	1,00	1,00	-69 623,34	1,00

7.2.1.2 Tabelle der unverschatteten Simulation

Tabelle 22: Kalibrierung 1 Tabelle der verschatteten Simulation

1 - Sensitivitätsanalyse																		
Aufbau: I51																		
Art: nicht verschattet																		
Nr.	Parameter	Wert	Standard	CHI ² -Fehler													MW	
				I51_RH05_RH	F1	I51_RH05_T	F2	I51_RH25_RH	F3	I51_RH25_T	F4	I51_MC_81	F5	F6	I51_TR_02			
Aktuell				#BEZUG!	####	#BEZUG!	####	#BEZUG!	####	#BEZUG!	####	#BEZUG!	####	1 256 528,07	1,05	####	#DIV/0!	####
V3.1a	OSB Beide WLF/mü/WK	13/175/1313/175/1313		80 315,93	0,70	-122 652,81	1,01	43 314,58	0,63	3 278,00	0,64	621 599,11	0,52	0,73	24 051,44	0,70		
	Ende vorläufig			74 488,66	0,65	-32 856,35	0,27	9 883,61	0,14	3 439,16	0,67	603 883,89	0,50	0,85	27 715,20	0,51		
V2.12f	OSB beide Wasserdampfdiff	1	175	48 566,56	0,42	-52 196,37	0,43	12 825,39	0,19	3 470,96	0,68	603 488,02	0,50	0,90	29 396,98	0,52		
V2.12e	OSB beide Wasserdampfdiff	25	175	74 488,66	0,65	-32 856,35	0,27	9 883,61	0,14	3 439,16	0,67	603 883,89	0,50	0,85	27 715,20	0,51		
V2.12d	OSB beide Wasserdampfdiff	50	175	83 174,11	0,72	-31 821,72	0,26	12 016,52	0,18	3 404,44	0,67	606 563,66	0,51	0,83	27 219,99	0,53		
V2.12c	OSB beide Wasserdampfdiff	100	175	78 637,94	0,68	-31 188,83	0,26	19 511,14	0,28	3 385,65	0,66	601 035,55	0,50	0,82	26 747,38	0,53		
V2.12b	OSB beide Wasserdampfdiff	10000	175	82 808,07	0,72	-27 503,76	0,23	57 386,67	0,84	3 494,97	0,68	450 497,60	0,38	0,79	25 700,25	0,60		
V2.12a	OSB beide Wasserdampfdiff	1000	175	60 992,25	0,53	-29 843,13	0,24	55 091,46	0,80	3 477,32	0,68	507 249,68	0,42	0,79	25 852,76	0,58		
V2.11e	OSB spez WK beide	2500	1300	69 317,11	0,60	-42 459,72	0,35	28 665,32	0,42	3 397,43	0,66	592 504,19	0,49	0,81	26 650,36	0,56		
V2.11d	OSB spez WK beide	750	1300	69 401,38	0,60	-85 288,79	0,70	28 440,95	0,42	3 432,11	0,67	597 046,96	0,50	0,82	26 833,43	0,62		
V2.11c	OSB spez WK beide	5000	1300	69 591,89	0,60	-30 810,08	0,25	28 884,47	0,42	3 395,61	0,66	590 475,67	0,49	0,81	26 435,52	0,54		
V2.11b	OSB spez WK beide	15000	1300	71 100,08	0,62	-44 177,81	0,36	29 600,39	0,43	3 377,10	0,66	591 376,08	0,49	0,77	25 185,10	0,56		
V2.11a	OSB spez WK beide	10000	1300	70 362,61	0,61	-37 113,90	0,30	29 252,70	0,43	3 387,76	0,66	590 430,90	0,49	0,79	25 814,87	0,55		
V2.10b	OSB Wärmeleitf beide	0,05	0,13	78 139,29	0,68	-89 819,16	0,74	40 615,14	0,59	3 173,33	0,62	611 913,72	0,51	0,76	24 783,27	0,65		
V2.10a	OSB Wärmeleitf beide	0,01	0,13	69 324,84	0,60	-62 947,72	0,52	28 538,43	0,42	3 409,84	0,67	594 858,85	0,50	0,82	26 727,45	0,59		
V2.9e	OSB Rohdichte beide	615		80 328,18	0,70	-120 455,63	0,99	43 330,63	0,63	3 273,59	0,64	621 437,13	0,52	0,73	23 950,39	0,70		
V2.9d	OSB Rohdichte beide	700	615	80 345,26	0,70	-116 403,05	0,95	43 350,70	0,63	3 265,24	0,64	621 102,57	0,52	0,73	23 729,48	0,69		
V2.9c	OSB Rohdichte beide	500	615	80 299,14	0,70	-126 207,09	1,03	43 307,99	0,63	3 285,84	0,64	621 911,65	0,52	0,74	24 273,74	0,71		
V2.9b	OSB Rohdichte beide	300	615	80 262,53	0,70	-136 298,49	1,12	43 298,06	0,63	3 310,08	0,65	622 838,80	0,52	0,76	24 926,50	0,73		
V2.9a	OSB Rohdichte beide	1200	615	80 461,04	0,70	-93 897,70	0,77	43 497,94	0,63	3 226,67	0,63	619 343,14	0,52	0,69	22 649,67	0,66		
V2.8n	IBP q50 und Höhe der Luftsäule	0,1/1		80 286,56	0,70	-120 449,32	0,99	43 326,89	0,63	3 273,62	0,64	621 404,26	0,52	0,73	23 950,53	0,70		
V2.8m	IBP q50 und Höhe der Luftsäule	0,2/1		80 328,18	0,70	-120 455,63	0,99	43 330,63	0,63	3 273,59	0,64	621 437,13	0,52	0,73	23 950,39	0,70		
V2.8l	Anteil Regenbelastung	0,01		78 368,70	0,68	-120 299,59	0,99	44 142,87	0,64	3 272,69	0,64	624 092,65	0,52	0,73	23 915,47	0,70		
V2.8k	Anteil Regenbelastung	5		238 442,94	2,07	-81 957,06	0,67	225 942,03	3,30	3 108,81	0,61	59 940 835,27	49,97	0,46	14 898,43	9,51		
V2.8j	Anteil Regenbelastung	1		187 525,58	1,63	-101 189,74	0,83	203 458,39	2,97	3 163,90	0,62	23 909 632,24	19,93	0,50	16 326,78	4,41		
V2.8i	monatliche Feuchtelast (Nov-März)	1		80 284,53	0,70	-120 449,07	0,99	43 324,41	0,63	3 273,63	0,64	621 431,71	0,52	0,73	23 950,20	0,70		
V2.8h	monatliche Feuchtelast (Nov-März)	10000		210 666,57	1,83	-121 896,71	1,00	198 167,39	2,89	3 124,30	0,61	23 214 433,88	19,35	0,56	18 312,08	4,37		
V2.4g	Kombination OSB innen und Außen			92 149,36	0,80	-122 774,95	1,01	38 462,77	0,56	3 294,16	0,64	772 431,65	0,64	0,78	25 594,40	0,74		
V2.4f	Kombination OSB innen und Außen			72 378,38	0,63	-116 564,10	0,96	53 545,78	0,78	3 236,66	0,63	1 048 165,36	0,87	0,69	22 716,13	0,76		
V2.4e	Kombination OSB innen und Außen			85 867,41	0,75	-121 906,10	1,00	44 552,80	0,65	3 276,07	0,64	519 168,64	0,43	0,92	30 169,02	0,73		
V2.4d	Kombination OSB innen und Außen			82 281,77	0,71	-120 469,56	0,99	43 556,89	0,64	3 271,89	0,64	623 320,51	0,52	0,73	23 944,98	0,70		
V2.4c	Kombination OSB innen und Außen			123 476,48	1,07	-118 202,72	0,97	76 405,62	1,12	3 303,14	0,65	744 934,40	0,62	0,87	28 449,88	0,88		
V2.8g	Keine Begrenzung			82 961,91	0,72	-121 626,97	1,00	38 922,72	0,57	3 199,73	0,63	572 973,08	0,48	0,89	29 111,45	0,71		
V2.8f	Begrenzung auf max Wassersättigung			82 961,91	0,72	-121 626,97	1,00	38 922,72	0,57	3 199,73	0,63	572 973,08	0,48	0,89	29 111,45	0,71		
V2.8e	Höhe der Luftsäule	10	5	85 563,08	0,74	-121 669,04	1,00	38 921,79	0,57	3 197,45	0,63	570 623,39	0,48	0,89	29 113,76	0,72		
V2.8d	Höhe der Luftsäule	1	5	80 967,73	0,70	-121 714,77	1,00	38 977,07	0,57	3 201,37	0,63	575 048,92	0,48	0,89	29 104,98	0,71		
V2.8c	q50	0,2	1	80 967,77	0,70	-121 703,08	1,00	38 976,99	0,57	3 201,37	0,63	575 048,21	0,48	0,89	29 104,64	0,71		
V2.8b	q50	0,5	1	81 708,47	0,71	-121 652,52	1,00	38 951,61	0,57	3 200,74	0,63	574 274,12	0,48	0,89	29 106,32	0,71		
V2.8a	q50	1,5	1	84 249,65	0,73	-121 647,44	1,00	38 913,63	0,57	3 198,64	0,63	571 786,34	0,48	0,89	29 117,39	0,71		
V2.7c	Feuchte OSB Innen	40	30	86 388,56	0,75	-121 643,59	1,00	37 848,17	0,55	3 199,38	0,63	572 059,77	0,48	0,89	29 081,11	0,72		
V2.7b	Feuchte OSB Innen	45	30	88 450,30	0,77	-121 675,62	1,00	37 471,12	0,55	3 199,01	0,63	571 577,99	0,48	0,89	29 064,51	0,72		
V2.7a	Feuchte OSB Innen	15	30	80 494,07	0,70	-121 619,72	1,00	41 332,38	0,60	3 199,11	0,63	574 260,85	0,48	0,89	29 160,58	0,72		

V2.6d	K WÜK Innen	5	1,06	84 461,69	0,73	-122 197,50	1,00	43 789,31	0,64	3 274,36	0,64	572 591,43	0,48	0,89	29 092,83	0,73
V2.6c	K WÜK Innen	3	1,06	84 016,72	0,73	-122 076,30	1,00	42 311,92	0,62	3 171,14	0,62	572 747,60	0,48	0,89	29 098,77	0,72
V2.6b	K WÜK Innen	1,5	1,06	82 962,69	0,72	-121 624,15	1,00	38 922,90	0,57	3 199,73	0,63	572 986,81	0,48	0,89	29 110,95	0,71
V2.6a	K WÜK Innen	0,5	1,06	79 967,11	0,69	-120 469,17	0,99	29 140,97	0,43	5 752,22	1,12	573 975,31	0,48	0,89	29 115,21	0,77
V2.5b	K Außentemp	0,1	-0,0868	82 123,56	0,71	-125 767,75	1,03	36 155,06	0,53	3 451,95	0,67	574 162,18	0,48	0,87	28 543,62	0,72
V2.5a	K Außentemp	-0,1	-0,0868	82 192,32	0,71	-121 106,59	0,99	36 449,57	0,53	3 466,20	0,68	573 153,98	0,48	0,89	29 150,83	0,71
V2.4b	Kombination OSB innen und Außen			82 187,31	0,71	-121 388,71	1,00	36 429,62	0,53	3 465,10	0,68	573 213,24	0,48	0,89	29 131,45	0,71
V2.4a	Kombination OSB innen und Außen			80 904,84	0,70	-119 631,16	0,98	44 262,56	0,65	3 419,95	0,67	426 882,39	0,36	0,91	29 721,41	0,71
V2.3g	Kombination Wassergehalt OSB außen			76 390,21	0,66	-115 567,98	0,95	51 587,77	0,75	3 413,66	0,67	1 053 176,72	0,88	0,70	22 754,19	0,77
V2.3f	Kombination Wassergehalt OSB außen	1		84 507,20	0,73	-123 827,71	1,02	36 681,18	0,54	3 476,72	0,68	1 192 491,69	0,99	0,95	31 000,31	0,82
V2.3e	Kombination Wassergehalt OSB außen	20		77 724,16	0,67	-122 518,44	1,00	40 979,59	0,60	3 456,78	0,68	814 871,30	0,68	0,89	29 136,73	0,75
V2.3d	Kombination Wassergehalt OSB außen	60		87 387,69	0,76	-119 658,82	0,98	51 336,24	0,75	3 426,44	0,67	424 756,80	0,35	0,91	29 749,71	0,74
V2.3c	Kombination Wassergehalt OSB außen	70		95 897,08	0,83	-117 583,41	0,96	55 579,60	0,81	3 422,40	0,67	448 278,34	0,37	0,89	29 115,08	0,76
V2.3b	Kombination Wassergehalt OSB außen	40		79 721,36	0,69	-121 441,47	1,00	45 430,34	0,66	3 439,40	0,67	576 032,99	0,48	0,89	29 106,75	0,73
V2.3a	Kombination Wassergehalt OSB außen	80		113 745,14	0,99	-117 006,38	0,96	61 693,76	0,90	3 423,96	0,67	688 583,32	0,57	0,90	29 497,88	0,83
V2.2k	Kombination Zell MÜ	1,3	1,8	104 822,96	0,91	-115 737,63	0,95	68 896,40	1,01	3 453,80	0,68	921 543,23	0,77	0,81	26 672,96	0,85
V2.2j	Kombination Zell MÜ	2,3	1,8	109 973,74	0,95	-116 716,15	0,96	63 067,09	0,92	3 418,71	0,67	893 233,23	0,74	0,82	26 692,94	0,84
V2.2i	Kombination Zell MÜ	1,5	1,8	105 888,43	0,92	-115 927,37	0,95	67 617,42	0,99	3 442,64	0,67	914 968,98	0,76	0,82	26 683,30	0,85
V2.2h	Kombination Zell MÜ	4	1,8	117 787,16	1,02	-117 510,40	0,96	55 441,80	0,81	3 405,45	0,67	860 635,50	0,72	0,82	26 734,16	0,83
V2.2g	Kombination Zell MÜ	3	1,8	113 328,99	0,98	-117 065,88	0,96	59 648,81	0,87	3 410,20	0,67	878 348,35	0,73	0,82	26 718,78	0,84
V2.2f	Kombination Zell MÜ	1	1,8	103 182,21	0,90	-115 166,79	0,94	70 963,64	1,04	3 478,45	0,68	933 063,49	0,78	0,81	26 672,27	0,86
V2.2e	Kombination Zell MÜ	0,1	1,8	98 351,67	0,85	-107 633,00	0,88	79 790,45	1,16	3 886,23	0,76	1 023 544,44	0,85	0,81	26 353,81	0,89
V2.2d	Kombination Zell MÜ	1,8	1,8	107 450,35	0,93	-116 268,79	0,95	65 815,32	0,96	3 430,88	0,67	906 103,72	0,76	0,82	26 688,52	0,85
V2.2c	Kombination Zell MÜ	5	1,8	121 809,08	1,06	-117 791,57	0,97	51 859,28	0,76	3 404,72	0,67	845 600,64	0,70	0,82	26 727,25	0,83
V2.2b	Kombination Zell MÜ	50	1,8	185 585,15	1,61	-118 967,96	0,98	17 975,50	0,26	3 442,96	0,67	702 855,79	0,59	0,82	26 807,53	0,82
V2.2a	Kombination Zell MÜ	2000	1,8	215 544,36	1,87	-119 068,70	0,98	14 590,81	0,21	3 469,54	0,68	705 862,02	0,59	0,82	26 838,12	0,86
V2.1b	Kombination sd-Wert außen			205 391,72	1,78	-119 107,83	0,98	13 449,22	0,20	3 454,03	0,68	685 449,14	0,57	0,82	26 822,25	0,84
V2.1a	Kombination sd-Wert außen			571 081,61	4,96	-125 080,00	1,03	13 389,36	0,20	3 446,18	0,67	324 580,15	0,27	1,07	34 862,93	1,36
V2	Kombination			219 743,00	1,91	-119 001,95	0,98	13 443,21	0,20	3 453,32	0,68	599 953,06	0,50	0,95	31 023,50	0,87
V1.8f	ZELL Dampfdiffwid	2000	1,8	87 903,63	0,76	-123 829,47	1,02	16 041,11	0,23	5 083,05	0,99	938 028,62	0,78	1,02	33 446,83	0,80
V1.8e	ZELL Dampfdiffwid	500	1,8	81 458,46	0,71	-123 906,56	1,02	17 011,65	0,25	5 077,86	0,99	832 476,40	0,69	1,02	33 477,07	0,78
V1.8d	ZELL Dampfdiffwid	200	1,8	77 206,61	0,67	-124 170,81	1,02	17 921,59	0,26	5 072,70	0,99	774 902,08	0,65	1,02	33 515,91	0,77
V1.8c	ZELL Dampfdiffwid	150	1,8	76 240,42	0,66	-124 217,49	1,02	18 360,14	0,27	5 070,51	0,99	763 927,44	0,64	1,02	33 514,47	0,77
V1.8b	ZELL Dampfdiffwid	25	1,8	84 336,27	0,73	-124 413,17	1,02	29 881,75	0,44	5 045,06	0,99	800 862,41	0,67	1,02	33 531,37	0,81
V1.8a	ZELL Dampfdiffwid	50	1,8	77 437,72	0,67	-124 345,50	1,02	22 832,01	0,33	5 057,85	0,99	765 184,30	0,64	1,02	33 546,86	0,78
V1.7d	OSB Innen Feuchte	75	90	109 068,19	0,95	-122 033,79	1,00	65 775,70	0,96	5 045,63	0,99	1 158 605,10	0,97	1,00	32 831,93	0,98
V1.7c	OSB Innen Feuchte	60	90	103 870,13	0,90	-122 095,30	1,00	63 882,97	0,93	5 053,66	0,99	1 131 634,91	0,94	1,01	32 928,26	0,96
V1.7b	OSB Innen Feuchte	45	90	98 939,60	0,86	-122 106,64	1,00	62 434,14	0,91	5 061,32	0,99	1 105 986,94	0,92	1,01	33 025,41	0,95
V1.7a	OSB Innen Feuchte	30	90	94 069,75	0,82	-122 117,78	1,00	61 408,18	0,90	5 069,88	0,99	1 082 255,55	0,90	1,01	33 091,67	0,94
V1.6d	ISOCELL ZELL Feuchte	0,5	5	72 294,99	0,63	-122 580,00	1,01	66 291,89	0,97	5 113,83	1,00	938 583,55	0,78	1,02	33 403,64	0,90
V1.6c	ISOCELL ZELL Feuchte	0	5	75 087,89	0,65	-122 704,81	1,01	70 013,61	1,02	5 121,75	1,00	919 822,33	0,77	1,02	33 448,30	0,91
V1.6b	ISOCELL ZELL Feuchte	3	5	88 630,95	0,77	-122 135,97	1,00	59 930,94	0,87	5 072,88	0,99	1 053 656,64	0,88	1,01	33 177,31	0,92
V1.6a	ISOCELL ZELL Feuchte	2	5	77 494,56	0,67	-122 216,69	1,00	60 186,26	0,88	5 089,84	1,00	1 003 678,16	0,84	1,02	33 291,59	0,90
V1.5d	OSB Außen Feuchte	75	90	101 917,84	0,88	-122 325,27	1,00	59 502,26	0,87	5 050,23	0,99	1 091 725,44	0,91	1,01	33 069,41	0,94
V1.5c	OSB Außen Feuchte	60	90	88 925,86	0,77	-122 485,20	1,00	54 123,77	0,79	5 063,31	0,99	1 018 494,57	0,85	1,02	33 339,75	0,90
V1.5b	OSB Außen Feuchte	45	90	75 814,77	0,66	-122 676,55	1,01	51 849,53	0,76	5 075,77	0,99	956 971,37	0,80	1,02	33 483,92	0,87
V1.5a	OSB Außen Feuchte	30	90	68 821,48	0,60	-123 115,42	1,01	52 153,97	0,76	5 086,75	0,99	902 545,51	0,75	1,03	33 617,16	0,86
V1.4h	INNENTEMP Verschiebung	-5	0	91 351,23	0,79	-120 217,94	0,99	76 846,14	1,12	7 754,82	1,52	657 240,46	0,55	1,02	33 440,30	1,00
V1.4g	INNENTEMP Verschiebung	-1,5	0	104 691,57	0,91	-121 526,26	1,00	69 180,46	1,01	3 336,29	0,65	955 860,82	0,80	1,01	33 007,17	0,90
V1.4f	INNENTEMP Verschiebung	-3	0	97 790,04	0,85	-120 997,24	0,99	71 576,20	1,04	3 791,00	0,74	803 881,65	0,67	1,02	33 233,67	0,89

