

**Schlussbericht für das Forschungsvorhaben:**

**Landwirtschaftliche Nutzgebäude in Holzbauweise ohne vorbeugenden chemischen Holzschutz (Gebrauchsklasse 0 (GK 0)) - Besondere bauliche Maßnahmen in Anlehnung an DIN 68800**

**Forschungsstellen:**

Technische Universität München  
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter  
Arcisstraße 21  
80333 München

LfL - Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft  
Institut für Landtechnik und Tierhaltung  
Dipl.-Ing. Architekt Jochen Simon  
Prof.-Dürrwaechter-Platz 2  
85586 Poing-Grub

**Projektbearbeitung:**

Yuan Jiang M.Sc. (TUM)  
Dr.-Ing. Philipp Dietsch (TUM)  
B.Eng. (FH) Ferdinand Oberhardt (LfL)  
Dipl.-Ing. Architekt Jochen Simon (LfL)

**gefördert von:**

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
85354 Freising

München. 31. Juli 2018



## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	i
1 Einleitung.....	5
1.1 Anlass und Zielsetzung .....	5
1.2 Danksagung .....	6
2 Holzschutz.....	7
2.1 Allgemeine Grundlagen.....	7
2.2 Lebensbedingungen Holz zerstörender Organismen .....	7
2.3 Gebrauchsklassen .....	8
2.4 Natürliche Dauerhaftigkeit des Holzes.....	9
2.5 Zusätzliche Holzschutzmaßnahmen .....	11
3 Holz und das Verhalten gegenüber Feuchte .....	12
3.1 Grundlagen der Holzfeuchte .....	12
3.2 Feuchteaufnahme und -abgabe von Holz.....	15
3.3 Feuchteverteilung in Holzbauteilen .....	19
4 Auswahl der landwirtschaftlichen Nutzgebäude .....	22
4.1 Allgemeines.....	22
4.2 Nutzungsspezifische Randbedingungen .....	23
5 Durchführung der Langzeitmessung .....	33
5.1 Allgemeines.....	33
5.2 Beschreibung der verwendeten Messtechnik.....	33
5.3 Herausforderungen an die Messtechnik und Maßnahmen zum Schutz bzw. Instandsetzung der Messtechnik .....	35
5.4 Gebäudeinformationsblatt .....	38

5.5	Auswertung der Messwerte der einzelnen Objekte .....	38
6	Ergebnisse der Langzeitmessungen .....	39
6.1	Allgemeines.....	39
6.2	Darstellung der Ergebnisse aus den Langzeitmessungen .....	39
6.3	Ergebnisse und Anmerkungen zu den untersuchten Gebäudenutzungen .....	41
7	Bewertung des Gefährdungspotentials durch Holz zerstörende Pilze.....	50
7.1	Allgemeines.....	50
7.2	Bewertung der gemessenen Holzfeuchten gemäß DIN 68800 .....	50
7.3	Holzerstörungsmodell .....	50
7.4	Bewertung des Gefährdungspotentials anhand des Holzerstörungsmodells.....	53
8	Veränderte Randbedingungen in Beispielgebäuden.....	67
8.1	Änderung baulicher Randbedingungen .....	67
8.2	Nutzungsbedingte Änderung der klimatischen Randbedingungen .....	70
9	Leitfaden zum konstruktiven Holzschutz im landwirtschaftlichen Bauwesen.....	72
9.1	Allgemeines.....	72
9.2	Erhöhte Holzfeuchte aus der Luftfeuchtigkeit.....	73
9.3	Erhöhter Spritzwassereintrag und aufsteigende Baufeuchte.....	77
9.4	Sonstige Schädigungen von Holzkonstruktionen .....	78
9.5	Leitfaden zum konstruktiven Holzschutz im landwirtschaftlichen Bauwesen.....	78
10	Schlussfolgerung und Ausblick.....	79
10.1	Allgemeines.....	79
10.2	Schlussfolgerungen zur Messtechnik .....	79
10.3	Schlussfolgerungen aus den Messergebnissen .....	80
10.4	Schlussfolgerungen zum Leitfaden.....	80

10.5 Ausblick.....	81
Literaturverzeichnis.....	82
Abbildungsverzeichnis.....	86
Tabellenverzeichnis .....	90



## 1 Einleitung

### 1.1 Anlass und Zielsetzung

Holz spielt im landwirtschaftlichen Bauwesen eine wichtige Rolle. Gerade im ländlichen Raum steht der natürliche und nachwachsende Rohstoff Holz vermehrt zur Verfügung. Als Baustoff wird er von vielen Landwirten bevorzugt, da sie selbst Waldbesitzer sind und Holz für vielfältige Konstruktionen und Gebäudenutzungen einsetzbar ist. Als organisches Material muss Holz allerdings vor Schadorganismen (Pilzen, Insekten) geschützt werden. Um die Tragsicherheit und Dauerhaftigkeit landwirtschaftlicher Nutzgebäude aus Holz zu gewährleisten, ist ein wirksamer Holzschutz von großer Bedeutung.

Die im Jahr 2012 novellierte Normenreihe zum Holzschutz DIN 68800 ordnet die Einbausituation von Holz, in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen, in bestimmte Gebrauchsklassen (GK). In DIN 68800-1 wird ein Wert von 20 % Holzfeuchte (GK 0 und 1) als Obergrenze für das Vermeiden eines Pilzbefalls angesetzt. Insekten können zwar auch Holzbauteile mit geringerer Holzfeuchte befallen, bei den heutzutage zumeist verwendeten, technisch getrockneten Hölzern ist die Gefahr eines derartigen Befalls laut DIN 68800-1 jedoch als unbedeutend einzustufen.

Basierend auf den bisherigen Erkenntnissen sind landwirtschaftliche Nutzgebäude aus Holz, z.B. Stallanlagen oder Lagerhallen infolge ihrer Bauweise und Nutzung, in GK 2 oder GK 3 einzustufen. Die Fichte, eine der im landwirtschaftlichen Bauen hauptsächlich verwendeten Holzarten, ist für den Einsatz in der GK 1 oder höher, gem. DIN 68800-1 jedoch nicht ohne zusätzliche Holzschutzmaßnahmen geeignet. Die zusätzlichen Holzschutzmaßnahmen reichen vom vorbeugend baulichen Holzschutz bis hin zum vorbeugend chemischen Holzschutz. Landwirtschaftliche Nutzbauten werden in der Normenreihe DIN 68800 bisher nicht explizit behandelt, insbesondere fehlen Angaben zu den sogenannten "Besonderen Baulichen Maßnahmen" entsprechend DIN 68800-2, d.h. konstruktiven Maßnahmen zum Holzschutz, welche eine Einordnung der Holzbauteile in die GK 0 erlauben. Vorbeugende chemische Holzschutzmaßnahmen sind zwar möglich, aber die Verwendung von chemischen Holzschutzmitteln wird im unmittelbaren Kontaktbereich mit Tieren ausgeschlossen. Auch in der Bauberatungspraxis wird im Hinblick auf eine mögliche Anreicherung gesundheitsgefährdender Substanzen in der Nahrungsmittelkette von vorbeugend chemischen Holzschutzmaßnahmen abgeraten. Der Widerspruch, keinen vorbeugend chemischen Holzschutz im Umfeld der Nahrungsmittelkette einsetzen zu wollen, andererseits aber auch keine klaren normativen Regeln für die Bestimmung der Gebrauchsklasse landwirtschaftlicher Nutzgebäude bzw. Maßnahmen zur Einstufung dieser in einer niedrigeren Gebrauchsklasse (GK) zur Verfügung zu haben, stellt Bauherren, Planer und Prüferingenieure derzeit vor eine schwierig zu beurteilende Situation.

Ziel dieses Projektes ist es, über das Klima- und Holzfeuchte-Monitoring landwirtschaftlicher Gebäude mit typischen Anwendungsfällen die Gebrauchsbedingungen, denen Holzkonstruktionen unter landwirtschaftlichen Nutzungsbedingungen ausgesetzt sind, systematisch zu erfassen. Aus diesen sollen konstruktive Maßnahmen in Kombination mit der Verwendung geeigneter Holzarten

festgelegt werden, die einen dauerhaften Schutz von Holzkonstruktionen im landwirtschaftlichen Bauen gewährleisten. Dabei soll angestrebt werden, entweder durch konstruktive Maßnahmen eine Einstufung bzw. Äquivalenz zur Gebrauchsklasse 0 (kein vorbeugender chemischer Holzschutz für Fichte erforderlich) zu erreichen oder die Gebrauchsklasse soweit abzusenken, dass durch den Einsatz heimischer Kernhölzer mit erhöhter Resistenz (z.B. Lärche, Kiefer, Douglasie) auf den Einsatz chemischer Holzschutzmittel verzichtet werden kann.

Ein entsprechender Konstruktionskatalog wäre vergleichbar mit den in der Norm DIN 68800-2:2012-02 angegebenen „Besonderen Baulichen Maßnahmen“ zur Einstufung von Baukonstruktionen in die Gebrauchsklasse 0. Dieser könnte ggf. in Ergänzung zu DIN 68800-2:2012-02, Anhang A als Richtlinie eingeführt werden, welche auch im bauaufsichtlichen Sinne verwendet werden könnte.

## **1.2 Danksagung**

An dieser Stelle sei allen Hallenbetreibern, Objektbesitzern und zuständigen Personen dafür gedankt, dass sie ihr Gebäude für die Langzeitmessungen bzw. die anschließenden Sichtkontrollen und Befragungen zur Verfügung gestellt haben. Ohne ihre Unterstützung wäre die Durchführung dieses Forschungsvorhabens nicht möglich gewesen.

Den wissenschaftlichen Hilfskräften Maximilian Ernst, Sebastian Rodemeier, Benedikt Behounek, Andreas Reischenbeck, Benjamin Ostermaier, Michael S. Müller und Timothy Reichl sei für ihre Hilfe bei der Installation und Deinstallation der Messtechnik, Durchführung der Sichtkontrolle, Bestandsaufnahme und Befragung bzw. ihre Zuarbeit beim Auslesen und Auswerten der Messdaten gedankt.

## 2 Holzschutz

### 2.1 Allgemeine Grundlagen

Als Holzschutz sind Maßnahmen zu verstehen, die eine Wertminderung oder Zerstörung von Holz und Holzwerkstoffen besonders durch Pilze, Insekten oder Meerestiere verhüten sollen und damit eine lange Gebrauchsdauer sicherstellen (DIN 68800-1:2011-10).

### 2.2 Lebensbedingungen Holz zerstörender Organismen

Holz und daraus hergestellte Holzwerkstoffe können von Organismen abgebaut oder verändert und damit in ihrer Qualität beeinträchtigt werden. Dies kann aber nur erfolgen, wenn für die betreffenden Organismen geeignete Lebensbedingungen vorliegen (DIN 68800-1:2011-10).

Voraussetzungen für das Wachstum Holz zerstörender Pilze ist primär eine verwertbare Nährstoffquelle. Diese bieten ihnen die Zellwandkomponenten und Zellinhaltsstoffe des Holzes. Neben geeigneten Licht- und Sauerstoffverhältnissen sowie einem günstigen pH-Wert des Substrates haben die Holzfeuchtigkeit und Temperatur einen maßgeblichen Einfluss auf das Pilzwachstum und die Intensität der Holzzerstörung. (Weiß, Wagenführ und Kruse 2000) Die wichtigste Voraussetzung für die Entwicklung von Pilzen auf Holz ist eine ausreichende Holzfeuchte. Das Wasser wird von Mikroorganismen benötigt, für die Aufnahme und den Transport von Nährstoffen sowie für die Funktionsfähigkeit der Enzyme, die den Ablauf sämtlicher Stoffwechselvorgänge in lebenden Zellen katalysieren (Weiß, Wagenführ und Kruse 2000). Zur Besiedlung des Holzes durch bestimmte Pilze ist ein minimaler Feuchtegehalt von etwa 20 % erforderlich (Grosser 1985) (Weiß, Wagenführ und Kruse 2000). Holz zerstörende Pilze benötigen allerdings eine Holzfeuchte oberhalb des Fasersättigungspunktes (etwa 30 ... 60 %), um auf Holz zu wachsen und die verholzte Zellwand enzymatisch abzubauen. Die überwiegend im Erdkontakt auftretenden Moderfäulepilze sind bei Holzfeuchten von über 80 % anzutreffen (Wagenführ und Scholz 2008). Weitere Informationen zum Thema „Holzfeuchte“ sind im Abschnitt 3 zu finden. Im Hinblick auf das Zerstörungsbild und ihre Lebensbedingungen sind Braun- und Weißfäulepilze und Moderfäulepilze zu unterscheiden (DIN 68800-1:2011-10).

Holz zerstörende Insekten können sich auch bei geringerer Feuchte entwickeln. In Deutschland treten als Holz zerstörende Insekten überwiegend Käfer auf (DIN 68800-1:2011-10). Ihre Gefährdung von Holz- und Holzwerkstoffen besteht in der Verminderung der Standsicherheit durch Abbau des Holzes infolge Fraßtätigkeit. Die Weibchen legen ihre Eier in Risse und kleine Ritzen ins Holz ab. Die schlüpfenden Larven fressen sich, vom Holz ernährend, durch Holz hindurch und hinterlassen dadurch ein perforierte Holzstruktur, die im fortschreitenden Stadium sehr stark an Festigkeit verliert (Wagenführ und Scholz 2008). Die Schädlinge werden in Frischholz- und Trockenholzinsekten unterteilt. Frischholzinsekten befallen ausschließlich noch nicht getrocknetes Holz, können jedoch die Entwicklung in verbautem Holz abschließen. Trockenholzinsekten befallen und leben in luftgetrocknetem Holz, das durch wiederholte Eiablage neu befallen wird (Lohmann, Annies und Ermschel 1998). Termiten sind in Deutschland ohne Bedeutung (DIN 68800-1:2011-10).

### 2.3 Gebrauchsklassen

Nach DIN 68800-1 sind Bauteile aus Holz und Holzwerkstoffen entsprechend ihrer Einbausituation sogenannten Gebrauchsklassen (GK) zuzuordnen. Für die Zuordnung zu einer Gebrauchsklasse sind die Holzfeuchte im Gebrauchszustand und die allgemeinen Gebrauchsbedingungen entscheidend. Einen Überblick über die jeweiligen Gebrauchsbedingungen und die möglichen Gefährdungen durch Holz zerstörende Organismen gibt die DIN 68800-1:2011 (s. Tabelle 2-1).

Tabelle 2-1: Auszug aus der DIN 68800-1:2011-10 (Tabelle 1 - Gebrauchsklassen (GK))

GK	Holzfeuchte / Exposition <sup>a,b</sup>	Allgemeine Gebrauchsbedingungen	Gefährdung durch				Auswaschbeanspruchung
			Insekten	Pilze <sup>c</sup>	Moderfäule	Holzschädlinge im Meerwasser	
1	2	3	4	5	6	7	8
0	trocken (ständig ≤ 20 %) mittlere relative Luftfeuchte bis 85 % <sup>d</sup>	Holz oder Holzprodukt unter Dach, nicht der Bewitterung und keiner Befeuchtung ausgesetzt, die Gefahr von Bauschäden durch Insekten kann entsprechend 5.2.1 ausgeschlossen werden	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
1	trocken (ständig ≤ 20 %) mittlere relative Luftfeuchte bis 85 % <sup>d</sup>	Holz oder Holzprodukt unter Dach, nicht der Bewitterung und keiner Befeuchtung ausgesetzt	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
2	Gelegentlich feucht (> 20 %) mittlere relative Luftfeuchte über 85 % <sup>d</sup> oder zeitweise Befeuchtung durch Kondensation	Holz oder Holzprodukt unter Dach, nicht der Bewitterung ausgesetzt, eine hohe Umgebungsfeuchte kann zu gelegentlicher, aber nicht dauernder Befeuchtung führen	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein
3	3.1 Gelegentlich feucht (> 20 %) Anreicherung von Wasser im Holz, auch räumlich begrenzt, nicht zu erwarten	Holz oder Holzprodukt nicht unter Dach, mit Bewitterung, aber ohne ständigen Erd- oder Wasserkontakt, Anreicherung von Wasser im Holz, auch räumlich begrenzt, ist aufgrund von rascher Rücktrocknung nicht zu erwarten	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja
	3.2 Häufig feucht (> 20 %) Anreicherung von Wasser im Holz, auch räumlich begrenzt, zu erwarten	Holz oder Holzprodukt nicht unter Dach, mit Bewitterung, aber ohne ständigen Erd- oder Wasserkontakt, Anreicherung von Wasser im Holz, auch räumlich begrenzt, zu erwarten <sup>e</sup>	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja
4	Vorwiegend bis ständig feucht (> 20 %)	Holz oder Holzprodukt in Kontakt mit Erde oder Süßwasser und so bei mäßiger bis starker <sup>f</sup> Beanspruchung vorwiegend bis ständig einer Befeuchtung ausgesetzt	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja
5	Ständig feucht (> 20 %)	Holz oder Holzprodukt, ständig Meerwasser ausgesetzt	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

<sup>a</sup> Die Begriffe „gelegentlich“, „häufig“, „vorwiegend“ und „ständig“ zeigen eine zunehmende Beanspruchung an, ohne dass hierfür wegen der sehr unterschiedlichen Einflussgrößen genaue Zahlenangaben möglich sind.  
<sup>b</sup> Der Wert von 20 % enthält eine Sicherheitsmarge (siehe 4.2.2, Anmerkung 1).  
<sup>c</sup> Holz zerstörende Basidiomyceten (siehe 4.2.2, Anmerkung 2) sowie Holz verfärbende Pilze (siehe 4.2.3).  
<sup>d</sup> Maßgebend für die Zuordnung von Holzbauteilen zu einer Gebrauchsklasse ist die jeweilige Holzfeuchte.  
<sup>e</sup> Bauteile, bei denen über mehrere Monate Ablagerungen von Schmutz, Erde, Laub u. ä. zu erwarten sind sowie Bauteile mit besonderer Beanspruchung, z. B. durch Spritzwasser, sind in GK 4 einzustufen.  
<sup>f</sup> ‚Mäßige‘ bzw. ‚starke‘ Beanspruchung bezieht sich auf das Gefährdungspotential für einen Pilzbefall (Feuchteverhältnisse, Bodenbeschaffenheit) sowie die Intensität einer Auswaschbeanspruchung.

Holzbauteile werden der GK 0 zugeordnet, bei denen das Risiko einer unzuträglichen Veränderung des Feuchtegehaltes (Holzfeuchte ständig  $\leq 20\%$ ) und Insektenbefall vermieden wird. Es handelt sich dabei um Bauteile in Räumen mit üblichem Wohnklima (mittlere relative Luftfeuchte bis 85 %) oder vergleichbaren Räumen, bei denen die grundsätzlichen und, soweit erforderlich, die besonderen baulichen Maßnahmen nach DIN 68800-2 erfüllt werden. Weitere Informationen zum Thema „baulicher Holzschutzmaßnahmen nach DIN 68800-2“ sind im Abschnitt 2.5.1 zu finden.

Vor dem Hintergrund von hohen relativen Luftfeuchten aus der Tierhaltung, Restfeuchten aus Lagerstoffen und einem insgesamt hohen biologischen Befallsdruck würden Holzbauteile in landwirtschaftlichen Nutzgebäuden typischerweise der GK 2 oder GK 3.1 zugeordnet.

## 2.4 Natürliche Dauerhaftigkeit des Holzes

### 2.4.1 Definition

Unter natürliche Dauerhaftigkeit versteht man die mehr oder minder ausgeprägte Eigenschaft einer Holzart, ohne zusätzliche Maßnahmen einem Befall durch Holzschädlinge zu widerstehen (DIN 68800-1:2011-10). Die Resistenz einer Holzart gegen den Befall von Holz zerstörenden Mikroorganismen wird im Wesentlichen durch die Anwesenheit von Kerninhaltsstoffen und in geringerem Maße den anatomischen Holzaufbau beeinflusst. Während des physiologischen Prozess der Verkernung werden im Baumstamm leicht abbaubare Reservestoffe zu Kerninhaltsstoffen umgebaut. Aufgrund des Vorhandenseins von resistenzwirksamen Inhaltsstoffen (wie u.a. Terpene, Alkaloide, Stilbene und Flavanoide) besitzen die Kernhölzer meistens eine höhere Resistenz gegen Schadorganismen als ihr Splintholz. Das Kernholz einheimischer Baumarten mit hellem Kern (wie Fichte, Tanne, Ahorn) oder mit fakultativem Farbkern (wie Rotbuche und Esche) sind aufgrund des Fehlens resistenzwirksamer Inhaltsstoffe nur wenig dauerhafter. Zudem kann die natürliche Dauerhaftigkeit des Holzes sehr stark innerhalb und zwischen verschiedenen Holzarten variieren (Wagenführ und Scholz 2008).

### 2.4.2 Klassifizierung

Angaben zur natürlichen Dauerhaftigkeit sind in DIN EN 350:2016-12 enthalten. Bei der Klassifizierung der Dauerhaftigkeitsklasse (DC) des Holzes gegen Pilzbefall wird eine fünfstufige Skala von „sehr dauerhaft“ (DC 1) bis „nicht dauerhaft“ (DC 5) verwendet. Die angegebene Dauerhaftigkeit bezieht sich nur auf das Kernholz; Splintholz wird im Allgemeinen als nicht dauerhaft angesehen. Der Widerstand von Holzarten gegen Befall durch Holz zerstörende Käfer (*Hylotrupes bajulus*, *Anobium punctatum*, *Lyctus brunneus* und *Trichoferus holosericeus* Rossi) lässt sich hingegen nur in zwei Klassen einteilen. Holzarten besitzen entweder eine natürliche Resistenz (DC D für „dauerhaft“) oder sie können befallen werden (DC S für „nicht dauerhaft“).