V1.4e	INNENTEMP Verschiebung	-2	0	102 113,42	0,89	-121 355,26	1,00	69 818,48	1,02	3 248,18	0,64	899 205,30	0,75	1,01	33 101,04	0,88
V1.4d	INNENTEMP Verschiebung	-1	0	107 633,00	0,93	-121 682,36	1,00	68 701,49	1,00	3 663,83	0,72	1 022 875,47	0,85	1,01	32 919,34	0,92
V1.4c	INNENTEMP Verschiebung	-0,25	0	112 590,01	0,98	-121 892,72	1,00	68 227,20	1,00	4 604,10	0,90	1 143 038,67	0,95	1,00	32 794,70	0,97
V1.4b	INNENTEMP Verschiebung	0,5	0	118 634,84	1,03	-122 098,73	1,00	68 014,50	0,99	6 082,86	1,19	1 285 935,40	1,07	1,00	32 609,32	1,05
V1.4a	INNENTEMP Verschiebung	-0,5	0	110 788,64	0,96	-121 826,97	1,00	68 328,26	1,00	4 230,76	0,83	1 100 327,94	0,92	1,00	32 817,85	0,95
V1.3k	AUßENTEMP Verschiebung	-0,0868	0	115 017,03	1,00	-119 919,46	0,98	68 192,58	1,00	5 028,35	0,98	1 203 268,19	1,00	1,01	32 978,13	1,00
V1.3j	AUßENTEMP Verschiebung	-0,0875	0	115 013,29	1,00	-119 901,76	0,98	68 188,99	1,00	5 028,30	0,98	1 203 311,63	1,00	1,01	32 965,64	1,00
V1.3i	AUßENTEMP Verschiebung	-0,08	0	114 993,05	1,00	-120 124,78	0,99	68 198,64	1,00	5 029,04	0,98	1 201 864,11	1,00	1,01	32 951,29	1,00
V1.3h	AUßENTEMP Verschiebung	-0,085	0	114 996,36	1,00	-120 004,84	0,98	68 184,87	1,00	5 028,57	0,98	1 202 482,08	1,00	1,01	32 977,95	1,00
V1.3g	AUßENTEMP Verschiebung	-0,09	0	115 037,58	1,00	-119 883,48	0,98	68 195,86	1,00	5 028,04	0,98	1 203 565,65	1,00	1,01	32 985,92	1,00
V1.3f	AUßENTEMP Verschiebung	-0,12	0	115 258,15	1,00	-119 189,87	0,98	68 236,93	1,00	5 025,32	0,98	1 208 804,33	1,01	1,01	33 071,72	1,00
V1.3e	AUßENTEMP Verschiebung	-0,1	0	115 131,47	1,00	-119 640,30	0,98	68 221,63	1,00	5 027,10	0,98	1 205 645,47	1,01	1,01	33 010,10	1,00
V1.3d	AUßENTEMP Verschiebung	-0,05	0	114 799,05	1,00	-120 781,84	0,99	68 172,61	1,00	5 032,20	0,98	1 196 636,92	1,00	1,00	32 852,57	0,99
V1.3c	AUßENTEMP Verschiebung	0,05	0	114 159,62	0,99	-123 148,25	1,01	68 083,13	0,99	5 042,43	0,99	1 179 409,44	0,98	1,00	32 616,01	0,99
V1.3b	AUßENTEMP Verschiebung	0,5	0	111 490,47	0,97	-133 594,97	1,10	67 707,04	0,99	5 087,65	0,99	1 106 390,54	0,92	0,99	32 496,28	0,99
V1.3a	AUßENTEMP Verschiebung	-0,5	0	117 804,59	1,02	-110 228,28	0,90	68 562,15	1,00	4 987,77	0,98	1 277 636,70	1,07	1,07	35 028,34	1,01
V1.2f	WÜK Innen	1,06	8	112 515,34	0,98	-120 962,35	0,99	62 175,53	0,91	3 495,20	0,68	1 125 885,86	0,94	1,01	32 958,83	0,92
V1.2e	WÜK Innen	1,12	8	112 644,88	0,98	-121 022,45	0,99	62 451,94	0,91	3 514,04	0,69	1 129 979,54	0,94	1,01	32 953,44	0,92
V1.2d	WÜK Innen	1,25	8	112 862,46	0,98	-121 165,60	0,99	62 983,24	0,92	3 569,66	0,70	1 135 965,25	0,95	1,01	32 938,20	0,92
V1.2c	WÜK Innen	2	8	113 581,17	0,99	-121 501,87	1,00	64 998,26	0,95	3 964,35	0,78	1 158 340,07	0,97	1,00	32 851,70	0,95
V1.2b	WÜK Innen	1,5	8	113 193,51	0,98	-121 318,74	0,99	63 830,43	0,93	3 702,29	0,72	1 145 933,24	0,96	1,01	32 915,20	0,93
V1.2a	WÜK Innen	0,5	8	109 857,18	0,95	-119 849,77	0,98	58 880,96	0,86	4 514,80	0,88	1 066 403,13	0,89	1,01	33 178,63	0,93
V1.1f	sd-Wert außen	0,2	300	117 199,64	1,02	-122 395,89	1,00	44 149,72	0,64	5 063,70	0,99	873 792,70	0,73	1,02	33 362,24	0,90
V1.1e	sd-Wert außen	0,01	300	117 411,07	1,02	-120 217,84	0,99	43 727,45	0,64	5 062,94	0,99	930 590,48	0,78	0,92	30 000,43	0,89
V1.1d	sd-Wert außen	64	300	114 685,79	1,00	-122 133,55	1,00	66 867,43	0,98	5 038,10	0,98	1 148 334,27	0,96	1,00	32 754,28	0,99
V1.1c	sd-Wert außen	8	300	116 326,79	1,01	-122 725,48	1,01	59 065,80	0,86	5 043,16	0,99	977 357,02	0,81	1,01	32 979,99	0,95
V1.1b	sd-Wert außen	4	300	117 124,19	1,02	-123 044,62	1,01	54 391,97	0,79	5 047,80	0,99	920 579,83	0,77	1,01	33 065,87	0,93
V1.1a	sd-Wert außen	2	300	117 706,64	1,02	-123 321,21	1,01	50 092,22	0,73	5 053,59	0,99	887 873,03	0,74	1,01	33 128,77	0,92
V1	Anpassung 1 (Alle Werte)			314 185,37	2,73	-28 188,63	0,23	141 816,89	2,07	4 787,19	0,94	549 044,35	0,46	1,43	46 819,58	1,31
150	PV Emissionszahl	1	0,5	115 173,20	1,00	-121 953,27	1,00	68 514,69	1,00	5 115,01	1,00	1 199 557,72	1,00	1,00	32 729,94	1,00
149	PV Emissionszahl	0	0,5	115 173,20	1,00	-121 953,27	1,00	68 514,69	1,00	5 115,01	1,00	1 199 557,72	1,00	1,00	32 729,94	1,00
148	PV Absorptionszahl	1	0,3	115 173,20	1,00	-121 953,27	1,00	68 514,69	1,00	5 115,01	1,00	1 199 557,72	1,00	1,00	32 729,94	1,00
147	PV Absorptionszahl	0	0,3	115 173,20	1,00	-121 953,27	1,00	68 514,69	1,00	5 115,01	1,00	1 199 557,72	1,00	1,00	32 729,94	1,00
146	adaptive Zeitschrittsteuerung	3 5		114 479,07	0,99	-121 997,87	1,00	68 129,53	0,99	5 037,47	0,98	1 188 107,60	0,99	1,00	32 734,01	0,99
145	AUßENTEMP Verschiebung	-10	0	194 843,70	1,69	-138 647,29	1,14	82 705,16	1,21	4 189,36	0,82	4 791 178,65	3,99	14,47	472 032,01	3,88
144	AUßENTEMP Verschiebung	10	0	101 650,10	0,88	-328 640,78	2,89	64 080,18	0,94	6 192,84	1,21	489 842,71	0,41	13,10	428 660,90	3,20
143	INNENTEMP Verschiebung	-10	0	93 711,93	0,81	-118 467,63	0,97	103 758,85	1,51	34 492,41	6,74	479 936,97	0,40	1,03	33 710,68	1,91
142	INNENTEMP Verschiebung	10	0	218 171,80	1,88	-121 319,97	0,99	72 706,13	1,06	71 276,63	13,93	8 975 015,50	7,48	0,88	28 741,22	4,37
141	GFP Wasserdampfdiff	100000	16	101 766,53	0,88	-122 565,03	1,01	86 363,52	1,26	5 035,16	0,98	1 171 210,36	0,98	0,98	32 134,27	1,02
140	GFP Wasserdampfdiff	0,1	16	116 315,00	1,01	-121 986,22	1,00	65 729,31	0,96	5 037,12	0,98	1 181 462,54	0,98	1,00	32 780,66	0,99
139	GFP Wärmeleitföh.	1000	0,32	114 580,03	0,99	-122 056,68	1,00	68 509,33	1,00	5 191,37	1,01	1 191 600,03	0,99	1,00	32 720,00	1,00
138	GFP Wärmeleitföh.	0,01	0,32	112 056,93	0,97	-120 792,29	0,99	61 048,66	0,89	3 545,02	0,69	1 114 897,61	0,93	1,01	33 011,55	0,91
137	GFP spez WK	100000	1200	114 747,74	1,00	-121 654,59	1,00	68 683,96	1,00	4 819,34	0,94	1 186 864,86	0,99	1,00	32 733,98	0,99
136	GFP spez WK	1	1200	114 483,84	0,99	-122 008,61	1,00	68 102,97	0,99	5 062,53	0,99	1 188 052,80	0,99	1,00	32 736,54	0,99
135	GFP Porosität	0,75	0,52	114 479,02	0,99	-121 997,87	1,00	68 129,56	0,99	5 037,47	0,98	1 187 825,06	0,99	1,00	32 734,01	0,99
134	GFP Porosität	0,999	0,52	114 478,83	0,99	-121 997,87	1,00	68 129,46	0,99	5 037,46	0,98	1 187 829,27	0,99	1,00	32 734,01	0,99
133	GFP Rohdichte	100000	1153	114 775,94	1,00	-121 653,24	1,00	68 706,83	1,00	4 813,55	0,94	1 187 363,76	0,99	1,00	32 734,64	0,99
132	GFP Rohdichte	1	1153	114 483,82	0,99	-122 008,60	1,00	68 102,96	0,99	5 062,53	0,99	1 188 053,48	0,99	1,00	32 736,54	0,99
131	LUFT Wasserdampfdiff	100	0,51	105 543,41	0,92	-122 079,00	1,00	80 683,50	1,18	5 028,06	0,98	1 223 396,62	1,02	0,99	32 368,64	1,01
130	LUFT Wasserdampfdiff	0,01	0,51	114 576,95	0,99	-122 003,97	1,00	67 994,31	0,99	5 037,49	0,98	1 187 676,00	0,99	1,00	32 736,77	0,99

129	LUFT Wärmeleitfah	100	0,155	114 879,61	1,00	-122 158,03	1,00	69 780,70	1,02	5 724,53	1,12	1 201 845,58	1,00	1,00	32 660,44	1,02
128	LUFT Wärmeleitfah	1	0,155	114 830,32	1,00	-122 102,69	1,00	69 527,15	1,01	5 607,46	1,10	1 199 542,76	1,00	1,00	32 662,19	1,02
127	LUFT Wärmeleitfah	0,001	0,155	81 360,26	0,71	-112 905,28	0,93	258 575,63	3,77	48 733,99	9,53	1 201 000,89	1,00	1,02	33 520,83	2,83
126	LUFT spez WK	100000	1000	114 479,77	0,99	-121 995,54	1,00	68 137,91	0,99	5 030,14	0,98	1 188 148,28	0,99	1,00	32 735,40	0,99
125	LUFT spez WK	1	1000	114 479,05	0,99	-121 997,87	1,00	68 129,43	0,99	5 037,51	0,98	1 187 828,00	0,99	1,00	32 734,01	0,99
124	LUFT spez WK	0,01	1000	114 479,05	0,99	-121 997,87	1,00	68 129,43	0,99	5 037,51	0,98	1 187 828,01	0,99	1,00	32 734,01	0,99
123	LUFT Porosität	0,5	0,999	114 529,15	0,99	-121 997,04	1,00	68 111,80	0,99	5 037,77	0,98	1 188 117,01	0,99	1,00	32 734,11	0,99
122	LUFT Porosität	0,001	0,999	114 565,88	0,99	-121 998,76	1,00	68 086,24	0,99	5 038,11	0,98	1 188 160,09	0,99	1,00	32 735,87	0,99
121	LUFT Rohdichte	1000	0,13	114 490,01	0,99	-121 981,46	1,00	68 197,04	1,00	4 992,99	0,98	1 187 666,12	0,99	1,00	32 733,08	0,99
120	LUFT Rohdichte	0,01	1,3	114 479,05	0,99	-121 997,87	1,00	68 129,46	0,99	5 037,51	0,98	1 187 806,57	0,99	1,00	32 734,01	0,99
119	OSB INNEN Wasserdampfdiff	100000	175	80 100,82	0,70	-121 880,85	1,00	100 317,81	1,46	5 082,86	0,99	977 512,25	0,81	1,00	32 770,25	0,99
118	OSB INNEN Wasserdampfdiff	10000	175	83 269,43	0,72	-121 865,38	1,00	87 761,23	1,28	5 072,52	0,99	999 896,73	0,83	1,00	32 706,18	0,97
117	OSB INNEN Wasserdampfdiff	0,01	175	202 201,57	1,76	-126 728,37	1,04	13 081,77	0,19	5 072,55	0,99	1 534 806,19	1,28	1,01	33 196,49	1,05
116	OSB INNEN Wärmeleitf	10	0,13	114 729,21	1,00	-122 129,66	1,00	69 102,90	1,01	5 392,42	1,05	1 195 957,33	1,00	1,00	32 682,91	1,01
115	OSB INNEN Wärmeleitf	10000	0,13	114 731,35	1,00	-122 131,24	1,00	69 115,40	1,01	5 397,58	1,06	1 196 022,37	1,00	1,00	32 683,95	1,01
114	OSB INNEN Wärmeleitf	0,01	0,13	112 105,58	0,97	-120 769,53	0,99	60 927,74	0,89	3 676,21	0,72	1 117 251,08	0,93	1,01	33 019,62	0,92
113	OSB INNEN spez WK	10000	1400	114 506,72	0,99	-122 017,10	1,00	68 327,05	1,00	4 911,19	0,96	1 187 784,74	0,99	1,00	32 729,52	0,99
112	OSB INNEN spez WK	1	1400	114 502,35	0,99	-121 942,19	1,00	68 068,05	0,99	5 104,88	1,00	1 188 054,46	0,99	1,00	32 742,77	1,00
111	OSB INNEN Porosität	1	0,9	114 477,58	0,99	-121 998,27	1,00	68 129,13	0,99	5 037,48	0,98	1 187 822,97	0,99	1,00	32 734,01	0,99
110	OSB INNEN Porosität	0,65	0,9	114 479,23	0,99	-121 997,91	1,00	68 129,51	0,99	5 037,48	0,98	1 187 815,36	0,99	1,00	32 734,01	0,99
109	OSB INNEN Rohdichte	10000	615	114 511,10	0,99	-121 748,37	1,00	68 293,50	1,00	4 825,06	0,94	1 186 634,54	0,99	1,00	32 734,54	0,99
108	OSB INNEN Rohdichte	3500	615	114 472,99	0,99	-121 982,07	1,00	68 182,38	1,00	4 884,55	0,95	1 186 917,01	0,99	1,00	32 733,36	0,99
107	OSB INNEN Rohdichte	1500	615	114 466,73	0,99	-121 962,44	1,00	68 121,27	0,99	4 953,62	0,97	1 187 355,47	0,99	1,00	32 727,93	0,99
106	OSB INNEN Rohdichte	5	615	114 715,08	1,00	-122 076,96	1,00	68 978,10	1,01	5 440,81	1,06	1 195 335,86	1,00	1,00	32 690,62	1,01
105	ZELL Dampfdiffwid	10000	1,8	91 942,95	0,80	-123 935,79	1,02	15 420,49	0,23	5 086,46	0,99	1 024 743,00	0,85	1,02	33 442,52	0,82
104	ZELL Dampfdiffwid	100	1,8	75 515,40	0,66	-124 758,27	1,02	19 345,71	0,28	5 066,83	0,99	756 050,63	0,63	1,02	33 535,05	0,77
103	ZELL Dampfdiffwid	0,01	1,8	153 447,22	1,33	-106 182,18	0,87	90 144,00	1,32	6 025,56	1,18	1 930 040,75	1,61	0,88	28 702,58	1,20
102	ZELL Wärmeleitf.	0,07	0,037	111 211,59	0,97	-124 001,68	1,02	63 468,12	0,93	4 307,35	0,84	1 135 857,43	0,95	0,98	32 225,63	0,95
101	ZELL Wärmeleitf.	0,1	0,037	108 941,64	0,95	-126 264,42	1,04	60 116,11	0,88	4 074,95	0,80	1 098 604,03	0,92	0,98	31 945,82	0,92
100	ZELL Wärmeleitf.	10	0,037	83 447,60	0,72	-155 957,45	1,28	154 310,02	2,25	52 961,60	10,35	786 605,35	0,66	1,34	43 952,99	2,77
99	ZELL Wärmeleitf.	0,01	0,037	123 747,57	1,07	-122 243,94	1,00	72 646,24	1,06	6 270,21	1,23	1 270 405,04	1,06	1,02	33 313,07	1,07
98	ZELL spez WK	100000	2110	127 130,75	1,10	-73 081,04	0,60	75 877,16	1,11	5 223,97	1,02	1 461 923,99	1,22	0,86	28 276,88	0,99
97	ZELL spez WK	10000	2110	120 994,34	1,05	-106 199,21	0,87	68 871,72	1,01	5 037,03	0,98	1 271 813,03	1,06	0,98	32 037,92	0,99
96	ZELL spez WK	5	2110	113 231,06	0,98	-135 088,25	1,11	69 491,42	1,01	5 338,31	1,04	1 145 205,00	0,95	1,01	33 153,16	1,02
95	ZELL Porosität	1	0,95	115 173,68	1,00	-121 952,28	1,00	68 511,85	1,00	5 114,99	1,00	1 199 584,89	1,00	1,00	32 729,91	1,00
94	ZELL Porosität	0,65	0,95	115 169,20	1,00	-121 939,95	1,00	68 529,88	1,00	5 115,03	1,00	1 198 995,93	1,00	1,00	32 734,60	1,00
93	ZELL Rohdichte	50000	50	118 523,47	1,03	-55 771,16	0,46	77 167,30	1,13	4 684,64	0,92	2 099 446,44	1,75	0,65	21 357,11	0,99
92	ZELL Rohdichte	2500	50	126 829,67	1,10	-72 320,53	0,59	76 317,13	1,11	5 239,03	1,02	1 463 444,84	1,22	0,86	28 170,29	0,99
91	ZELL Rohdichte	0,01	50	113 227,90	0,98	-135 196,25	1,11	69 496,02	1,01	5 338,75	1,04	1 145 220,39	0,95	1,01	33 161,46	1,02
90	OSB AUßEN Wärmeleitf. Temp	0,001	0,0002	114 555,65	0,99	-127 011,52	1,04	68 601,71	1,00	5 119,51	1,00	1 189 991,68	0,99	1,00	32 723,49	1,01
89	OSB AUßEN Wärmeleitf. Temp	0,00001	0,0002	115 345,93	1,00	-120 677,02	0,99	68 487,86	1,00	5 113,87	1,00	1 201 497,12	1,00	1,00	32 714,91	1,00
88	OSB AUßEN Wärmeleitf. Temp	nt generieren		115 348,23	1,00	-120 566,59	0,99	68 481,57	1,00	5 113,82	1,00	1 201 609,55	1,00	1,00	32 717,84	1,00
87	OSB AUßEN Wärmeleitf. Feucht	3	1,5	114 715,94	1,00	-125 288,13	1,03	68 759,98	1,00	5 113,82	1,00	1 194 339,70	1,00	1,00	32 572,35	1,00
86	OSB AUßEN Wärmeleitf. Feucht	nt generieren		115 725,30	1,00	-118 029,05	0,97	68 126,12	0,99	5 116,78	1,00	1 204 281,44	1,00	1,01	32 977,59	1,00
85	OSB AUßEN Flüssigkeitstransp WL	generieren		119 688,16	1,04	-122 040,42	1,00	67 775,52	0,99	5 115,68	1,00	1 112 444,27	0,93	1,00	32 698,58	0,99
84	OSB AUßEN Flüssigkeitstransp WL	generieren		115 173,20	1,00	-121 953,27	1,00	68 514,69	1,00	5 115,01	1,00	1 199 557,72	1,00	1,00	32 729,94	1,00
83	OSB AUßEN Feuchtespeicherfkt	Appro		93 135,37	0,81	-122 033,82	1,00	84 732,49	1,24	5 098,35	1,00	1 203 450,46	1,00	1,01	33 124,03	1,01
82	OSB AUßEN Wasserdampfdiffwid	0,01	175	98 691,67	0,86	-121 842,42	1,00	72 939,09	1,06	5 101,87	1,00	1 414 252,79	1,18	1,00	32 649,90	1,02
81	OSB AUßEN Wasserdampfdiffwid	100	175	114 294,20	0,99	-121 768,29	1,00	69 550,07	1,02	5 108,13	1,00	1 230 232,89	1,03	1,00	32 852,93	1,01
80	OSB AUßEN Wasserdampfdiffwid	10000	175	146 343,80	1,27	-122 087,70	1,00	53 285,29	0,78	5 138,93	1,00	1 674 831,84	1,40	0,99	32 505,24	1,07

79	OSB AUßEN Wasserdampfdiffwid	1	175	103 976,55	0,90	-123 176,83	1,01	72 718,05	1,06	5 100,13	1,00	1 396 148,17	1,16	1,01	32 927,39	1,02
78	OSB AUßEN Wärmeleitfähigkeit	1	0,13	112 591,98	0,98	-149 885,59	1,23	70 090,63	1,02	5 110,56	1,00	1 168 349,58	0,97	0,97	31 780,86	1,03
77	OSB AUßEN Wärmeleitfähigkeit	10	0,13	112 190,74	0,97	-154 674,71	1,27	70 325,85	1,03	5 110,45	1,00	1 163 165,26	0,97	0,97	31 640,79	1,03
76	OSB AUßEN Wärmeleitfähigkeit	0,01	0,13	101 258,30	0,88	-64 457,08	0,53	53 532,14	0,78	5 369,17	1,05	1 118 520,18	0,93	1,19	39 085,29	0,89
75	OSB AUßEN Spez Wärmekapa	3000	1400	117 168,93	1,02	-94 239,30	0,77	68 114,99	0,99	5 102,68	1,00	1 236 276,19	1,03	0,90	29 351,45	0,95
74	OSB AUßEN Spez Wärmekapa	10000	1400	123 915,15	1,08	-19 429,62	0,16	66 342,36	0,97	5 069,13	0,99	1 369 963,90	1,14	0,71	23 192,63	0,84
73	OSB AUßEN Spez Wärmekapa	100	1400	113 489,44	0,99	-146 380,26	1,20	68 737,19	1,00	5 125,27	1,00	1 169 199,44	0,97	1,12	36 552,73	1,05
72	OSB AUßEN Porosität	0,7	0,9	115 165,75	1,00	-122 031,81	1,00	68 516,20	1,00	5 115,00	1,00	1 199 472,37	1,00	1,00	32 729,69	1,00
71	OSB AUßEN Porosität	0,8	0,9	115 166,51	1,00	-122 022,77	1,00	68 515,47	1,00	5 115,01	1,00	1 199 467,57	1,00	1,00	32 722,07	1,00
70	OSB Außen ROHDICHTE	3500	615	123 008,73	1,07	-29 250,82	0,24	66 407,78	0,97	5 076,46	0,99	1 346 975,10	1,12	0,76	24 921,40	0,86
69	OSB Außen ROHDICHTE	1500	615	118 094,08	1,03	-84 464,14	0,69	67 779,62	0,99	5 100,36	1,00	1 260 929,02	1,04	0,88	28 907,26	0,94
68	OSB Außen ROHDICHTE	5	615	111 334,82	0,97	-167 830,19	1,38	70 394,35	1,03	5 115,86	1,00	1 147 100,89	0,96	1,11	36 326,78	1,07
67	FQ LDKlasse A Luftsäule	10	5	118 640,75	1,03	-121 917,52	1,00	70 948,06	1,04	5 112,40	1,00	1 282 609,35	1,07	1,00	32 661,21	1,02
66	FQ LDKlasse A Luftsäule	99	5	168 077,95	1,46	-120 495,52	0,99	117 504,90	1,72	5 059,93	0,99	3 821 225,75	3,19	0,95	30 953,41	1,55
65	FQ LDKlasse A Luftsäule	0,5	5	112 124,10	0,97	-122 061,57	1,00	66 418,68	0,97	5 117,09	1,00	1 128 076,72	0,94	1,00	32 789,87	0,98
64	FQ Luftdichtigkeitsklasse	C	A	128 614,19	1,12	-121 611,14	1,00	78 640,97	1,15	5 104,60	1,00	1 566 200,69	1,31	0,99	32 385,53	1,09
63	FQ Luftdichtigkeitsklasse	B	A	122 061,65	1,06	-121 832,66	1,00	73 445,50	1,07	5 110,07	1,00	1 371 253,64	1,14	1,00	32 575,24	1,04
62	Gipsfaserpatte	500	15,8	121 612,36	1,06	-121 964,23	1,00	71 779,62	1,05	5 098,47	1,00	1 233 758,31	1,03	1,00	32 577,69	1,02
61	Gipsfaserpatte	50	15,8	115 934,31	1,01	-121 934,69	1,00	68 869,29	1,01	5 113,76	1,00	1 202 981,54	1,00	1,00	32 704,05	1,00
60	Gipsfaserpatte	0	15,8	114 808,25	1,00	-122 021,09	1,00	68 347,57	1,00	5 115,66	1,00	1 197 078,53	1,00	1,00	32 739,59	1,00
59	Luftschicht 25mm	2	0,01	115 389,68	1,00	-121 948,77	1,00	68 620,22	1,00	5 114,71	1,00	1 200 308,53	1,00	1,00	32 714,54	1,00
58	Luftschicht 25mm	5	0,01	115 647,01	1,00	-121 938,41	1,00	68 738,49	1,00	5 114,37	1,00	1 201 366,77	1,00	1,00	32 702,72	1,00
57	Luftschicht 25mm	0	0,01	115 168,72	1,00	-121 951,97	1,00	68 513,44	1,00	5 115,01	1,00	1 199 462,79	1,00	1,00	32 731,24	1,00
56	OSB Innen	30	90	94 855,73	0,82	-122 070,63	1,00	61 619,75	0,90	5 142,87	1,01	1 092 383,87	0,91	1,01	33 152,38	0,94
55	OSB Innen	60	90	104 555,92	0,91	-122 081,91	1,00	64 162,69	0,94	5 129,50	1,00	1 142 155,35	0,95	1,01	32 948,57	0,97
54	OSB Innen	0	90	84 624,78	0,73	-122 009,04	1,00	61 486,11	0,90	5 163,05	1,01	1 049 172,96	0,87	1,02	33 257,58	0,92
53	ISOCELL ZELL	2	5	78 412,88	0,68	-122 214,07	1,00	60 284,90	0,88	5 156,96	1,01	1 012 544,72	0,84	1,02	33 368,54	0,91
52	ISOCELL ZELL	1	5	72 556,62	0,63	-122 457,08	1,00	63 497,67	0,93	5 168,51	1,01	967 559,87	0,81	1,02	33 482,71	0,90
51	ISOCELL ZELL	10	5	171 109,77	1,49	-121 985,39	1,00	115 615,93	1,69	5 015,42	0,98	1 799 165,85	1,50	0,94	30 660,55	1,27
50	ISOCELL ZELL	0	5	75 376,96	0,65	-122 670,96	1,01	70 048,53	1,02	5 178,63	1,01	928 179,20	0,77	1,02	33 524,33	0,92
49	OSB Außen	150	90	153 970,25	1,34	-120 419,82	0,99	108 459,84	1,58	5 070,88	0,99	1 863 310,62	1,55	0,92	30 180,40	1,23
48	OSB Außen	30	90	69 761,61	0,61	-123 045,16	1,01	52 273,51	0,76	5 154,29	1,01	910 357,00	0,76	1,03	33 708,98	0,86
47	OSB Außen	500	90	237 088,74	2,06	-117 924,59	0,97	194 889,56	2,84	4 902,34	0,96	12 854 311,20	10,72	0,64	20 948,97	3,03
46	OSB Außen	0	90	84 906,62	0,74	-124 137,98	1,02	61 129,24	0,89	5 167,82	1,01	821 128,31	0,68	1,04	33 967,72	0,90
45	Bauteilfeuchte konstant	0,3	-	72 925,60	0,63	-122 975,71	1,01	64 984,06	0,95	5 173,67	1,01	900 581,17	0,75	1,03	33 632,61	0,90
44	Bauteilfeuchte konstant	0,9	-	181 378,38	1,57	-122 003,07	1,00	130 256,66	1,90	4 990,75	0,98	2 166 798,66	1,81	0,91	29 894,22	1,36
43	Bauteilfeuchte konstant	0	-	433 769,04	3,77	-126 108,73	1,03	205 692,82	3,00	5 245,77	1,03	653 876,16	0,55	1,05	34 393,79	1,74
42	Bauteilfeuchte konstant	0,5	-	86 838,16	0,75	-122 321,87	1,00	55 539,40	0,81	5 144,35	1,01	1 025 080,17	0,85	1,02	33 396,28	0,91
41	R2	1	0	115 173,20	1,00	-121 953,27	1,00	68 514,69	1,00	5 115,01	1,00	1 199 557,72	1,00	1,00	32 729,94	1,00
40	R1	0	1	115 173,20	1,00	-121 953,27	1,00	68 514,69	1,00	5 115,01	1,00	1 199 557,72	1,00	1,00	32 729,94	1,00
39	Neigung	2	0	116 014,60	1,01	-117 128,05	0,96	68 479,44	1,00	5 109,33	1,00	1 218 315,42	1,02	1,02	33 346,07	1,00
38	Neigung	5	0	117 310,17	1,02	-109 758,65	0,90	68 364,48	1,00	5 100,39	1,00	1 249 191,31	1,04	1,05	34 431,24	1,00
37	Orientierung	Süd	Nord	115 173,20	1,00	-121 953,27	1,00	68 514,69	1,00	5 115,01	1,00	1 199 557,72	1,00	1,00	32 729,94	1,00
36	Anfangstemperatur	-20	20	115 341,16	1,00	-121 954,67	1,00	68 514,66	1,00	5 114,64	1,00	1 199 562,72	1,00	1,00	32 724,26	1,00
35	Bewölkungsgrad	0,33	0,66	126 423,50	1,10	-87 253,48	0,72	72 379,85	1,05	4 973,10	0,97	1 457 798,95	1,22	1,37	44 967,72	1,07
34	Bewölkungsgrad	1	0,66	109 766,60	0,95	-155 747,37	1,28	68 295,29	1,00	5 260,58	1,03	1 012 785,62	0,84	1,32	43 086,98	1,07
33	Bewölkungsgrad	0	0,66	135 468,51	1,18	-50 618,39	0,42	74 276,76	1,08	4 838,30	0,95	1 735 056,06	1,45	2,44	79 710,24	1,25
32	expl SB; terr lw Reflgrad	0	0,1	117 611,15	1,02	-121 876,84	1,00	70 222,04	1,02	5 112,42	1,00	1 217 374,37	1,01	1,00	32 664,71	1,01
31	expl SB; terr lw Emmgrad	1	0,9	117 611,15	1,02	-121 876,84	1,00	70 222,04	1,02	5 112,42	1,00	1 217 374,37	1,01	1,00	32 664,71	1,01
30	expl SB; terr lw Emmgrad	0	0,9	117 611,15	1,02	-121 876,84	1,00	70 222,04	1,02	5 112,42	1,00	1 217 374,37	1,01	1,00	32 664,71	1,01

29	sd-Wert Innen	2	0	111 308,38	0,97	-121 979,29	1,00	83 068,77	1,21	5 097,80	1,00	1 278 720,81	1,07	0,98	32 204,18	1,04
28	sd-Wert Innen	0,5	0	114 669,86	1,00	-121 884,50	1,00	75 426,26	1,10	5 103,37	1,00	1 238 309,01	1,03	0,99	32 504,24	1,02
27	sd-Wert Innen	1	0	113 021,23	0,98	-121 847,28	1,00	78 987,62	1,15	5 099,42	1,00	1 256 064,89	1,05	0,99	32 380,40	1,03
26	sd-Wert Innen	10000	0	109 870,02	0,95	-122 682,89	1,01	87 971,36	1,28	5 116,62	1,00	1 302 240,52	1,09	0,97	31 887,25	1,05
25	terr kw RG	0,5	0,2	117 611,15	1,02	-121 876,84	1,00	70 222,04	1,02	5 112,42	1,00	1 217 374,37	1,01	1,00	32 664,71	1,01
24	terr kw RG	1	0,2	117 611,15	1,02	-121 876,84	1,00	70 222,04	1,02	5 112,42	1,00	1 217 374,37	1,01	1,00	32 664,71	1,01
23	terr kw RG	0	0,2	117 611,15	1,02	-121 876,84	1,00	70 222,04	1,02	5 112,42	1,00	1 217 374,37	1,01	1,00	32 664,71	1,01
22	lw SAZ	0,5	0,9	106 471,98	0,92	-170 970,45	1,40	73 637,67	1,07	5 263,46	1,03	901 322,20	0,75	0,60	19 686,02	0,96
21	lw SAZ	1	0,9	120 977,34	1,05	-111 596,39	0,92	69 532,81	1,01	5 081,92	0,99	1 306 123,40	1,09	1,10	36 033,00	1,03
20	lw SAZ	0	0,9	103 859,76	0,90	-259 149,26	2,12	79 131,78	1,15	5 563,75	1,09	612 016,88	0,51	0,13	4 142,62	0,98
19	kw SAZ	0,5	0,6	127 313,11	1,11	-91 287,90	0,75	66 359,95	0,97	5 051,14	0,99	1 479 788,79	1,23	1,25	41 017,45	1,05
18	kw SAZ	1	0,6	105 596,40	0,92	-258 427,08	2,12	83 150,62	1,21	5 399,03	1,06	678 056,29	0,57	0,32	10 502,30	1,03
17	kw SAZ	0	0,6	190 493,16	1,65	38 178,02	0,31	58 267,82	0,85	4 796,30	0,94	4 146 628,26	3,46	2,02	66 043,75	1,54
16	WÜK Innen	100	8	117 897,44	1,02	-122 058,42	1,00	71 117,15	1,04	5 606,47	1,10	1 226 328,11	1,02	1,00	32 633,25	1,03
15	WÜK Innen	1	8	115 709,51	1,00	-120 883,46	0,99	64 371,08	0,94	3 471,46	0,68	1 153 419,31	0,96	1,01	32 940,95	0,93
14	WÜK Innen	5000	8	117 936,51	1,02	-122 066,41	1,00	71 209,06	1,04	5 653,45	1,11	1 227 186,36	1,02	1,00	32 627,12	1,03
13	WÜK Innen	1000	8	117 937,47	1,02	-122 065,09	1,00	71 202,16	1,04	5 649,63	1,10	1 227 498,21	1,02	1,00	32 624,26	1,03
12	sd-Wert Außen	10000	300	117 534,92	1,02	-121 851,34	1,00	70 567,60	1,03	5 112,33	1,00	1 229 523,27	1,02	1,00	32 656,12	1,01
11	sd-Wert Außen	1	300	120 395,34	1,05	-123 271,02	1,01	47 715,26	0,70	5 130,34	1,00	883 591,72	0,74	1,02	33 229,52	0,92
10	sd-Wert Außen	2000	300	117 531,70	1,02	-121 849,46	1,00	70 516,58	1,03	5 112,33	1,00	1 228 224,91	1,02	1,00	32 657,96	1,01
9	WÜK und langw. Strahl	500;100	19;6,5	156 286,01	1,36	-20 409,25	0,17	53 409,21	0,78	4 999,55	0,98	2 432 802,32	2,03	2,07	67 887,94	1,23
8	WÜK und langw. Strahl	500;250	19;6,5	155 199,80	1,35	-23 082,71	0,19	53 649,42	0,78	5 002,31	0,98	2 391 988,32	1,99	2,05	67 240,27	1,22
7	WÜK und langw. Strahl	500;500	19;6,5	127 791,25	1,11	-324 941,80	2,66	102 155,89	1,49	5 443,97	1,06	541 198,76	0,45	0,92	30 171,37	1,28
6	langwellige Strahlungsanteile	0	6,5	126 613,21	1,10	-93 233,55	0,76	64 545,65	0,94	5 077,70	0,99	1 460 388,54	1,22	1,35	44 214,49	1,06
5	langwellige Strahlungsanteile	19	6,5	127 791,25	1,11	-324 941,80	2,66	102 155,89	1,49	5 443,97	1,06	541 198,76	0,45	0,92	30 171,37	1,28
4	Wärmeübergangskoeff (WÜK)	500	19	156 639,58	1,36	-19 592,26	0,16	53 336,05	0,78	4 998,81	0,98	2 445 514,59	2,04	2,08	68 061,94	1,23
3	Wärmeübergangskoeff (WÜK)	100	19	150 339,45	1,31	-34 495,68	0,28	54 829,70	0,80	5 013,74	0,98	2 213 822,27	1,85	1,96	64 232,77	1,20
2	WÜK und langw. Strahl	0;0	19;6,5	127 791,25	1,11	-324 941,80	2,66	102 155,89	1,49	5 443,97	1,06	541 198,76	0,45	0,92	30 171,37	1,28
1	WÜK und langw. Strahl	100;50	19;6,5	144 007,48	1,25	-49 386,06	0,40	56 751,07	0,83	5 029,05	0,98	1 991 407,60	1,66	1,83	59 813,72	1,16
0	Startwerte		100%	115 173,20	1,00	-121 953,27	1,00	68 514,69	1,00	5 115,01	1,00	1 199 557,72	1,00	1,00	32 729,94	1,00

7.2.2 Kalibrierung 2

7.2.2.1 Tabelle der verschatteten Simulation

Tabelle 23: Kalibrierung 2 Tabelle der unverschatteten Simulation

2 - Sensitivitätsanalyse		Delta-Z Fehler																				MWF 2						
		ISIRH03_RH		ISIRH04_RH		ISIRH03_T		ISIRH04_T		ISIRH23_RH		ISIRH24_RH		ISIRH23_T		ISIRH04_T		ISITRGL		ISIT		ISIRH_RH		ISIRH_T				
Nr.	Parameter	Wert	Standard	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16	F17	F18	F19	F20	F21	F22	MWF 2		
Aktuell				943 537,05	0,42	1 484 069,25	0,62	330 923,73	0,18	448 468,94	0,23	599 939,38	0,28	678 228,21	0,32	84 057,55	0,98	81 934,60	0,98	399 039,29	0,41	57 104,06	0,98	6 797 613,31	1,00	2 891 877,39	1,00	0,621
				774 197,28	0,34	1 239 505,20	0,52	328 646,85	0,17	439 804,09	0,22	573 732,98	0,27	649 245,42	0,30	68 020,37	0,79	66 635,63	0,79	396 412,40	0,41	48 522,06	0,83	6 801 834,63	1,00	2 882 247,91	0,98	0,559
224	INNENTEMP Verschiebung	-0,5	0	2 238 812,32	1,00	2 328 883,73	0,98	1 883 331,68	1,00	1 971 852,08	1,00	1 135 196,08	1,00	1 143 101,81	1,00	70 748,52	0,83	69 744,89	0,83	977 161,63	1,00	50 222,20	0,86	6 861 172,61	1,00	2 879 136,29	0,98	0,957
223	INNENTEMP Verschiebung	-2	0	2 303 272,29	1,00	2 192 113,07	0,92	1 888 490,38	1,00	1 976 396,69	1,00	1 137 977,71	1,00	1 109 477,39	1,00	59 630,25	0,70	60 722,60	0,72	977 073,77	1,00	48 359,27	0,82	6 429 891,67	1,00	2 768 047,55	0,95	0,947
222	INNENTEMP Verschiebung	+1	0	2 241 897,05	1,00	2 267 811,92	0,95	1 884 440,88	1,00	1 973 425,33	1,00	1 137 932,28	1,00	1 143 669,86	1,00	62 154,89	0,73	61 849,81	0,74	977 118,63	1,00	47 987,48	0,83	6 497 510,09	1,00	2 836 819,94	0,97	0,935
233	LUFT Wärmeleitfah	0,075	0,155	2 242 947,67	1,00	2 382 993,94	1,00	1 883 007,90	1,00	1 971 362,15	1,00	2 071 199,41	0,98	2 079 030,57	0,98	73 387,24	0,86	72 161,72	0,86	977 256,20	1,00	56 247,64	1,00	6 843 009,35	1,00	2 927 484,12	1,00	0,972
220	LUFT Wärmeleitfah	0,01	0,155	2 134 635,55	0,95	2 137 919,07	0,90	1 880 855,24	1,00	1 963 046,99	1,00	1 787 166,51	0,84	1 770 111,36	0,83	68 922,39	0,72	67 246,93	0,74	977 732,98	1,00	61 092,29	1,00	6 422 981,66	1,00	2 932 798,39	1,00	0,935
219	LUFT Wärmeleitfah	0,05	0,155	2 233 546,71	0,99	2 362 188,17	0,99	1 883 757,18	1,00	1 972 383,48	1,00	2 014 749,65	0,95	2 020 418,64	0,95	65 880,28	0,77	65 093,99	0,78	977 311,51	1,00	58 941,87	1,00	6 441 199,39	1,00	2 928 107,89	1,00	0,953
218	LUFT Wärmeleitfah	0,2	0,155	2 255 286,90	1,00	2 409 963,80	1,00	1 882 046,63	1,00	1 970 037,58	1,00	2 151 638,38	1,00	2 169 222,94	1,00	66 977,87	0,81	66 386,77	0,81	977 191,77	1,00	57 615,88	0,99	6 445 539,81	1,00	2 926 556,74	1,00	0,909
217	LUFT Wärmeleitfah	0,1	0,155	2 247 648,26	1,00	2 383 364,91	1,00	1 882 631,30	1,00	1 970 840,18	1,00	2 101 853,91	0,99	2 110 789,53	0,99	78 216,86	0,91	76 763,68	0,91	977 227,35	1,00	58 017,83	1,00	6 443 930,62	1,00	2 927 122,46	1,00	0,984
216	FQ LDKlasse A Luftsäule	0	5	2 217 504,49	0,99	2 333 991,80	0,98	1 882 893,46	1,00	1 970 907,96	1,00	2 098 921,31	0,99	2 110 739,74	0,99	84 218,67	0,98	82 518,89	0,98	977 076,25	1,00	57 741,20	0,99	6 445 913,38	1,00	2 926 634,60	1,00	0,992
215	FQ LDKlasse A Luftsäule	-2	5	2 231 254,09	0,99	2 361 999,15	0,99	1 882 555,02	1,00	1 970 570,91	1,00	2 113 353,02	1,00	2 124 472,35	1,00	84 197,66	0,98	82 498,16	0,98	977 118,28	1,00	57 733,79	0,99	6 445 719,80	1,00	2 926 641,57	1,00	0,994
214	FQ LDKlasse A Luftsäule	4	5	2 245 998,63	1,00	2 381 130,31	1,00	1 882 246,87	1,00	1 970 265,68	1,00	2 128 587,68	1,00	2 138 981,98	1,00	84 178,50	0,98	82 479,29	0,98	977 159,19	1,00	57 727,25	0,99	6 445 381,06	1,00	2 926 644,99	1,00	0,997
213	kw SAZ	0,3	0,6	2 220 357,23	1,00	2 359 891,80	1,00	1 757 106,74	0,93	1 865 552,80	0,94	2 088 630,24	0,98	2 103 683,98	0,99	83 155,23	0,97	81 499,39	0,97	971 263,00	1,00	57 649,33	0,99	6 453 796,13	1,00	2 925 015,64	1,00	0,991
212	kw SAZ	0,4	0,6	2 288 149,39	1,00	2 521 087,23	1,00	1 794 397,81	0,95	1 896 029,38	0,96	2 095 270,12	0,99	2 108 697,95	0,99	83 479,28	0,97	81 809,24	0,97	968 195,82	0,99	57 674,31	0,99	6 450 996,31	1,00	2 925 563,09	1,00	0,991
211	kw SAZ	0,53	0,6	2 380 473,94	1,00	2 641 473,11	1,00	1 849 427,80	0,98	1 942 204,24	0,98	2 117 987,83	1,00	2 129 227,10	1,00	83 920,29	0,98	82 231,43	0,98	971 742,22	0,99	57 704,02	0,99	6 447 964,01	1,00	2 926 283,13	1,00	0,995
210	kw SAZ	0,57	0,6	2 265 877,65	1,00	2 419 767,10	1,00	1 867 820,98	0,99	1 957 880,85	0,99	2 127 746,28	1,00	2 138 116,10	1,00	84 058,54	0,98	82 363,83	0,98	974 546,05	1,00	57 714,59	0,99	6 446 251,61	1,00	2 926 496,83	1,00	0,997
209	kw SAZ	0,59	0,6	2 253 633,88	1,00	2 409 867,23	1,00	1 877 281,07	1,00	1 965 983,37	1,00	2 143 311,32	1,00	2 153 390,01	1,00	84 131,70	0,98	82 434,13	0,98	976 253,55	1,00	57 722,84	0,99	6 445 708,66	1,00	2 926 606,53	1,00	0,998
208	kw SAZ	0,7	0,6	2 253 975,85	1,00	2 363 320,40	0,99	1 881 990,07	0,99	1 973 805,09	1,00	2 189 073,12	1,00	2 177 488,42	1,00	84 523,55	0,99	82 810,04	0,99	989 226,94	1,00	57 753,74	0,99	6 449 636,13	1,00	2 927 207,21	1,00	0,999
207	kw SAZ	0,5	0,6	2 284 885,28	1,00	2 457 883,28	1,00	1 836 090,80	0,97	1 930 916,13	0,98	2 111 198,17	1,00	2 122 957,52	1,00	83 815,47	0,98	82 130,82	0,98	970 170,66	0,99	57 699,11	0,99	6 448 303,68	1,00	2 926 115,68	1,00	0,994
206	WÜK Innen	30	19	2 246 130,37	1,00	2 448 879,62	1,00	1 806 286,46	0,96	1 892 980,09	0,96	2 061 265,63	0,97	2 072 769,70	0,97	84 235,00	0,98	82 532,44	0,98	969 024,25	0,99	57 789,74	0,99	6 446 863,90	1,00	2 926 500,68	1,00	0,986
205	WÜK Innen	40	19	2 245 846,53	1,00	2 433 980,34	1,00	1 779 373,42	0,94	1 865 645,40	0,94	2 036 338,32	0,96	2 048 361,47	0,96	84 259,49	0,98	82 555,59	0,98	970 165,18	0,99	57 817,32	0,99	6 447 476,37	1,00	2 926 433,04	1,00	0,982
204	WÜK Innen	15	19	2 288 106,39	1,00	2 489 444,61	1,00	1 990 823,83	1,00	2 040 220,94	1,00	2 289 562,10	1,00	2 318 390,93	1,00	84 106,05	0,98	82 410,26	0,98	984 885,88	1,00	57 669,05	0,99	6 448 107,68	1,00	2 926 784,86	1,00	0,993
203	WÜK Innen	25	19	2 247 283,99	1,00	2 417 213,49	1,00	1 830 227,76	0,97	1 917 318,98	0,97	2 084 140,38	0,98	2 095 185,48	0,98	84 213,25	0,98	82 511,72	0,98	970 017,46	0,99	57 768,95	0,99	6 446 422,58	1,00	2 926 549,89	1,00	0,990
202	AUßENTEMP Verschiebung	2,5	0	2 273 120,64	1,00	2 191 432,17	0,92	1 808 572,08	1,00	1 930 070,20	0,98	2 091 793,65	0,99	2 091 844,74	0,98	88 952,84	1,00	88 700,45	1,00	1 034 111,95	1,00	58 989,91	0,99	6 428 694,58	1,00	2 950 646,28	1,00	1,000
201	AUßENTEMP Verschiebung	-2	0	2 272 113,34	1,00	2 289 068,71	1,00	1 843 757,17	0,99	1 941 286,38	1,00	2 227 466,88	1,00	2 296 458,48	1,00	80 851,31	0,94	79 296,84	0,94	1 034 480,73	1,00	57 136,40	0,98	6 459 226,88	1,00	2 923 574,44	1,00	1,000
200	AUßENTEMP Verschiebung	3	0	2 180 180,90	1,00	2 195 453,20	0,92	1 880 981,18	1,00	1 937 162,25	0,98	2 097 418,52	0,99	2 095 782,92	0,98	88 998,12	1,00	87 968,98	1,00	1 048 321,36	1,00	58 864,85	1,00	6 425 337,82	1,00	2 931 212,39	1,00	1,011
199	AUßENTEMP Verschiebung	1,5	0	2 289 916,45	1,00	2 235 367,85	0,94	1 893 726,91	1,00	1 931 063,39	0,98	2 094 032,26	0,99	2 097 794,04	0,98	88 818,91	1,00	87 909,83	1,00	989 568,28	1,00	58 187,33	1,00	6 435 374,77	1,00	2 928 916,68	1,00	0,995
198	AUßENTEMP Verschiebung	-2	0	2 311 087,50	1,00	2 205 471,47	0,93	1 901 621,73	1,00	1 928 042,01	0,98	2 090 360,15	0,99	2 092 253,96	0,98	87 737,85	1,00	85 885,01	1,00	1 004 308,40	1,00	58 363,88	1,00	6 432 010,95	1,00	2 938 683,01	1,00	0,999
197	AUßENTEMP Verschiebung	0,5	0	2 243 081,32	1,00	2 336 683,98	0,98	1 880 967,07	1,00	1 952 097,73	0,99	2 116 704,48	1,00	2 124 548,22	1,00	85 036,00	0,99	83 300,43	0,99	976 030,58	1,00	57 877,33	1,00	6 442 043,98	1,00	2 927 425,77	1,00	0,995
196	AUßENTEMP Verschiebung	1	0	2 247 848,07	1,00	2 279 507,80	0,96	1 884 842,58	1,00	1 939 078,22	0,98	2 102 707,08	0,99	2 108 433,18	0,99	85 016,88	1,00	84 317,14	1,00	980 133,08</								