In Tabelle 2-2 ist die natürliche Dauerhaftigkeit ausgewählter Nadelholzarten aufgeführt, die im landwirtschaftlichen Bauen zur Anwendung kommen würden.

Tabelle 2-2: Natürliche Dauerhaftigkeit ausgewählter Nadelholzarten nach DIN EN 350:2016

Holzart		Dauerhaftigkeit von Kernholz	
Handelsname	Wissenschaftlicher Name	Pilze	Insekten
Fichte	<i>Picea abies</i>	4 - wenig dauerhaft	S - nicht dauerhaft
Tanne	<i>Abies alba</i>	4 - wenig dauerhaft	S - nicht dauerhaft
Lärche	<i>Larix decidus</i>	3 bis 4 - mäßig bis wenig dauerhaft	D - dauerhaft
Douglasie	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	3 - mäßig dauerhaft	D - dauerhaft
Kiefer	<i>Pinus sylvestris</i>	3 bis 4 - mäßig bis wenig dauerhaft	D - dauerhaft

### 2.4.3 Nutzung der Dauerhaftigkeit von Hölzern in den Gebrauchsklassen

Für den Schutz des Holzes gegen Holz zerstörende Organismen steht eine Reihe unterschiedlicher Maßnahmen zur Verfügung. Das Basisprinzip ist dabei vorbeugende Holzschutzmaßnahmen mit Holzschutzmitteln nach DIN 68800-3 erst dann vorzunehmen, wenn der Schutzerfolg durch die natürliche Dauerhaftigkeit der hierfür vorgesehenen Holzarten und die bauliche Maßnahmen nach DIN 68800-2 allein nicht sichergestellt werden kann (DIN 68800-1:2011-10).

In Tabelle 5 der DIN 68800-1:2011-10 sind die Gebrauchsklassen aufgeführt, in welchen die nach DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08 (Nationaler Anhang der Bemessungsnorm für Holzbauwerke) verwendbaren Holzarten ohne zusätzliche Holzschutzmaßnahmen verwendet werden dürfen. Dabei ist die Fichte, eine der im landwirtschaftlichen Bauen hauptsächlich verwendeten Holzarten, für den Einsatz in der GK 1 oder höher nicht ohne zusätzliche Holzschutzmaßnahmen geeignet.

Tabelle 2-3: Gebrauchsklassen, in denen ausgewählte Holzarten ohne zusätzliche Holzschutzmaßnahmen verwendet werden dürfen

Holzart		Gebrauchsklasse	
Handelsname	Wissenschaftlicher Name	Splintholz	Farbkernholz
Fichte	<i>Picea abies</i>	0	0
Tanne	<i>Abies alba</i>	0	0
Lärche	<i>Larix decidus</i>	0	0, 1, 2, 3.1
Douglasie	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0	0, 1, 2, 3.1
Kiefer	<i>Pinus sylvestris</i>	0	0, 1, 2

## **2.5 Zusätzliche Holzschutzmaßnahmen**

### **2.5.1 Vorbeugender baulicher Holzschutz**

Um einen optimalen Schutzerfolg zu sichern, ist bewusster, sorgfältiger Umgang mit dem Baustoff Holz über die gesamte Wertschöpfungskette erforderlich. Zum vorbeugenden baulichen Holzschutz gehören alle planerischen, konstruktiven, bauphysikalischen und organisatorischen Maßnahmen, die eine Minderung der Funktionstüchtigkeit von Holz und Holzwerkstoffen besonders durch Holz zerstörende Organismen während der Gebrauchsdauer verhindern oder einschränken und darüber hinaus Schäden durch übermäßiges Quellen und Schwinden des Holzes und der Holzwerkstoffe verhindern (DIN 68800-2:2012-02).

In der DIN 68800-2 werden sog. „grundsätzliche baulichen Maßnahmen“ definiert, welche bei Bauteilen aus Holz oder Holzwerkstoffen in jedem Fall vorzunehmen sind. Diese werden ergänzt durch sog. „besondere bauliche Maßnahmen“, die es ermöglichen, Bauteile aus Holz und Holzwerkstoffen in die Gebrauchsklasse GK 0 einzustufen, wenn die grundsätzlichen baulichen Maßnahmen alleine nicht ausreichen. Landwirtschaftliche Nutzbauten werden in der DIN 68800-2 bisher nicht explizit behandelt, insbesondere fehlen Angaben zu den „besonderen baulichen Maßnahmen“, welche die Verwendung vorbeugend chemischen Holzschutzes obsolet macht.

### **2.5.2 Vorbeugender chemischer Holzschutz**

Sofern festgestellt wird, dass für tragende Holzbauteile die Dauerhaftigkeit nicht mit den vorbeugenden baulichen Holzschutzmaßnahmen nach DIN 68800-2 gesichert werden kann, ist DIN 68800-3 ergänzend anzuwenden. In dieser Norm sind Maßnahmen zum vorbeugenden Schutz von Holz und Holzwerkstoffen mit Holzschutzmitteln festgelegt. Um einen dauerhaften Schutz mit Holzschutzmitteln zu erzielen ist eine gleichmäßige, tiefreichende Verteilung der Schutzmittel notwendig. Allerdings lassen sich viele Holzarten mit flüssigen Holzschutzmitteln schwer tränken. Die Ursache der schlechten Tränkbarkeit des Holzes liegt im anatomischen Aufbau der betreffenden Holzarten. Bei der Trocknung des Fichtenholzes zum Beispiel werden die für den Flüssigkeitstransport verantwortlichen Tüpfelmembranen in den Tracheidenwänden irreversibel verschließen (Wagenführ und Scholz 2008). Bei schwer tränkbaren Holzarten wie Fichte sind vorbeugende chemische Schutzmaßnahmen deshalb nur begrenzt wirksam.

Im landwirtschaftlichen Bauen ist die Verwendung von chemischen Holzschutzmitteln wegen des möglichen direkten Kontakts zu Tieren oder Futtermitteln als kritisch anzusehen. Der Einsatz von chemischen Holzschutzmitteln ist in Deutschland zwar nicht direkt verboten. Einen indirekten Hinweis zur Verwendung von Substanzen, die den Organismus schädigen können, gibt allerdings das Tierschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Mai 2006, wonach es gemäß §3, Ziff. 10 verboten ist, einem Tier Futter darzureichen, das ihm erhebliche Schmerzen, Leiden oder Schäden bereitet. Auch in der Bauberatungspraxis wird im Hinblick auf eine mögliche Anreicherung gesundheitsgefährdender Substanzen in der Nahrungsmittelkette von vorbeugend chemischen Holzschutzmaßnahmen abgeraten.

### 3 Holz und das Verhalten gegenüber Feuchte\*

#### 3.1 Grundlagen der Holzfeuchte

Holz zeigt als lignocellulosisches Material ausgeprägte hygroskopische Eigenschaften. Aufgrund des Zellwandaufbaus und des hohen Porenanteils (s. Abbildung 3-1 und Abbildung 3-2) hat Holz eine sehr große innere Oberfläche. Die hohe Verfügbarkeit von sorptiven Molekülgruppen in den Zellwänden bedingt, dass Holz Wasserdampf aus der Luft absorbieren und in den Zellwänden speichern kann. Darüber hinaus kann Holz flüssiges Wasser durch kapillare Transportprozesse direkt aufnehmen (Niemz 2005).

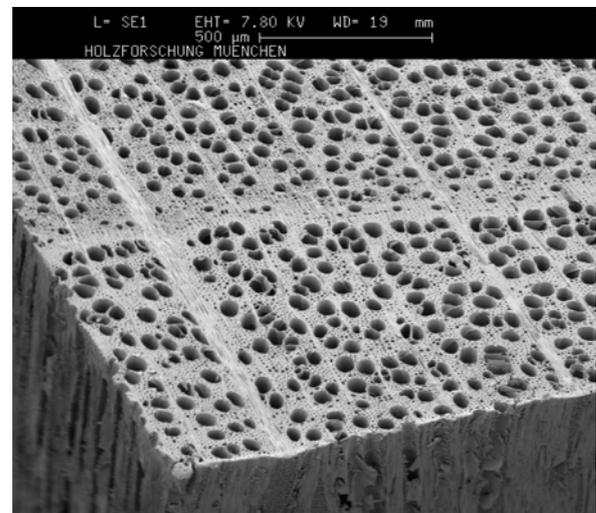
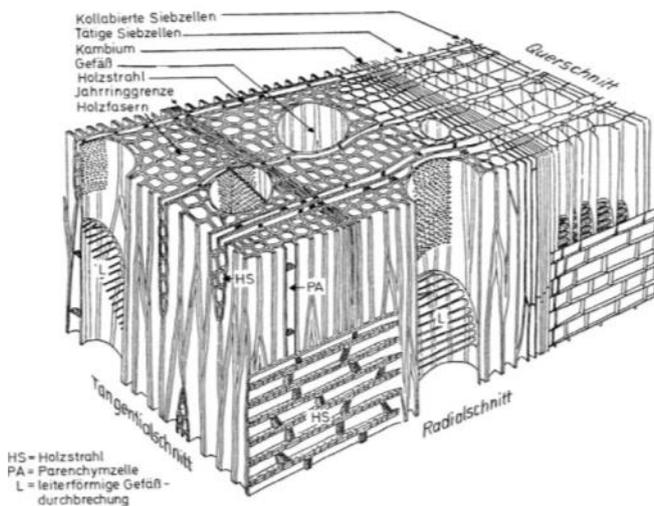


Abbildung 3-1: Schematischer Aufbau von Laubholz (Mägdefrau 1951)

Abbildung 3-2: Elektronenmikroskopische Aufnahme von Buchenholz (Foto: HFM)

In Abhängigkeit der klimatischen Umgebungsbedingungen (Temperatur und relative Luftfeuchte) beinhaltet Holz in seinen Zellwänden immer eine gewisse Menge Wasser. Das Gewicht dieses Wasseranteils, bezogen auf das Gewicht des Holzes im absolut trockenen Zustand, wird Holzfeuchte  $u$  genannt und in Prozent angegeben.

\* Dieses Kapitel ist teilweise dem Schlussbericht für das von der Forschungsinitiative Zukunft Bau geförderte und am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion durchgeführte Forschungsprojekt „Gebäudeklima - Langzeitmessung zur Bestimmung der Auswirkungen auf Feuchtegradienten in Holzbauteilen“ (Gamper, et al. 2013) entnommen.

$$u = \frac{m_w}{m_{dtr}} \cdot 100 = \frac{m_u - m_{dtr}}{m_{dtr}} \cdot 100 [\%]$$

mit

$u$  = Holzfeuchte [%]  
 $m_w$  = Masse des enthaltenen Wassers [g]  
 $m_u$  = Masse des feuchten Holzes [g]  
 $m_{dtr}$  = Masse des darrtrockenen Holzes [g]

In Abhängigkeit der Holzfeuchte werden zwei verschiedene Bereiche mit drei Grenzzuständen unterschieden (vgl. Abbildung 3-3):

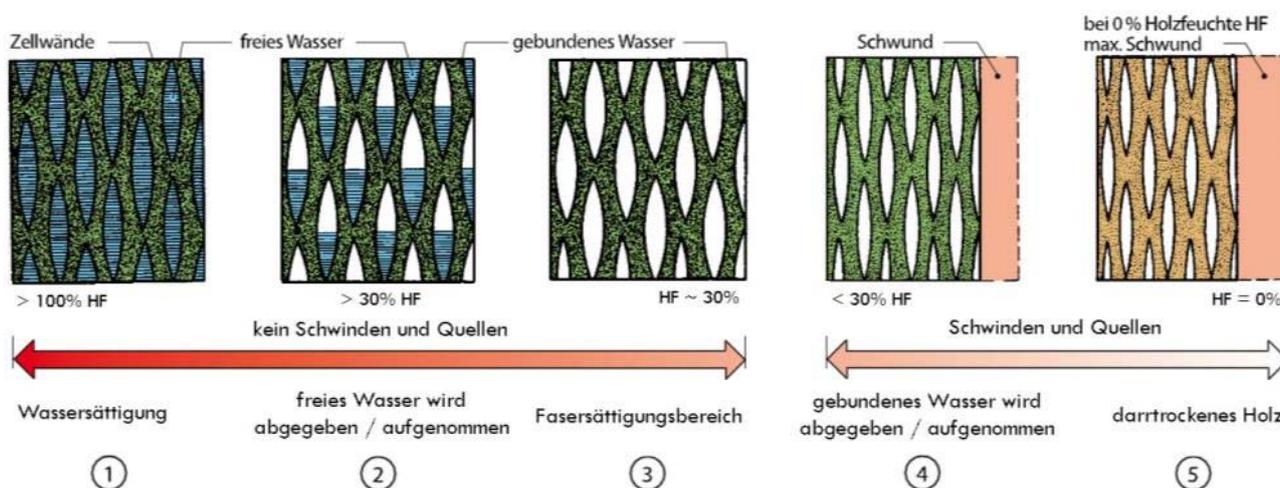


Abbildung 3-3: Wasserabgabe und -aufnahme des Holzes (Nutsch 2007)

- ① Wassersättigung (Grenzzustand): Die Zellwände und die Zellhohlräume des Holzes sind maximal mit Wasser gefüllt. Holzfeuchte  $> 100\%$
- ② Kapillarer Bereich: Durch Änderung des Wassergehaltes in den Zellhohlräumen (freies Wasser) schwindet oder quillt das Holz nicht, da die Zellwände gesättigt bleiben und so keine Volumenänderung erfahren. Die Festigkeitseigenschaften des Holzes sind weitestgehend unabhängig von der kapillaren Holzfeuchte. Holzfeuchte  $> 30\%$
- ③ Fasersättigungsbereich (FSB, Grenzzustand): die gesamten Zellwände des Holzes sind maximal mit sorptiv gebundenem Wasser gefüllt, jedoch ist kein freies Wasser in den Zellhohlräumen vorhanden. Holzfeuchte  $\sim 30\%$
- ④ Hygroskopischer Bereich: Die Zellwände sind nicht mehr maximal gesättigt. Durch Änderung des Wassergehaltes in den Zellwänden bei Feuchteabgabe bzw. -aufnahme schwindet bzw. quillt das Holz. Viele physikalische und auch die Festigkeitseigenschaften des Holzes sind abhängig von der hygroskopischen Holzfeuchte. Holzfeuchte  $< 30\%$
- ⑤ Darrtrockenes Holz (Grenzzustand): das Holz ist absolut trocken und es ist keinerlei Wasser vorhanden. Holzfeuchte =  $0\%$

Der Fasersättigungsbereich liegt bei den meisten heimischen Holzarten zwischen 22 und 35 %. Die zwischen den einzelnen Holzarten bestehenden Unterschiede ergeben sich durch Differenzierungen im Feinbau der Holzzellen und im chemischen Aufbau der Zellwände (Niemz 2005). In der DIN EN 68800-1 ist die Fasersättigungsfeuchte gebräuchlicher einheimischer Bauholzarten angegeben (s. Tabelle 3-1). Der FSB von im Bauwesen üblicherweise eingesetzten Nadelhölzern, wie z.B. Fichte und Tanne, beträgt zwischen 30 und 34 %, bei zerstreutporigen Laubhölzern, wie z.B. Buche, liegt dieser zwischen 32 und 36 % (Trendelenburg 1955).

Tabelle 3-1: Auszug aus der DIN 68800-1:2011-10 (Tabelle B.1 - Fasersättigungsfeuchte gebräuchlicher einheimischer Bauholzarten)

Fasersättigungsfeuchte in %	Typ der Holzarten	Holzartenbeispiele <sup>a</sup>
22 ... 24	<b>Kernholz</b> von ringporigen und halbringporigen Laubhölzern mit ausgeprägtem Farbkern	Edelkastanie, <b>Eiche</b> , Esche, Robinie
26 ... 28	Nadelhölzer mit Farbkern und mäßigem Harzgehalt	<b>Douglasie, Kiefer, Lärche</b>
30 ... 34	Nadelhölzer ohne Farbkern	<b>Fichte, Tanne</b>
	Splintholz von Nadelhölzern mit Farbkern	<b>Kiefer, Lärche</b>
32 ... 36	Zerstreutporige Laubhölzer ohne Farbkern	Birke, <b>Buche</b> , Pappel
	<b>Splintholz</b> von ringporigen und halbringporigen Laubhölzern mit ausgeprägtem Farbkern	Edelkastanie, <b>Eiche</b> , Esche, Robinie

<sup>a</sup> In DIN EN 1995-1-1/NA genannte Holzarten sind fett gedruckt.  
 Quelle: TRENDELENBURG:1955 [2]

Der Zusammenhang zwischen Holzfeuchte und Holzeigenschaften begründet sich durch den strukturellen Aufbau des Holzes und macht sich wie folgt bemerkbar (vgl. Abbildung 3-4). Mit zunehmender Feuchtigkeit:

- sinkt die Festigkeit des Holzes bis zum FSB
- steigt die Kriechverformung von Holz bei Langzeitbelastung,
- steigt die Wärmeleitfähigkeit des Holzes (auch über den FSB hinaus),
- steigt die Anfälligkeit gegenüber holzerstörenden Pilzen (insb. über dem FSB).

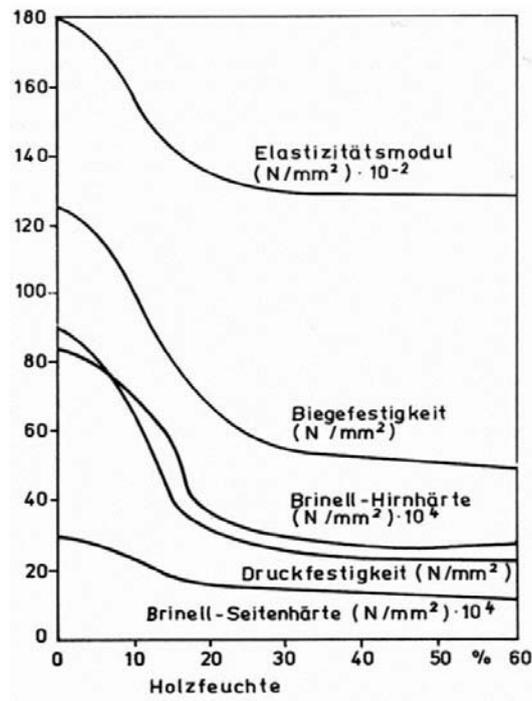


Abbildung 3-4: Einfluss der Holzfeuchte auf ausgewählte Eigenschaften des Holzes (Kollmann 1951)

## 3.2 Feuchtaufnahme und -abgabe von Holz

### 3.2.1 Feuchtaufnahme

Unterhalb des FSB ist die Diffusion der maßgebende Transportmechanismus für Feuchte. Dabei wandern die Wassermoleküle von Stellen größerer Konzentration zu den Stellen kleinerer Konzentration. Die Ursache und treibende Kraft für diese Teilchenbewegung sind dementsprechend die Feuchte-, Feuchtekonzentrations- und Dampfdruckunterschiede.

Wird darrtrockenes Holz unter normalem Raumklima gelagert, so stellt sich im Material wegen der im Vergleich zur vorhandenen Holzfeuchte größeren Umgebungsfeuchte ein Feuchtigkeitsgefälle ein. So nimmt das Holz Feuchtigkeit aus der Luft auf, indem Wasserdampf durch Diffusion in das Holz eindringt und sich die Wassermoleküle als gebundenes Wasser an den Innenoberflächen der Holzzellwände ablagern. Diese Erscheinung wird Adsorption genannt. Nimmt die relative Luftfeuchte geringere Werte an als die vorhandene Holzfeuchte im Material, so diffundieren die Wassermoleküle zurück in die Umgebungsluft, was als Desorption bezeichnet wird. Da die Geschwindigkeit der Feuchtaufnahme bei Holz im Allgemeinen höher ist als bei der Wasserabgabe sind die typischen S-förmigen Sorptionsisothermen für De- und Adsorption nicht deckungsgleich und bilden eine sogenannte Hysterese (vgl. Abbildung 3-5).

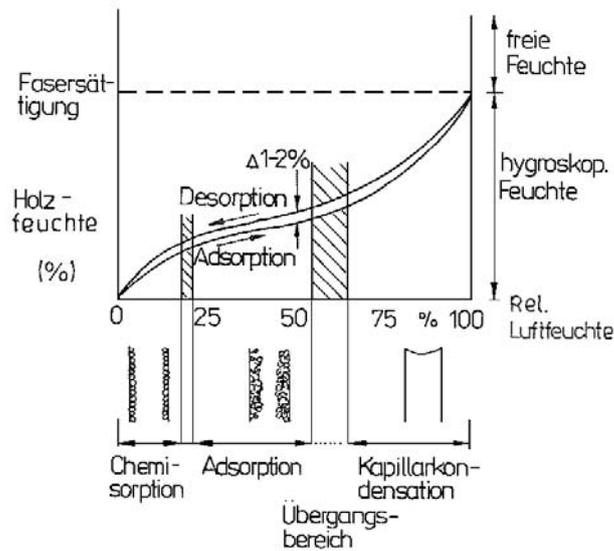


Abbildung 3-5: Sorptionsisothermen und Bindungsformen des Wassers (Niemz 2005)

Bei einer weiteren Feuchtebelastung über den FSB hinaus wird das Wasser als sogenanntes freies Wasser in den makroskopischen Hohlräumen (Lumen) eingelagert. Da die Zellwände zu diesem Zeitpunkt bereits maximal mit Wasser gesättigt und ausgedehnt sind, kommt es oberhalb des FSB zu keinem weiteren Quellen (Siau 1983).