183	OSB Außen BF	50	92	2.188.950,00	1,13	1.939.770,89	0,81	1.838.980,08	1,00	1.976.947,24	1,00	2.003.028,96	0,94	2.030.899,87	0,95	84.581,68	0,99	82.878,02	0,99	976.375,68	1,00	57.858,57	1,00	6.431.834,28	1,00	2.926.229,04	1,00	0,986
162	OSB Außen BF	45	92	2.991.855,88	1,13	1.977.538,16	0,83	1.898.781,28	1,00	1.976.308,68	1,00	1.959.463,11	0,92	1.991.400,19	0,93	84.348,58	0,98	82.650,90	0,98	976.372,81	1,00	57.857,93	1,00	6.451.848,25	1,00	2.926.222,71	1,00	0,984
161	OSB AUßEN Wärmeleitfah	0,009	0,13	1.779.484,13	0,79	1.507.120,09	0,63	1.354.610,20	0,72	1.293.848,26	0,66	1.526.089,52	0,72	1.529.010,84	0,72	83.888,47	1,07	88.761,28	1,07	959.001,14	0,98	59.787,54	1,03	6.413.405,93	1,00	2.932.022,28	1,00	0,865
160	OSB AUßEN Wärmeleitfah	0,009	0,13	1.877.713,65	0,83	1.762.229,66	0,74	1.873.633,44	0,73	1.342.618,27	0,68	1.614.963,75	0,76	1.619.871,67	0,76	90.000,33	1,08	98.024,81	1,08	958.505,66	0,98	59.345,25	1,01	6.420.631,87	1,00	2.910.881,28	1,00	0,884
159	OSB AUßEN Wärmeleitfah	0,02	0,13	2.158.232,61	0,96	2.284.482,54	0,96	1.528.135,87	0,81	1.562.674,15	0,79	1.896.904,82	0,89	1.905.932,12	0,89	88.373,80	1,01	88.406,11	1,01	959.470,10	0,98	58.980,24	1,00	6.435.480,28	1,00	2.918.399,48	1,00	0,942
158	OSB AUßEN Wärmeleitfah	0,03	0,13	2.242.053,52	1,00	2.418.933,34	1,01	1.624.866,12	0,86	1.679.941,36	0,85	2.000.970,04	0,94	2.011.093,49	0,94	85.147,48	0,99	83.381,14	0,99	962.117,77	0,98	58.099,49	1,00	6.439.798,30	1,00	2.927.630,42	1,00	0,965
157	OSB AUßEN Wärmeleitfah	0,07	0,13	2.330.485,18	1,04	2.568.985,48	1,09	1.798.034,61	0,95	1.877.592,76	0,95	2.181.024,10	1,00	2.142.961,84	1,01	83.965,76	0,98	82.262,85	0,98	970.890,62	0,99	57.753,98	0,99	6.464.773,27	1,00	2.926.747,51	1,00	0,997
156	ZELL Dampfdiffwid	300	1,8	2.240.105,61	1,00	1.394.162,27	0,59	1.903.455,42	1,08	1.993.732,89	1,09	1.170.837,38	0,55	1.229.537,52	0,58	84.941,48	0,99	83.223,47	0,99	978.197,29	1,00	58.782,88	1,00	6.478.785,37	1,01	2.924.852,18	1,00	0,893
155	ZELL Dampfdiffwid	200	1,8	2.296.438,25	1,00	1.421.053,23	0,60	1.903.182,38	1,08	1.991.388,33	1,09	1.134.327,30	0,53	1.190.425,37	0,56	84.901,30	0,99	83.183,99	0,99	978.122,78	1,00	58.137,19	1,00	6.478.068,23	1,01	2.924.846,26	1,00	0,893
154	ZELL Dampfdiffwid	150	1,8	2.312.108,71	1,00	1.426.850,73	0,60	1.902.886,34	1,08	1.991.086,18	1,09	1.105.418,01	0,52	1.159.265,19	0,54	84.869,64	0,99	83.152,84	0,99	978.063,28	1,00	58.124,69	1,00	6.477.563,32	1,01	2.924.839,52	1,00	0,891
153	ZELL Dampfdiffwid	75	1,8	2.228.270,15	0,99	1.380.158,98	0,58	1.902.011,34	1,08	1.990.158,74	1,09	1.039.204,95	0,49	1.085.768,83	0,51	84.763,35	0,99	83.048,29	0,99	978.093,24	1,00	58.089,29	1,00	6.475.373,38	1,01	2.924.831,23	1,00	0,881
152	ZELL Dampfdiffwid	25	1,8	1.953.485,50	0,87	1.361.224,43	0,57	1.899.380,98	1,08	1.987.638,34	1,09	1.043.725,41	0,49	1.074.398,59	0,50	84.495,02	0,99	82.783,90	0,99	978.190,87	1,00	58.010,07	1,00	6.469.483,07	1,01	2.924.878,18	1,00	0,869
151	ZELL Dampfdiffwid	50	1,8	2.117.559,67	0,94	1.366.145,13	0,56	1.902.729,83	1,08	1.989.396,78	1,09	1.014.840,44	0,48	1.055.955,98	0,50	84.678,49	0,99	82.964,60	0,99	978.082,98	1,00	58.063,82	1,00	6.473.623,15	1,01	2.924.832,65	1,00	0,873
150	PV Emissionszahl	1	0,5	2.511.538,24	1,12	2.894.833,11	1,28	1.850.707,74	0,98	1.980.695,01	1,00	2.218.984,14	1,08	2.234.986,02	1,08	81.551,27	0,95	79.964,58	0,95	974.357,39	1,00	57.328,05	0,99	6.489.622,87	1,00	2.923.634,57	1,00	1,085
149	PV Emissionszahl	0	0,5	2.392.203,94	1,06	2.360.153,16	0,99	2.003.788,02	1,08	2.033.178,73	1,09	2.281.145,45	1,08	2.284.877,18	1,09	88.830,70	1,01	88.900,99	1,01	1.087.832,29	1,00	58.063,40	1,00	6.428.916,51	1,00	2.898.171,38	1,00	1,034
148	PV Absorptionszahl	1	0,3	1.199.783,18	0,87	1.585.772,58	1,14	2.984.660,28	1,37	2.960.498,81	1,36	3.295.008,82	1,38	3.291.099,02	1,34	89.932,30	1,08	92.464,74	1,04	1.286.943,23	1,03	58.058,81	1,00	6.406.942,41	1,00	2.934.289,50	1,00	1,355
147	PV Absorptionszahl	0	0,3	2.598.398,79	1,13	3.046.400,88	1,18	1.669.847,92	0,89	1.798.596,39	0,91	2.116.816,05	1,00	2.138.429,29	1,06	81.656,12	0,95	80.062,78	0,95	1.010.993,29	1,01	57.495,54	0,99	6.463.810,63	1,00	2.923.081,19	1,00	1,014
146	adaptive Zeitschrittsteuern	3	5	2.398.070,06	1,05	2.579.886,67	1,08	1.879.857,42	1,00	1.967.736,08	1,00	2.177.886,91	1,03	2.189.380,54	1,03	83.588,42	0,98	81.908,17	0,98	977.226,47	1,00	57.634,12	0,99	6.448.428,86	1,00	2.926.419,79	1,00	1,010
145	AÜBENTEMP Verschiebung	-10	0	2.544.302,20	1,08	2.388.491,64	1,04	2.950.898,28	1,38	3.178.088,44	1,43	3.825.601,43	1,54	69.654,91	0,81	68.683,01	0,82	2.097.188,48	1,01	55.058,76	0,95	6.518.634,86	1,01	2.911.384,17	0,99	1,424		
144	AÜBENTEMP Verschiebung	10	0	2.531.895,38	1,08	2.396.937,47	1,09	2.814.807,93	1,34	2.964.429,73	1,38	3.811.271,05	1,43	2.605.683,29	1,42	80.859,88	1,01	80.428,29	1,01	1.964.744,41	1,00	61.034,34	1,05	6.381.252,44	0,99	2.941.911,78	1,00	1,474
143	INNENTEMP Verschiebung	-10	0	2.512.227,32	1,08	2.397.889,33	1,09	2.808.985,16	1,36	2.993.297,96	1,39	3.828.343,98	1,43	3.882.081,43	1,43	79.799,04	1,01	79.901,39	1,01	977.251,40	1,00	61.034,34	1,05	6.366.218,95	0,99	2.978.833,01	1,00	1,488
142	INNENTEMP Verschiebung	10	0	2.787.774,31	1,28	2.668.488,79	1,26	1.842.482,89	0,98	1.919.901,17	0,97	2.858.042,77	1,38	3.113.182,08	1,46	88.888.888,89	16,02	88.888.888,89	16,02	5.777.109,73	1,00	61.034,34	1,05	5.524.782,84	1,01	4.988.860,41	1,00	5,584
141	GFP Wasserdampfdiff	100000	16	2.478.578,08	1,10	2.798.384,82	1,18	1.875.748,90	0,99	1.962.953,38	0,99	2.345.057,88	1,34	2.343.144,38	1,34	82.740,13	0,97	81.101,87	0,97	978.438,07	1,00	57.377,56	0,99	6.380.745,78	1,01	2.925.478,47	1,00	1,112
140	GFP Wasserdampfdiff	0,1	16	2.310.792,82	1,03	2.434.338,95	1,08	1.880.827,73	1,00	1.968.741,57	1,00	2.052.612,84	0,97	2.063.339,45	0,97	83.924,30	0,98	82.234,94	0,98	977.096,17	1,00	57.750,16	0,99	6.434.484,99	1,00	2.926.605,91	1,00	0,996
139	GFP Wärmeleitfah.	1000	0,32	2.361.207,15	1,05	2.385.989,05	1,08	1.879.644,09	1,00	1.967.450,26	1,00	2.191.444,38	1,03	2.203.667,29	1,03	88.888,08	1,01	88.888,08	1,01	977.219,11	1,00	57.425,07	0,99	6.447.608,98	1,00	2.926.177,79	1,00	1,017
138	GFP Wärmeleitfah.	0,01	0,32	2.394.563,93	1,07	2.446.171,48	1,09	1.884.179,58	1,00	1.973.591,12	1,00	1.953.052,88	0,92	1.954.674,76	0,92	87.853,06	0,68	88.653,89	0,70	977.455,46	1,00	61.034,34	1,05	6.433.995,46	1,00	2.931.765,68	1,00	0,943
137	GFP spez WK	100000	1200	2.398.347,34	1,05	2.576.994,49	1,08	1.879.814,45	1,00	1.967.700,41	1,00	2.197.993,75	1,03	2.208.388,68	1,03	78.702,30	0,92	77.074,66	0,92	977.175,04	1,00	49.829,17	0,86	6.423.830,70	1,00	2.931.618,47	1,00	0,991
136	GFP spez WK	1	1200	2.358.022,31	1,05	2.579.978,45	1,08	1.879.857,42	1,00	1.967.733,80	1,00	2.176.252,02	1,03	2.188.046,54	1,03	84.083,83	0,98	82.404,93	0,98	977.226,81	1,00	58.570,88	1,00	6.447.603,33	1,00	2.928.126,74	1,00	1,014
135	GFP Porosität	0,75	0,52	2.358.068,38	1,05	2.579.886,67	1,08	1.879.857,42	1,00	1.967.736,08	1,00	2.177.886,91	1,03	2.189.380,54	1,03	83.588,34	0,98	81.908,10	0,98	977.226,47	1,00	57.634,37	0,99	6.446.428,86	1,00	2.926.420,15	1,00	1,010
134	GFP Porosität	0,999	0,52	2.358.071,06	1,05	2.579.886,67	1,08	1.879.857,42	1,00	1.967.736,08	1,00	2.177.886,91	1,03	2.189.380,54	1,03	83.588,27	0,98	81.908,03	0,98	977.226,47	1,00	57.634,34	0,99	6.446.428,86	1,00	2.926.420,13	1,00	1,010
133	GFP Rohdichte	100000	1153	2.358.786,80	1,05	2.579.263,88	1,08	1.879.820,38	1,00	1.967.704,48	1,00	2.197.909,99	1,03	2.208.813,31	1,03	78.575,16	0,92	76.947,10	0,92	977.175,71	1,00	49.696,86	0,85	6.423.875,07	1,00	2.932.035,64	1,00	0,990
132	GFP Rohdichte	1	1153	2.358.022,32	1,05	2.579.977,84	1,08	1.879.857,42	1,00	1.967.733,80	1,00	2.176.252,02	1,03	2.188.046,54	1,03	84.083,83	0,98	82.404,93	0,98	977.226,81	1,00	58.569,63	1,00	6.447.603,33	1,00	2.928.126,74	1,00	1,014
131	LUFT Wasserdampfdiff	10																										

93	ZELL Rohdichte	50000	50	2 354 897,78	1,00	2 704 839,34	1,14	1 535 856,53	0,81	1 589 955,67	0,81	2 871 882,55	1,31	2 892 988,62	1,28	77 015,71	0,90	74 810,79	0,89	906 537,78	0,93	56 113,67	0,97	6 312 638,83	0,98	2 933 219,71	1,00	1 011
92	ZELL Rohdichte	2500	50	2 238 376,46	1,00	2 639 483,80	1,21	1 698 970,14	0,90	1 781 953,31	0,90	2 883 716,66	1,17	2 903 381,77	1,13	98 086,99	1,00	84 380,44	1,00	943 292,23	0,96	57 444,37	0,99	6 480 019,28	1,01	2 920 037,63	1,00	1 011
91	ZELL Rohdichte	0,01	50	2 386 416,90	1,00	2 806 298,42	1,09	1 822 877,30	0,90	2 013 218,18	1,07	2 181 970,96	1,00	2 193 986,28	1,01	87 107,94	1,04	85 325,03	1,04	962 815,21	1,01	58 729,43	1,00	6 435 568,45	1,00	2 928 836,84	1,00	1 011
90	OSB AUßEN Wärmeleitf. T	0,001	0,0002	2 381 879,89	1,00	2 814 647,34	1,19	1 883 154,98	1,00	1 971 277,88	1,00	2 185 004,79	1,09	2 196 996,13	1,01	85 379,38	1,00	83 618,11	1,00	977 943,84	1,00	58 114,33	1,00	6 435 646,48	1,00	2 928 836,84	1,00	1 011
89	OSB AUßEN Wärmeleitf. T	0,00001	0,00002	2 383 843,32	1,00	2 819 702,77	1,10	1 883 897,83	1,00	1 972 726,35	1,00	2 186 711,37	1,09	2 188 689,84	1,01	85 342,83	1,00	83 583,21	1,00	977 789,33	1,00	58 109,14	1,00	6 435 851,99	1,00	2 928 840,92	1,00	1 011
88	OSB AUßEN Wärmeleitf. T-nt generieren			2 383 807,18	1,00	2 820 211,00	1,10	1 883 897,89	1,00	1 972 799,67	1,00	2 186 804,73	1,09	2 188 772,08	1,01	85 338,29	1,00	83 578,84	1,00	977 783,86	1,00	58 107,87	1,00	6 435 878,73	1,00	2 928 842,97	1,00	1 011
87	OSB AUßEN Wärmeleitf. F	3	1,5	2 387 799,29	1,00	2 824 213,28	1,10	1 883 481,98	1,00	1 961 629,88	1,00	2 185 375,30	1,09	2 207 815,98	1,04	85 282,45	1,00	83 526,62	1,00	999 818,28	1,00	58 085,71	1,00	6 436 113,01	1,00	2 928 093,11	1,00	1 000
86	OSB AUßEN Wärmeleitf. F-nt generieren			2 378 190,11	1,00	2 827 523,27	1,10	1 857 916,72	0,99	1 944 390,84	0,98	2 172 775,69	1,09	2 188 371,43	1,01	85 447,12	1,00	83 681,01	1,00	975 611,95	1,00	58 183,63	1,00	6 435 355,40	1,00	2 928 223,90	1,00	1 011
85	OSB AUßEN Flüssigkeitstr.generieren			2 381 846,17	1,11	2 805 012,17	1,18	1 882 153,99	1,00	1 970 840,86	1,00	2 188 160,34	1,09	2 188 631,72	1,01	85 322,25	1,00	83 563,32	1,00	977 593,01	1,00	58 103,76	1,00	6 435 884,10	1,00	2 928 840,70	1,00	1 000
84	OSB AUßEN Flüssigkeitstr.generieren			2 383 348,88	1,00	2 819 177,53	1,10	1 883 881,61	1,00	1 972 634,12	1,00	2 186 381,30	1,09	2 188 324,89	1,01	85 347,57	1,00	83 587,81	1,00	977 808,40	1,00	58 109,82	1,00	6 435 830,66	1,00	2 928 842,51	1,00	1 011
83	OSB AUßEN Feuchtespeich. Appro			1 737 652,20	0,77	1 618 794,10	0,68	1 888 188,08	1,00	1 977 138,00	1,00	2 262 883,48	1,11	2 378 003,37	1,13	85 284,24	1,00	83 522,34	1,00	978 831,68	1,00	58 113,02	1,00	6 435 431,88	1,00	2 927 881,52	1,00	0,973
82	OSB AUßEN Wasserdampf	0,01	175	2 063 715,12	0,92	1 994 771,48	0,84	1 895 279,28	1,00	1 983 876,38	1,00	2 310 794,43	1,13	2 320 205,77	1,13	84 880,31	0,99	83 123,60	0,99	982 913,95	1,01	57 988,49	1,00	6 430 151,66	1,00	2 928 833,83	1,00	1 000
81	OSB AUßEN Wasserdampf	100	175	2 781 113,80	1,00	2 913 704,78	1,04	1 884 404,00	1,00	1 973 188,51	1,00	2 260 398,74	1,07	2 371 307,66	1,07	85 286,00	1,00	83 525,94	1,00	977 610,60	1,00	58 088,83	1,00	6 435 162,01	1,00	2 928 116,47	1,00	1 011
80	OSB AUßEN Wasserdampf	10000	175	2 703 991,93	1,10	2 909 393,20	1,18	1 882 706,27	1,00	1 971 459,00	1,00	1 952 880,21	0,92	1 968 928,51	0,92	85 557,86	1,00	83 798,33	1,00	978 789,30	1,00	58 185,21	1,00	6 438 179,90	1,00	2 928 340,53	1,00	1 011
79	OSB AUßEN Wasserdampf	1	175	2 131 072,81	0,95	2 096 084,33	0,88	1 894 816,31	1,00	1 983 886,90	1,00	2 307 020,78	1,13	2 316 084,93	1,13	84 865,44	0,99	83 108,30	0,99	978 218,98	1,00	57 992,34	1,00	6 430 250,29	1,00	2 928 838,78	1,00	1 011
78	OSB AUßEN Wärmeleitfah	1	0,13	2 488 765,83	1,01	2 844 918,80	1,14	1 976 621,20	1,00	2 073 820,98	1,00	2 231 140,19	1,06	2 243 603,18	1,06	85 015,86	0,99	83 275,95	0,99	987 511,88	1,01	57 997,94	1,00	6 431 130,20	1,00	2 927 893,19	1,00	1 011
77	OSB AUßEN Wärmeleitfah	10	0,13	2 489 890,88	1,01	2 847 323,27	1,14	1 989 689,28	1,00	2 086 829,93	1,00	2 227 443,60	1,06	2 249 893,09	1,06	84 975,99	0,99	83 238,49	0,99	989 114,90	1,01	57 980,72	1,00	6 437 826,17	1,00	2 927 860,71	1,00	1 011
76	OSB AUßEN Wärmeleitfah	0,01	0,13	1 949 364,61	0,87	1 922 895,97	0,81	1 389 452,59	0,74	1 374 458,81	0,70	1 677 680,75	0,79	1 683 655,26	0,79	80 888,64	0,88	88 889,38	0,88	958 569,99	0,98	58 912,80	1,00	6 415 842,75	1,00	2 931 888,00	1,00	0,900
75	OSB AUßEN Spez Wärmek	3000	1400	2 390 407,79	1,00	2 834 137,24	1,11	1 830 525,00	0,97	1 919 262,41	0,97	2 183 774,83	1,09	2 195 848,18	1,01	85 277,57	1,00	83 513,70	1,00	983 401,48	1,01	58 116,18	1,00	6 436 014,77	1,00	2 928 118,30	1,00	1 011
74	OSB AUßEN Spez Wärmek	10000	1400	2 418 825,93	1,02	2 884 398,17	1,13	1 839 189,21	0,87	1 723 772,49	0,87	2 178 883,31	1,09	2 188 388,79	1,01	85 119,38	0,99	83 336,12	0,99	977 733,04	1,00	58 125,71	1,00	6 436 605,78	1,00	2 927 976,05	1,00	0,998
73	OSB AUßEN Spez Wärmek	100	1400	2 377 568,23	1,00	2 868 873,00	1,09	1 822 788,94	1,00	2 010 871,24	1,07	2 188 322,70	1,09	2 200 181,52	1,01	85 410,93	1,00	83 652,65	1,00	967 917,73	0,99	58 102,47	1,00	6 435 681,17	1,00	2 928 888,90	1,00	1 000
72	OSB AUßEN Porosität	0,7	0,9	2 383 877,18	1,00	2 819 143,78	1,10	1 883 911,40	1,00	1 972 666,42	1,00	2 188 611,64	1,09	2 198 564,90	1,01	85 347,71	1,00	83 587,96	1,00	977 812,81	1,00	58 109,82	1,00	6 435 830,66	1,00	2 928 842,51	1,00	1 011
71	OSB AUßEN Porosität	0,8	0,9	2 383 851,87	1,00	2 819 179,54	1,10	1 883 931,65	1,00	1 972 689,61	1,00	2 188 611,64	1,09	2 198 564,90	1,01	85 347,71	1,00	83 587,96	1,00	977 812,81	1,00	58 109,70	1,00	6 435 831,21	1,00	2 928 842,51	1,00	1 011
70	OSB Außen ROHDICHTE	3500	615	2 485 195,48	1,01	2 868 884,17	1,13	1 854 399,17	0,88	1 737 913,16	0,88	2 165 074,88	1,00	2 177 415,80	1,00	85 230,57	0,99	83 445,88	0,99	969 303,87	0,99	58 188,13	1,00	6 436 095,53	1,00	2 928 075,61	1,00	0,997
69	OSB Außen ROHDICHTE	1500	615	2 388 783,75	1,00	2 834 098,89	1,11	1 799 148,72	0,95	1 886 405,16	0,96	2 175 411,43	1,09	2 187 441,80	1,01	85 308,49	1,00	83 539,69	1,00	983 489,77	1,01	58 136,60	1,00	6 435 809,95	1,00	2 928 838,69	1,00	1 011
68	OSB Außen ROHDICHTE	5	615	2 485 179,99	1,01	2 868 818,97	1,13	1 854 399,17	0,88	1 737 913,16	0,88	2 165 074,88	1,00	2 177 415,80	1,00	85 230,57	0,99	83 445,88	0,99	971 075,71	0,99	57 982,69	1,00	6 437 556,11	1,00	2 927 883,34	1,00	1 011
67	FQ LDKlasse A Luftsäule	10	5	2 425 573,13	1,00	2 894 188,39	1,13	1 883 013,44	1,00	1 971 774,25	1,00	2 238 135,11	1,06	2 240 608,83	1,06	85 300,17	1,00	83 540,66	1,00	977 927,27	1,00	58 094,85	1,00	6 435 327,21	1,00	2 928 109,21	1,00	1 011
66	FQ LDKlasse A Luftsäule	99	5	2 145 440,64	1,00	2 805 013,18	1,00	1 863 874,68	0,99	1 952 380,19	0,99	2 100 182,85	1,06	2 089 826,51	1,01	84 603,66	0,99	82 846,62	0,99	979 109,45	1,00	57 848,76	1,00	6 428 782,24	1,00	2 928 000,74	1,00	1 101
65	FQ LDKlasse A Luftsäule	0,5	5	2 398 811,81	1,00	2 839 847,88	1,07	1 884 645,35	1,00	1 973 388,82	1,00	2 188 953,17	1,09	2 188 028,17	1,01	85 387,50	1,00	83 627,42	1,00	977 712,08	1,00	58 121,48	1,00	6 436 311,38	1,00	2 928 838,69	1,00	1 011
64	FQ Luftdichtheitsklasse	C	A	2 548 180,90	1,11	2 813 067,98	1,12	1 880 309,35	1,00	1 969 070,05	1,00	2 271 483,83	1,12	2 276 524,84	1,12	85 178,34	0,99	83 419,09	0,99	978 182,11	1,00	58 050,90	1,00	6 434 018,93	1,00	2 928 137,01	1,00	1 048
63	FQ Luftdichtheitsklasse	B	A	2 466 672,32	1,10	2 787 173,00	1,10	1 882 136,59	1,00	1 970 898,39	1,00	2 178 148,37	1,07	2 184 776,42	1,01	85 258,63	0,99	83 499,14	0,99	978 041,40	1,00	58 079,59	1,00	6 434 898,18	1,00	2 928 858,24	1,00	1 011
62	Gipsfaserplatte BF	500	15,8	2 383 348,88	1,00	2 819 177,54	1,10	1 883 881,61	1,00	1 972 634,12	1,00	2 188 381,30	1,09	2 188 324,89	1,01	85 347,57	1,00	83 587,81	1,00	977 808,40	1,00	58 109,82	1,00	6 435 830,66	1,00	2 928 842,51	1,00	1 011
61	Gipsfaserplatte BF																											

23	terr kw RG	0	0,2	2 248 872,50	1,00	2 381 307,45	1,00	1 886 178,15	1,00	1 974 922,33	1,00	2 120 569,39	1,00	2 131 495,37	1,00	85 692,06	1,00	83 925,32	1,00	977 634,91	1,00	58 138,92	1,00	6 436 757,62	1,00	2 928 117,39	1,00	1,000
22	lw SAZ	0,5	0,9	2 255 278,77	1,00	2 285 721,79	0,96	1 933 637,43	1,00	1 989 198,84	1,00	2 115 554,95	1,00	2 123 133,61	1,00	96 823,67	1,00	85 007,99	1,00	1 001 725,88	1,00	58 394,86	1,00	6 430 139,94	1,00	2 929 504,95	1,00	1,001
21	lw SAZ	1	0,9	2 255 427,10	1,00	2 409 939,00	1,01	1 879 771,54	1,00	1 973 826,92	1,00	2 115 996,17	1,00	2 117 126,49	1,00	85 437,73	1,00	83 682,12	1,00	974 391,69	1,00	58 102,16	1,00	6 438 252,07	1,00	2 927 796,31	1,00	1,001
20	lw SAZ	0	0,9	2 281 899,34	1,06	2 240 506,43	0,94	2 008 231,13	1,06	2 098 477,75	1,04	2 112 181,91	1,01	2 131 151,79	1,01	88 398,17	1,01	86 610,40	1,01	1 088 110,87	1,01	58 589,48	1,01	6 420 428,95	1,00	2 911 901,88	1,00	1,004
19	kw SAZ	0,5	0,6	2 235 812,82	1,00	2 429 943,45	1,01	1 840 016,79	0,98	1 935 572,65	0,98	2 100 526,40	0,99	2 113 140,96	0,99	85 367,08	1,00	83 613,76	1,00	970 603,22	0,99	58 116,40	1,00	6 439 370,68	1,00	2 927 611,47	1,00	0,996
18	kw SAZ	1	0,6	2 278 903,52	1,06	2 322 090,03	0,98	2 113 396,31	1,12	2 175 581,77	1,10	2 278 897,79	1,07	2 283 424,88	1,01	87 086,09	1,01	85 364,71	1,01	1 059 842,71	1,01	58 281,24	1,00	6 425 966,80	1,00	2 930 181,42	1,00	1,043
17	kw SAZ	0	0,6	2 429 736,91	1,08	2 297 994,80	1,17	1 675 048,88	0,89	1 804 778,62	0,91	2 112 488,78	1,00	2 144 080,18	1,01	83 856,41	0,98	82 171,06	0,98	1 011 900,73	1,01	57 997,98	1,00	6 487 778,41	1,08	2 924 971,11	1,00	1,099
16	WÜK Innen	100	8	2 296 846,72	1,00	2 397 883,27	1,01	1 885 631,46	1,00	1 974 187,31	1,00	2 162 333,08	1,00	2 174 925,95	1,00	95 393,88	1,11	93 310,60	1,11	977 606,27	1,00	70 887,05	1,21	6 372 281,09	0,99	2 953 921,54	1,00	1,041
15	WÜK Innen	1	8	2 205 492,48	0,98	2 279 192,59	0,96	1 889 681,03	1,00	1 979 625,84	1,00	1 868 832,08	0,88	1 868 985,29	0,88	56 533,97	0,66	56 867,94	0,68	877 351,26	1,00	35 918,61	0,62	2 582 296,42	1,14	2 815 726,09	0,96	0,900
14	WÜK Innen	5000	8	2 258 822,80	1,00	2 398 176,44	1,01	1 885 586,15	1,00	1 974 126,99	1,00	2 165 210,97	1,00	2 178 317,10	1,00	96 333,67	1,11	94 323,90	1,11	977 603,60	1,00	72 413,81	1,21	6 366 610,99	0,99	2 954 398,04	1,00	1,041
13	WÜK Innen	1000	8	2 296 891,72	1,00	2 397 913,85	1,00	1 885 593,60	1,00	1 974 135,50	1,00	2 165 210,97	1,00	2 177 748,99	1,00	96 254,84	1,11	94 347,35	1,11	977 602,33	1,00	73 334,81	1,21	6 367 433,61	0,99	2 958 131,05	1,00	1,041
12	sd-Wert Außen	10000	300	2 245 311,71	1,00	2 379 684,90	1,00	1 886 181,28	1,00	1 974 927,31	1,00	2 112 285,44	1,00	2 131 296,77	1,00	85 691,51	1,00	83 924,75	1,00	977 645,31	1,00	58 138,48	1,00	6 436 743,93	1,00	2 928 117,04	1,00	1,000
11	sd-Wert Außen	1	300	2 247 983,29	1,18	2 313 949,23	1,14	1 886 183,19	1,00	1 974 993,28	1,00	1 875 673,58	0,88	1 895 002,55	0,89	83 768,91	1,09	84 301,21	1,09	976 266,72	1,00	58 183,28	1,00	6 438 410,89	1,08	2 919 149,74	1,00	1,011
10	sd-Wert Außen	2000	300	2 245 807,02	1,00	2 379 886,25	1,00	1 886 183,76	1,00	1 974 927,98	1,00	2 112 178,91	1,00	2 133 069,88	1,00	85 691,69	1,00	83 924,93	1,00	977 646,08	1,00	58 138,54	1,00	6 436 746,31	1,00	2 928 117,08	1,00	1,000
9	WÜK und langw. Strahl	500;100	19;6,5	2 232 606,51	0,99	2 402 050,90	1,01	1 723 352,49	0,91	1 809 282,27	0,92	1 978 603,12	0,93	1 992 601,09	0,93	85 982,51	1,00	84 107,81	1,00	984 785,81	1,00	58 387,21	1,00	6 439 934,66	1,00	2 927 773,09	1,00	0,977
8	WÜK und langw. Strahl	500;250	19;6,5	2 232 553,88	0,99	2 400 848,91	1,01	1 726 529,82	0,92	1 812 506,02	0,92	1 981 172,29	0,93	1 995 106,07	0,94	85 978,15	1,00	84 104,75	1,00	983 986,08	1,01	58 384,61	1,00	6 438 891,01	1,00	2 927 789,00	1,00	0,977
7	WÜK und langw. Strahl	500;500	19;6,5	2 281 432,35	1,16	2 096 908,80	1,10	2 202 710,42	1,18	2 326 940,23	1,18	2 428 979,24	1,16	2 429 699,63	1,01	84 266,90	0,98	82 558,25	0,98	1 496 880,29	1,01	57 383,70	0,99	6 422 221,80	1,00	2 929 205,07	1,00	1,198
6	langwellige Strahlungsant	0	6,5	2 238 723,44	1,00	2 390 178,30	1,00	1 830 675,69	0,97	1 918 358,67	0,97	2 069 223,43	0,98	2 081 171,00	0,98	85 752,48	1,00	83 983,09	1,00	970 053,84	0,99	58 185,61	1,00	6 437 720,67	1,00	2 928 000,32	1,00	0,991
5	langwellige Strahlungsant	19	6,5	2 281 431,45	1,16	2 096 908,80	1,10	2 202 710,42	1,18	2 326 940,24	1,18	2 428 979,24	1,16	2 429 699,63	1,01	84 266,90	0,98	82 558,25	0,98	1 496 880,29	1,01	57 383,70	0,99	6 422 221,80	1,00	2 929 205,07	1,00	1,198
4	Wärmeübergangskoeff (W	500	19	2 232 505,32	0,99	2 402 244,88	1,01	1 722 361,84	0,91	1 808 276,34	0,92	1 977 785,21	0,93	1 991 805,69	0,93	85 982,49	1,00	84 107,79	1,00	984 773,90	1,00	58 388,09	1,00	6 439 954,28	1,00	2 927 770,30	1,00	0,977
3	Wärmeübergangskoeff (W	100	19	2 232 521,00	0,99	2 403 581,08	1,01	1 740 810,33	0,92	1 826 997,65	0,93	1 992 678,14	0,94	2 006 335,78	0,94	85 858,94	1,00	84 085,31	1,00	978 031,29	1,00	58 271,29	1,00	6 439 354,13	1,00	2 927 822,11	1,00	0,979
2	WÜK und langw. Strahl	0;0;	19;6,5	2 281 431,45	1,16	2 096 908,80	1,10	2 202 710,42	1,18	2 326 940,24	1,18	2 428 979,24	1,16	2 429 699,63	1,01	84 266,90	0,98	82 558,25	0,98	1 496 880,29	1,01	57 383,70	0,99	6 422 221,80	1,00	2 929 205,07	1,00	1,198
1	WÜK und langw. Strahl	100;50	19;6,5	2 232 917,62	0,99	2 408 819,32	1,01	1 760 884,53	0,93	1 847 385,75	0,94	2 009 073,56	0,95	2 022 348,57	0,95	85 829,87	1,00	84 057,29	1,00	973 207,47	1,00	58 280,63	1,00	6 439 143,81	1,00	2 927 859,36	1,00	0,981
0	Startwerte			2 248 872,50	1,00	2 381 307,45	1,00	1 886 178,15	1,00	1 974 922,33	1,00	2 120 569,39	1,00	2 131 495,37	1,00	85 692,06	1,00	83 925,32	1,00	977 634,91	1,00	58 138,92	1,00	6 436 757,62	1,00	2 928 117,39	1,00	1,000

7.2.2.2 Tabelle der unverschatteten Simulation

Tabelle 24: Kalibrierung 2 Tabelle der verschatteten Simulation

1 - Sensitivitätsanalyse																
Aufbau: I51																
Art: nicht verschattet																
Nr.	Parameter	Wert	Standard	Delta^2 Fehler												MW F 1
				I51_RH05_RH	F1	I51_RH05_T	F2	I51_RH25_RH	F3	I51_RH25_T	F4	I51_MC_B1	F5	I51_TR_02	F6	
Aktuell				3 297 787,79	0,53	709 983,97	0,17	1 074 926,60	0,31	91 925,24	0,86	28 767 430,29	0,97	868 595,74	0,62	0,577
224	INNENTEMP Verschiebung	-0,5	0	6 130 116,50	0,99	4 130 463,69	1,00	3 528 423,46	1,02	91 103,85	0,85	27 230 852,03	0,92	1 392 357,96	1,00	0,962
223	INNENTEMP Verschiebung	-2	0	5 861 700,21	0,94	4 138 679,35	1,00	3 582 459,21	1,04	75 578,49	0,70	21 639 305,55	0,73	1 393 097,20	1,00	0,902
222	INNENTEMP Verschiebung	-1	0	6 019 510,75	0,97	4 133 320,58	1,00	3 540 364,19	1,02	81 036,16	0,76	25 034 406,08	0,84	1 392 638,02	1,00	0,931
221	LUFT Wärmeleitföh	0,075	0,155	6 251 889,89	1,01	4 128 712,77	1,00	3 429 666,64	0,99	95 544,42	0,89	29 349 515,86	0,99	1 392 084,41	1,00	0,979
220	LUFT Wärmeleitföh	0,01	0,155	6 006 154,26	0,97	4 141 194,61	1,00	2 804 834,04	0,81	126 869,09	1,18	25 603 591,93	0,86	1 392 212,09	1,00	0,970
219	LUFT Wärmeleitföh	0,05	0,155	6 232 523,65	1,00	4 129 912,15	1,00	3 347 511,67	0,97	88 192,04	0,82	28 967 508,75	0,97	1 392 096,36	1,00	0,961
218	LUFT Wärmeleitföh	0,2	0,155	6 276 867,70	1,01	4 127 232,71	1,00	3 542 426,59	1,03	108 701,61	1,01	29 858 364,25	1,00	1 392 090,01	1,00	1,008
217	LUFT Wärmeleitföh	0,1	0,155	6 262 178,74	1,01	4 128 131,60	1,00	3 473 579,59	1,01	100 241,44	0,93	29 552 168,80	0,99	1 392 076,76	1,00	0,990
216	FQ LDKlasse A Luftsäule	0	5	6 129 119,45	0,99	4 129 149,56	1,00	3 408 498,34	0,99	106 058,28	0,99	27 518 607,64	0,93	1 392 365,88	1,00	0,981
215	FQ LDKlasse A Luftsäule	2	5	6 183 827,53	0,99	4 128 367,47	1,00	3 451 761,26	1,00	106 037,39	0,99	28 389 104,19	0,95	1 392 233,67	1,00	0,989
214	FQ LDKlasse A Luftsäule	4	5	6 243 186,24	1,00	4 127 558,57	1,00	3 498 054,07	1,01	106 012,05	0,99	29 305 124,30	0,99	1 392 114,70	1,00	0,998
213	kw SAZ	0,3	0,6	7 722 713,67	1,24	3 534 593,58	0,85	3 060 563,42	0,89	102 515,11	0,96	65 041 480,80	2,19	983 247,14	0,71	1,138
212	kw SAZ	0,4	0,6	7 130 554,10	1,15	3 698 909,50	0,89	3 166 031,72	0,92	103 596,43	0,97	49 219 815,69	1,66	1 080 611,83	0,78	1,059
211	kw SAZ	0,53	0,6	6 508 375,51	1,05	3 962 447,16	0,96	3 388 460,74	0,98	105 118,53	0,98	35 059 743,33	1,18	1 265 702,22	0,91	1,009
210	kw SAZ	0,57	0,6	6 364 688,60	1,02	4 054 652,79	0,98	3 464 986,21	1,00	105 622,03	0,98	31 876 606,70	1,07	1 335 649,93	0,96	1,004
209	kw SAZ	0,59	0,6	6 301 027,45	1,01	4 102 684,19	0,99	3 501 893,39	1,01	105 874,55	0,99	30 442 759,69	1,02	1 372 859,49	0,99	1,002
208	kw SAZ	0,7	0,6	6 099 992,80	0,98	4 389 487,16	1,05	3 714 272,59	1,08	107 333,47	1,00	24 239 440,74	0,82	1 603 987,22	1,15	1,014
207	kw SAZ	0,5	0,6	6 632 067,60	1,07	3 896 729,16	0,94	3 331 377,07	0,96	104 757,08	0,98	37 731 329,52	1,27	1 217 222,67	0,87	1,015
206	WÜK Innen	30	19	6 783 118,38	1,09	3 676 806,83	0,89	3 121 376,16	0,90	104 962,79	0,98	41 412 181,17	1,39	1 117 367,24	0,80	1,009
205	WÜK Innen	40	19	7 078 517,19	1,14	3 511 327,64	0,85	2 984 759,16	0,86	104 572,86	0,97	48 290 813,74	1,62	1 034 199,90	0,74	1,032
204	WÜK Innen	15	19	6 142 650,10	0,99	4 506 045,45	1,09	3 829 305,41	1,11	106 857,78	1,00	24 380 124,34	0,82	1 656 186,91	1,19	1,032
203	WÜK Innen	25	19	6 569 429,51	1,06	3 822 211,10	0,92	3 252 726,76	0,94	105 303,82	0,98	36 742 581,97	1,24	1 199 737,45	0,86	1,000
202	AUßENTEMP Verschiebung	2,5	0	5 896 955,76	0,95	4 109 942,02	0,99	3 425 576,00	0,99	110 908,57	1,03	20 684 662,35	0,70	1 566 406,50	1,12	0,964
201	AUßENTEMP Verschiebung	-2	0	6 855 799,47	1,10	4 225 709,16	1,02	3 610 137,85	1,05	102 311,93	0,95	42 087 099,76	1,42	1 342 808,95	0,96	1,084
200	AUßENTEMP Verschiebung	3	0	5 859 762,95	0,94	4 121 081,99	1,00	3 412 890,37	0,99	111 934,68	1,04	19 452 316,57	0,65	1 616 311,01	1,16	0,964
199	AUßENTEMP Verschiebung	1,5	0	6 004 009,75	0,97	4 102 378,97	0,99	3 456 467,53	1,00	108 903,03	1,01	23 479 243,06	0,79	1 481 631,62	1,06	0,971
198	AUßENTEMP Verschiebung	2	0	5 943 567,67	0,96	4 103 699,40	0,99	3 439 493,03	1,00	109 901,75	1,02	21 999 244,56	0,74	1 521 491,13	1,09	0,967
197	AUßENTEMP Verschiebung	0,5	0	6 161 857,28	0,99	4 114 040,47	0,99	3 497 933,23	1,01	106 956,98	1,00	27 374 634,48	0,92	1 416 853,02	1,02	0,989
196	AUßENTEMP Verschiebung	1	0	6 075 696,45	0,98	4 105 798,19	0,99	3 475 544,12	1,01	107 924,40	1,01	25 258 765,88	0,85	1 446 725,28	1,04	0,978
195	AUßENTEMP Verschiebung	-1	0	6 546 009,07	1,05	4 167 081,81	1,01	3 567 162,63	1,03	104 134,60	0,97	35 352 039,85	1,19	1 357 454,64	0,97	1,038
194	PV Absorptionszahl	0,5	0,3	6 219 322,49	1,00	4 136 497,55	1,00	3 454 457,51	1,00	107 321,24	1,00	29 732 918,50	1,00	1 393 029,25	1,00	1,000
193	PV Absorptionszahl	0,7	0,3	6 219 322,49	1,00	4 136 497,55	1,00	3 454 457,51	1,00	107 321,24	1,00	29 732 918,50	1,00	1 393 029,25	1,00	1,000
192	OSB Innen BF	37,5	92	5 445 689,42	0,88	4 138 256,21	1,00	3 191 279,58	0,92	106 594,29	0,99	26 829 935,57	0,90	1 392 592,77	1,00	0,949
191	OSB Innen BF	45	92	5 545 879,99	0,89	4 136 973,83	1,00	3 221 368,51	0,93	106 513,74	0,99	27 190 231,95	0,91	1 392 531,88	1,00	0,955
190	OSB Außen BF	37,5	92	4 799 595,74	0,77	4 152 169,37	1,00	2 727 392,43	0,79	106 938,77	1,00	22 036 090,84	0,74	1 393 871,75	1,00	0,884
189	OSB Außen BF	45	92	4 867 597,80	0,78	4 149 330,56	1,00	2 716 685,45	0,79	106 834,76	1,00	22 777 210,48	0,77	1 393 633,17	1,00	0,889
188	OSB Innen BF	5	92	5 021 055,84	0,81	4 143 325,96	1,00	3 136 901,70	0,91	107 031,13	1,00	25 444 723,69	0,86	1 392 905,74	1,00	0,928
187	OSB Innen BF	1	92	4 968 063,77	0,80	4 143 887,80	1,00	3 141 624,28	0,91	107 110,80	1,00	25 285 297,83	0,85	1 392 946,37	1,00	0,926
186	OSB INNEN Wärmeleitf	0,065	0,13	6 260 190,81	1,01	4 127 803,35	1,00	3 469 551,01	1,00	100 408,69	0,94	29 537 687,05	0,99	1 392 035,43	1,00	0,990
185	sd-Wert Außen	2	300	6 858 905,03	1,10	4 129 922,56	1,00	2 635 333,91	0,76	106 356,48	0,99	21 400 544,74	0,72	1 393 440,93	1,00	0,929
184	sd-Wert Außen	0,01	300	7 026 618,91	1,13	4 097 059,41	0,99	2 302 416,22	0,67	106 554,28	0,99	23 840 173,30	0,80	1 384 033,73	0,99	0,929
183	sd-Wert Außen	25	300	6 360 730,70	1,02	4 127 641,61	1,00	3 357 476,16	0,97	106 045,95	0,99	26 729 849,71	0,90	1 392 477,65	1,00	0,980