### 3.2.2 Phasen der Sorption

Bei der Feuchtaufnahme von Holz unterscheidet man drei Phasen, die sich teilweise überlagern: Chemisorption, Adsorption und Kapillarkondensation (vgl. Abbildung 3-5). Alle drei Phasen hängen von der Holzfeuchte ab und treten jeweils in einem bestimmten Bereich der relativen Luftfeuchte auf.

a) Chemisorption: ( $u = 0 \dots 6 \%$ ; relative Luftfeuchte  $\leq 20 \%$ )

Innerhalb dieser Phase findet eine Reaktion zwischen den im Holz vorhandenen langen, vorwiegend kristallin angeordneten Zelluloseketten und den Wassermolekülen statt, wodurch sich an den Grenzflächen stabile Verbindungen bilden. Die Wassermoleküle werden über intermolekulare Wasserstoffbrücken fest zwischen benachbarten Zelluloseketten gebunden und eingelagert, wodurch eine monomolekulare Schicht ausgebildet wird (vgl. Abbildung 3-5 links).

b) Adsorption: ( $u = 6 \dots 15 \%$ ; relative Luftfeuchte  $\leq 60 \%$ )

In der sogenannten Adsorptionsphase lagern sich die Wassermoleküle aufgrund molekularer Anziehungskräfte auf den monomolekularen Schichten in den submikroskopischen Räumen der Holzzellwände ab. Die Anziehung und Bindung der Wassermoleküle erfolgt über van der Waal'sche und über elektrostatische Kräfte. So kann sich eine polymolekulare Schicht aufbauen (vgl. Abbildung 3-5 Mitte).

c) Kapillarkondensation: ( $u > 15\%$  bis Fasersättigungsbereich; relative Luftfeuchte  $> 60\%$ )

Zwischen einem Holzfeuchtegehalt von ca.  $15\%$  und dem FSB findet die weitere Wasserdampfaufnahme durch Kapillarkondensation statt. Dabei kondensiert ein Teil des Wasserdampfes in den Kapillaren und schlägt sich als Flüssigkeit auf den Holzoberflächen des Zellwandsystems nieder. Das hierbei entstandene Kondensat lagert sich mit zunehmendem Feuchtegehalt immer mehr in die intermicellaren und interfibrillaren Hohlräume ein, bis sich die Zellwand nicht mehr weiter ausdehnen kann. Die Fasersättigung ist erreicht, wenn das gesamte Feuchteaufnahmepotential im Mikrosystem des Holzes erschöpft ist (vgl. Abbildung 3-5 rechts).

### 3.2.3 Ausgleichsfeuchte

Wird Holz genügend lange in einer Umgebung mit konstanten klimatischen Verhältnissen gelagert, tritt ein Gleichgewichtszustand, die sogenannte Ausgleichfeuchte, ein. Dieser Gleichgewichtsfeuchtegehalt ist nach (Niemz 2005) unter anderem abhängig von:

- der relativen Luftfeuchte,
- der Temperatur,
- dem Luftdruck und
- dem chemischen und strukturellen Aufbau des Holzes.

Der Einfluss von Temperatur und relativer Luftfeuchte auf die Gleichgewichtsfeuchte von Holz wurde erstmals am Beispiel der Sitka-Fichte basierend auf Daten von Loughborough von Hawley (1931) dargestellt und von Keylwerth (1949) ins metrische System umgerechnet (Abbildung 3-6).

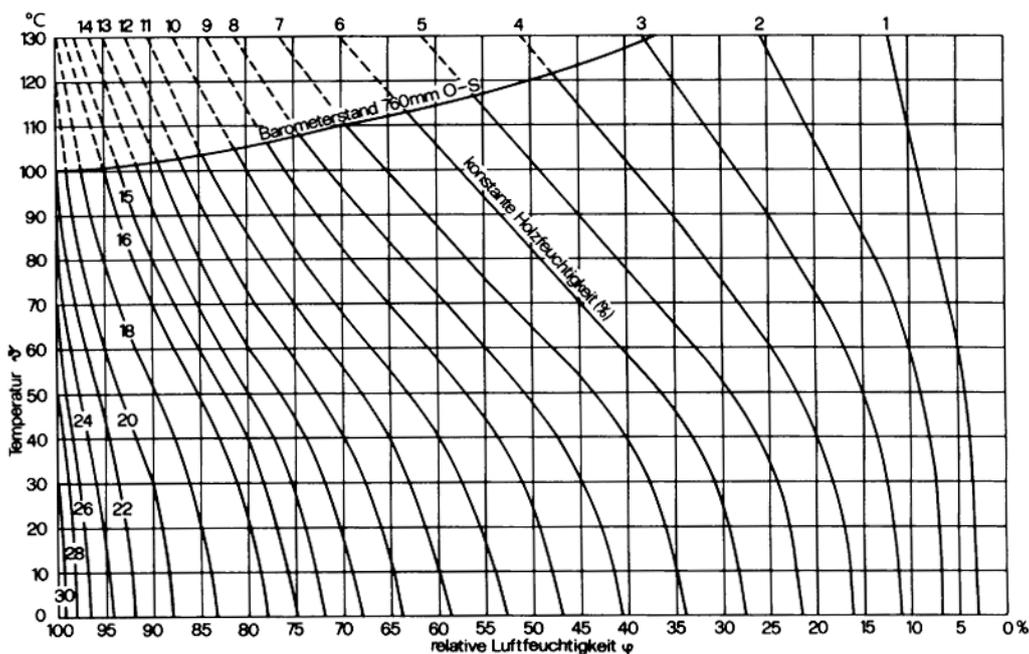


Abbildung 3-6: Hygroskopisches Gleichgewicht von Sitka-Fichte in Abhängigkeit von der Temperatur und relativer Luftfeuchte (Keylwerth und Noack, Die Kammertrocknung von Schnittholz. Betriebsblatt 1 1963)

### 3.2.4 Formänderungen von Holz durch Feuchtigkeit

Änderungen der Holzfeuchte im hygroskopischen Bereich unterhalb des Fasersättigungsbereichs sind, wie bereits zuvor erläutert, mit Änderungen des Holzvolumens verbunden. Man bezeichnet dieses Verhalten des Holzes als Quellen und Schwinden oder umgangssprachlich als „Arbeiten des Holzes“.

Bei Feuchtaufnahme wird Wasser in die Hohlräume der Zellwand eingelagert (Adsorption), die Zellwände dehnen sich aus, was zu einer Volumenvergrößerung des Holzquerschnittes führt. Bei Abgabe der Feuchte aus der Zellwand (Desorption) kommt es unterhalb des Fasersättigungsbereichs zur Volumenkontraktion der Zellen des Holzes, das als Schwinden bezeichnet wird. Schwinden und Quellen werden als feuchteabhängige Verformungen bezeichnet.

Aufgrund der inhomogenen, anisotropen Struktur des Holzes ist das Schwinden und Quellen je nach Richtung unterschiedlich. So ist das Schwinden bzw. Quellen in radialer und tangentialer Richtung wesentlich ausgeprägter als in longitudinaler Richtung. Im baupraktisch relevanten Bereich zwischen 5 und 25 % Holzfeuchte liegt bspw. bei Fichte das Verhältnis des Quellmaßes längs: radial: tangential bei ca. 0,01: 0,16: 0,32 prozentualer Längenänderung je ein Prozent Holzfeuchteänderung und verläuft annähernd linear. Das differentielle Schwindmaß ist von der Holzart abhängig, wobei die Rohdichte und der holzchemische Ausbau (Anteil Hemicellulosen, sowie Extraktstoffanteile und –art) die bestimmenden Faktoren sind. Im Vergleich zu Fichte reagiert Buche auf Änderungen der Materialfeuchte deutlich stärker. Das differentielle Schwindmaß beträgt für Buchenholz in radialer Richtung 0,2 % und in tangentialer Richtung 0,4 % je Prozent Holzfeuchteänderung.

Eine Änderung der relativen Luftfeuchte führt zwangsläufig zur Änderung des Feuchtegehalts von Holz und somit zu Quell- und Schwinderscheinungen. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Quell- und Schwindmaße in den drei Hauptachsen longitudinal, radial und tangential, hat das erhebliche Verformungen des Holzquerschnittes sowie innere Spannungen zur Folge (vgl. Abbildung 3-7).

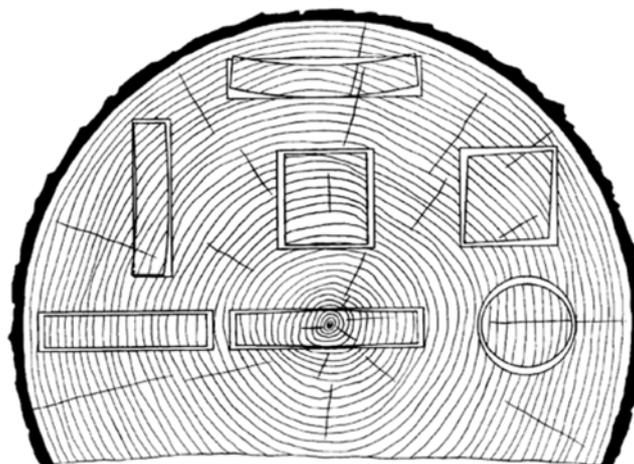


Abbildung 3-7: Verzerrung von Holz durch unterschiedliche Schwindung (Glass und Zelinka 2010)

### 3.3 Feuchteverteilung in Holzbauteilen

#### 3.3.1 Feuchtegradienten

Holztragwerke sind aufgrund ihrer weiten Einsetzbarkeit sehr unterschiedlichen, häufig schwankenden Klimabedingungen unterworfen. Dies führt dazu, dass das Holz je nach relativer Luftfeuchte Feuchte aufnimmt bzw. abgibt. Da die Aufnahme und Abgabe von Feuchte im baupraktischen Holzfeuchtebereich zwischen 5 % und 25 % hauptsächlich durch Diffusion über die Oberflächen des Holzquerschnittes erfolgt, passen sich zunächst nur die äußeren Schichten an die klimatischen Bedingungen an, so dass sich ein Holzfeuchtegefälle zwischen den inneren Bereichen des Querschnitts und der Oberfläche einstellt. Die Ausprägung dieser Feuchtegradienten hängt unter anderem von der Art der Klimabeanspruchung ab (vgl. Abbildung 3-8).

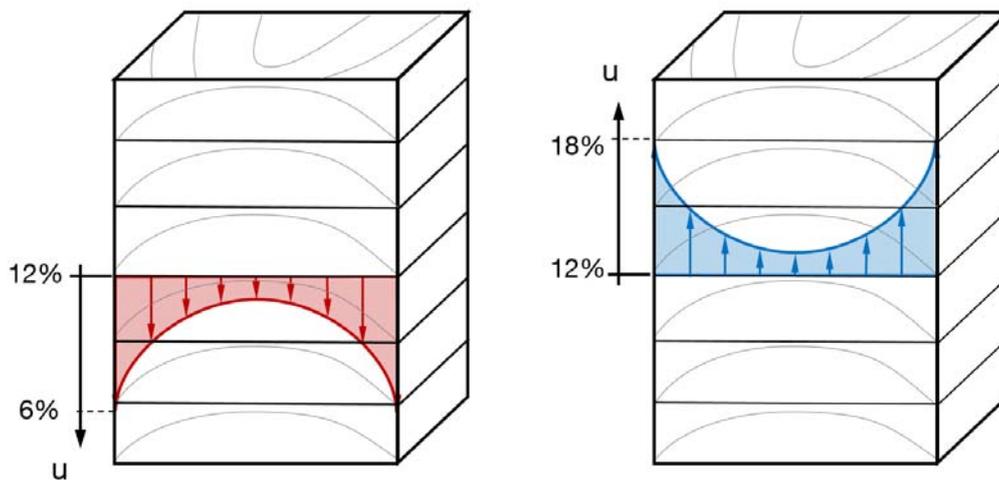


Abbildung 3-8: Beispielhafte Feuchteverläufe über den BSH-Querschnitt bei trockenen (links) und feuchten (rechts) Umgebungsbedingungen

#### 3.3.2 Abgrenzung zwischen Gebrauchsklassen und Nutzungsklassen

In Berücksichtigung der Einflüsse der Hygroskopizität des Holzes werden die Bauteile von Holzbauten nach DIN EN 1995-1-1:2010-12 (Bemessungsnorm für Holzbauwerke) entsprechend dem Umgebungsklima während ihrer vorgesehenen Nutzungsdauer in Nutzungsklassen (NKL) eingeordnet. Dabei wird der Einfluss der Holzfeuchte auf die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von tragenden Holzbauteilen berücksichtigt. Je nach Bewitterung und Luftfeuchte sind die Holzbauwerke in folgende drei Nutzungsklassen einzuteilen.

In die NKL 1 sind alle Bauteile einzustufen, die in einer dauerhaft geschlossenen Hülle gegenüber dem Außenklima geschützt sind. Die relative Luftfeuchte der umgebenden Luft sollte nur wenige Wochen im Jahr einen Wert von 65 % überschreiten. Das trifft vor allem für Bauteile in allseitig geschlossenen und beheizbaren Bauwerken zu. Zur Nutzungsklasse 2 zählen in erster Linie alle Holzbauteile in offenen, aber überdeckten Bauwerken. Das Holz ist einer relativen Luftfeuchte

ausgesetzt, die nur für wenige Wochen im Jahr 85 % überschreitet. In die Nutzungsklasse 3 sind alle Bauteile einzustufen, die der Witterung ungeschützt ausgesetzt sind und somit die Bedingungen für eine Einstufung in die Nutzungsklassen 1 und 2 nicht garantiert werden können. Die nach DIN EN 1995-1-1/NA:2010-12 in den entsprechenden NKL zu erwartenden Holzfeuchten sind der Tabelle 1 zu entnehmen:

Tabelle 3-2: Zu erwartende Holzfeuchten in Nutzungsklassen nach DIN EN 1995-1-1/NA:2010-12

Nutzungsklasse	1	2	3
Holzfeuchte	5 bis 15 %	10 bis 20 %	12 bis 24 %

Die Gebrauchsklassen (GK) nach DIN 68800-1 unterscheiden sich von den in der DIN EN 1995-1-1 definierten Nutzungsklassen (NKL). Für die Zuordnung zu einer Nutzungsklasse ist daher die mittlere Holzfeuchte über den Querschnitt maßgebend. Im Unterschied dazu ist für die Zuordnung eines Bauteils zu einer Gebrauchsklasse die lokal und/oder oberflächlich vorhandene Holzfeuchte relevant. Eine eindeutige Zuordnung von Nutzungsklassen zu Gebrauchsklassen ist nicht möglich.

### 3.3.3 Rissbildung durch Feuchtegradienten

Die Randzonen des Querschnitts passen sich viel schneller an das Umgebungsklima an, als die inneren Bereiche, die mehr Zeit zum Erreichen der Ausgleichsfeuchte benötigen. Somit ist die Feuchteverteilung im Querschnitt nicht nur von der relativen Luftfeuchte des Umgebungsklimas, sondern auch von der Zeit abhängig, was insbesondere bei wechselnden klimatischen Bedingungen von Bedeutung ist. So schwinden die Randbereiche des Holzquerschnittes bei einer Trocknung, während es im Querschnittsinneren noch zu keiner großen Volumenänderung kommt. Das Schwinden des Holzes in den Holzaußenzonen wird dabei durch die im Feuchtegehalt und damit in den Zelldimensionen unveränderten inneren Holzzonen behindert und es entstehen Spannungen im Holz. Da die Schwindbewegungen vor allen in den Querrichtungen (radial und tangential) groß sind, wirken diese Spannungen vor allem quer zur Faserrichtung des Holzes. In den außenliegenden Bereichen unter Schwindbeanspruchung entsteht Querzug, im innenliegenden Bereich werden die Holzzellen durch Querdruck gestaucht.

Versuche zum Verhalten von Brettschichtholzelementen mit baupraktischen Abmessungen gegenüber Holzfeuchteänderungen wurden von (Möhler und Steck 1980) vorgestellt. Hierbei wurden die Prüfkörper unter Laborbedingungen unterschiedlichen Feucht- und Trockenklimata ausgesetzt. Abbildung 3-9 enthält eine Darstellung der zu unterschiedlichen Zeitpunkten gemessenen Holzfeuchtegradienten aufgrund der sich ändernden Umgebungsbedingungen. Die Autoren geben an, dass Risse auftraten, wenn die Feuchteabnahme in den 10 mm dicken Randstreifen 5 % erreichte. Bei sehr schneller Trocknung entstanden Schwindrisse bereits bei geringeren Feuchteabnahmen.

Spannungen im Holzquerschnitt aus Änderungen der Holzfeuchte werden zwar mit der Zeit durch Relaxation teilweise abgebaut (Kolb, Goth und Epple 1984), (Steck 1985), (Toratti und Svensson

2000) und (Svensson und Toratti 2002). Wenn aber die aus Feuchtwechseln entstehenden Quersugspannungen die Quersugfestigkeit überschreiten (beispielsweise bei schnellem Spannungszuwachs), dann wird die Spannung in Form von Rissen abgebaut. Dadurch stellt eine schnelle Trocknung der äußeren Querschnittsbereiche die Klimabeanspruchung dar, die am häufigsten zur Rissbildung führt.

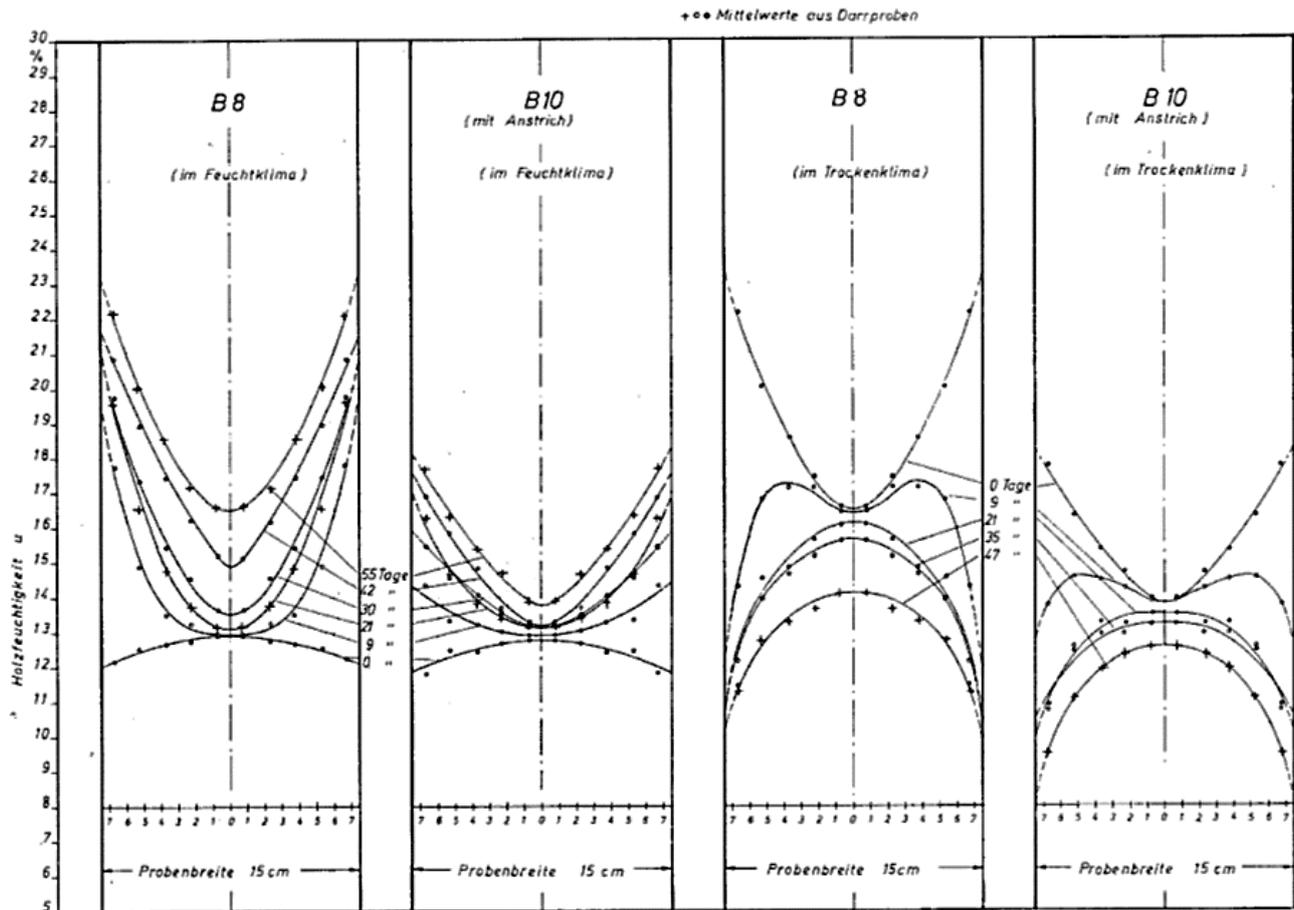


Abbildung 3-9: Beispielhafte Veränderung der Feuchtegradienten in BSH-Bauteilen (Möhler und Steck 1980)

## 4 Auswahl der landwirtschaftlichen Nutzgebäude

### 4.1 Allgemeines

Entsprechend des Forschungsantrages sollen die in den landwirtschaftlichen Nutzgebäuden tatsächlich vorliegenden Klimaverhältnisse und die sich daraus ergebenden Holzfeuchten und Holzfeuchtegefälle systematisch erfasst und ausgewertet werden. Dazu ist eine Erfassung der Temperatur, der rel. Luftfeuchtigkeit sowie der Holzfeuchte in konstruktiven Holzbauteilen bei insgesamt 10 landwirtschaftlichen Nutzgebäuden über einen Zeitraum von zwei Jahren vorgesehen.

Bei der Auswahl geeigneter landwirtschaftlicher Betriebe wurde darauf geachtet, eine möglichst große Vielfalt an landwirtschaftlichen Nutzungen zusammenzustellen, um einen Überblick über unterschiedliche klimatische Beanspruchungen in typischen Gebäudenutzungen im landwirtschaftlichen Bauwesen zu ermitteln. Für die Langzeitmessungen wurden insgesamt dreizehn Gebäude in zwölf Betrieben aus den Bereichen Stallanlagen und Lagerhallen untersucht. Die untersuchten Tragwerksteile der ausgewählten Gebäude bestehen hauptsächlich aus Fichte, in einigen wenigen Fällen aus Tanne. Wie die Fichte darf auch die Tanne aus Sicht der Dauerhaftigkeit nur in GK 0 verwendet werden.

Die gewählten Gebäudenutzungen und die messtechnisch erfassten landwirtschaftlichen Nutzgebäude sind in Tabelle 4-1 und Abbildung 4-1 dargestellt.

Tabelle 4-1: Übersicht der ausgewählten landwirtschaftlichen Nutzgebäude

Nutzung der Gebäude	Anzahl Gebäude		Projekt-Nr. und Standort der Betriebe
	gemäß Antrag	tatsächlich	
<b>Stallanlagen</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	
Rinderbetrieb	3	5	[01] Milchviehstall Grub [02] Milchviehstall Roßhaupten [03] Milchviehstall Raubling [04] Kälberstall Grub [12] Milchviehstall Bad Aibling
Bullenmastbetrieb	0	1	[05] Bullenmaststall Schnotting
Schweinebetrieb	2	1	[06] Schweinestall Kringell
Geflügelbetrieb	1	2	[11] Geflügelstall Söhl
<b>Lagerhallen</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	
Dünger	1	1	[07] Mineraldüngerlagerhalle Möschenfeld
Kartoffel	1	1	[08] Kartoffellagerhalle Thalmassing
Heufütterung	1	1	[09] Heutrocknungshalle Waltenhofen
Hackschnitzel	1	1	[10] Hackschnitzellagerhalle Langdorf
<b>Summe</b>	<b>10</b>	<b>13</b>	

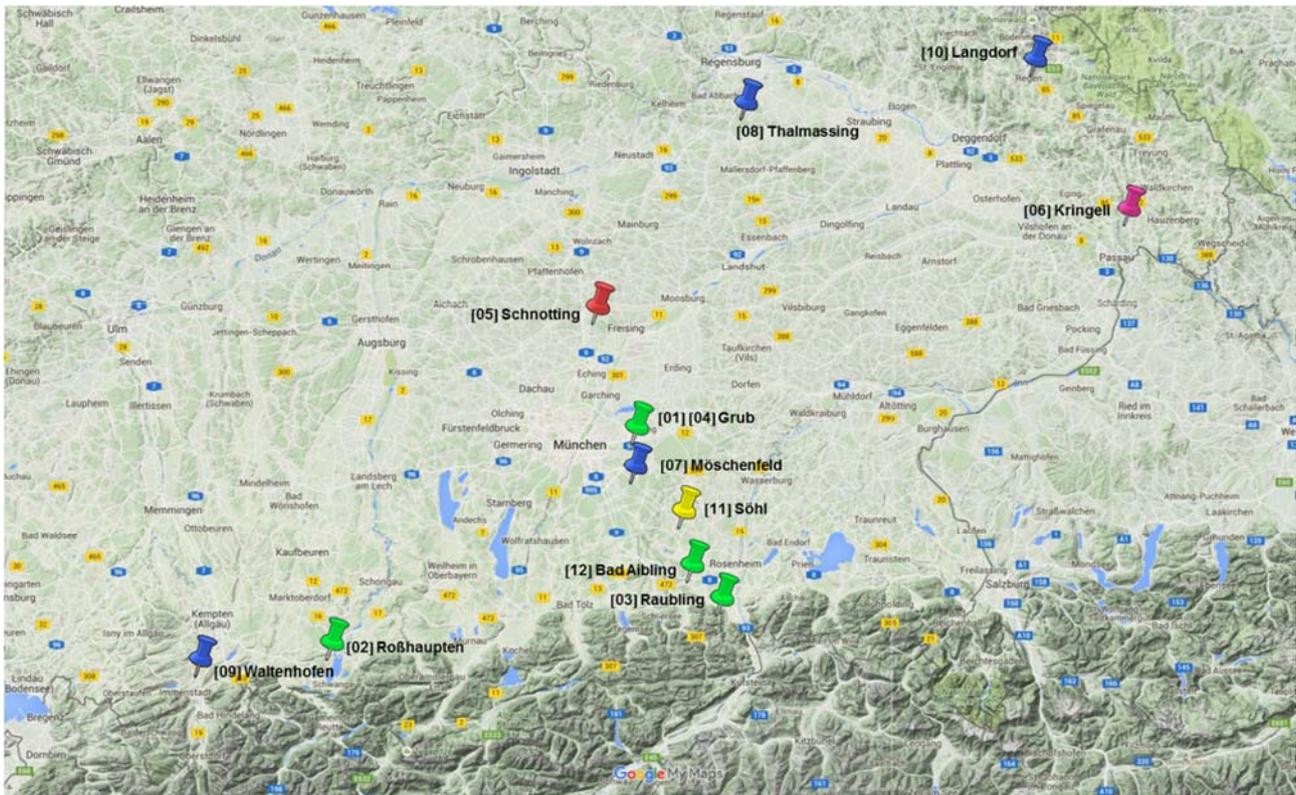


Abbildung 4-1: Gebäudestandorte aller ausgewählten Messobjekte

## 4.2 Nutzungsspezifische Randbedingungen

### 4.2.1 Rinderställe

Folgend werden die verschiedenen gewählten Nutzungen kurz beschrieben, um die unterschiedlichen Randbedingungen und baulichen Gegebenheiten der Messobjekte zu erläutern.

Bei Milchviehställen kann grundsätzlich zwischen Warmstall und Kaltstall unterschieden werden. Ein Warmstall zeichnet sich durch die im Prinzip geschlossene Bauweise und die im Vergleich zu offenen Ställen höhere Lufttemperatur aus. Die Be- und Entlüftung erfolgt hier meist über eine mechanische Lüftungsanlage oder Schwerkraftlüftung sowie Stalltore und kleinere Fenster. Durch Schwitzen, Atmung und Ausscheidung des Viehs werden Feuchte und Wärme an die Umgebung abgegeben, welche ggf. zu höheren Holzfeuchten in der Konstruktion führen können.

Jüngere Untersuchungen zu Leistung und Tierwohl von Milchkühen priorisieren Freilaufställe mit einer guten Durchlüftung durch eine offene Bauweise (Haidn, Heidenreich und Simon 2008). Dabei sind eine oder mehrere Seitenwände des Stallgebäudes ganz oder teils offen ausgeführt. Offene/öffnere Lüftungsräume ermöglichen einen Luftaustausch im Firstbereich. Die offenen Traufseiten werden mit Curtains ausgestattet um Zugluft zu vermeiden. Das Stallklima entspricht weitestgehend dem Außenklima. Soweit keine Abdeckung im Firstbereich eingebaut ist, können

Kaltställe durch ihre offene Bauweise auch im Firstbereich anfällig für Feuchteindrang durch Niederschlag sein.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden mehrere Kaltställe in offener/halboffener Bauweise mit Freilaufhaltung (Objekte 01 bis 04) und zu Vergleichszwecken ein geschlossen ausgeführter Warmstall mit Anbindehaltung (Objekt 12) untersucht. Anbindeställe, in denen sich die Tiere nicht frei bewegen können, waren bis in die 1970er Jahre weit verbreitet. Beim Objekt 02 handelt es sich um ein Kaltstall, wobei jedoch eine Trauseite teilweise geschlossen und konstruktiv gedämmt ausgeführt ist. Im Objekt 03 wird eine Kombination aus Freilaufhaltung im Stall und Weidehaltung betrieben. Dabei kommen die Kühe im Sommer nach dem Melken am Morgen auf die Weide und am Abend wieder in den Stall. Im Winter bleiben die Tiere den ganzen Tag im Stall. Daher sind die Einflüsse der Tierhaltung im Sommer weniger ausgeprägt als in anderen Ställen. In Kälberställen sind ähnliche klimatische Randbedingungen wie in den Milchviehställen zu erwarten. Jedoch ist der Feuchteintrag durch die Kälber vergleichsweise gering. In den ersten Lebensstagen der Kälber sollen Temperaturen unter 16°C vermieden werden, was teilweise durch Kälberboxen mit Abdeckungen zur Schaffung eines Kleinklimabereichs und Stroh-Einstreu ermöglicht wird.

Auch der Umgang mit den Ausscheidungen der Tiere könnte das in den Milchviehställen vorherrschende Klima beeinflussen. Je länger die Exkrememente in den Ställen bleiben, desto mehr Feuchtigkeit wird in die Luft abgegeben. Objekte 01, 02 und 12 verfügen über einen sogenannten Spaltenboden aus Betonspalten zur Ableitung des Mists (vgl. Abbildung 4-2). Durch diese können Mist und Gülle über einen Kanal in die Güllegrube ablaufen.



Abbildung 4-2: Links: Funktionsprinzip eines Spaltenbodens; Rechts: Spaltenboden des Objekts 01

Beim Objekt 03 kommt ein Mist-/Güleschieber zum Einsatz, womit die Ausscheidungen der Tiere zur Öffnung der Güllegrube am Rand des Stalls geschoben werden (vgl. Abbildung 4-3). Der Schieber ist zeitgesteuert und wird alle 30 min durch den Stall einmal durchgezogen. Beim Objekt 04 wird der Mist durch das eingestreute Stroh gebunden und in fester Form entfernt.



Abbildung 4-3: Mist-/Gülfeschieber im Objekt 03

#### 4.2.2 Bullenmastställe

Die Haltung von Bullen ist im Vergleich zu Milchkühen mit geringerem Aufwand verbunden, da hier das Melken entfällt. Allerdings werden Bullenställe im Vergleich zu Milchviehställen bei geringerer Fläche pro Tierplatz dichter belegt. Daraus resultiert eventuell ein höherer Feuchteeintrag durch höhere Ausdünstungen und Ausscheidungen. In Folge ist davon auszugehen, dass die Luftfeuchte in den Abteilen stärker ansteigt als bei frei belüfteten Milchviehställen. Durch die Haltung der Tiere auf Vollspalten wird im Sommer ein natürlicher Luftaustausch ermöglicht. Im Winter dagegen werden die Wände z. B. mit Doppelstegplatten verschlossen, um die Temperaturen nicht unter den Gefrierpunkt absinken zu lassen und damit Kontaktwärmeverluste beim Abliegen auf den reinen Betonspalten zu verringern. Laut Betriebsbesitzer werden die beweglichen Wände des untersuchten Bullenmaststalls (Objekt 05) nur bei extremen Wetterbedingungen, wie starkem Wind, an wenigen Tagen im Jahr geschlossen. Die Lichtbänder im Firstbereich bleiben über das ganze Jahr geöffnet. Die Ausscheidungen der Tiere werden von eingestreutem Stroh gebunden und ca. alle zwei Wichen entlang der Mistachse ausgemistet (vgl. Abbildung 4-4).

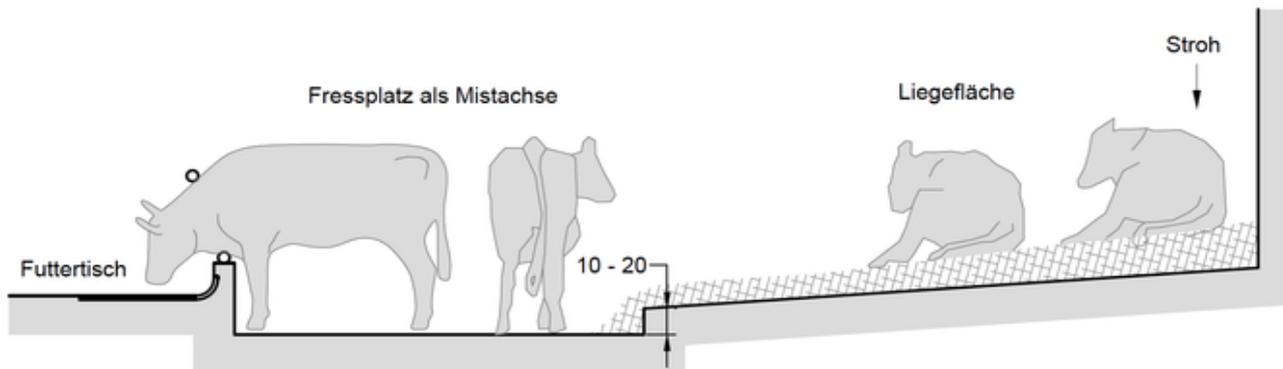


Abbildung 4-4. Entmistungsprinzip des Objekts 05 (Bauernzeitung.at 2016)

### 4.2.3 Schweineställe

Bei Schweineställen ist die optimale Stalltemperatur stark von der Nutzung abhängig. Sie kann von 10 °C bei Jungsauen bis zu 32 °C im Ferkelbereich schwanken, wobei sich letztere auf das im Verhältnis zum Gesamtvolumen kleine Ferkelnest beschränkt. Schweine können sowohl in geschlossenen Stallanlagen (Warmställe) mit Zuluftkonditionierung (Erwärmung/Abkühlung) als auch in frei gelüfteten Anlagen (Kaltställe) gehalten werden. Der Baustoff Holz kommt bei Schweineställen vor allem im Bereich der Dachkonstruktion vor. Tragende Außenwände werden in der Regel massiv, trennende Innenwände gleichfalls massiv oder in Kunststoff ausgeführt. Warmställe werden im Rahmen dieses Projektes nicht untersucht, da die dort installierten Be- und Entlüftungssysteme, sofern sie dem Stand der Technik entsprechen, entweder die Außenluft bzw. die verbrauchte warme und feuchte Stallinnenluft in geschlossenen Kanalsystemen an- bzw. absaugen wird. In diesen Fällen ist eine abträgliche Beeinträchtigung der Holzkonstruktion im Dachbereich, außer bei Störungen/Defekten der Lüftungsanlage, auszuschließen.

Bei dem untersuchten Schweinestall handelt sich um einen Versuchsstall auf einem Lehr-, Versuchs- und Fachzentrumsbetrieb der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LFVZ Kringell). Dieser wurde zu Untersuchungszwecken im Stallklimabereich baulich unterschiedlich ausgeführt (vgl. Anhang). Abteil A ähnelt hinsichtlich der Baukonstruktion den oben beschriebenen Warmställen und ist sowohl im Wand- als auch im Deckenbereich gedämmt. Im Bereich der Ferkelhaltung befinden sich die sogenannten Ferkelnester, wobei die Temperatur in einem kleinen Bereich ganzjährig mittels Fußboden- und Deckenheizung auf bis zu 33 °C beheizt wird (vgl. Abbildung 4-5). Im Aktivitätsbereich der Sauen befindet sich eine Fußbodenheizung, die über die Dauer der Messperiode noch nicht in Betrieb genommen wurde. Die Stallluft wird über einen Kamin mechanisch ins Freie abgesaugt (vgl. Abbildung 4-5, roter Kreis). Die Zuluft strömt über von Hand zu öffnende Fenster und von den Tieren bewegte Auslaufklappen.



Abbildung 4-5: Abteil A des Objekts 06 mit Ferkelnestern und mechanischem Entlüftungssystem

Abteil B schließt direkt an Abteil A an und verfügt weder über Dämmung in der Wand noch über eine Fußbodenheizung. Zwischenzeitlich wurde eine Dämmung im Deckenbereich eingebaut. Die Be- und Entlüftung erfolgt wie bei Abteil A über Fenster, von den Tieren bewegten Auslaufklappen sowie über eine Kaminentlüftung. Die Abteiltüren zwischen Abteilen A und B sind in den kalten Monaten (November bis März) vorwiegend geschlossen. Steigt die Außentemperatur, werden die Türen offen gelassen um Hitzestress von Tieren zu vermeiden. Im Dachbereich ist Abteil B vom Abteil A mittels gedämmter Wand abgetrennt. Zwischen Abteil B und dem nächstliegenden Abteil (ohne Messtechnik) ist keine Abtrennung vorhanden. In letzterem sind weder Dämmung in der Wand, noch eine Decke sowie keine Fußbodenheizung eingebaut. Es ist deswegen damit zu rechnen, dass bei Abteil B nach wie vor feuchte Innenluft von dem benachbarten Abteil in den Dachraum einströmt.

Abteil C befindet sich in einem eignen Gebäude ähnlicher Konstruktion und steht stellvertretend für Stallanlagen für Schweinehaltung in Kaltställen. Es sind weder Dämmung in der Wand, noch abgehängte Decken noch ein Entlüftungssystem vorhanden.

Die Exkremente der Tiere werden bei allen drei Abteilen durch das Einstreuen von Stroh gebunden und zwei Mal pro Woche in fester Form ausgemistet.

#### 4.2.4 Geflügelhallen

Bei den Geflügelställen handelt es sich um große Hallenbauwerke, welche für eine Belegung von bis zu 5000 Tieren pro Stall ausgelegt sind. Die Tiere werden in Bodenhaltung auf eingestreutem Stroh oder Holzspänen gehalten. Für eine erfolgreiche Aufzucht von Geflügel spielt der stetige Luftwechsel und die Raumtemperatur eine große Rolle. Die Lüftung wird in den meisten Fällen durch ein entsprechendes Lüftungssystem realisiert. Die optimale Raumtemperatur liegt für Jungtiere zwischen 21 bis 23 °C. Wenn die Tiere vollständig befiedert sind, soll die Temperatur zwischen 15 und 20 °C liegen. Die erwartete relative Luftfeuchte liegt bei 65 - 70 %.

Nachdem das Geflügel zum Schlachtbetrieb abtransportiert wurde, wird der Stall ausgemistet und gründlich mit einem Hochdruckreiniger gereinigt sowie desinfiziert. Dieses kann einige Tage dauern. Während der Reinigungs- und Desinfektionsarbeit ist eine hohe Luftfeuchtigkeit im Stall zu erwarten.

Die zwei im Rahmen des Forschungsvorhabens untersuchten Putenställe wurden 1985 bzw. 2015 errichtet (vgl. Abbildung 4-6). Erfolgt die Lüftung im alten Stall durch die Öffnungen im Firstbereich und offene Traufseiten, so sind im neuen Stall, neben der offenen Traufseite, Kamine ohne mechanische Entlüftung im Firstbereich und Ventilatoren unter dem Dach angeordnet.

Zusätzlich unterscheiden sich die zwei Ställe in ihrer Bauhöhe: der neue Stall ist mit 8,6 m ca. 2,6 m höher als der alte Stall.



Abbildung 4-6: Objekt 11 mit den alten (links) und neuen Putenställen (rechts)

#### 4.2.5 Lagerhallen für Mineraldünger

Bei mineralischem Düngemittel handelt es sich um ein stark hygroskopisches Material, das Feuchte aus der Luft aufnehmen kann. Insbesondere bei vielen älteren, minderwertigen Düngersorten kann es zu einer erhöhten Staubentwicklung bei der Einlagerung kommen, was dazu führt, dass sich der Staub auf dem Holztragwerk absetzt. Dort kann der hygroskopische Staub die Feuchte aus der Luft aufnehmen und an das Holz weitergeben. Bei niedriger Luftfeuchte kann der Staub hingegen Feuchtigkeit aus dem Holz entziehen. Bei modernen Düngemittelarten, welche für die Ausbringung mit großen Streugeräten entwickelt werden, kann man davon ausgehen, dass die Staubentwicklung auf ein Minimum reduziert wird.

Bei der untersuchten Halle handelt es sich um eine allseitig geschlossene Halle (vgl. Abbildung 4-6, links). Die großen Hallentore werden nur zur Ein- und Auslagerung von Dünger geöffnet (vgl. Abbildung 4-6, rechts). An den Bauteilen konnte nur sehr geringe Staubablagerung festgestellt werden.



Abbildung 4-7: Objekt 07 im geschlossenen (links) bzw. offenen (rechts) Zustand

#### 4.2.6 Kartoffellagerhallen

Die Lagerung von Kartoffeln erfolgt entweder als lose Schüttlagerung oder Kistenlagerung. Da die Temperatur und relative Luftfeuchte für die gelagerten Güter eine wichtige Rolle spielen, wird der Lagerbereich der Hallen ausschließlich geschlossen und konstruktiv gedämmt ausgeführt. Um Kartoffeln vor dem Verderben zu schützen und ein Austrocknen zu verhindern, muss das Klima in der Halle kühl und feucht (relative Luftfeuchte  $> 85\%$ ) gehalten werden. Dies kann über freie Konvektionslüftung mit dem Einsatz von Klappen oder über Zwangsbelüftung realisiert werden. Die Holzbauteile der Kartoffellagerhallen können im Herbst hohe Holzfeuchte erreichen, sobald die gesamte Ernte in großen Kisten eingelagert, auf optimale Lagertemperatur abgekühlt und die Feuchtigkeit der Innenluft erhöht wird. Bei einer losen Schüttlagerung ist direkter Kontakt von Holzbauteilen mit den Lagergütern und somit eine Auffeuchtung der Bauteile nicht auszuschließen.



Abbildung 4-8: Lagerraum des Objekts 08 Kartoffellagerhalle mit Einlass- und Abluftklappen

Bei der untersuchten Halle mit Kistenlagerung erfolgt der Luftaustausch, ohne den Einsatz von Ventilatoren, über Klappen (vgl. Abbildung 4-9). Die Klappen für die Zuluft liegen auf der Giebel- und die für die Abluft auf der Traufseite des Gebäudes. In den Monaten September bis November wird das Raumklima im Abluftbetrieb heruntergekühlt. Die kalte Zuluft in der Nacht wird zwischen die Kartoffelkisten hindurchgedrückt, die erwärmte Luft über die Abluftklappe entzogen (vgl. Abbildung 4-9). Sind die Kartoffeln heruntergekühlt werden sie bis März nächsten Jahres im Umluftbetrieb kühl gehalten. Bei Bedarf kann frische kalte Außenluft beigemischt werden.