182	sd-Wert Außen	150	300	6 279 447,74	1,01	4 127 203,28	1,00	3 504 172,49	1,01	106 005,67	0,99	29 408 805,58	0,99	1 392 096,29	1,00	1,000
181	GFP Wärmeleitföh.	0,03	0,32	6 230 692,52	1,00	4 129 688,33	1,00	3 344 192,31	0,97	87 492,71	0,82	28 939 962,60	0,97	1 392 052,94	1,00	0,959
180	GFP Wärmeleitföh.	0,075	0,32	6 258 080,26	1,01	4 128 068,80	1,00	3 455 904,86	1,00	97 986,74	0,91	29 467 734,48	0,99	1 392 030,17	1,00	0,985
179	GFP Wärmeleitföh.	0,15	0,32	6 266 373,18	1,01	4 127 497,02	1,00	3 497 131,00	1,01	102 975,99	0,96	29 658 133,54	1,00	1 392 039,46	1,00	0,996
178	ZELL Wärmeleitf.	0,125	0,037	5 909 178,30	0,95	3 944 597,51	0,95	2 922 549,54	0,85	91 823,56	0,86	26 477 672,52	0,89	1 371 181,05	0,98	0,913
177	ZELL Wärmeleitf.	0,2	0,037	5 671 704,44	0,91	3 841 559,33	0,93	2 635 078,75	0,76	113 697,85	1,06	24 878 304,20	0,84	1 359 602,10	0,98	0,913
176	ZELL Wärmeleitf.	0,15	0,037	5 826 857,60	0,94	3 906 552,55	0,94	2 807 628,43	0,81	96 930,54	0,90	25 863 791,48	0,87	1 366 915,65	0,98	0,908
175	WÜK Innen	0,5	8	6 050 806,18	0,97	4 137 426,32	1,00	2 888 686,84	0,84	102 929,72	0,96	26 156 858,03	0,88	1 391 973,73	1,00	0,941
174	WÜK Innen	0	8	6 561 128,14	1,05	4 145 447,76	1,00	16 492 206,96	4,77	966 976,11	9,01	30 568 371,10	1,03	1 387 529,19	1,00	2,978
173	WÜK Innen	1,5	8	6 205 067,85	1,00	4 129 868,40	1,00	3 259 703,03	0,94	81 369,83	0,76	28 473 775,24	0,96	1 391 931,71	1,00	0,942
172	WÜK Innen	2	8	6 223 675,96	1,00	4 128 734,37	1,00	3 331 544,37	0,96	85 906,45	0,80	28 835 622,12	0,97	1 391 917,59	1,00	0,955
171	WÜK Innen	0,5	8	6 050 806,18	0,97	4 137 426,32	1,00	2 888 686,84	0,84	102 929,72	0,96	26 156 858,03	0,88	1 391 973,73	1,00	0,941
170	ISOCELL ZELL BF	2,5	5	4 962 852,02	0,80	4 143 427,59	1,00	3 071 298,61	0,89	106 694,92	0,99	24 943 832,86	0,84	1 392 876,39	1,00	0,920
169	ISOCELL ZELL BF	4	5	5 659 590,13	0,91	4 134 234,90	1,00	3 241 424,58	0,94	106 169,31	0,99	27 494 729,03	0,92	1 392 298,11	1,00	0,960
168	ISOCELL ZELL BF	3	5	5 178 429,68	0,83	4 140 700,85	1,00	3 094 440,23	0,90	106 524,01	0,99	25 703 387,45	0,86	1 392 689,57	1,00	0,931
167	ISOCELL ZELL BF	0,2	5	5 329 017,21	0,86	4 154 171,18	1,00	3 421 655,37	0,99	107 414,49	1,00	22 138 549,68	0,74	1 393 697,07	1,00	0,933
166	ISOCELL ZELL BF	0,5	5	5 103 704,90	0,82	4 152 882,31	1,00	3 329 358,67	0,96	107 329,19	1,00	22 447 950,36	0,75	1 393 599,33	1,00	0,924
165	ISOCELL ZELL BF	7	5	7 501 227,50	1,21	4 104 729,53	0,99	4 303 454,55	1,25	104 929,59	0,98	35 708 910,00	1,20	1 390 953,92	1,00	1,104
164	OSB Außen BF	40	92	4 799 754,56	0,77	4 150 058,56	1,00	2 718 234,42	0,79	106 713,71	0,99	22 234 838,76	0,75	1 393 660,84	1,00	0,884
163	OSB Außen BF	50	92	4 967 301,22	0,80	4 146 081,74	1,00	2 726 594,79	0,79	106 564,18	0,99	23 272 021,44	0,78	1 393 342,18	1,00	0,894
162	OSB Außen BF	45	92	4 859 979,83	0,78	4 148 106,88	1,00	2 715 019,59	0,79	106 640,65	0,99	22 743 799,84	0,76	1 393 500,87	1,00	0,888
161	OSB AUßEN Wärmeleitfähigkeit	0,009	0,13	4 735 450,54	0,76	2 598 325,16	0,63	2 457 483,82	0,71	113 176,94	1,05	25 216 246,38	0,85	1 408 030,10	1,01	0,836
160	OSB AUßEN Wärmeleitfähigkeit	0,009	0,13	5 234 744,13	0,84	2 695 874,60	0,65	2 610 744,04	0,76	111 338,64	1,04	26 694 730,66	0,90	1 403 551,82	1,01	0,865
159	OSB AUßEN Wärmeleitfähigkeit	0,02	0,13	6 149 632,34	0,99	3 144 417,75	0,76	3 049 169,47	0,88	107 637,34	1,00	29 920 767,02	1,01	1 390 193,04	1,00	0,940
158	OSB AUßEN Wärmeleitfähigkeit	0,03	0,13	6 297 133,25	1,01	3 409 736,48	0,82	3 214 288,67	0,93	106 708,22	0,99	30 560 184,04	1,03	1 386 173,46	1,00	0,964
157	OSB AUßEN Wärmeleitfähigkeit	0,07	0,13	6 317 916,95	1,02	3 894 676,56	0,94	3 433 354,80	0,99	105 927,20	0,99	30 289 498,47	1,02	1 386 960,16	1,00	0,992
156	ZELL Dampfdiffwid	300	1,8	4 553 912,93	0,73	4 183 921,93	1,01	750 900,94	0,22	106 584,91	0,99	19 858 986,98	0,67	1 397 702,73	1,00	0,771
155	ZELL Dampfdiffwid	200	1,8	4 493 358,64	0,72	4 183 087,05	1,01	774 620,31	0,22	106 534,57	0,99	19 095 391,00	0,64	1 397 719,57	1,00	0,766
154	ZELL Dampfdiffwid	150	1,8	4 461 134,66	0,72	4 182 394,11	1,01	798 216,41	0,23	106 492,26	0,99	18 699 342,03	0,63	1 397 698,70	1,00	0,764
153	ZELL Dampfdiffwid	75	1,8	4 449 390,33	0,72	4 180 418,39	1,01	906 501,54	0,26	106 353,12	0,99	18 274 826,15	0,61	1 397 593,70	1,00	0,766
152	ZELL Dampfdiffwid	25	1,8	4 829 033,78	0,78	4 174 996,14	1,01	1 383 377,58	0,40	105 981,34	0,99	19 130 497,73	0,64	1 397 188,42	1,00	0,803
151	ZELL Dampfdiffwid	50	1,8	4 517 876,21	0,73	4 178 844,29	1,01	1 026 301,16	0,30	106 240,03	0,99	18 378 144,25	0,62	1 397 471,97	1,00	0,774
150	PV Emissionszahl	1	0,5	6 219 322,49	1,00	4 136 497,55	1,00	3 454 457,51	1,00	107 321,24	1,00	29 732 918,50	1,00	1 393 029,25	1,00	1,000
149	PV Emissionszahl	0	0,5	6 219 322,49	1,00	4 136 497,55	1,00	3 454 457,51	1,00	107 321,24	1,00	29 732 918,50	1,00	1 393 029,25	1,00	1,000
148	PV Absorptionszahl	1	0,3	6 219 322,49	1,00	4 136 497,55	1,00	3 454 457,51	1,00	107 321,24	1,00	29 732 918,50	1,00	1 393 029,25	1,00	1,000
147	PV Absorptionszahl	0	0,3	6 219 322,49	1,00	4 136 497,55	1,00	3 454 457,51	1,00	107 321,24	1,00	29 732 918,50	1,00	1 393 029,25	1,00	1,000
146	adaptive Zeitschrittsteuerung	3 5		6 268 048,93	1,01	4 125 956,05	1,00	3 517 377,28	1,02	105 792,35	0,99	29 729 493,51	1,00	1 391 875,76	1,00	1,001
145	AUßENTEMP Verschiebung	-10	0	10 105 290,32	1,62	5 397 879,35	1,30	4 361 428,84	1,26	89 856,22	0,84	159 187 732,39	5,35	1 932 585,55	1,39	1,962
144	AUßENTEMP Verschiebung	10	0	7 609 066,44	1,22	4 787 382,47	1,16	3 267 729,07	0,95	127 811,98	1,19	12 312 029,32	0,41	2 839 101,14	2,04	1,162
143	INNENTEMP Verschiebung	-10	0	6 819 387,02	1,10	4 169 191,98	1,01	4 997 480,42	1,45	739 057,90	6,89	12 092 546,23	0,41	1 394 961,46	1,00	1,974
142	INNENTEMP Verschiebung	10	0	11 252 015,26	1,81	4 027 960,42	0,97	3 778 168,21	1,09	1 424 863,86	13,28	322 699 709,36	10,85	1 375 260,84	0,99	4,832
141	GFP Wasserdampfdiff	100000	16	5 774 201,01	0,93	4 131 473,91	1,00	4 381 610,10	1,27	105 733,85	0,99	30 537 140,60	1,03	1 393 004,44	1,00	1,035
140	GFP Wasserdampfdiff	0,1	16	6 358 487,87	1,02	4 125 417,94	1,00	3 404 255,07	0,99	105 776,19	0,99	29 448 933,06	0,99	1 391 822,27	1,00	0,997
139	GFP Wärmeleitföh.	1000	0,32	6 272 272,70	1,01	4 125 666,62	1,00	3 538 673,29	1,02	108 711,67	1,01	29 827 727,33	1,00	1 391 872,59	1,00	1,008
138	GFP Wärmeleitföh.	0,01	0,32	6 151 944,02	0,99	4 132 689,75	1,00	3 083 447,02	0,89	80 122,03	0,75	27 564 006,26	0,93	1 391 947,24	1,00	0,926
137	GFP spez WK	100000	1200	6 279 391,58	1,01	4 125 978,09	1,00	3 547 511,73	1,03	100 780,04	0,94	29 728 387,83	1,00	1 391 845,94	1,00	0,995
136	GFP spez WK	1	1200	6 267 474,92	1,01	4 125 922,95	1,00	3 515 638,25	1,02	106 344,19	0,99	29 727 709,42	1,00	1 391 872,92	1,00	1,002
135	GFP Porosität	0,75	0,52	6 268 988,47	1,01	4 125 950,16	1,00	3 518 032,97	1,02	105 791,83	0,99	29 732 576,49	1,00	1 391 873,48	1,00	1,001
134	GFP Porosität	0,999	0,52	6 268 048,01	1,01	4 125 956,05	1,00	3 517 383,76	1,02	105 792,36	0,99	29 729 556,18	1,00	1 391 875,76	1,00	1,001
133	GFP Rohdichte	100000	1153	6 278 978,95	1,01	4 125 991,17	1,00	3 547 755,68	1,03	100 655,77	0,94	29 728 188,86	1,00	1 391 844,06	1,00	0,995

2

132	GFP Rohdichte	1	1153	6 267 474,92	1,01	4 125 922,95	1,00	3 515 638,25	1,02	106 343,56	0,99	29 727 631,34	1,00	1 391 872,92	1,00	1,002
131	LUFT Wasserdampfdiff	100	0,51	5 857 613,65	0,94	4 129 214,45	1,00	4 103 699,67	1,19	105 583,66	0,98	31 370 306,19	1,06	1 392 305,73	1,00	1,028
130	LUFT Wasserdampfdiff	0,01	0,51	6 272 723,99	1,01	4 125 926,36	1,00	3 510 810,98	1,02	105 788,76	0,99	29 712 314,35	1,00	1 391 873,69	1,00	1,001
129	LUFT Wärmeleitfah	100	0,155	6 287 929,26	1,03	4 124 842,84	1,00	3 610 907,59	1,05	118 839,06	1,11	30 163 187,59	1,01	1 391 860,44	1,00	1,029
128	LUFT Wärmeleitfah	1	0,155	6 284 664,04	1,01	4 125 010,20	1,00	3 596 263,97	1,04	116 610,01	1,09	30 085 331,82	1,01	1 391 874,25	1,00	1,024
127	LUFT Wärmeleitfah	0,001	0,155	4 437 086,32	0,71	4 157 127,76	1,00	10 857 850,15	3,14	1 012 682,26	9,44	30 787 312,84	1,04	1 389 033,85	1,00	2,722
126	LUFT spez WK	100000	1000	6 268 846,15	1,03	4 125 967,45	1,00	3 518 293,07	1,02	105 639,09	0,98	29 734 677,47	1,00	1 391 875,25	1,00	1,001
125	LUFT spez WK	1	1000	6 268 056,75	1,01	4 125 956,05	1,00	3 517 374,78	1,01	105 792,93	0,99	29 729 556,04	1,00	1 391 875,76	1,00	1,001
124	LUFT spez WK	0,01	1000	6 268 056,25	1,01	4 125 956,05	1,00	3 517 374,78	1,02	105 793,02	0,99	29 729 556,04	1,00	1 391 875,76	1,00	1,001
123	LUFT Porosität	0,5	0,999	6 272 674,19	1,01	4 125 911,83	1,00	3 518 007,70	1,02	105 800,62	0,99	29 736 371,73	1,00	1 391 868,69	1,00	1,002
122	LUFT Porosität	0,001	0,999	6 272 683,74	1,01	4 125 910,98	1,00	3 515 636,09	1,02	105 810,37	0,99	29 733 448,58	1,00	1 391 870,22	1,00	1,001
121	LUFT Rohdichte	1000	0,13	6 271 008,75	1,01	4 126 061,26	1,00	3 521 945,13	1,02	104 823,60	0,98	29 743 418,15	1,00	1 391 892,78	1,00	1,000
120	LUFT Rohdichte	0,01	1,3	6 268 056,44	1,01	4 125 956,05	1,00	3 517 374,78	1,02	105 792,74	0,99	29 729 570,59	1,00	1 391 875,76	1,00	1,001
119	OSB INNEN Wasserdampfdiff	100000	175	4 626 407,41	0,74	4 143 503,58	1,00	4 289 500,10	1,24	106 736,47	0,99	24 837 436,91	0,84	1 393 106,10	1,00	0,970
118	OSB INNEN Wasserdampfdiff	10000	175	4 783 509,81	0,77	4 142 064,63	1,00	4 228 518,67	1,22	106 528,43	0,99	25 469 788,74	0,86	1 393 037,99	1,00	0,974
117	OSB INNEN Wasserdampfdiff	0,01	175	11 419 964,62	1,84	4 072 308,01	0,98	699 863,71	0,20	106 548,60	0,99	36 561 833,94	1,23	1 389 240,22	1,00	1,041
116	OSB INNEN Wärmeleitf	10	0,13	6 280 111,43	1,01	4 125 323,44	1,00	3 572 003,63	1,03	112 470,98	1,05	29 965 103,22	1,01	1 391 879,26	1,00	1,016
115	OSB INNEN Wärmeleitf	10000	0,13	6 280 295,21	1,01	4 125 317,28	1,00	3 572 768,19	1,03	112 567,56	1,05	29 967 416,52	1,01	1 391 880,66	1,00	1,016
114	OSB INNEN Wärmeleitf	0,01	0,13	6 152 735,44	0,99	4 132 298,02	1,00	3 082 658,03	0,89	82 781,46	0,77	27 642 234,16	0,93	1 391 905,54	1,00	0,930
113	OSB INNEN spez WK	10000	1400	6 268 959,00	1,01	4 126 440,56	1,00	3 527 289,00	1,02	102 984,66	0,96	29 726 617,36	1,00	1 391 952,91	1,00	0,998
112	OSB INNEN spez WK	1	1400	6 267 251,34	1,01	4 125 771,61	1,00	3 513 363,97	1,02	107 261,93	1,00	29 726 230,44	1,00	1 391 849,78	1,00	1,003
111	OSB INNEN Porosität	1	0,9	6 268 037,03	1,01	4 125 955,75	1,00	3 517 379,15	1,02	105 792,35	0,99	29 729 777,99	1,00	1 391 875,89	1,00	1,001
110	OSB INNEN Porosität	0,65	0,9	6 268 048,93	1,01	4 125 956,05	1,00	3 517 377,28	1,02	105 792,35	0,99	29 729 493,51	1,00	1 391 875,76	1,00	1,001
109	OSB INNEN Rohdichte	10000	615	6 269 327,72	1,01	4 126 564,73	1,00	3 525 583,15	1,02	101 093,71	0,94	29 692 146,44	1,00	1 391 937,38	1,00	0,994
108	OSB INNEN Rohdichte	3500	615	6 266 184,80	1,01	4 126 488,12	1,00	3 518 034,39	1,02	102 547,19	0,96	29 693 593,23	1,00	1 391 944,48	1,00	0,996
107	OSB INNEN Rohdichte	1500	615	6 267 024,34	1,01	4 126 217,96	1,00	3 515 871,68	1,02	104 052,45	0,97	29 710 655,95	1,00	1 391 912,12	1,00	0,998
106	OSB INNEN Rohdichte	5	615	6 279 180,89	1,01	4 125 188,17	1,00	3 565 667,61	1,03	113 566,83	1,06	29 948 940,02	1,01	1 391 864,25	1,00	1,017
105	ZELL Dampfdiffwid	10000	1,8	4 983 465,08	0,80	4 188 620,92	1,01	665 749,59	0,19	106 810,10	1,00	27 978 142,25	0,94	1 397 836,88	1,00	0,824
104	ZELL Dampfdiffwid	100	1,8	4 439 621,04	0,71	4 181 361,58	1,01	850 071,84	0,25	106 417,75	0,99	18 360 227,67	0,62	1 397 654,42	1,00	0,764
103	ZELL Dampfdiffwid	0,01	1,8	8 107 590,06	1,30	3 876 883,17	0,94	4 636 830,10	1,34	127 723,09	1,19	53 484 510,46	1,80	1 359 892,55	0,98	1,258
102	ZELL Wärmeleitf.	0,07	0,037	6 105 108,87	0,98	4 044 901,47	0,98	3 253 725,89	0,94	93 001,52	0,87	28 310 620,97	0,95	1 382 510,60	0,99	0,952
101	ZELL Wärmeleitf.	0,1	0,037	5 994 546,53	0,96	3 986 054,26	0,96	3 056 717,73	0,88	89 917,37	0,84	27 211 913,82	0,92	1 375 837,20	0,99	0,926
100	ZELL Wärmeleitf.	10	0,037	5 060 144,95	0,81	3 151 277,54	0,76	6 024 650,26	1,74	1 112 792,27	10,37	18 576 692,99	0,62	1 273 578,84	0,91	2,538
99	ZELL Wärmeleitf.	0,01	0,037	6 626 162,02	1,07	4 221 394,39	1,02	3 767 720,01	1,09	127 413,64	1,19	31 367 141,58	1,05	1 403 642,06	1,01	1,071
98	ZELL spez WK	100000	2110	6 782 428,76	1,09	3 547 272,58	0,86	3 874 942,28	1,12	108 794,77	1,01	39 615 607,15	1,33	1 292 564,53	0,93	1,057
97	ZELL spez WK	10000	2110	6 567 281,98	1,06	3 958 857,70	0,96	3 540 974,40	1,03	105 402,21	0,98	32 596 817,28	1,10	1 364 525,43	0,98	1,016
96	ZELL spez WK	5	2110	6 259 208,43	1,01	4 260 201,19	1,09	3 595 043,40	1,04	112 125,05	1,04	28 666 335,84	0,96	1 412 351,24	1,01	1,017
95	ZELL Porosität	1	0,95	6 323 415,99	1,02	4 135 030,68	1,00	3 532 713,48	1,02	107 269,34	1,00	30 286 204,45	1,02	1 392 932,84	1,00	1,010
94	ZELL Porosität	0,65	0,95	6 322 762,50	1,02	4 135 040,48	1,00	3 533 630,38	1,02	107 269,70	1,00	30 271 103,77	1,02	1 392 927,70	1,00	1,009
93	ZELL Rohdichte	50000	50	6 442 815,51	1,04	3 037 226,08	0,73	3 805 879,01	1,10	97 331,62	0,91	60 980 541,21	2,05	1 190 125,91	0,85	1,114
92	ZELL Rohdichte	2500	50	6 769 806,88	1,09	3 537 024,76	0,86	3 895 204,79	1,13	109 082,43	1,02	39 858 389,81	1,34	1 290 634,31	0,93	1,059
91	ZELL Rohdichte	0,01	50	6 259 143,52	1,01	4 260 580,70	1,03	3 595 295,18	1,04	112 137,45	1,04	28 661 441,87	0,96	1 412 408,06	1,01	1,017
90	OSB AUßEN Wärmeleitf. Temp	0,001	0,0002	6 302 069,52	1,01	4 145 833,93	1,00	3 539 956,47	1,02	107 355,01	1,00	30 013 947,80	1,01	1 392 912,27	1,00	1,008
89	OSB AUßEN Wärmeleitf. Temp	0,00001	0,0002	6 328 524,41	1,02	4 133 269,79	1,00	3 533 184,53	1,02	107 257,41	1,00	30 328 147,89	1,02	1 392 945,71	1,00	1,010
88	OSB AUßEN Wärmeleitf. Temp	nt generieren		6 330 118,04	1,02	4 131 461,77	1,00	3 530 968,20	1,02	107 246,31	1,00	30 356 354,03	1,02	1 392 950,39	1,00	1,010
87	OSB AUßEN Wärmeleitf. Feucht	3	1,5	6 309 808,27	1,01	4 180 385,12	1,01	3 548 411,23	1,03	107 252,28	1,00	30 156 654,81	1,01	1 394 312,20	1,00	1,011
86	OSB AUßEN Wärmeleitf. Feucht	nt generieren		6 345 613,44	1,02	4 070 365,73	0,98	3 513 264,91	1,02	107 295,84	1,00	30 450 529,35	1,02	1 391 255,33	1,00	1,007
85	OSB AUßEN Flüssigkeitstrasp WL	generieren		6 582 732,34	1,06	4 132 708,22	1,00	3 493 828,98	1,01	107 286,04	1,00	27 756 837,27	0,93	1 393 077,44	1,00	1,000
84	OSB AUßEN Flüssigkeitstrasp WL	generieren		6 324 392,50	1,02	4 135 027,69	1,00	3 533 519,56	1,02	107 268,88	1,00	30 283 777,75	1,02	1 392 933,24	1,00	1,010
83	OSB AUßEN Feuchtespeicherfkt	Appro		4 944 691,60	0,80	4 140 221,01	1,00	4 269 580,92	1,24	106 936,08	1,00	32 009 225,38	1,08	1 393 103,21	1,00	1,017