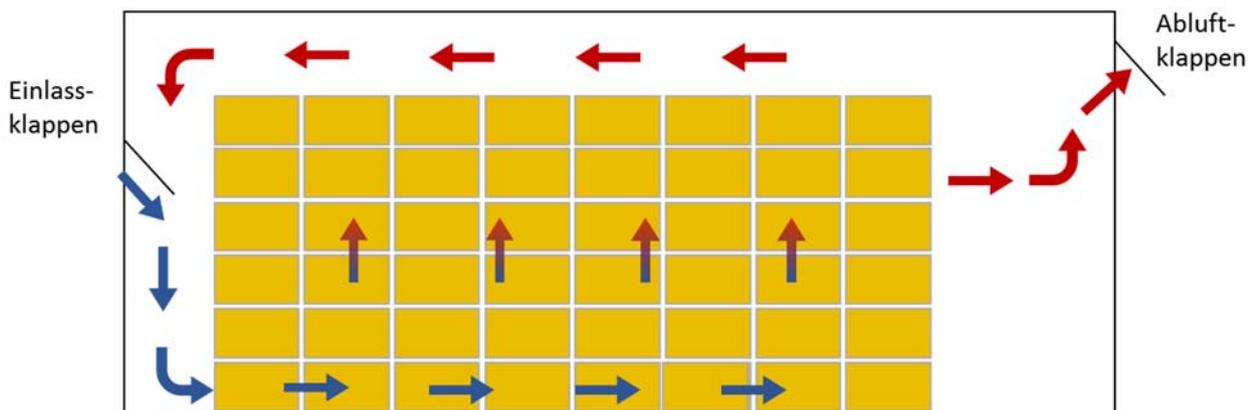


Abbildung 4-9: Be- und Entlüftungsprinzip des Objekts 08 Kartoffellagerhalle

#### 4.2.7 Heutrocknungshallen

Bei Heutrocknungshallen wird im Sommer das noch feuchte Heu bzw. Gras in die Halle eingefahren und dort mittels Lüftungskanälen getrocknet. Die Trocknung erfolgt mit entfeuchteter, warmer Luft, die von unten in den Heustock geblasen wird. Das Verdunsten des im Gras gebundenen Wassers und die warme Luft können temporär zu sehr hohen relativen Luftfeuchten (bis zu 95 %) und zu Tauwasserausfall führen.

Bei der untersuchten Heutrocknungshalle kann die Trocknung von Heu in zwei unterschiedlichen Betriebsarten erfolgen: Umluft- und Abluftbetrieb. Beim Umluftbetrieb wird die Luft bei geschlossener Halle von unten durch Belüftungskanäle durch das Heu hindurchgedrückt und im Dachbereich abgesaugt (vgl. Abbildung 4-10). Die feuchte Luft wird durch einen Entfeuchter geleitet und anschließend mittels Abwärme eines Blockheizkraftwerkes wieder auf ca. 45 °C erwärmt. Beim Abluftbetrieb wird die warme trockene Luft, die sich im Firstbereich staut, durch das Umschalten der Umluftklappe angesaugt. Dabei entfällt der Luftentfeuchter, da die feuchte Luft über das offene Hallentor entweicht. Der gesamte Trocknungsvorgang dauert in der Regel 1 bis 3 Tage. Ist das Heu aufgrund schlechter Witterungsbedingungen sehr feucht angekommen, kann die Entfeuchtungsanlage an ihre Leistungsgrenze kommen. Dadurch können zeitweise sehr hohe Luftfeuchten von bis zu 98 % gemessen werden. Vom Betreiber wurde der Ausfall von Tauwasser am ersten Tag der Trocknungsvorgänge schon einige Mal beobachtet (Reischenbeck 2016).

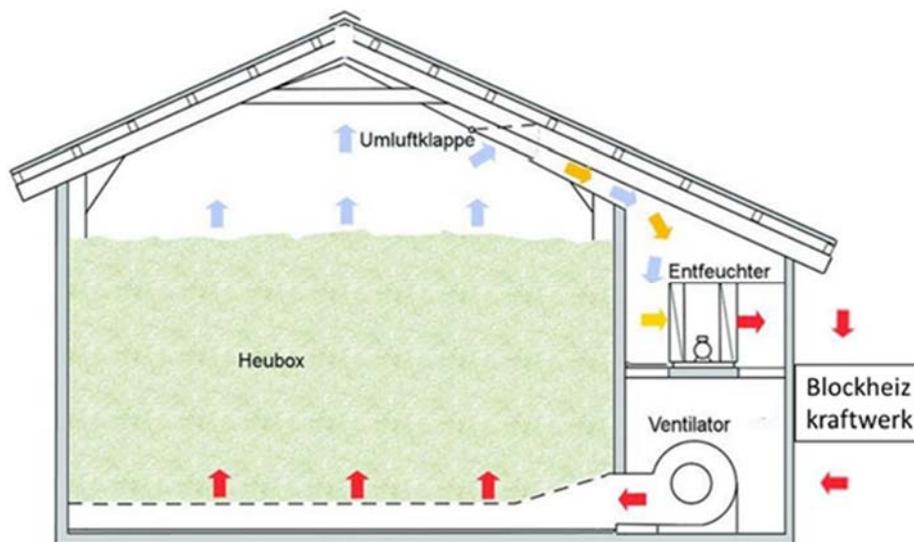


Abbildung 4-10: Funktionsprinzip des Objekts 09 Heutrocknungshalle (Bauernzeitung.at 2016)

#### 4.2.8 Lagerhallen für Hackschnitzel

In den Lagerhallen für Hackschnitzel herrschen aufgrund ihrer offenen oder halboffenen Bauweise meistens annähernd Außentemperaturen. Hackschnitzel werden frisch oder nur etwas luftgetrocknet in die Halle eingelagert. Wenn die noch nassen Hackschnitzel in direkten Kontakt mit

der Holzkonstruktion kommen, kann es neben der Anreicherung der Luft mit Feuchtigkeit zu einer Auffeuchtung der Bauteile kommen.

In der untersuchten Halle werden sowohl feuchte Hackschnitzel als auch in geringem Anteil trockene Sägespäne gemischt gelagert. Die Halle wurde seit Beginn der Untersuchungen noch nie vollständig entleert. Im hinteren Bereich der Halle befindet sich immer noch altes Hackgut (vgl. Abbildung 4-11).



Abbildung 4-11: Objekt 10 Hackschnitzellager in Langdorf

## **5 Durchführung der Langzeitmessung**

### **5.1 Allgemeines**

Zur Erfassung der klimatischen Verhältnisse und der Holzfeuchte im Holztragwerk der Gebäude wurde ein stationäres Monitoring-Konzept erarbeitet. In Abhängigkeit der Größe, der inneren Einteilung und der Nutzung des Gebäudes wurde das Monitoring-Konzept für jedes Gebäude individuell erstellt. Dabei werden auch über die Hallenfläche hinweg variierende Bedingungen erfasst. Dies sind z.B. Stellen mit außergewöhnlichen Klimabeanspruchungen durch lokalen Feuchteeintrag oder der erschwerten Abführung feuchter Luft.

Als Messverfahren wurde das Widerstandsmessverfahren gewählt, da diese Methode in Fachkreisen den allgemein anerkannten Stand der Technik darstellt und eine zerstörungsfreie Messung der Holzfeuchte ermöglicht. Die Installation der Messtechnik in allen gewählten Messobjekten wurde im November 2015 abgeschlossen.

### **5.2 Beschreibung der verwendeten Messtechnik**

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde das bereits in früheren Forschungsvorhaben (Gamper, et al. 2013) erfolgreich angewendete Messsystem konfiguriert, siehe Abbildung 5-1. Je nach Situation umfasst die Messtechnik zwei bis vier Messstellen, an denen die Holzfeuchte und die Materialtemperatur in mehreren Tiefen gemessen werden.

Bei dem gewählten Messgerät für die Holzfeuchtemessung handelt es sich um ein spezielles Modul (Gigamodul, Fa. Scantronik Mugrauer), mit dem auf bis zu acht Kanälen Materialfeuchten nach dem Widerstandsmessverfahren bestimmt werden können. Um eine gegenseitige Beeinflussung der Elektrodenpaare auszuschließen, wird jeder der acht Messkanäle bei der stündlichen Messung separat angesteuert, während die anderen Kanäle deaktiviert bleiben. Um die Holzfeuchte jeweils in unterschiedlichen, genau definierten Tiefen zu messen und um den Verlauf der Holzfeuchte über den Querschnitt erfassen zu können, wurde auf isolierte Messelektroden zurückgegriffen, wie sie auch in Holztrochnungsanlagen verwendet werden. Für dieses Forschungsvorhaben wurden Messelektroden der Firma GANN in den Längen 15, 25, 40 und 70 mm verwendet. Über speziell angefertigte, abgeschirmte Koaxialkabel wurden die Messelektroden an das zuvor beschriebenen Materialfeuchtemessgerät angeschlossen. In Verbindung mit einem Datenlogger (Thermofox, Fa. Scantronik Mugrauer) können so an zwei bis vier Messstellen je zwei oder vier Widerstände in unterschiedlicher Tiefe erfasst werden.

Die Temperatursensoren für die Materialtemperaturen sollen Referenztemperaturen für die Temperaturkompensation der Holzfeuchtemesswerte liefern. Der NTC-Temperatursensor wurde in den Trägerquerschnitt in eine Tiefe von 20 mm eingesetzt. Um den Temperaturverlauf über den Holzquerschnitt genauer zu erfassen, wurde bei Bedarf ein weiterer Temperatursensor in 40 mm Tiefe eingebaut. Die Messdaten werden stündlich gemessen und in den Datenloggern gespeichert.

Über einen zweiten Datenlogger in Kombination mit einer externen Sensoreinheit für relative Luftfeuchte und Lufttemperatur (Hygrofox, Fa. Scanntronik Mugrauer) wird das Hallenklima aufgezeichnet. Die Messdaten werden stündlich gemessen.

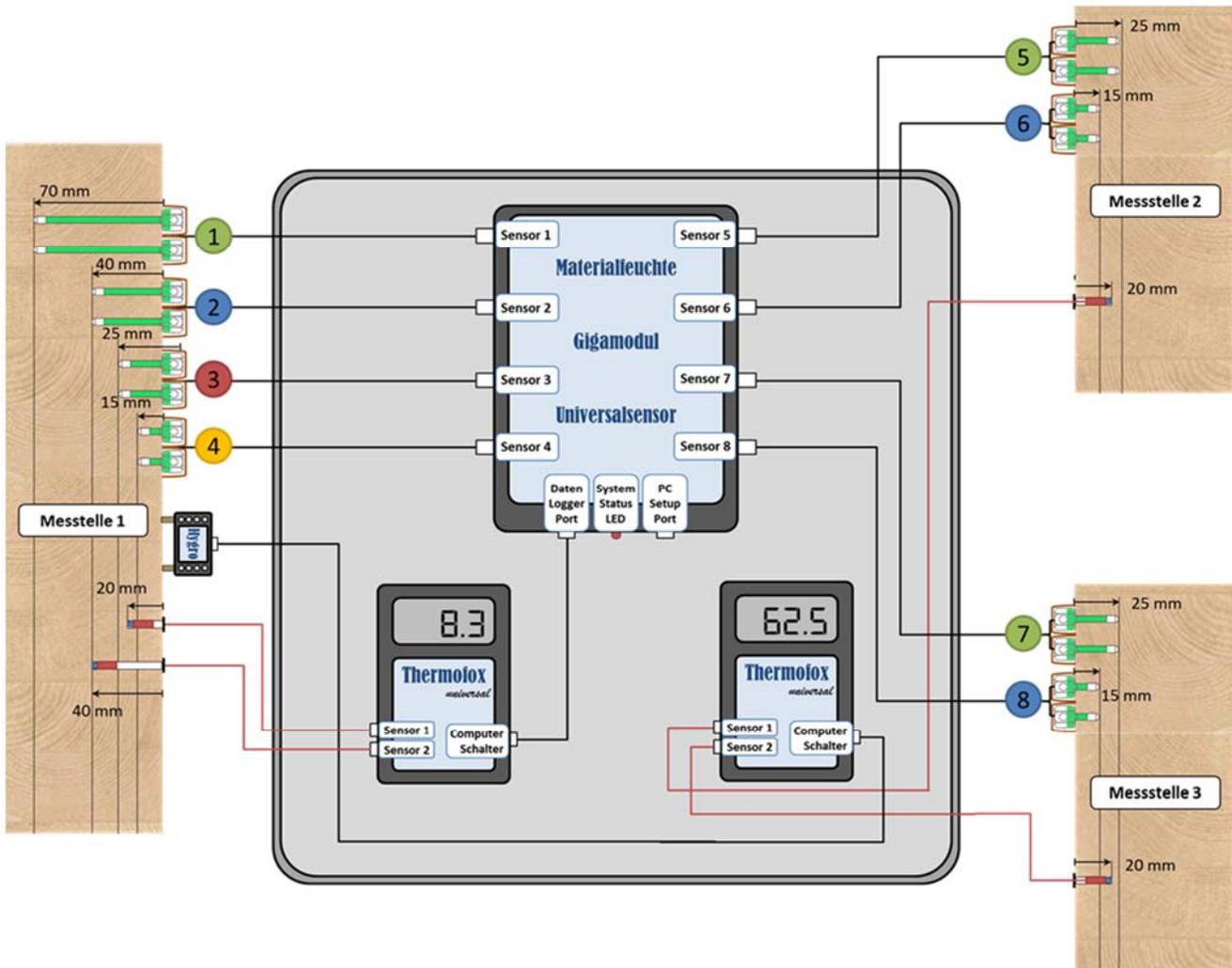


Abbildung 5-1: Beispielhafte Darstellung des verwendeten Messsystems in der Variante mit drei Messstellen

Um zusätzlich das lokale Außenklima zu erfassen, wurde jeweils eine Wetterstation in der Nähe der Messobjekte installiert (vgl. Abbildung 5-2). Die Wetterstation besteht aus einem Datenlogger mit integriertem Klimasensor (Hygrofox Mini, Fa. Scanntronik Mugrauer) und einem Schutzgehäuse (Wetterhütte 7714, Fa. Davis), welches den Klimasensor vor Sonneneinstrahlung und anderen Quellen abgestrahlter und reflektierter Wärme sowie vor Witterungseinflüssen schützt. Die Messdaten werden stündlich gemessen.



Abbildung 5-2: Wetterstation zur Erfassung des Außenklimas. links = Schutzgehäuse; rechts = Datenlogger mit integrierten Klimasensor Hygrofox Mini

### 5.3 Herausforderungen an die Messtechnik und Maßnahmen zum Schutz bzw. Instandsetzung der Messtechnik

Die Messtechnik kann durch äußere Umstände unterschiedlich beeinflusst werden. So können z.B. Starkstromleitungen, die nahe der Messtechnik verlaufen, zu Verfälschungen der Messdaten führen. Im Objekt 01 sind, insbesondere im Bereich der Liegeplätze (vgl. Anhang, Messsystem 1 und 2), zahlreiche Messinstrumente zur Überwachung der Tiere installiert. Aufgrund des dort herrschenden elektromagnetischen Feldes liegen, trotz einer Beseitigung technischer Defekte in Juni 2016 und einer erneuten Installation, bis zum Verfassen des vorliegenden Berichtes keine verwertbaren Messdaten für die Holzfeuchtmessung vor. Bei einer genaueren Betrachtung der gemessenen Widerstände zeigt sich, dass jeden Tag zwischen 5 und 7 Uhr ein unrealistischer Sprung der Messwerte entsteht (vgl. Abbildung 5-3). Vom Personal des Betriebs wurde bestätigt, dass die Beleuchtungsanlagen jeden Tag gegen 5 Uhr eingeschaltet und bei ausreichendem Tageslicht nach 7 Uhr wieder ausgeschaltet werden. Die Messungen mit dem Messsystem 3, welches sich außerhalb des Liegebereichs der Tiere befindet, erfolgten weitestgehend störungsfrei. Starke Verschmutzungen können zum Ausfall des externen Klimasensors führen. So sind alle drei Klimasensoren im Objekt 01 mehrmals und auch nach Austausch außer Betrieb gegangen (vgl. Anhang).

In landwirtschaftlichen Nutzgebäuden ist besonders damit zu rechnen, dass Tiere in die Nähe der Messstellen kommen und diese beschädigen. Daher musste die Messtechnik so geschützt werden, dass die Messungen auch bei direktem Kontakt mit Tieren nicht beeinträchtigt werden. Tauwasserbildung oder starke Verschmutzungen an der Trägeroberfläche können zu einem Kurzschluss zwischen den nicht isolierten Steckverbindungen zweier Messelektroden und damit zu falschen Messdaten führen. Durch eine Isolierung der Elektrodenköpfe bzw. der Verbindung der Elektroden mit den Messkabeln kann ein Kurzschluss der Messkanäle z. B. durch starke Verschmutzung oder Tauwasser verhindert werden (vgl. Abbildung 5-4, a und b). Bei allen

Messstellen wurde zudem eine Kunststoffabdeckung über die Elektroden geschraubt, welche den Isolierkitt schützt (vgl. Abbildung 5-4, b und c). Zusätzlich wurden die Messstellen, die im direkten Kontaktbereich mit Tieren liegen, mit einem Lochblechgitter (vgl. Abbildung 5-4, d) abgedeckt. Des Weiteren wurden die Messkabel in Einflussbereich des Viehs mit einem Schutzrohr umhüllt, um ein Herausreißen zu verhindern (vgl. Abbildung 5-4, c).

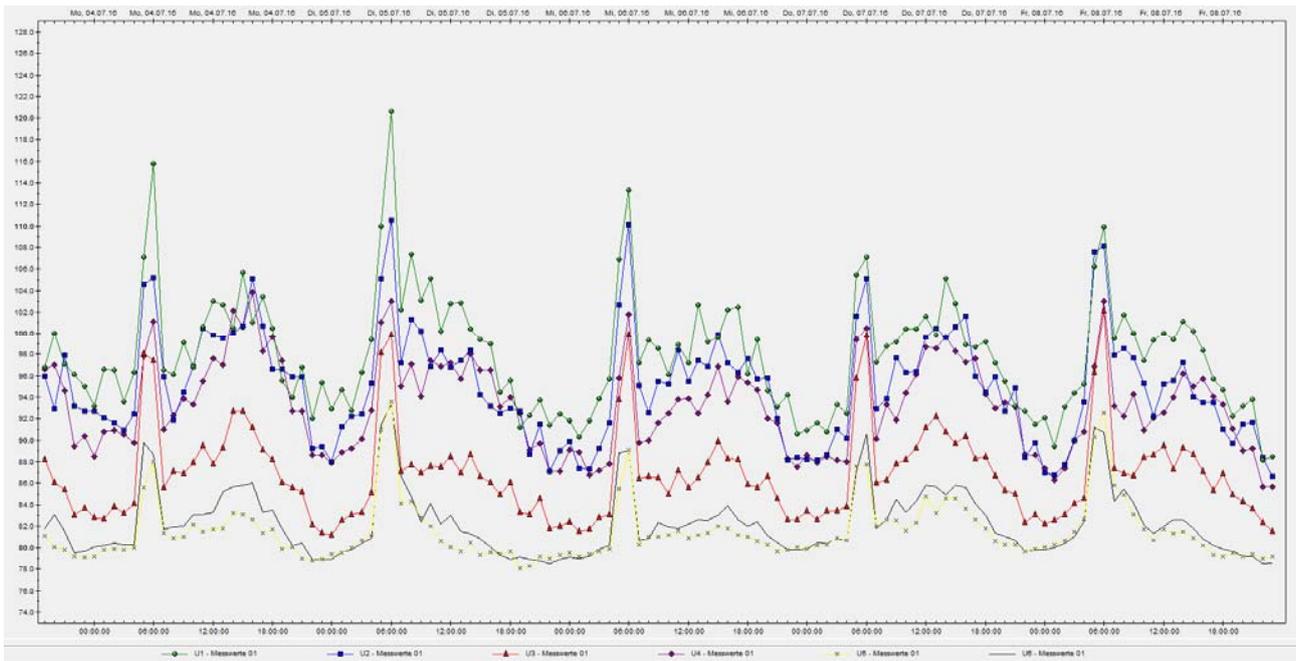


Abbildung 5-3: Vom Messsystem 2 im Objekt 01 Milchviehstall Grub gemessene Widerstände aus dem Zeitraum von 04.07.2016 bis 08.07.2016 (Auswertungsprogramm SoftFOX 3.02, Fa. Scantronik Mugrauer)

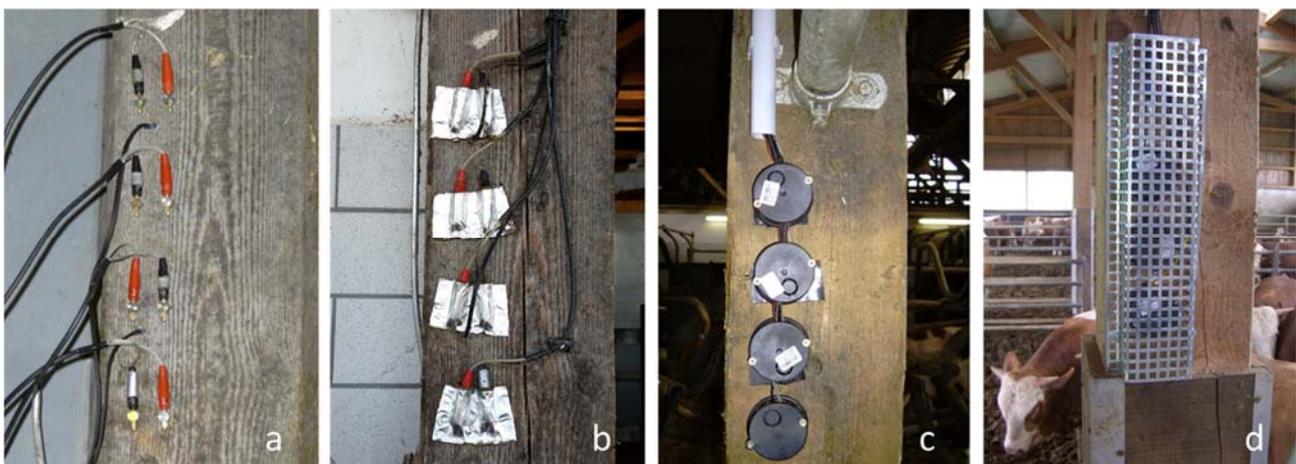


Abbildung 5-4: Kombinierte Maßnahmen zum Schutz der Messstellen vor Beeinträchtigungen durch starke Verschmutzung, Tauwasser oder mechanische Beschädigung

Eine Unterbringung der Messgeräte in einem Elektro-Installationskasten schützte diese vor Verschmutzung und dämpfte klimatische Schwankungen ab (vgl. Abbildung 5-5, b). Wie in

Abschnitt 4.2.4 beschrieben, werden die Geflügelställe nach jeder Leerung intensiv mit einem Hochdruckreiniger gereinigt (vgl. Abbildung 5-5, a). Dies führte dazu, dass das Reinigungswasser entlang der Messkabel durch das Loch für die Kabelführung (vgl. Abbildung 5-5, c) in die Schutzgehäuse einlief. Eventuell vorhandene Defekte der Messgeräte wurden nach Überprüfung im Labor ausgeschlossen, beim erneuten Einbau wurden die Gehäuse der Schutzart IP65 (gemäß DIN EN 60529) jedoch mittels Kabelverschraubung Abbildung 5-5, d) der gleichen Schutzart abgedichtet. Zwei externe Sensoreinheiten für die Messung des Hallenklimas wurden durch die Reinigungsmaßnahme unwiderruflich beschädigt.

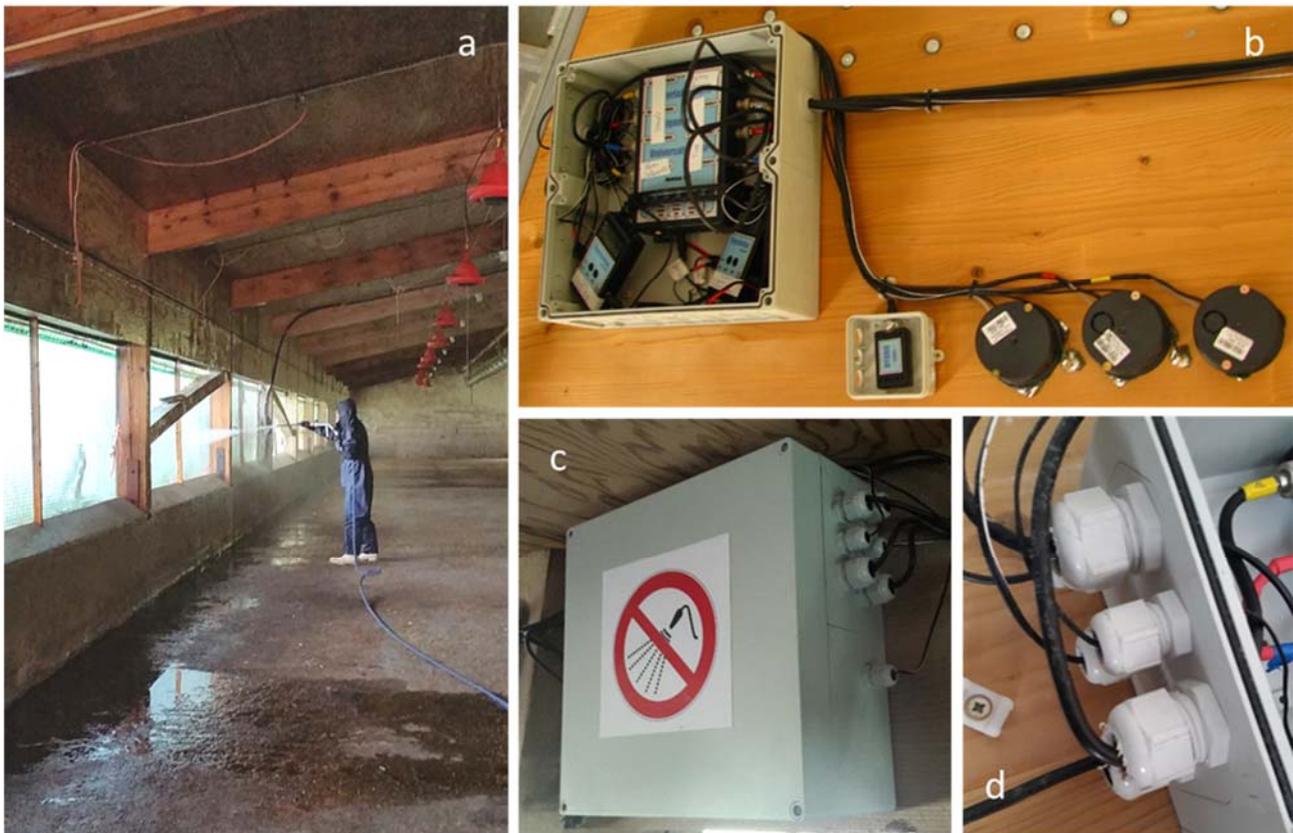


Abbildung 5-5: Maßnahmen zum Schutz der Messtechnik gegen Staub und Strahlwasser im Objekt 11, Geflügelhallen Söhl

Der Temperatursensor für die Materialtemperaturen wurde im Trägerquerschnitt angebracht. Um eine Luftzirkulation in dem schmalen Spalt zwischen Messkabel und Bohrloch zu verhindern, wurde dieser von außen mit Isolierkitt abgedichtet (vgl. Abbildung 5-6).

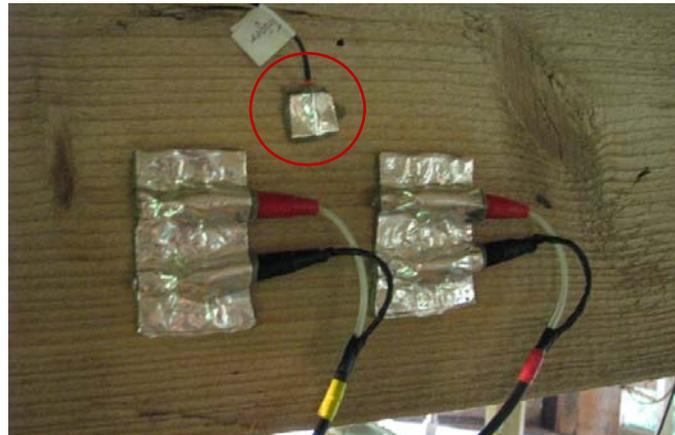


Abbildung 5-6: Abdichtung der Temperatursensoren (im roten Kreis) mit Isolierkitt

#### 5.4 Gebäudeinformationsblatt

Für jedes einzelne Messobjekt wurde ein Informationsdatenblatt mit den wichtigsten Informationen zum Bauwerk erstellt. Darin werden alle relevanten Informationen wie Umgebungsbedingungen, Tragsystem und Lage der Messstellen vermerkt. Zusätzlich sind dort jeweils die Messstellen anhand der Grundrisse und Schnitte sowie Fotos des Innenraumes gegeben. Die Informationsdatenblätter sind dem Anhang zu entnehmen.

#### 5.5 Auswertung der Messwerte der einzelnen Objekte

Nachdem die Messobjekte mit der Messtechnik ausgestattet waren, begann der für die Auswertung im Rahmen der Langzeitmessung verwendete Messzeitraum. Über den Messzeitraum hinweg werden die gespeicherten Messdaten für jedes Objekt mehrmals vor Ort händisch ausgelesen. Das erfolgt über ein geeignetes USB-Auslesekabel und der Software „SoftFox“ des Herstellers der Messtechnik. Gleichzeitig werden sowohl eine Funktionskontrolle wie auch eine Kontrolle der Messstellen selbst durchgeführt.

Die eigentliche Auswertung der erhaltenen Messdaten erfolgt mit einem Excel-basierten Programm. Mit dem Programm können die Messwerte in Excel eingelesen, weiterverarbeitet und grafisch in verschiedenen Diagrammen veranschaulicht werden. So wird eine genauere Beurteilung der ausgelesenen Messdaten ermöglicht. Zudem werden die als Widerstände gespeicherten Messwerte der Holzfeuchte auf eventuell vorhandene Messfehler (z. B. unrealistische Sprünge) geprüft. Falls erforderlich können Messfehler automatisch korrigiert werden. Die Rohdaten werden zu Tagesmittelwerten zusammengefasst und programmintern an verschiedene Tabellen zur weiteren Bearbeitung weitergeleitet. In diesen Tabellen erfolgt das Umrechnen der Widerstände aus den Rohdaten in Holzfeuchtwerte und die Kompensation des Temperatureinflusses. Die Ergebnisse werden dann in mehreren Diagrammen grafisch dargestellt.

## 6 Ergebnisse der Langzeitmessungen

### 6.1 Allgemeines

Bis März 2018 wurden im Rahmen des Forschungsprojekts insgesamt über 15 Millionen Messwerte erfasst. Der Messzeitraum betrug bei allen untersuchten Objekten mehr als zwei Jahre. Für den vorliegenden Schlussbericht wurden alle zur Verfügung stehenden Messdaten in mehreren Diagrammen grafisch aufbereitet. Eventuell vorhandene Ausfälle von Sensoren oder Messgeräten sind entsprechend gekennzeichnet. Für die grafischen Auswertungen von Holzfeuchten, Hallen- bzw. Außenklima wird auf den Anhang zu diesem Bericht verwiesen.

Im Folgenden wird die Darstellung der Ergebnisse anhand eines Messsystems beispielhaft erläutert.

### 6.2 Darstellung der Ergebnisse aus den Langzeitmessungen

Die Messwerte der Holzfeuchte in verschiedenen Messtiefen werden für jedes Messsystem in einem Diagramm je Messstelle über den betrachteten Zeitraum dargestellt. Aus dem Verlauf können die Schwankungen der Holzfeuchte über den Messzeitraum abgelesen werden (vgl. Abbildung 6-1).

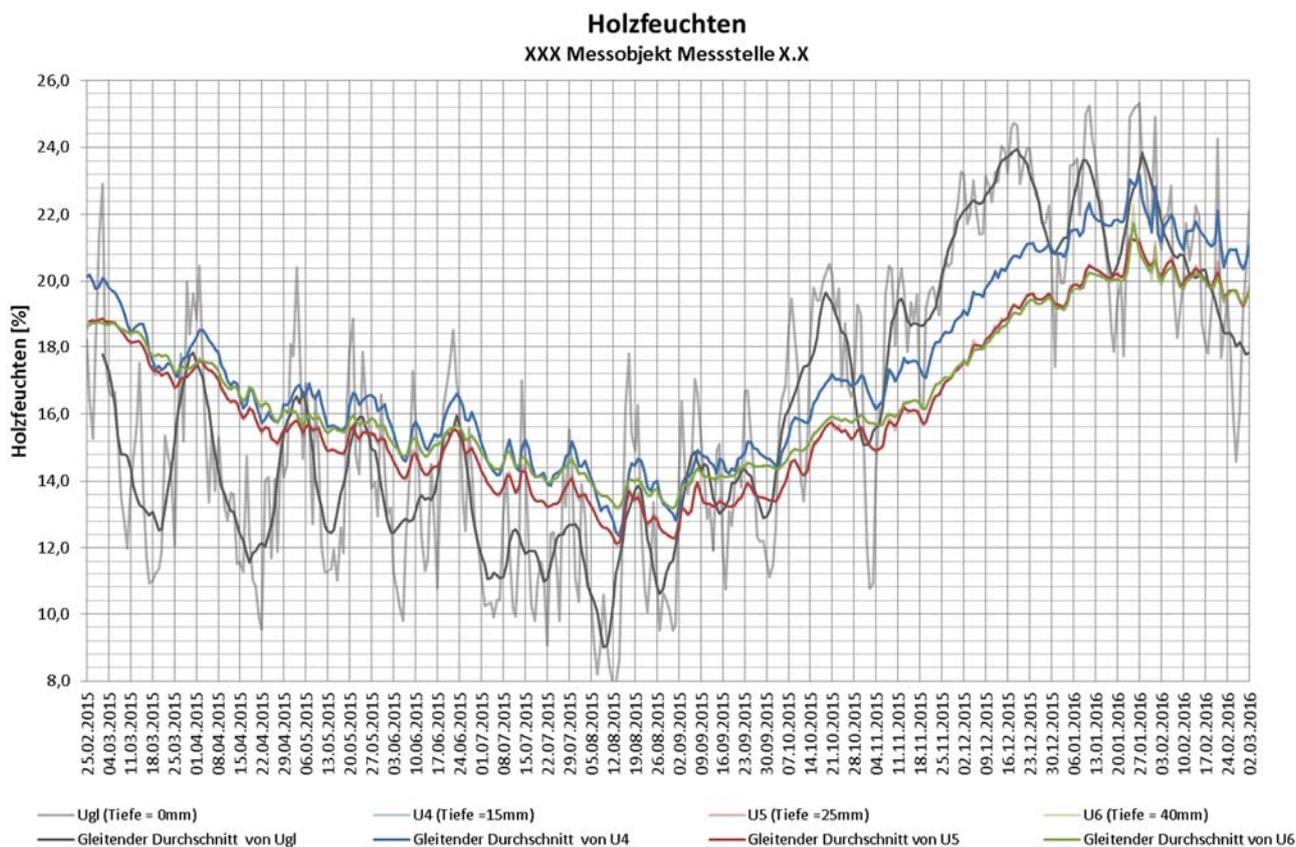


Abbildung 6-1: Verlauf der Holzfeuchte über den betrachteten Messzeitraum an einer beispielhaften Messstelle

Als Anhaltspunkt für die Anpassung der Holzfeuchte an das schwankende Umgebungsklima wurde in diese Diagramme zudem die Ausgleichsfeuchte von Holz nach dem theoretischen Sorptionsmodell von (Hailwood und Horrobin 1946) eingefügt. Hierzu wurden die von (Simpson 1973) für das Hailwood-Horrobin-Modell bestimmten Koeffizienten für Holz verwendet. Da die berechnete Ausgleichsfeuchte mit der relativen Luftfeuchte und der Temperatur der umgebenden Luft stark schwankt, die Anpassung der Holzfeuchte an die Umgebungsbedingungen jedoch auch in den oberflächennahen Bereichen des Querschnittes gedämpft ist, wurde für die Ausgleichsfeuchte ein gleitender Durchschnitt über zehn Tage berechnet.

In einem weiteren Diagramm werden die Werte des umgebenden Klimas als Verläufe über die Zeit angezeigt. Dieses Diagramm kann dafür verwendet werden, die Korrelation zwischen Holzfeuchte und den klimatischen Randbedingungen nachzuvollziehen. Das lokale Außenklima wird in der gleichen Weise für jedes Messobjekt separat dargestellt.

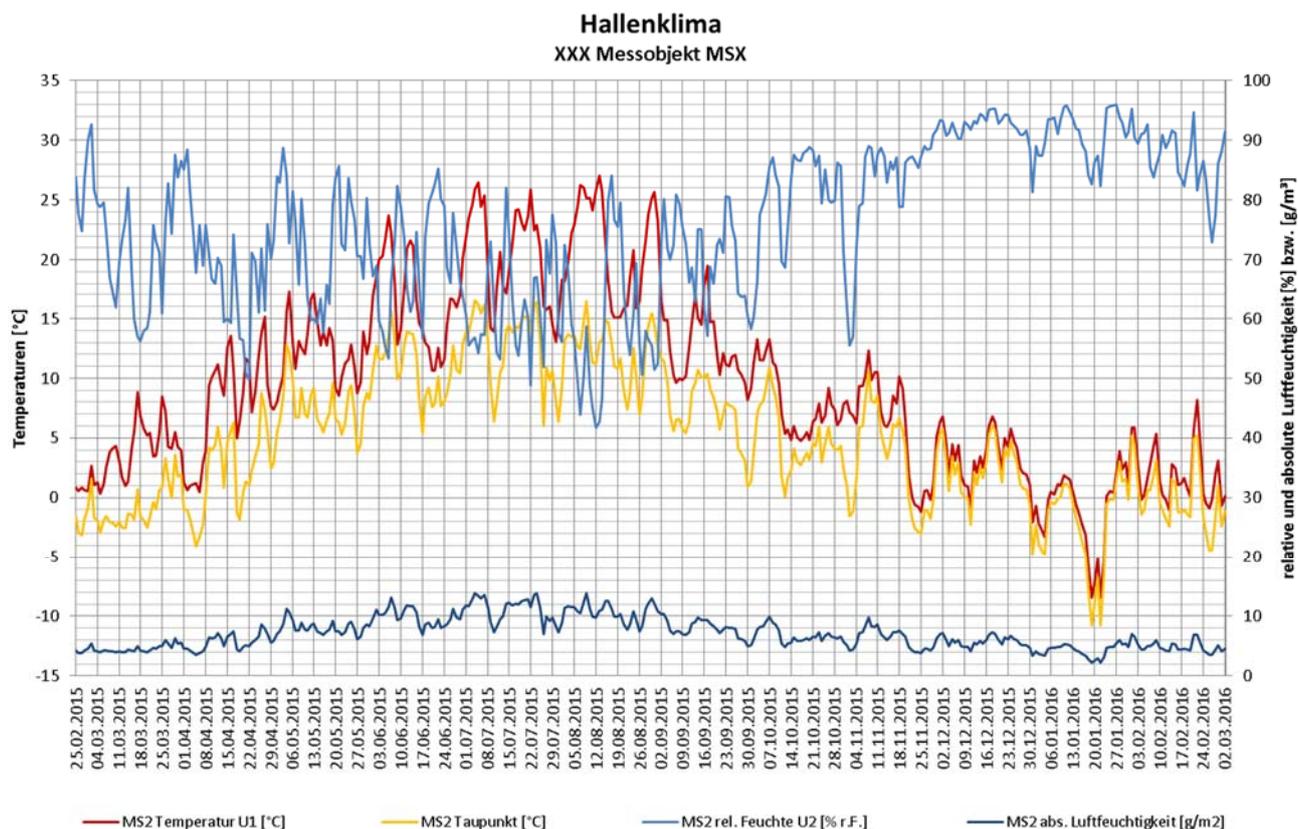


Abbildung 6-2: Verläufe der relativen und absoluten Luftfeuchte sowie der Lufttemperatur und Taupunkte über den betrachteten Messzeitraum an einer beispielhaften Messstelle

Um die Klimabeanspruchungen sowie die daraus resultierenden Holzfeuchten kompakter zu verdeutlichen, werden die Ergebnisse tabellarisch zusammengefasst (vgl. Tabelle 6-1). Um die Ergebnisse der Messobjekte vergleichbar zu machen, werden die Messdaten aus einem zusammenhängenden Messzeitraum von zwei Jahren ausgewertet. Diese Darstellungsweise wurde gewählt, da eine graphische Auswertung zwar unmittelbar verständlich ist, jedoch keinen schnellen

und prägnanten Überblick über die Ergebnisse zulässt. Der Auswertungszeitraum ist in den entsprechenden Diagrammen gekennzeichnet (vgl. Anhang, grau hinterlegt).

*Tabelle 6-1: Ausgewertete Größe einer beispielhaften Messstelle (MW – Mittelwert der gemessenen Größe; max. A - Differenz zwischen größtem und niedrigstem Messwert; MW 15 - Mittelwert der Holzfeuchtemessungen in 15 mm Tiefe; Ü 20 – Anzahl der Tage mit mittlerer Holzfeuchte > 20 %)*

Mess-system	Mess-stelle	Holzfeuchte				Temperatur		rel. Luftfeuchte	
		MW [%]	MW 15 [%]	max. A [%]	Ü 20 [d]	MW [°C]	max. A [°C]	MW [%]	max. A [%]
X	MST X.X	16,7	17,3	10,7	23	9,3	43,8	75,9	73,2

Die tabellarische Zusammenfassung enthält die für den Auswertungszeitraum ermittelten Mittelwerte von relativer Luftfeuchte, Lufttemperatur und Holzfeuchten, die für die jeweiligen Messstellen in allen vorgesehenen Messtiefen ermittelt wurden. Daneben wird der Mittelwert der Holzfeuchtemessungen in 15 mm angegeben, da für die Zuordnung zu einer Gebrauchsklasse die oberflächennah gemessenen Holzfeuchten, im Vergleich zur mittleren Holzfeuchte über den Gesamtquerschnitt, maßgebender sind. Für die drei Parameter - relative Luftfeuchte, Temperatur und die in 15 mm Tiefe gemessene Holzfeuchte (jeweils beruhend auf Stundenwerten) - sind auch die maximalen Amplituden, d.h. die Differenz zwischen größtem und niedrigstem Messwert angegeben. Des Weiteren wurde für den vorliegenden Zwischenbericht die Anzahl der Tage ermittelt, an denen die Holzfeuchte im Tagesmittel bei > 20 % lag. Der Wert von 20 % wird in DIN 68800-1 als Obergrenze für das Vermeiden eines Pilzbefalls angesetzt (GK 0 und 1). Dies geschieht unabhängig von den tatsächlichen von Holz zerstörenden Pilzen benötigten Bedingungen und unter Berücksichtigung einer ausreichenden Sicherheit.