82	OSB AUßEN Wasserdampfdiffwid	0,01	175	5 559 056,42	0,89	4 139 104,92	1,00	3 805 671,37	1,10	106 991,60	1,00	38 116 784,54	1,28	1 396 412,08	1,00	1,046
81	OSB AUßEN Wasserdampfdiffwid	100	175	6 281 578,66	1,01	4 135 171,97	1,00	3 608 806,90	1,04	107 126,29	1,00	31 185 416,03	1,05	1 392 825,91	1,00	1,017
80	OSB AUßEN Wasserdampfdiffwid	10000	175	7 783 830,32	1,25	4 137 574,78	1,00	2 731 393,84	0,79	107 783,80	1,00	48 140 609,63	1,62	1 392 041,65	1,00	1,111
79	OSB AUßEN Wasserdampfdiffwid	1	175	5 794 522,14	0,93	4 151 105,60	1,00	3 794 634,51	1,10	106 954,16	1,00	37 551 764,22	1,26	1 392 353,72	1,00	1,045
78	OSB AUßEN Wärmeleitfähigkeit	1	0,13	6 241 011,06	1,00	4 398 937,69	1,06	3 618 780,50	1,05	107 232,62	1,00	29 374 319,82	0,99	1 404 239,10	1,01	1,018
77	OSB AUßEN Wärmeleitfähigkeit	10	0,13	6 228 913,04	1,00	4 436 372,79	1,07	3 631 764,87	1,05	107 236,20	1,00	29 245 066,66	0,98	1 406 498,26	1,01	1,020
76	OSB AUßEN Wärmeleitfähigkeit	0,01	0,13	5 537 056,61	0,89	2 754 619,96	0,67	2 713 200,50	0,79	111 875,19	1,04	27 762 033,98	0,93	1 401 773,72	1,01	0,887
75	OSB AUßEN Spez Wärmekapa	3000	1400	6 400 778,62	1,03	3 976 623,86	0,96	3 511 892,57	1,02	107 002,50	1,00	31 429 731,19	1,06	1 361 533,21	0,98	1,006
74	OSB AUßEN Spez Wärmekapa	10000	1400	6 669 695,41	1,07	3 356 632,52	0,81	3 414 292,51	0,99	106 284,94	0,99	35 689 133,10	1,20	1 230 318,82	0,88	0,991
73	OSB AUßEN Spez Wärmekapa	100	1400	6 262 430,49	1,01	4 245 535,26	1,03	3 547 641,55	1,03	107 489,30	1,00	29 398 926,11	0,99	1 413 491,35	1,01	1,011
72	OSB AUßEN Porosität	0,7	0,9	6 324 196,41	1,02	4 135 097,79	1,00	3 533 595,68	1,02	107 268,93	1,00	30 281 674,69	1,02	1 392 936,16	1,00	1,010
71	OSB AUßEN Porosität	0,8	0,9	6 322 956,29	1,02	4 135 167,36	1,00	3 532 737,16	1,02	107 269,21	1,00	30 283 812,77	1,02	1 392 934,57	1,00	1,009
70	OSB Außen ROHDICHTE	3500	615	6 632 283,39	1,07	3 421 003,49	0,83	3 418 481,03	0,99	106 429,06	0,99	34 948 004,63	1,18	1 260 754,51	0,91	0,993
69	OSB Außen ROHDICHTE	1500	615	6 436 346,52	1,03	3 887 152,10	0,94	3 493 495,87	1,01	106 942,16	1,00	31 881 536,17	1,07	1 350 953,28	0,97	1,004
68	OSB Außen ROHDICHTE	5	615	6 195 169,91	1,00	4 480 700,50	1,08	3 634 354,41	1,05	107 355,44	1,00	28 754 885,56	0,97	1 416 809,45	1,02	1,019
67	FQ LDKlasse A Luftsäule	10	5	6 470 851,94	1,04	4 133 007,70	1,00	3 649 576,88	1,06	107 217,87	1,00	32 787 475,83	1,10	1 392 633,57	1,00	1,033
66	FQ LDKlasse A Luftsäule	99	5	8 680 623,28	1,40	4 088 095,66	0,99	5 771 351,74	1,67	106 146,78	0,99	120 193 620,54	4,04	1 385 457,82	0,99	1,680
65	FQ LDKlasse A Luftsäule	0,5	5	6 193 139,44	1,00	4 136 787,80	1,00	3 431 914,19	0,99	107 316,01	1,00	28 190 171,27	0,95	1 393 712,14	1,00	0,990
64	FQ Luftdichtigkeitsklasse	C	A	6 889 985,41	1,11	4 126 520,59	1,00	4 009 977,65	1,16	107 047,94	1,00	41 519 652,51	1,40	1 391 645,06	1,00	1,110
63	FQ Luftdichtigkeitsklasse	B	A	6 618 345,40	1,06	4 130 834,82	1,00	3 770 759,18	1,09	107 161,55	1,00	35 523 334,85	1,19	1 392 299,86	1,00	1,058
62	Gipsfaserpatte BF	500	15,8	6 626 038,53	1,07	4 130 683,11	1,00	3 687 972,14	1,07	106 944,72	1,00	31 410 496,67	1,06	1 392 763,81	1,00	1,031
61	Gipsfaserpatte BF	50	15,8	6 360 707,98	1,02	4 134 511,65	1,00	3 551 044,59	1,03	107 240,74	1,00	30 419 100,83	1,02	1 392 917,58	1,00	1,012
60	Gipsfaserpatte BF	0	15,8	6 307 192,11	1,01	4 135 248,90	1,00	3 525 483,84	1,02	107 279,54	1,00	30 227 669,04	1,02	1 392 942,36	1,00	1,008
59	Luftschicht 25mm BF	2	0,01	6 333 939,96	1,02	4 134 894,15	1,00	3 538 306,08	1,02	107 262,02	1,00	30 333 423,46	1,02	1 392 923,84	1,00	1,010
58	Luftschicht 25mm BF	5	0,01	6 345 574,03	1,02	4 134 719,73	1,00	3 543 654,21	1,03	107 250,93	1,00	30 368 198,40	1,02	1 392 923,99	1,00	1,011
57	Luftschicht 25mm BF	0	0,01	6 324 526,91	1,02	4 135 027,56	1,00	3 533 629,31	1,02	107 268,88	1,00	30 284 189,07	1,02	1 392 933,26	1,00	1,010
56	OSB Innen BF	30	90	5 389 399,53	0,87	4 146 986,13	1,00	3 176 701,70	0,92	107 834,70	1,00	26 864 832,31	0,90	1 393 525,56	1,00	0,950
55	OSB Innen BF	60	90	5 800 377,62	0,93	4 141 818,10	1,00	3 305 042,00	0,96	107 572,82	1,00	28 390 546,64	0,95	1 393 741,13	1,00	0,975
54	OSB Innen BF	0	90	4 999 378,10	0,80	4 151 265,86	1,00	3 150 774,28	0,91	108 213,30	1,01	25 572 498,27	0,86	1 393 805,89	1,00	0,931
53	ISOCELL ZELL BF	2	5	4 867 454,81	0,78	4 154 326,21	1,00	3 090 751,81	0,89	108 104,58	1,01	24 572 910,84	0,83	1 394 039,43	1,00	0,919
52	ISOCELL ZELL BF	1	5	4 890 409,00	0,79	4 158 664,12	1,01	3 215 916,02	0,93	108 329,51	1,01	23 297 491,01	0,78	1 394 371,35	1,00	0,919
51	ISOCELL ZELL BF	10	5	8 922 130,51	1,43	4 075 179,32	0,99	5 668 648,19	1,64	105 293,57	0,98	51 070 775,89	1,72	1 390 374,95	1,00	1,293
50	ISOCELL ZELL BF	0	5	5 517 156,17	0,89	4 162 552,89	1,01	3 495 981,82	1,01	108 528,17	1,01	22 209 773,19	0,75	1 394 703,00	1,00	0,944
49	OSB Außen BF	150	90	8 008 710,36	1,29	4 098 979,38	0,99	5 283 008,18	1,53	106 393,93	0,99	52 455 437,81	1,76	1 390 314,76	1,00	1,260
48	OSB Außen BF	30	90	4 907 939,31	0,79	4 161 308,13	1,01	2 782 644,62	0,81	108 098,58	1,01	21 568 788,24	0,73	1 394 909,44	1,00	0,889
47	OSB Außen BF	500	90	12 263 222,18	1,97	3 895 703,69	0,94	8 589 105,52	2,49	103 118,03	0,96	518 740 005,82	17,45	1 360 225,22	0,98	4,131
46	OSB Außen BF	0	90	6 694 298,18	1,08	4 167 925,33	1,01	3 345 021,38	0,97	108 378,21	1,01	19 448 889,68	0,65	1 395 793,66	1,00	0,953
45	Bauteilfeuchte konstant	-	0,3	5 627 840,50	0,90	4 164 782,01	1,01	3 381 613,95	0,98	108 470,52	1,01	21 273 968,32	0,72	1 395 000,31	1,00	0,936
44	Bauteilfeuchte konstant	-	0,9	9 349 804,45	1,50	4 061 136,32	0,98	6 199 162,82	1,79	104 854,68	0,98	62 988 963,82	2,12	1 389 059,84	1,00	1,395
43	Bauteilfeuchte konstant	-	0	33 358 126,34	5,36	4 191 478,86	1,01	10 613 988,93	3,07	109 859,64	1,02	16 916 311,48	0,57	1 398 141,72	1,00	2,008
42	Bauteilfeuchte konstant	-	0,5	5 135 124,48	0,83	4 151 823,16	1,00	2 866 848,68	0,83	107 903,33	1,01	24 602 256,70	0,83	1 394 039,37	1,00	0,915
41	R2	1	0	6 219 322,49	1,00	4 136 497,55	1,00	3 454 457,51	1,00	107 321,24	1,00	29 732 918,50	1,00	1 393 029,25	1,00	1,000
40	R1	0	1	6 219 322,49	1,00	4 136 497,55	1,00	3 454 457,51	1,00	107 321,24	1,00	29 732 918,50	1,00	1 393 029,25	1,00	1,000
39	Neigung	2	0	6 248 620,24	1,00	4 116 329,13	1,00	3 455 607,12	1,00	107 212,64	1,00	30 280 624,79	1,02	1 376 508,63	0,99	1,001
38	Neigung	5	0	6 294 312,96	1,01	4 084 399,07	0,99	3 454 296,34	1,00	107 044,23	1,00	31 190 574,74	1,05	1 350 844,30	0,97	1,003
37	Orientierung	Süd	Nord	6 228 208,43	1,00	4 136 393,51	1,00	3 454 360,63	1,00	107 314,15	1,00	29 733 180,32	1,00	1 393 029,83	1,00	1,000
36	Anfangstemperatur	-20	20	6 228 208,43	1,00	4 136 393,51	1,00	3 454 360,63	1,00	107 314,15	1,00	29 733 180,32	1,00	1 393 029,83	1,00	1,000
35	Bewölkungsgrad	0,33	0,66	6 575 117,88	1,06	4 249 201,81	1,03	3 586 327,08	1,04	104 691,90	0,98	36 960 336,54	1,24	1 393 023,26	1,00	1,057
34	Bewölkungsgrad	1	0,66	5 973 704,91	0,96	4 062 046,39	0,98	3 331 347,15	0,96	110 122,49	1,03	23 952 922,70	0,81	1 437 025,53	1,03	0,962
33	Bewölkungsgrad	0	0,66	6 973 451,60	1,12	4 402 886,23	1,06	3 718 610,58	1,08	102 155,42	0,95	45 634 686,95	1,53	1 435 156,45	1,03	1,130

32	expl SB;terr lw Reflgrad	0	0,1	6 219 322,49	1,00	4 136 497,55	1,00	3 454 457,51	1,00	107 321,24	1,00	29 732 918,50	1,00	1 393 029,25	1,00	1,000
31	expl SB; terr lw Emmgrad	1	0,9	6 219 322,49	1,00	4 136 497,55	1,00	3 454 457,51	1,00	107 321,24	1,00	29 732 918,50	1,00	1 393 029,25	1,00	1,000
30	expl SB; terr lw Emmgrad	0	0,9	6 219 322,49	1,00	4 136 497,55	1,00	3 454 457,51	1,00	107 321,24	1,00	29 732 918,50	1,00	1 393 029,25	1,00	1,000
29	sd-Wert Innen	2	0	5 915 055,23	0,95	4 138 333,05	1,00	3 986 500,85	1,15	107 079,62	1,00	31 443 616,36	1,06	1 393 419,99	1,00	1,027
28	sd-Wert Innen	0,5	0	6 068 441,01	0,98	4 137 367,71	1,00	3 676 610,60	1,00	107 162,54	1,00	30 338 428,41	1,02	1 393 167,86	1,00	1,010
27	sd-Wert Innen	1	0	5 987 995,83	0,96	4 137 826,28	1,00	3 823 095,07	1,11	107 097,43	1,00	30 851 096,92	1,04	1 393 257,70	1,00	1,018
26	sd-Wert Innen	10000	0	5 962 408,30	0,96	4 139 058,53	1,00	4 168 674,94	1,21	107 477,98	1,00	31 514 094,93	1,06	1 394 052,69	1,00	1,038
25	terr kw RG	0,5	0,2	6 219 322,49	1,00	4 136 497,55	1,00	3 454 457,51	1,00	107 321,24	1,00	29 732 918,50	1,00	1 393 029,25	1,00	1,000
24	terr kw RG	1	0,2	6 219 322,49	1,00	4 136 497,55	1,00	3 454 457,51	1,00	107 321,24	1,00	29 732 918,50	1,00	1 393 029,25	1,00	1,000
23	terr kw RG	0	0,2	6 219 322,49	1,00	4 136 497,55	1,00	3 454 457,51	1,00	107 321,24	1,00	29 732 918,50	1,00	1 393 029,25	1,00	1,000
22	lw SAZ	0,5	0,9	6 012 560,47	0,97	4 396 846,65	1,06	3 622 107,61	1,05	110 170,25	1,03	21 205 520,20	0,71	1 701 218,81	1,22	1,007
21	lw SAZ	1	0,9	6 333 409,73	1,02	4 093 255,28	0,99	3 425 292,12	0,99	106 750,29	0,99	32 322 629,41	1,09	1 340 385,11	0,96	1,007
20	lw SAZ	0	0,9	6 763 706,26	1,09	5 101 148,37	1,33	3 948 572,31	1,14	115 910,71	1,08	14 778 817,77	0,50	2 504 109,96	1,80	1,140
19	kw SAZ	0,5	0,6	6 561 141,75	1,05	3 905 154,87	0,94	3 285 071,25	0,95	106 163,52	0,99	37 635 755,20	1,37	1 218 066,74	0,87	1,013
18	kw SAZ	1	0,6	6 662 574,50	1,07	5 372 865,67	1,30	4 146 573,11	1,20	112 824,80	1,05	16 265 050,09	0,55	2 453 156,47	1,76	1,155
17	kw SAZ	0	0,6	9 578 480,22	1,54	3 257 433,26	0,79	3 183 971,54	0,92	101 494,82	0,95	133 662 012,08	4,50	936 777,49	0,67	1,560
16	WÜK Innen	100	8	6 234 986,44	1,00	4 135 685,81	1,00	3 509 720,64	1,02	116 768,48	1,09	29 981 992,40	1,01	1 393 035,50	1,00	1,019
15	WÜK Innen	1	8	6 127 227,57	0,99	4 142 127,08	1,00	3 081 733,91	0,89	77 807,69	0,72	27 841 839,16	0,94	1 393 092,33	1,00	0,923
14	WÜK Innen	5000	8	6 237 102,19	1,00	4 135 610,45	1,00	3 515 310,85	1,02	117 673,43	1,10	30 008 535,61	1,01	1 393 037,74	1,00	1,021
13	WÜK Innen	1000	8	6 237 054,03	1,00	4 135 618,48	1,00	3 514 934,28	1,02	117 599,01	1,10	30 008 745,63	1,01	1 393 037,07	1,00	1,021
12	sd-Wert Außen	10000	300	6 211 044,51	1,00	4 136 452,96	1,00	3 469 907,14	1,00	107 317,68	1,00	30 072 677,53	1,01	1 392 994,83	1,00	1,002
11	sd-Wert Außen	1	300	6 930 719,56	1,11	4 138 531,21	1,00	2 465 573,93	0,71	107 685,81	1,00	21 459 020,52	0,72	1 393 705,50	1,00	0,926
10	sd-Wert Außen	2000	300	6 212 049,46	1,00	4 136 456,70	1,00	3 467 990,47	1,00	107 318,27	1,00	30 038 457,53	1,01	1 392 998,76	1,00	1,002
9	WÜK und langw. Strahl	500;100	19;6,5	7 821 754,74	1,26	3 165 817,03	0,77	2 761 947,28	0,80	105 237,44	0,98	70 251 960,87	2,36	926 267,79	0,66	1,138
8	WÜK und langw. Strahl	500;250	19;6,5	7 767 779,02	1,25	3 183 701,27	0,77	2 768 445,26	0,80	105 282,64	0,98	68 739 568,30	2,31	927 904,60	0,67	1,130
7	WÜK und langw. Strahl	500;500	19;6,5	8 846 501,35	1,42	7 411 559,21	1,79	5 205 968,86	1,51	113 848,30	1,06	14 388 661,75	0,48	4 046 997,12	2,91	1,529
6	langwellige Strahlungsanteile	0	6,5	6 516 561,15	1,05	3 811 730,37	0,92	3 191 784,45	0,92	106 669,45	0,99	37 104 665,42	1,25	1 189 866,06	0,85	0,998
5	langwellige Strahlungsanteile	19	6,5	8 846 501,35	1,42	7 411 559,21	1,79	5 205 968,86	1,51	113 848,30	1,06	14 388 661,75	0,48	4 046 997,12	2,91	1,529
4	Wärmeübergangskoeff (WÜK)	500	19	7 836 422,92	1,26	3 160 226,51	0,76	2 759 757,72	0,80	105 224,35	0,98	70 733 016,19	2,38	925 912,29	0,66	1,141
3	Wärmeübergangskoeff (WÜK)	100	19	7 541 400,00	1,21	3 266 496,94	0,79	2 805 053,29	0,81	105 492,76	0,98	62 345 516,84	2,10	942 895,65	0,68	1,095
2	WÜK und langw. Strahl	0;0;	19;6,5	8 846 501,35	1,42	7 411 559,21	1,79	5 205 968,86	1,51	113 848,30	1,06	14 388 661,75	0,48	4 046 997,12	2,91	1,529
1	WÜK und langw. Strahl	100;50	19;6,5	7 254 022,79	1,17	3 386 763,68	0,82	2 872 593,25	0,83	105 770,16	0,99	54 617 769,54	1,84	980 277,45	0,70	1,057
0	Startwerte		100%	6 219 322,49	1,00	4 136 497,55	1,00	3 454 457,51	1,00	107 321,24	1,00	29 732 918,50	1,00	1 393 029,25	1,00	1,000

7.3 Literaturverzeichnis

- [1] Projekt Nr. 828078 „Headquarter: Rotationsströmungen & Schimmelbildung in hochgedämmten Wand- & Dachkonstruktionen, innovative Zelluloseproduktion“, ISOCELL Vertriebs GmbH, 2012
- [2] WTA-Merkblatt 6-2-14 (2014): Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse
- [3] BEICHEL F. E., MONTGOMERY D. C.: Taschenbuch der Stochastik, Teubner, 2003
- [4] WUFI Leitfaden (2017): Leitfaden zur Auswertung und Beurteilung hygrothermischer Rechenergebnisse
- [5] DIN EN 60584-1 (07.2014): Thermoelemente – Teil 1: Thermospannungen und Grenzabweichungen (IEC 60584-1:2013)
- [6] ISO/IEC Guide 98-3 Supplement 1(2008): Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995) — Supplement 1: Propagation of distributions using a Monte Carlo method
- [7] SOMMER K.-D., SIEBERT B.R.L.: Praxisgerechtes Bestimmen der Messunsicherheit nach GUM, Oldenbourg Verlag, 2003
- [8] SEDLBAUER K.: Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen, Universität Stuttgart, 2001
- [9] WTA Merkblatt 6-8 (08.2016): Feuchtetechnische Bewertung von Holzbauteilen - Vereinfachte Nachweise und Simulation
- [10] DIN EN ISO 13788 (05.2013): Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren - Berechnungsverfahren (ISO 13788:2012); Deutsche Fassung EN ISO 13788:2012
- [11] DIN 4108-2 (02.2013): Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
- [12] ÖNORM B 8110-2 (01.2020): Wärmeschutz im Hochbau - Teil 2: Wasserdampfdiffusion, -konvektion und Kondensationsschutz
- [13] OIB Richtlinie 6 (April 2019): Energieeinsparung und Wärmeschutz
- [14] Viitanen, H.: "Simulation and modelling critical conditions for fungi to develop in wood", Präsentation beim Fachkongress "Holzschutz und Bauphysik" an der TU München, VTT Technical Research Centre of Finland; 02-2010
- [15] Viitanen, H.: Factors affecting the development of mould and brown rot decay in wooden material and wooden structures. Effect of humidity, temperature and exposure time. Dissertation. Uppsala. The Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products, 1996
- [16] www.sensirion.com (Version 5 – December 2011), Datasheet SHT7x, abgerufen am 17.11.2020 von https://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/2_Humidity_Sensors/Datasheets/Sensirion_Humidity_Sensors_SHT7x_Datasheet.pdf
- [17] Carbonez, K.; Van Den Bossche, N.; Ge, H. et al.: Comparison between uniform rain loads and point sources to simulate rainwater leakage with commercial HAM-models 2015.