### 6.3 Ergebnisse und Anmerkungen zu den untersuchten Gebäudenutzungen

#### 6.3.1 Hallenklima vs. Außenklima

In Abbildung 6-3 sind die Hallenklimata der untersuchten Objekte zusammenfassend dargestellt. Dem gegenübergestellt sind die Außenklimata. Zudem ist die Grenzlinie der relativen Luftfeuchte nach DIN 68800-1 angegeben. Diese besagt, dass Holz bei mittlerer relativer Luftfeuchte bis etwa 85 % und keiner anderweitigen Feuchtebeanspruchung Gleichgewichtsfeuchten unterhalb 20 % aufweist.

Es lässt sich gut erkennen, dass sich die Objekte je nach Nutzung und baulicher Ausführung in ihren klimatischen Bedingungen teilweise wenig, teilweise aber auch deutlich unterscheiden. Bei ausschließlicher Betrachtung des durchschnittlichen Hallenklimas ist nach DIN 68800-1 das Risiko von Schäden durch Holz zerstörende Pilze im gedämmten bzw. klimatisierten Bereich der Kartoffellagerhalle (Objekt 08) nicht auszuschließen. Im Folgenden werden die Ergebnisse aller Objekte, zusammengefasst nach Nutzungen, näher erläutert.

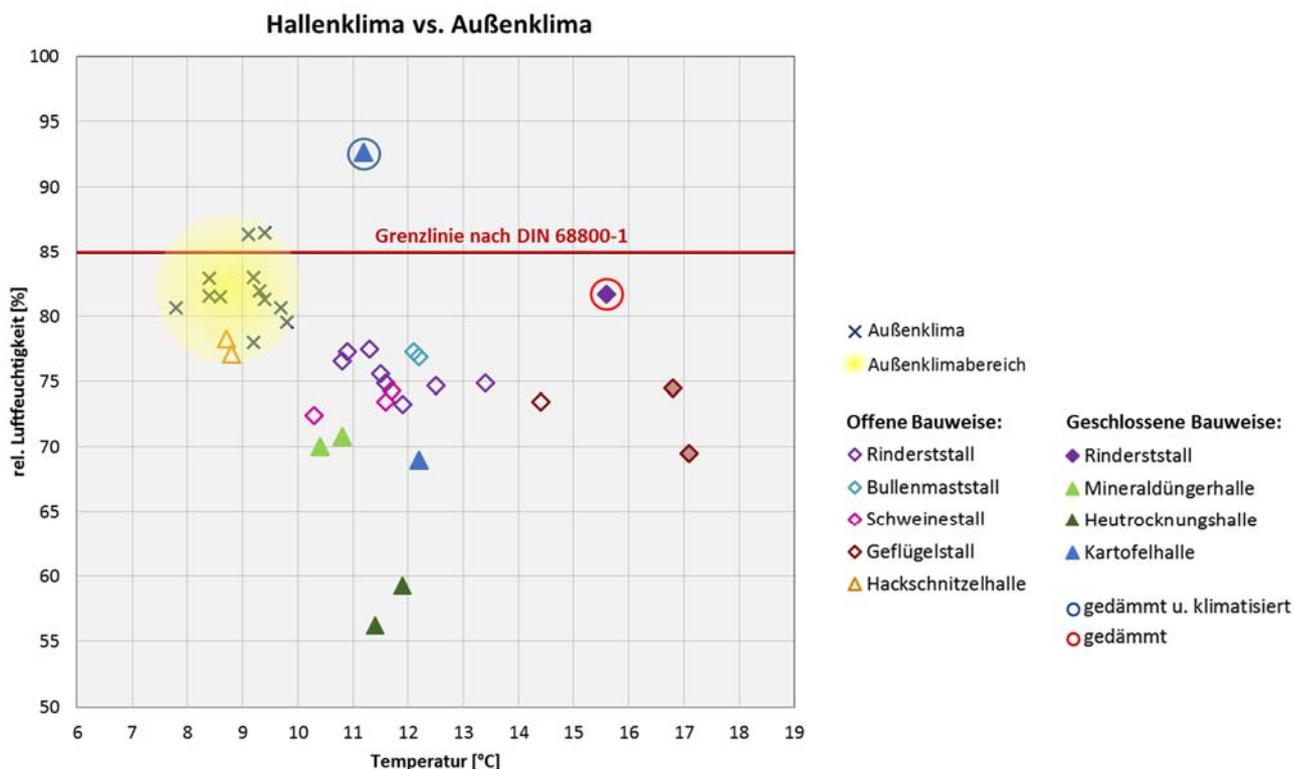


Abbildung 6-3: Zusammenfassung der durchschnittlichen Klimabedingungen in den untersuchten Objekten

### 6.3.2 Rinderställe

Die untersuchten Rinderställen in offener Bauweise (Objekt 01, 03 und 04) lagen in den Temperaturen oberhalb und in den Luftfeuchten unterhalb der Werte des Außenklimas (vgl. Abbildung 6-3 und Tabelle 6-2). Unter den üblichen Gebrauchsbedingungen ergaben sich mittlere Holzfeuchten von 16 bis 17 %. Im einhäusigen Offenfrontstall mit Ausrichtung der offenen Längsseite nach Südosten (Objekt 04) schwankten die Werte der Holzfeuchte stärker als in den beiden anderen Objekten in offener Bauweise. Wie bereits in Abschnitt 5.3 erwähnt, liegen für zwei Messsysteme des Objektes 01 (Messsystem 01 und 02), aufgrund von technischen Störungen, keine verwendbaren Messwerte für die Holzfeuchtemessung vor.

In einem zweiten einseitig offenen Stall (Objekt 02) wurden die Wände auf der geschlossenen Seite konstruktiv gedämmt. Dadurch ist das Hallenklima weniger vom Außenklima beeinflusst. Die Schwankungen der mittleren Werte der relativen Luftfeuchte- und Temperatur sowie der Holzfeuchte waren mit den Ergebnissen der o.g. Objekte vergleichbar, jedoch weniger ausgeprägt.

Ausreißer stellte der einzige Warmstall mit Anbindehaltung dar (Objekt 12, roter Kreis in Abbildung 6-3), der höhere mittlere Temperaturen und Luftfeuchten als die Kaltställe aufwies. Bei dem geschlossen ausgeführten Stall mit gedämmten Wänden und Decke ließ sich ein relativ konstantes Hallenklima mit einer mittleren relativen Luftfeuchte von über 80 % jedoch ein feuchtes Klima

feststellen. Die Holzfeuchten im oberflächennahen Bereich (in 15 mm Tiefe) waren erwartungsgemäß hoch und betragen im Mittel 20,4 %. Für längere Zeiträume wurde die 20 % Holzfeuchte überschritten. Die Abweichung bei Messstelle 1.2 ergibt sich daraus, dass die Messstelle sich in der Zwischendecke hinter der Dämmung befand und der Feuchteeintrag in das Obergeschoß durch das Dämmmaterial eingeschränkt wurde.

Tabelle 6-2: Ausgewertete Größen über den gemessenen Zeitraum für alle Objekte der Nutzung Rinderstall

Objekt	Mess- stelle	Holzfeuchte				Temperatur		rel. Luftfeuchte	
		MW [%]	MW 15 [%]	max. A [%]	Ü 20 [d]	MW [°C]	max. A [°C]	MW [%]	max. A [%]
01 (01.16 / 12.17)	1.1	-	-	-	-	10,9	47,4	77,3	68,3
	1.2	-	-	-	-				
	1.3	-	-	-	-				
	2.1	-	-	-	-	11,3	47,9	77,5	77,9
	2.2	-	-	-	-				
	2.3	-	-	-	-				
	2.4	-	-	-	-				
	3.1	17,0	18,9	11,0	217	10,8	47,8	76,6	70,6
	3.2	18,3	23,2	5,7	730				
02 (01.16 / 12.17)	1.1	16,6	18,3	3,9	0	12,5	31,6	74,7	52,3
	1.2	17,1	17,4	4,0	0				
	1.3	16,3	16,9	2,7	0				
	2.1	15,8	18,9	3,8	0	13,4	29,1	74,9	53,8
	2.2	14,9	15,6	2,9	0				
	2.3	15,2	15,5	2,9	0				
03 (01.16 / 12.17)	1.1	17,2	17,4	5,3	0	11,6	46,4	74,9	74,4
	1.2	18,5	18,5	6,8	141				
	1.3	16,6	16,8	5,5	0				
	2.1	17,2	17,5	5,3	0	11,5	46,4	75,6	72,9
	2.2	16,8	17,1	5,8	0				
	2.3	16,3	16,4	5,4	0				
04 (11.15 / 10.17)	1.1	17,4	17,3	8,5	76	11,9	49,8	73,3	73,3
	1.2	17,2	17,2	8,5	67				
	1.3	17,3	17,4	7,8	56				
12 (01.16 / 12.17)	1.1	19,4	20,4	5,7	494	15,6	28,4	81,7	54,6
	1.2	17,4	18,4	2,8	0				

In den Rinderställen in offener Bauweise wurden hohe Holzfeuchten von über 20 % im oberflächennahen Bereich (Messtiefe = 15 mm) nur für Bauteile unter außergewöhnlichen Gebrauchsbedingungen ermittelt. Dies betrifft z. B bei Objekt 01 die zwei Stützen, die sich neben der Melkkammer befinden und dem Spritzwasser aus der Reinigungsvorrichtung ausgesetzt sind (vgl. Tabelle 6-2, Messstellen 3.1 und 3.2). Bei der direkt am Ausgang der Kühe aus der Melkkammer angeordneten Stütze (Messstelle 3.2), lagen die Holzfeuchten über den gesamten Messzeitraum zwischen 20 bis 27 %. In einem weiteren Fall (Objekt 03, Messstelle 1.2), in dem sich die Messstelle ca. 4 m über dem Mistbereich befand, und somit von sehr feuchter Luft umströmt war, wurden ebenfalls erhöhte Holzfeuchten gemessen. Zusammenfassend kann festgestellt

werden, dass die Holzfeuchten unter normalen klimatischen Bedingungen der untersuchten offenen Rinderställe, welche heutzutage den Stand der Bautechnik darstellen, dauerhaft unter 20 % liegen und nur im Falle besonderer lokaler Bedingungen (hier: durch die Nutzer eingebrachte Feuchte) über längere Zeiträume Werte über 20 % erreichen.

### 6.3.3 Bullenmastställe

Aufgrund von starken Verschmutzungen fielen die Klimasensoren beider Messsysteme seit August 2017 aus (vgl. Anhang). Die defekten Sensoren waren, bedingt durch ihren Installationsort, schlecht zugänglich und konnten nicht durch neue Sensoren ersetzt werden. Deshalb stehen für die beiden Messsysteme zwischen August 2017 bis März 2018 keine Klimadaten zur Auswertung zur Verfügung. Für die Berechnung des in Tabelle 6-3 aufgeführten Mittelwerte der Temperaturen und relativen Luftfeuchten wurden die zum gleichen Zeitraum des Vorjahres erfassten Klimadaten als Anhaltswerte herangezogen.

Tabelle 6-3: Ausgewertete Größen über den gemessenen Zeitraum für das Objekt des Bullenstalls

Objekt	Mess- stelle	Holzfeuchte				Temperatur		rel. Luftfeuchte	
		MW [%]	MW 15 [%]	max. A [%]	Ü 20 [d]	MW [°C]	max. A [°C]	MW [%]	max. A [%]
05 (01.16 / 12.17)	1.1	16,8	17,4	6,0	29	12,2	42,7	76,9	77,5
	1.2	16,5	17,5	6,4	38				
	1.3	16,1	17,6	5,3	27				
	2.1	16,8	16,1	9,2	58	12,1	47,2	77,3	79,7
	2.2	15,8	15,8	9,7	39				
	2.3	15,6	16,2	8,3	36				
	2.4	17,2	18,1	7,5	181				

Das Klima in dem untersuchten Bullenmaststall wird ebenfalls stark vom Außenklima beeinflusst. Das Stallklima ist mit einer mittleren relativen Luftfeuchte von ca. 80 % leicht feuchter als die meisten Rinderställe (vgl. Abbildung 6-3 und Tabelle 6-3). Der im Vergleich zu Michviehställen erwartete höhere Feuchteeintrag durch dichtere Belegung wird hiermit bestätigt. Die Durchschnittstemperaturen betragen knapp über 12 °C. Die mittleren Holzfeuchten betragen unter den üblichen Gebrauchsbedingungen erwartungsgemäß zwischen 15 % und 18 %. Auf der Seite, wo sich die Liegefläche befindet (Messsystem 2), wurden tendenziell größere Schwankungen der gemessenen Hallenklimata und Holzfeuchte festgestellt.

In einer Messtiefe von 15 mm wurden Holzfeuchten von bis zu 22 % in den Bauteilen gemessen, die sich über der Liegefläche, unmittelbar unterhalb des offenen Lichtbandes im Firstbereich befinden (Messstellen 2.1 bis 2.3). Die in der Winterzeit gemessenen Werte weisen sehr große Schwankungen auf. Dies könnte unter anderem darauf zurückzuführen sein, dass sich aufgrund des hohen Feuchteeintrages von unten Tauwasser an den Oberflächen der Bauteile im Bereich des kühlen Lichtbandes bildet. Relativ hohe Holzfeuchten über einen relativ langen Zeitraum von z.T. über 20 % wurden an der liegeplatzseitigen Stütze unter der Traufe gemessen (Messstelle 2.4).

### 6.3.4 Schweineställe

Aufgrund von starken Verschmutzungen war der Klimasensor des Messsystems 3 am Anfang Oktober 2016 ausgefallen (vgl. Anhang). Der defekte Sensor war, bedingt durch seinen Installationsort, schlecht zugänglich und konnte erst nach einem Jahr Ende September 2017 durch einen neuen Sensor ersetzt werden. Deshalb stehen für das Messsystem 3 zwischen Oktober 2016 bis September 2017 keine Klimadaten zur Auswertung zur Verfügung. Für die Berechnung der in Tabelle 6-4 aufgeführten Mittelwerte der Temperaturen und relativen Luftfeuchten wurden die zum gleichen Zeitraum des Vorjahres erfassten Klimadaten als Anhaltswerte herangezogen.

Wie bereits in Abschnitt 4.2.3 erwähnt, wurde der betreffende Schweinestall für Untersuchungszwecke im Stallklimabereich baulich unterschiedlich ausgeführt. Im Abteil A mit gedämmten Wänden und Decke wurde der Dachraum nicht durch Innenluft aus dem Liegebereich beeinflusst. Die Temperaturen und Luftfeuchten lagen leicht unter denen der Rinderställe (vgl. Abbildung 6-3 und Tabelle 6-4, Messsystem 2). Im Abteil B, welches zwar über keine Dämmung in der Wand, aber seit November 2015 über eine gedämmte Abdeckung über dem Liegebereich verfügte, herrschten im Dachbereich bis zu 1,4° C höhere Durchschnittstemperaturen (vgl. Tabelle 6-4, Messsystem 1). Die Temperatur betrug dabei im Mittel ca. 12 °C und die relative Luftfeuchtigkeit ca. 74 %. Der zu vermutende Feuchteeintrag aus dem benachbarten Raum in den Dachbereich des Abteils B konnte bestätigt werden. Ähnliche klimatische Bedingungen wurden im Abteil C festgestellt, welches stellvertretend für Stallanlagen für Schweinehaltung in Kaltställen steht (vgl. Tabelle 6-4, Messstelle 3). Die Temperatur betrug dabei im Mittel ca. 12 °C und die relative Luftfeuchtigkeit ca. 73 %.

Tabelle 6-4: Ausgewertete Größen über den gemessenen Zeitraum für das Objekt des Schweinestalls

Objekt	Mess- stelle	Holzfeuchte				Temperatur		rel. Luftfeuchte	
		MW [%]	MW 15 [%]	max. A [%]	Ü 20 [d]	MW [°C]	max. A [°C]	MW [%]	max. A [%]
06 (01.16 / 12.17)	1.1	13,9	14,0	5,9	0	11,7	46,0	74,3	65,7
	1.2	14,0	13,9	5,3	0				
	1.3	17,0	17,2	10,9	174				
	1.4	14,0	14,4	5,6	0				
	2.1	15,2	15,3	9,8	0	10,3	49,9	72,4	79,7
	2.2	16,2	16,1	8,2	0				
	2.3	16,0	16,1	8,1	0				
	2.4	17,5	17,8	11,0	113				
	3.1	15,1	15,5	9,9	19	11,6	45,6	73,5	71,2
	3.2	15,7	16,1	7,8	15				
	3.3	16,2	16,6	9,4	53				
	3.4	15,2	15,6	8,4	14				

Die mittleren Holzfeuchten lagen zwischen 14 % bis 18 %. In den engen Traufbereichen der Abteile A und B, in denen sich feuchte Innenluft stauen konnte, wurden zeitweise hohe Holzfeuchten von bis zu über 20 % an der Bauteiloberfläche ermittelt (vgl. Tabelle 6-4, Messstellen 1.3 und 2.4). Im

Gegensatz dazu war bei Abteil C an derselben Stelle aufgrund der fehlenden Abdeckung und der dadurch ermöglichten Be- und Entlüftung durch die offene Traufe kein feuchteres Mikroklima nachzuweisen. Holzfeuchten von über 20 % wurden an allen vier Messstellen aber nur vereinzelt in der kalten Winterzeit gemessen (vgl. Tabelle 6-4, Messstellen 3.1 bis 3.4). Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass die Holzfeuchten der untersuchten Schweineställe unter normalen klimatischen Bedingungen dauerhaft unter 20 % lagen und nur im Fall besonderer lokaler Bedingungen (hier: Mikroklima im engen Traufbereich) zeitweise Werte über 20 % erreichten.

### 6.3.5 Geflügelhallen

Wie bereits im Abschnitt 4.2.4 erwähnt, wurden die untersuchten Geflügelhallen nach dem Ausstallen und zur Vorbereitung für neue Küken mehrmals jährlich mit einem Hochdruckreiniger gründlich gereinigt sowie desinfiziert. Diese Hygienemaßnahmen im alten Stall hatten dazu geführt, dass die Klimasensoren der Messsysteme 2 und 3 durch eingetretene Wasserschäden über einen langen Zeitraum ausgefallen waren (vgl. Anhang). Die defekten Sensoren konnten zwar durch neue Sensoren ersetzt werden, allerdings stehen für das Messsystem 2 zwischen Juli 2016 bis August 2017 und für das Messsystem 3 zwischen Juli bis März 2017 keine Klimadaten zur Auswertung zur Verfügung. Für die Berechnung der in Tabelle 6-5 aufgeführten Mittelwerte der Temperaturen und relativen Luftfeuchten wurden die zum gleichen Zeitraum des Vorjahres erfassten Klimadaten als Anhaltswerte herangezogen.

Bei den Geflügelhallen ließ sich ein warmes Hallenklima während der Aufzuchtzeit feststellen (vgl. Tabelle 6-5). Im Vergleich zu den Ställen anderer Nutzungen wurden höhere mittlere Temperaturen zwischen 14 und 17 °C gemessen. Die mit Messsystem 2 ermittelte niedrigere Raumtemperatur ergab sich aus dem am offenen Stallfenster montierten Klimasensor. Die dort gemessenen Lufttemperaturen wurden stark von der Außentemperatur beeinflusst. Die relative Luftfeuchte lag bei beiden Hallen im Mittel um 72 %. Im neuen Stall wurden tendenziell höhere relativen Luftfeuchten gemessen. Die Schwankungen der relativen Luftfeuchten waren im Vergleich zu den anderen Ställen auf den ersten Blick etwas geringer ausgeprägt. Ein genauerer Blick auf die Verläufe des Hallenklimas über den betrachteten Zeitraum zeigt, dass sich die höchsten Messwerte während der Reinigungsarbeit in der Stall-Leerzeit ergeben haben. Aufgrund der geöffneten Stalltore sank die Temperatur innerhalb eines kurzen Zeitraums um ca. 10 °C. Die relative Luftfeuchtigkeit stieg wegen des Sprühwassers auf ca. 90 %. Während der Aufzuchtzeit blieb die relative Luftfeuchte vergleichsweise konstant (vgl. Anhang).

Auch die Messung der Holzfeuchten wurde von der Reinigungsarbeit beeinträchtigt. Zu den Zeitpunkten, in denen die Ställe mit Hochdruckreiniger gewaschen wurden, wurden bei der Mehrheit der Messstellen entweder temporär extrem hohe Holzfeuchten oder unrealistische Sprünge gemessen (vgl. Anhang). Nach einem Zeitraum von ca. 10 Tagen sanken die Holzfeuchten wieder auf einen erwartbaren Bereich von 14 bis 17 %. Dies stellte wegen der kurzen Zeitdauer keine Gefahr bezüglich Pilzwachstum dar und hatte nur minimalen Einfluss auf die Mittelwerte der Holzfeuchten. Allerdings führte dies dazu, dass sich große Differenzen zwischen den maximal und

minimal an der Bauteiloberflächen (15 mm) gemessen Holzfeuchten ergeben (vgl. Tabelle 6-5, max. A). Für diese Messstellen wurden die maximalen Amplituden der Holzfeuchten mit bzw. ohne Berücksichtigung der durch die Reinigungsmaßnahmen beeinträchtigten Messwerte berechnet. Die Bauteile, die sich in einer Höhe von mehr als 3 m befinden, waren nur wenig oder gar nicht von den Reinigungsmaßnahmen betroffen.