- [18] Hafellner H.: „Instationäres, hygrothermisches Verhalten von erdnahen Bauteilanschlüssen insbesondere mit Innendämmung“, TU Graz, 2021
- [19] Ludwig R.: „Methoden der Fehler- und Ausgleichsrechnung“, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig 1996
- [20] Burhenne S.; Herkel S.: „Methodik zur Unsicherheitsbewertung und Sensitivitätsanalyse für thermische Gebäudesimulation, Bauphysik 35, 2013
- [21] DIN 1319-1:1995 Grundlagen der Meßtechnik; Teil 1: Grundbegriffe; Nr. 4.10
- [22] Papula L.: „Mathematik für Ingenieure und Naturwissenschaftler Band 3: Vektoranalysis, Wahrscheinlichkeitsrechnung, Mathematische Statistik, Fehler- und Ausgleichsrechnung“, Springer Vieweg, Wiesbaden, Deutschland 2016
- [23] WUFI-Webseite zum Thema Validierung abgerufen am 16.04.2021 von dieser Adresse: <https://wufi.de/de/software/validierung/>
- [24] Bauklimatik-Dresden-Webseite zum Thema Dokumentation bei Delphin abgerufen am 16.04.2021 von dieser Adresse: <http://bauklimatik-dresden.de/delphin/documentation.php>
- [25] Scheffler G., Grunewald J., Häupl P.: „Kalibrierung eines Ingenieurmodells zur hygrothermischen Materialcharakterisierung“, Bauphysik 27, 2005
- [26] Hejazi B., Sakiyama N. R. M., Frick J., Garrecht H.: „Hygrothermal Simulations Comparative Study: Assessment of Different Materials Using WUFI and DELPHIN Software“, University of Stuttgart, Stuttgart, Germany 2019

7.4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aufbauten.....	12
Tabelle 2: Beispiel: Aufbereitung der Sensordaten	15
Tabelle 3: Kenngrößenvergleich mit einem großen Fehler	20
Tabelle 4: Kenngrößenvergleich mit mehreren kleinen Fehlern	20
Tabelle 5: Liste aller im Zuge der Sensitivitätsanalyse veränderten Parameter.....	22
Tabelle 6: Parametertabelle 1 des Ausgangszustandes der WUFI Simulationen	26
Tabelle 7: Tabelle der Material-Eingangsgößen.....	26
Tabelle 8: Parametertabelle 2 des Ausgangszustandes der WUFI Simulationen	27
Tabelle 9: Skala der Schwellenwerte	32
Tabelle 10: Kennzahlen der kombinierten Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensoren.....	77
Tabelle 11: Kennzahlen der Temperatursensoren	78
Tabelle 12: Berechnung von Erwartungswerten und Standardunsicherheiten für eine Rechteckverteilung nach [7].....	79
Tabelle 13: Wirkung der Genauigkeit des kombinierten Sensors am Beispiel RH03	80
Tabelle 14: Tabelle der Aufbauten der umliegenden Bauteile	176
Tabelle 15: Mittelwerte und Standardabweichungen der dynamischen Wärmeströme	213
Tabelle 16: Mittelwerte und Standardabweichungen der Wärmeströme.....	214
Tabelle 17: Ergebnisse der Bewertung von Schimmel-, Holzfäule- und Kondensatbildung der äußeren Sensoren	224
Tabelle 18: Ergebnisse der Bewertung von Schimmel-, Holzfäule- und Kondensatbildung der äußeren Sensoren	224
Tabelle 19: vorhandene Datensätze in der Außenklimadatei „Villach 2011 – 2014“	228
Tabelle 20: Vergleich der verwendeten Materialien in WUFI und in Delphin	230

Tabelle 21: Kalibrierung 1 Tabelle der unverschatteten Simulation	316
Tabelle 22: Kalibrierung 1 Tabelle der verschatteten Simulation	321
Tabelle 23: Kalibrierung 2 Tabelle der unverschatteten Simulation	327
Tabelle 24: Kalibrierung 2 Tabelle der verschatteten Simulation	331

7.5 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Dachaufbauten in der Übersicht [1]	10
Abbildung 2: Übersichtsfoto der Flachdachaufbauten [1]	10
Abbildung 3: Kenngrößenvergleich - Diagramm der Eingangswerte	19
Abbildung 4: Kenngrößenvergleich - Diagramm der Relativwerte	19
Abbildung 5: grafischer Vergleich der Werte des Sensors RH05_RH mit den der Simulation	23
Abbildung 6: Bauteil I51 Sensorpositionen in der Konstruktion[1]	25
Abbildung 7: Grafik des Aufbaus I51 in WUFI	28
Abbildung 8: Tabellarische Ansicht des Aufbaus I51	28
Abbildung 9: Außenklimadaten Villach 2011 bis 2014 aus WUFI	29
Abbildung 10: Innenklimadaten gemessen im Gebäude aus WUFI	30
Abbildung 11: Diffuse Solarstrahlung des Außenklimas in WUFI	31
Abbildung 12: Normalregen des Außenklimas in WUFI	31
Abbildung 13: Verlauf des Sensors RH03_RH vor Kalibrierung	34
Abbildung 14: Verlauf des Sensors RH03_RH nach der Kalibrierung	34
Abbildung 15: mögliche Anzahl an Simulationen des Aufbaus I51	36
Abbildung 16: relative Luftfeuchtigkeit-Zeit-Diagramm I51RH_RH	40
Abbildung 17: Histogramm I51RH_RH	41
Abbildung 18: Histogramm mit normalverteilter Kurve I51RH_RH	42
Abbildung 19: kumulierte Verteilungsfunktion I51RH_RH	42
Abbildung 20: Boxplot I51RH_RH	43
Abbildung 21: Überblick I51RH_RH	44
Abbildung 22: Überblick I51RH_RH korrigiert	45
Abbildung 23: eraltive Luftfeuchtigkeit-Zeit-Diagramm (Histogramm) mit Sinus-Kurve aus der multiplen Regression	46
Abbildung 24: Boxplots von I51RH_RH und I51RH_RH korrigiert	48
Abbildung 25: Vergleich der Verläufe von I51RH_RH und I51RH_RH korrigiert	49
Abbildung 26: Temperatur-Zeit-Diagramm I51T	52
Abbildung 27: Balkendiagramm I51T	53
Abbildung 28: Histogramm I51T	53
Abbildung 29: Histogramm und normalverteilte Kurve I51T	54
Abbildung 30: kumulierte Verteilungsfunktion I51T	55
Abbildung 31: Boxplot I51T	56
Abbildung 32: Überblick I51T	57
Abbildung 33: Temperatur-Zeit-Diagramm I51T korrigiert	58
Abbildung 34: Temperatur I51_T gefiltert	59
Abbildung 35: Histogramm mit normalverteilter Kurve I51T gefiltert	60
Abbildung 36: kumulierte Verteilungsfunktion I51T gefiltert	60
Abbildung 37: Boxplot I51T gefiltert	61
Abbildung 38: Überblick I51T gefiltert	62
Abbildung 39: Vergleich der Boxplots I51T, I51T korrigiert und I51T gefiltert	63
Abbildung 40: Vergleich der Temperatur-Verläufe I51T, I51T korrigiert und I51T gefiltert	64
Abbildung 41: Wassergehalt-Zeit Diagramm MC07	67
Abbildung 42: Histogramm MC07	68
Abbildung 43: kumulierte Verteilungsfunktion MC07	68

Abbildung 44: Boxplot MC07.....	69
Abbildung 45: Überblick MC07.....	70
Abbildung 46: Überblick MC07 korrigiert.....	72
Abbildung 47: Überblick MC07 gefiltert.....	73
Abbildung 48: Wassergehalt-Zeit-Diagramm mit Sinus-Regressions-Kurve.....	75
Abbildung 49: Vergleich der Boxplots MC07, MC07 korrigiert und MC07 gefiltert.....	75
Abbildung 50: Vergleich der Temperaturverläufe MC07, MC07 korrigiert und MC07 gefiltert.....	76
Abbildung 51: Maximale Toleranz der Temperatur von Sensor SHT75 [16].....	78
Abbildung 52: Maximale Toleranz der relativen Luftfeuchtigkeit von Sensor SHT75 [16].....	78
Abbildung 53: vorhandene Information des Sensors und die zugeordnete Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion.....	79
Abbildung 54: typischer Verlauf des Wassergehaltes in einer OSB-Platte [4].....	81
Abbildung 55: typische Bereiche eines Wassergehaltsverlaufes beim eingeschwungenen Zustand [4].....	82
Abbildung 56: Bauteil I51 Sensorpositionen in der Konstruktion.....	83
Abbildung 57: Übersicht über die Lage der Bauteile.....	83
Abbildung 58: Lage des Bauteils I51 im Detail [1].....	84
Abbildung 59: Wassergehalt-Zeit Diagramm Sensor MC01.....	85
Abbildung 60: Wassergehalt-Zeit-Diagramm Sensor MC07.....	86
Abbildung 61: Wassergehalt-Sensor MC81.....	87
Abbildung 62: Wassergehalt-Sensor MC82.....	88
Abbildung 63: Sensoren MC01 (grün), MC07 (gelb), MC81 (rot), MC82 (blau)im Vergleich.....	89
Abbildung 64: Boxplot der Sensoren MC01, MC07, MC81, MC82.....	89
Abbildung 65: Boxplot der gefilterten Messwerte der Sensoren MC01, MC07, MC81, MC82	90
Abbildung 66: Überblick über RH03_RH.....	92
Abbildung 67: Überblick über RH04_RH.....	93
Abbildung 68: Überblick über RH05_RH.....	94
Abbildung 69: Überblick über RH03_T.....	95
Abbildung 70: Überblick über RH04_T.....	96
Abbildung 71: Überblick über RH05_T.....	97
Abbildung 72: Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit und der Temperatur von RH03.....	98
Abbildung 73: Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit und der Temperatur von RH04.....	100
Abbildung 74: Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit und der Temperatur von RH05.....	102
Abbildung 75: Vergleich der relativen Luftfeuchtigkeitsverläufe RH03, RH04 und RH05.....	103
Abbildung 76: Monats- und Jahresmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit von RH03, RH04 und RH05.....	104
Abbildung 77: Vergleich der Monatsmittelwerte pro Jahr der Temperatur RH03, RH04 und RH05.....	105
Abbildung 78: Monats- und Jahresmittelwerte der Temperatur von RH03, RH04 und RH05	106
Abbildung 79: Boxplots von RH03, RH04 und RH05.....	108
Abbildung 80: Isoplethendiagramme Teil 1 RH03, RH04 und RH05.....	110
Abbildung 81: Isoplethendiagramme Teil 2 RH03, RH04 und RH05.....	111
Abbildung 82: Verallgemeinertes Isoplethensystem für Sporenauskeimung nach [8].....	112
Abbildung 83: Verallgemeinertes Isoplethensystem für Myzelwachstum nach [8].....	113
Abbildung 84: Beurteilung des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule Teil 1 RH03.....	115
Abbildung 85: Beurteilung des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule Teil 2 RH03.....	116
Abbildung 86: Monatsmittelwerte des Schimmelpilzwachstums RH03.....	117
Abbildung 87: Monatsmittelwerte der Holzfäulebildung RH03.....	118
Abbildung 88: Monatsmittelwerte des Schimmelpilzwachstums RH03.....	119
Abbildung 89: Monatsmittelwerte der Holzfäulebildung RH03.....	120
Abbildung 90: Jahresmittelwerte des Schimmelpilzwachstums RH03.....	121
Abbildung 91: Jahresmittelwerte der Holzfäule RH03.....	122

Abbildung 92: Jahresmittelwerte des Schimmelpilzwachstums im Vergleich von RH03, RH04 und RH05	123
Abbildung 93: Jahresmittelwerte der Holzfäule im Vergleich von RH03, RH04 und RH05 .	124
Abbildung 94: Monatsmittelwerte des Schimmelpilzwachstums im Vergleich von RH03, RH04 und RH05	125
Abbildung 95: Monatsmittelwerte der Holzfäule im Vergleich von RH03, RH04 und RH05	126
Abbildung 96: Wasserdampfkonzentration-, Taupunkttemperaturverlauf des Kondensats von RH03	129
Abbildung 97: Monatsmittelwerte des Kondensats von RH03	130
Abbildung 98: Mittelwerte des Kondensats im Vergleich Teil 1 RH03, RH04 und RH05.....	131
Abbildung 99: Mittelwerte des Kondensats im Vergleich Teil 2 RH03, RH04 und RH05.....	132
Abbildung 100: Vergleich der relativen Luftfeuchtigkeitsverläufe RH01 und RH02.....	134
Abbildung 101: Monats- und Jahresmittelwerte der Temperatur von RH01 und RH02.....	136
Abbildung 102: Monatsmittelwerte des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule im Vergleich von RH01 und RH02	138
Abbildung 103: Monats- und Jahresmittelwerte des Kondensates im Vergleich RH01 und RH02	140
Abbildung 104: Jahresmittelwerte des Kondensates im Vergleich RH01 und RH02.....	141
Abbildung 105: Monats- und Jahresmittelwerte der Temperaturverläufe RH06 und RH07 .	142
Abbildung 106: Monats- und Jahresmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit RH06 und RH07	144
Abbildung 107: Monatsmittelwerte des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule im Vergleich von RH06 und RH07	146
Abbildung 108: Jahresmittelwerte des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule im Vergleich von RH06 und RH07.....	148
Abbildung 109: Monatsmittelwerte des Kondensates im Vergleich RH06 und RH07.....	150
Abbildung 110: Jahresmittelwerte des Kondensates im Vergleich RH06 und RH07.....	151
Abbildung 111: Monats- und Jahresmitteltemperaturen im Vergleich RH23, RH24 und RH25	152
Abbildung 112: Monats- und Jahresmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit im Vergleich RH23, RH24 und RH25	154
Abbildung 113: Monatsmittelwerte des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule im Vergleich RH23, RH24 und RH25.....	156
Abbildung 114: Jahresmittelwerte des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule im Vergleich RH23, RH24 und RH25	158
Abbildung 115: Monats- und Jahresmitteltemperaturen im Vergleich RH21 und RH22.....	160
Abbildung 116: Monats- und Jahresmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit im Vergleich RH21 und RH22	162
Abbildung 117: Monatsmittelwerte des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule im Vergleich von RH21 und RH22.....	164
Abbildung 118: Jahresmittelwerte des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule im Vergleich von RH21 und RH22.....	166
Abbildung 119: Monats- und Jahresmitteltemperaturen im Vergleich RH26 und RH27	168
Abbildung 120: Monats- und Jahresmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit im Vergleich RH26 und RH27	170
Abbildung 121: Monatsmittelwerte des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule RH26 und RH27	172
Abbildung 122: Jahresmittelwerte des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule RH26 und RH27	174
Abbildung 123: umliegende Bauteile um Bauteil I51 und Firstberiech (lila)	175
Abbildung 124: Bauteil I51 Sensorpositionen in der Konstruktion und lila Firstbereich	176
Abbildung 125: Vergleich der Temperaturverläufe RH41, RH42 und RH07	177
Abbildung 126: Monatsmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit im Vergleich RH41, RH42 und RH07	179

Abbildung 127: Monatsmittelwerte des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule RH41, RH42 und RH07	181
Abbildung 128: Jahresmittelwerte des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule RH41, RH42 und RH07	183
Abbildung 129: Monatsmittelwerte des Kondensates im Vergleich RH41, RH42 und RH07	185
Abbildung 130: Jahresmittelwerte des Kondensates im Vergleich RH41, RH42 und RH07	186
Abbildung 131: umliegende Bauteile um Bauteil I51 und Traufberiech (grün)	187
Abbildung 132: Bauteil I51 Sensorpositionen in der Konstruktion und grüner Traufbereich	187
Abbildung 133: Vergleich der Temperaturverläufe RH61, RH62 und RH01	188
Abbildung 134: Vergleich der relativen Luftfeuchtigkeitsverläufe RH61, RH62 und RH01 ..	190
Abbildung 135: Monatsmittelwerte des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule von RH61, RH62 und RH01	192
Abbildung 136: Jahresmittelwerte des Schimmelpilzwachstums und der Holzfäule von RH61, RH62 und RH01	194
Abbildung 137: Monatsmittelwerte des Kondensats von RH61, RH62 und RH01	196
Abbildung 138: Monatsmittelwerte des Kondensats von RH61, RH62 und RH01	197
Abbildung 139: Temperatur-Zeit-Diagramm TR01 gefiltert.....	198
Abbildung 140: Temperatur-Zeit-Diagramm TR02 gefiltert.....	199
Abbildung 141: Temperatur-Zeit-Diagramm TR01 und TR02 gefiltert	200
Abbildung 142: Vergleich der gefilterten Sensoren I51T_T und I51RH_T	201
Abbildung 143: Vergleich der Sensoren RH05_RH und RH25_RH.....	202
Abbildung 144: Vergleich der Sensoren RH05_T und RH25_T.....	203
Abbildung 145: Wärmestrom der Sensorposition 5	204
Abbildung 146: Schnitt des Aufbaus mit den Wärmestrom-Positionen	205
Abbildung 147: Vergleich der Sinuswellen und der linearen Trendlinien der Wärmeströme.....	206
Abbildung 148: Tabellen zur Berechnung der Wärmeleitfähigkeit auf Basis der generierten (Quelle: WUFI).....	208
Abbildung 149: Diagramme der Wärmeleitfähigkeit und des U-Werts Position 1 (RH01 – RH21)	210
Abbildung 150: Wärmeströme mit variablen und konstanten U-Wert	212
Abbildung 151: Wärmeströme mit variablen und konstanten U-Wert	213
Abbildung 152: Vergleich der linearisierten Wärmeströme der Sensorpositionen 1 bis 7 ...	214
Abbildung 153: Boxplots der äußeren Luftfeuchtigkeitssensoren	216
Abbildung 154: Boxplots der äußeren Temperatursensoren	217
Abbildung 155: Boxplots der inneren Luftfeuchtigkeitssensoren	218
Abbildung 156: Boxplots der inneren Temperatursensoren.....	219
Abbildung 157: Bewertung der kombinierten innenliegenden Sensoren.....	221
Abbildung 158: Bewertung der kombinierten außenliegenden Sensoren	222
Abbildung 159: Bewertung der kombinierten Sensoren.....	223
Abbildung 160: Aussagekraft der Bewertung der kombinierten Sensoren	226
Abbildung 161: Aufbau (oben = außen; Gesamtbreite = 37,5cm) I51 in Delphin (links) und WUFI (rechts)	229
Abbildung 162: Gesamtwassergehalt des Aufbaus I51 von WUFI und Delphin im Vergleich	232
Abbildung 163: Gesamtwassergehalt von WUFI	232
Abbildung 164: Temperatur der Außenoberfläche im Vergleich	233
Abbildung 165: relative Luftfeuchtigkeit der Außenoberfläche im Vergleich	233
Abbildung 166: Temperatur der Innenoberfläche im Vergleich	234
Abbildung 167: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit des Innenklimas in Villach	234
Abbildung 168: relative Luftfeuchtigkeit der Innenoberfläche im Vergleich	235
Abbildung 169: Temperatur der äußeren OSB-Platte im Vergleich	235
Abbildung 170: relative Luftfeuchtigkeit der äußeren OSB-Platte im Vergleich	236
Abbildung 171: Wassergehalt der äußeren OSB-Platte im Vergleich	236

Abbildung 172: Temperatur der inneren OSB-Platte im Vergleich.....	237
Abbildung 173: relative Luftfeuchtigkeit der äußeren OSB-Platte im Vergleich	238
Abbildung 174: Wassergehalt der inneren OSB-Platte im Vergleich	238
Abbildung 175: Wassergehalt der Wärmedämmung im Vergleich.....	239
Abbildung 176: Vergleich der Temperaturen der äußeren und der inneren OSB-Platte aus Delphin	240
Abbildung 177: Vergleich der Temperaturen der äußeren OSB-Platte und inneren OSB-Platte aus WUFI	240
Abbildung 178: Vergleich der relativen Luftfeuchten der äußeren OSB-Platte und inneren OSB-Platte aus Delphin.....	241
Abbildung 179: Vergleich der relativen Luftfeuchten der äußeren OSB-Platte und inneren OSB-Platte aus WUFI.....	241
Abbildung 180: Vergleich des Wassergehaltes der Wärmedämmung und inneren OSB-Platte aus Delphin und WUFI.....	242
Abbildung 181: Vergleich des Wassergehaltes der äußeren OSB-Platte aus Delphin und WUFI	242

7.6 Formelverzeichnis

Formel 1: Summe der Abweichungsquadrate (Δ^2)	18
Formel 2: Chi-Quadrat Kenngröße (CHI^2)	18
Formel 3: Betrag der Differenz ($ \Delta $)	18
Formel 4: temperaturabhängige Genauigkeit des Sensors T190-10	79
Formel 5: Berechnung der Standardabweichung u_x bei einer Rechteckverteilung mit den Grenzen $-\Delta a$ bis $+\Delta a$	79
Formel 6: Berechnung des Erwartungswertes x bei einer Rechteckverteilung mit den Grenzen $-\Delta a$ bis $+\Delta a$	79
Formel 7: Berechnung des Wasserdampf-sättigungsdruck zwischen 0 und 30 °C [10]	126
Formel 8: Berechnung des Wasserdampf-sättigungsdruck zwischen -20 und 0 °C [10]	126
Formel 9: Berechnung der Wasserdampfkonzentration nach	127
Formel 10: Berechnung der Wasserdampf-sättigungskonzentration	127
Formel 11: Berechnung der Taupunkttemperatur	127
Formel 12: Berechnung des Wärmestroms	203
Formel 13: Kapillarer bzw. Konvektiver Flüssigwassertransport, flüssig	231