Tabelle 6-5: Ausgewertete Größen über den gemessenen Zeitraum für das Objekt der Geflügelhallen

Objekt	Mess- stelle	Holzfeuchte				Temperatur		rel. Luftfeuchte	
		MW [%]	MW 15 [%]	max. A [%]	Ü 20 [d]	MW [°C]	max. A [°C]	MW [%]	max. A [%]
11 (01.16 / 12.17)	1.1	14,0	14,8	4,0	0	16,8	41,0	74,5	69,9
	1.2	14,5	14,9	5,0	0				
	1.3	14,3	14,6	3,4	0				
	2.1	15,7	17,4	9,7* / 5,0	0	14,4	39,5	73,5	73,2
	2.2	17,1	17,3	12,2* / 5,0	0				
	2.3	15,8	16,1	7,9* / 5,6	0				
	3.1	16,3	17,1	9,4* / 3,2	0	17,1	31,5	69,5	68,2
	3.2	16,6	17,3	5,9* / 3,7	0				
3.3	17,1	17,6	5,7* / 3,8	0					

\* Mit Berücksichtigung der durch die reinigungsmaßnahmen beeinträchtigten Messwerte

### 6.3.6 Lagerhalle für Mineraldünger

Da die Lagerhalle für Mineraldünger meist geschlossen war, waren die äußeren Einflüsse auf das Hallenklima abgemindert. Mit einer mittleren relativen Luftfeuchte von ca. 70 % war es etwas trockener als in den Viehställen. Die Temperaturen stellten sich bei ca. 10° C ein. Daraus resultierten Holzfeuchten, die knapp über 14 % betragen. Oberflächennah wurden ebenfalls keine hohen Holzfeuchten gemessen. Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass die Holzfeuchten der untersuchten Lagerhalle für Mineraldünger unter normalen klimatischen Bedingungen dauerhaft unter 20 % liegen.

Tabelle 6-6: Ausgewertete Größen über den gemessenen Zeitraum für das Objekt der Mineraldüngerhalle

Objekt	Mess- stelle	Holzfeuchte				Temperatur		rel. Luftfeuchte	
		MW [%]	MW 15 [%]	max. A [%]	Ü 20 [d]	MW [°C]	max. A [°C]	MW [%]	max. A [%]
07 (01.16 / 12.17)	1.1	14,5	15,4	4,7	0	10,8	47,0	70,8	60,5
	1.2	14,7	16,0	5,6	0				
	1.3	14,7	15,0	5,4	0				
	2.1	14,2	15,2	5,0	0	10,4	44,4	70,0	55,6
	2.2	14,4	14,7	4,6	0				
	2.3	14,8	15,3	4,8	0				

### 6.3.7 Kartoffellagerhalle

Wie bereits im Abschnitt 4.2.6 erwähnt, wurde das Klima in Kartoffellagerhallen gezielt klimatisiert und möglichst kühl und feucht gehalten. In der untersuchten Kartoffellagerhalle, insbesondere mit Beginn der Erntezeit im Herbst, herrschte im geschlossen und konstruktiv gedämmt ausgeführten Lagerraum eine sehr hohe relative Luftfeuchte von bis zu 100 % (vgl. Anhang). Die Temperatur schwankte dann um ein Mittel von ca. 7 °C. Mit einer mittleren Holzfeuchte von ca. 21 % waren die Holzbauteile im Lagerraum sehr feucht (vgl. Tabelle 6-7, Messsystem 2). In der Tiefe von 15 mm lagen die Holzfeuchten bei 20 bis 25 %.

Im ungedämmten, durch eine Zwischendecke vom Lagerraum konstruktiv abgetrennten Dachbereich wurden erwartbare Temperaturen und im Vergleich niedrige relative Luftfeuchten gemessen. Im Sommer herrschten in dem wenig belüfteten Raum sehr hohe Temperaturen von z.T. über 30 °C (vgl. Anhang). Mit einer mittleren Temperatur von ca. 12 °C und relative Luftfeuchte von 70 % stellte sich eine Holzfeuchte von im Mittel ca. 13 % ein (vgl. Tabelle 6-7, Messsystem 1).

Tabelle 6-7: Ausgewertete Größen über den gemessenen Zeitraum für das Objekt der Kartoffellagerhalle

Objekt	Mess- stelle	Holzfeuchte				Temperatur		rel. Luftfeuchte	
		MW [%]	MW 15 [%]	max. A [%]	Ü 20 [d]	MW [°C]	max. A [°C]	MW [%]	max. A [%]
08 (01.16 / 12.17)	1.1	13,0	12,9	6,5	0	12,2	54,4	69,0	79,3
	1.2	11,8	12,0	6,9	0				
	1.3	13,1	13,2	8,0	0				
	1.4	14,3	14,4	7,8	0				
	2.3	11,4	11,4	7,8	0				
	2.1	21,6	20,8	7,4	695	11,2	23,6	92,7	51,0
	2.2	20,7	22,0	8,2	562				

### 6.3.8 Heutrocknungshallen

Mit einer mittleren relativen Luftfeuchte von knapp unter 60 % war in der Heutrocknungshalle ein vergleichsweise trockenes Klima anzutreffen. Zum Zeitpunkt der Trocknung (Juni bis August jedes Jahres) wurden oberhalb des Heustocks temporär hohe Temperaturen von ca. 30° C und relative Luftfeuchten von ca. 80 % erfasst (vgl. Anhang). In der Betriebsruhezeit hingegen war die Temperatur stark von der Außentemperatur abhängig, d.h. im Mittel vergleichsweise niedrig. Relative große Temperaturschwankungen traten vor allem am Tor auf (vgl. Tabelle 6-8, Messsystem 2). Auch die Luftfeuchten liegen im Mittel unter den Luftfeuchten anderer Lagerhallen.

Die daraus resultierenden Holzfeuchten waren relativ konstant und lagen im Bereich des Heulagers im Schnitt bei ca. 12 % und am Tor bei ca. 14 %. Bei der Betrachtung des Holzfeuchteverlaufs über den Bauteilquerschnitt ist darauf zu achten, dass speziell bei den Heutrocknungshallen die niedrigeren Holzfeuchten häufig in geringeren Messtiefen vorliegen (vgl. Anhang). Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass die Holzfeuchten der untersuchten Heutrocknungshalle unter normalen klimatischen Bedingungen dauerhaft unter 20 % lagen.

Tabelle 6-8: Ausgewertete Größen über den gemessenen Zeitraum für das Objekt der Hautrocknungshalle

Objekt	Mess- stelle	Holzfeuchte				Temperatur		rel. Luftfeuchte	
		MW [%]	MW 15 [%]	max. A [%]	Ü 20 [d]	MW [°C]	max. A [°C]	MW [%]	max. A [%]
09 (10.15 / 09.17)	1.1	12,5	12,3	4,5	0	11,9	44,7	59,3	73,7
	1.2	11,4	11,6	4,5	0				
	1.3	12,6	12,5	4,2	0				
	2.1	14,7	13,2	4,6	0	11,4	65,5	56,2	80,9
	2.2	13,8	13,0	4,9	0				

### 6.3.9 Lagerhalle für Hackschnitzel

In der untersuchten Lagerhalle für Hackschnitzel herrschte aufgrund der offenen Bauweise fast Außenklima mit etwas reduzierten Luftfeuchten (vgl. Abbildung 6-3 und Tabelle 6-9). Die mittleren Holzfeuchten lagen zwischen 16 und 19 %.

Holzfeuchten von über 20 % wurden vor allem in den Bauteilen gemessen, die mit den nass eingelagerten Hackschnitzeln in direktem Kontakt standen (vgl. Tabelle 6-9, Messstellen 2.2). Durch eine Brettabdeckung konnte die Holzfeuchte solcher Bauteile auf einem geringeren Niveau gehalten werden (vgl. Tabelle 6-9, Messstelle 1.1 und 1.2).

Hohe Holzfeuchten wurden außerdem in den Dachsparren bzw. im Querriegel unter First gemessen, welcher von feuchter Luft aus dem Hackschnitzelhaufen umströmt wurden (vgl. Tabelle 6-9, Messstelle 1.3). Die im Winter gemessenen Holzfeuchten von über 20 % erklärten sich mit der möglichen Bildung von Tauwasser.

Tabelle 6-9: Ausgewertete Größe über den gemessenen Zeitraum für das Objekt der Hackschnitzellagerhalle

Objekt	Mess- stelle	Holzfeuchte				Temperatur		rel. Luftfeuchte	
		MW [%]	MW 15 [%]	max. A [%]	Ü 20 [d]	MW [°C]	max. A [°C]	MW [%]	max. A [%]
10 (01.16 / 12.17)	1.1	16,4	16,6	8,7	60	8,8	48,5	77,1	66,6
	1.2	18,2	19,0	9,8	0				
	1.3	16,6	16,6	8,7	164				
	2.1	18,5	18,5	7,8	136	8,7	45,9	78,3	69,2
	2.2	18,2	19,0	9,8	256				
	2.3	16,6	16,6	8,7	73				

## 7 Bewertung des Gefährdungspotentials durch Holz zerstörende Pilze

### 7.1 Allgemeines

Im Rahmen des Monitorings wurden Holzfeuchten in unterschiedlichen Tiefen des Bauteils gemessen, zur Bewertung des Gefährdungspotentials durch Holz zerstörende Pilze wird sich im Folgenden auf die im oberflächennahen Bereich (15 mm) gemessenen Holzfeuchten konzentriert.

### 7.2 Bewertung der gemessenen Holzfeuchten gemäß DIN 68800

Die gemessenen Holzfeuchten spiegelten meist recht gut das erfasste Hallenklima wieder. In allen Ställen mit Ausnahme des Warmstalls wurden an der Mehrzahl der Messstellen dauerhaft Holzfeuchten unter 20 % festgestellt. Holzfeuchten über 20 %, jedoch dauerhaft unter 30 %, treten vorwiegend im Bereich lokaler Besonderheiten (z.B. unter offenem First, über Mistbereich oder unmittelbar im Bereich des Melkstandes) auf. An keiner Messstelle wurde der Fasersättigungspunkt überschritten. Auch in den Lagerhallen wurden zumeist Holzfeuchten unter 20 % gemessen, im Mittel lagen diese leicht unter den in den Ställen gemessenen Holzfeuchten. Ausnahmen bildeten die Bauteile im Lagerbereich der Kartoffelhalle und im Hackschnitzzellager die Bauteile, die im unmittelbaren Kontakt mit den Hackschnitzeln oder von feuchter Luft aus dem Hackschnitzelhaufen umströmt waren.

Bei 51 von insgesamt 78 Messstellen lagen die gemessenen Holzfeuchten dauerhaft unter 20 %. Von den restlichen 27 Messstellen (vgl. unten) betrug der Zeitraum der Überschreitung des Grenzwertes bei 15 Messstellen weniger als 80 Tage (ca. 10 % der gesamten Messdauer); bei 8 der verbleibenden 12 Messstellen lag dieser Zeitraum bei 15 bis 35 % der Messdauer; bei den 4 verbleibenden Messstellen wurden über mehr als 70 % der Messdauer Holzfeuchten über 20 % festgestellt. Unten aufgelistet sind die Messstellen, an welchen Holzfeuchten von über 20 % im oberflächennahen Bereich (15 mm) gemessenen wurden:

- |   |  |
|---|--|
| • Objekt 01: Milchviehstall Grub          | Messstellen 3.1 und 3.2                          |
| • Objekt 03: Milchviehstall Raubling      | Messstellen 1.2                                  |
| • Objekt 04: Kälberstall Grub             | Messstellen 1.1, 1.2 und 1.3                     |
| • Objekt 05: Bullenmast Schnotting        | Messstellen 1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.2, 2.3 und 2.4 |
| • Objekt 06: Schweinestall Kringell       | Messstellen 1.3, 2.4, 3.1, 3.2, 3.3 und 3.4      |
| • Objekt 08: Kartoffellager Thalmassing   | Messstellen 2.1 und 2.2                          |
| • Objekt 10: Hackschnitzzellager Langdorf | Messstellen 1.1, 1.3, 2.1, 2.2, und 2.3          |
| • Objekt 12: Milchviehstall Bad Aibling   | Messstelle 1.1                                   |

### 7.3 Holzerstörungsmodell

Eine komplette Bauwerksaufnahme aller untersuchten Objekte wurde im Rahmen einer Masterarbeit vorgenommen (Müller 2017). Bei Ortsterminen wurden zusätzlich Befragungen unter den Gebäudenutzern durchgeführt. Das Ergebnis war, dass an keinem Bauteil Insektenbefall oder

Pilzwachstum während der Dauer des Forschungsvorhabens oder zu einem früheren Zeitpunkt festgestellt werden konnte. Um dieses positive, aber im Hinblick auf die Messstellen mit Holzfeuchten  $\geq 20\%$  über längere Zeiträume nicht gleich schlüssige Ergebnis aufzuklären, wurde auf das von Viitanen und Ritschkoff (1991) aus umfangreichen Laborversuchen abgeleitete und von Kehl (2011) zusammenfassend dargestellte Holzzerstörungsmodell zurückgegriffen.

Wie bereits im Abschnitt 2.2 erwähnt, ist eine ausreichende Holzfeuchte die wichtigste Voraussetzung für die Entwicklung von Pilzen auf Holz. Zur Besiedlung des Holzes durch Holz zerstörende Pilze ist ein minimaler Feuchtegehalt von etwa  $20\%$  erforderlich. Um auf Holz zu wachsen und die verholzte Zellwand enzymatisch abzubauen, benötigen die Holz zerstörende Pilze allerdings eine Holzfeuchte oberhalb des Fasersättigungspunktes (etwa  $30\%$  bei den gebräuchlichen einheimischen Bauholzarten). Das Holzzerstörungsmodell berücksichtigt, dass ein Pilzbefall und Pilzwachstum - neben der Höhe der Holzfeuchte - auch von der Dauer der umgebenden Luftfeuchte und der Temperatur abhängig ist. Das hierbei angewendete Holzzerstörungsmodell ist in zwei Abschnitte aufgeteilt. Zum einen ist zu untersuchen welche Umgebungsbedingungen über welche Zeitdauer vorliegen müssen, damit die Pilzsporen überhaupt „aktiviert“ werden. Im Fall der Kartoffellagerhalle herrschten während der Lagerung ca.  $7^\circ\text{C}$  und  $95\%$  relative Luftfeuchte (vgl. Anhang). Gemäß dem Holzzerstörungsmodell werden bei diesen Randbedingungen mindestens 120 Tage benötigt, bis die Pilzsporen auskeimen (vgl. Abbildung 7-1, links). Als zweites wird das „Starten“ des Pilzwachstums bzw. der Beginn des Holzabbaus betrachtet. Auch hierfür sind bestimmte Klimabedingungen notwendig, die notwendige Zeitdauer ist wiederum von den Umgebungsbedingungen abhängig. Im Beispiel der Kartoffellagerhalle müssten die o.g. Klimabedingungen über einen Zeitraum von knapp 90 Tagen vorliegen, bis das Pilzwachstum starten kann (vgl. Abbildung 3-1, rechts). Bei einer Reduktion der relativen Luftfeuchte auf  $90\%$  ( $T = 20^\circ\text{C}$ ) würde sich die Zeitdauer auf mehr als 12 Monate verlängern.

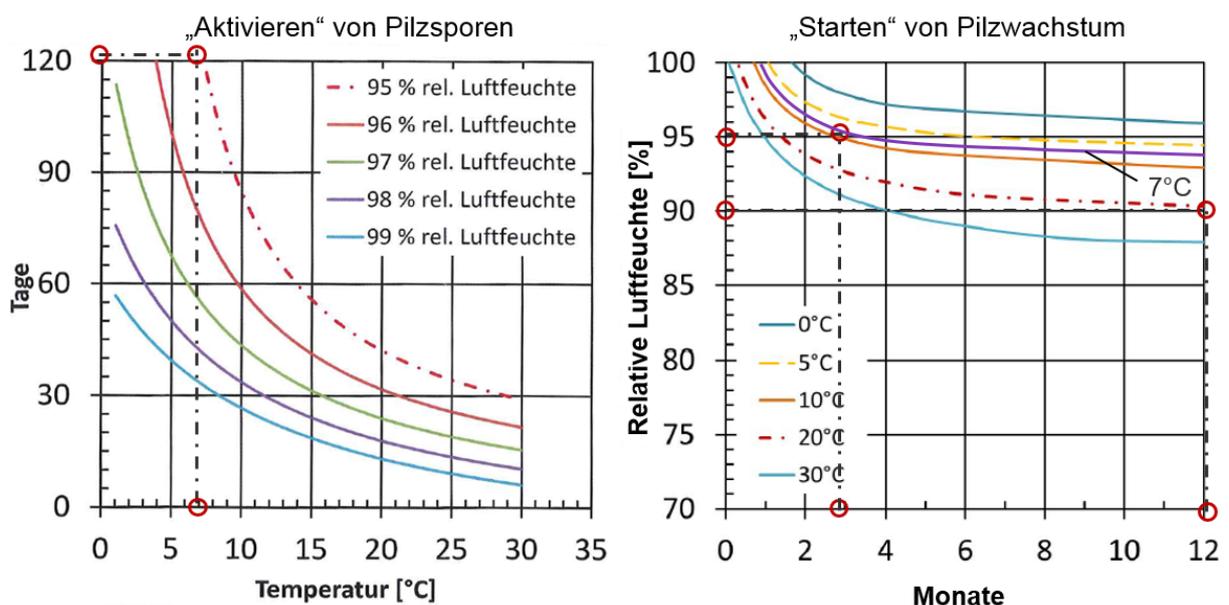


Abbildung 7-1: Holzzerstörungsmodell (Kehl 2011)

Aus dem detaillierten Modell wurde von Kehl (2013) ein vereinfachter ingenieurmäßiger Ansatz abgeleitet, wobei die Grenze so gelegt wurde, dass unterhalb dieser auch nach 12 Monaten kein Holzabbau stattfindet. Diese temperaturabhängige Grenzlinie der relativen Luftfeuchte wurde mittels der Sorptionsisotherme auf die Holzfeuchte übertragen. Grafisch dargestellt ergibt sich, im Unterschied zur Grenzlinie nach DIN 68800, eine temperaturabhängige Grenzkurve für die maximal zulässige Holzfeuchte, unterhalb der Pilzbefall vermieden werden kann (vgl. Abbildung 7-2). Der graue Bereich stellt die Schwankungsbreite dar, wobei die sich bei Absorption und Desorption einstellenden, unterschiedlichen Holzfeuchten mitberücksichtigt wurden. Diesem Modell folgend, wird zur Bewertung des Gefährdungspotentials bei allen Bauteilen mit Holzfeuchten über 20 % eine genauere Untersuchung der gekoppelten Einflüsse Holzfeuchte und umgebende Temperatur vorgenommen. Hierfür werden die im Forschungsvorhaben gemessenen Holzfeuchten mit den zugehörigen Temperaturen als Punktwolke in das aus dem Holzerstörungsmodell abgeleitete Diagramm aufgetragen (vgl. Abbildung 7-2). Diese Werte werden mit der temperaturabhängigen Grenzlinie verglichen. Mittels dieser Darstellung lässt sich u.a. gut erkennen, dass die im Winter gemessenen Holzfeuchten von über 20 % auf Grund der zu dieser Zeit herrschenden niedrigeren Temperaturen kein Gefährdungspotential hinsichtlich Pilzbefall darstellen würden.

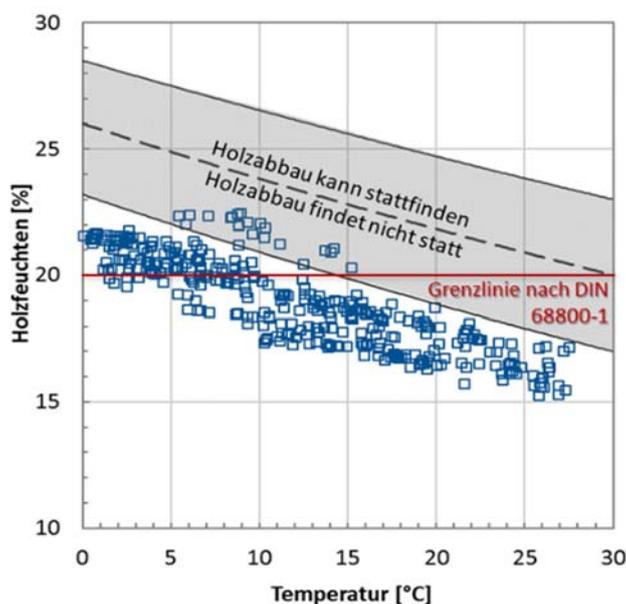


Abbildung 7-2: Temperaturabhängige Grenzlinie zur Bewertung des Gefährdungspotentials

Im Folgenden werden alle 27 Messstellen, die nach DIN 68800 als kritisch einzustufen sind, mittels des vorab erläuterten Ansatzes näher betrachtet. In Form einer Summenlinie wird zusätzlich die Anzahl an Tagen dargestellt, an denen die mittlere Holzfeuchte über 20 % lag.

## 7.4 Bewertung des Gefährdungspotentials anhand des Holzerstörungsmodells

### 7.4.1 Objekt 01 Milchviehstall Grub

Im Objekt 01 wurden bei den Messstellen 3.1 und 3.2 Holzfeuchten von über 20 % gemessen. Die Messungen wurden an zwei Stützen vorgenommen, die sich neben der Melkkammer befanden und dem Spritzwasser aus der Reinigungsvorrichtung ausgesetzt waren.

Bei Messstelle 3.1 war die untersuchte Stütze von den Reinigungsmaßnahmen im Vergleich nur wenig betroffen. Die Holzfeuchten von über 20 % wurden vor allem in den kalten Monaten des Jahres gemessen. Nur wenige Messwerte fallen in den grauen Bereich des Holzerstörungsmodells (Abbildung 7-3). Dementsprechend ist das Gefährdungspotential durch holzerstörende Pilze als sehr gering einzuschätzen.

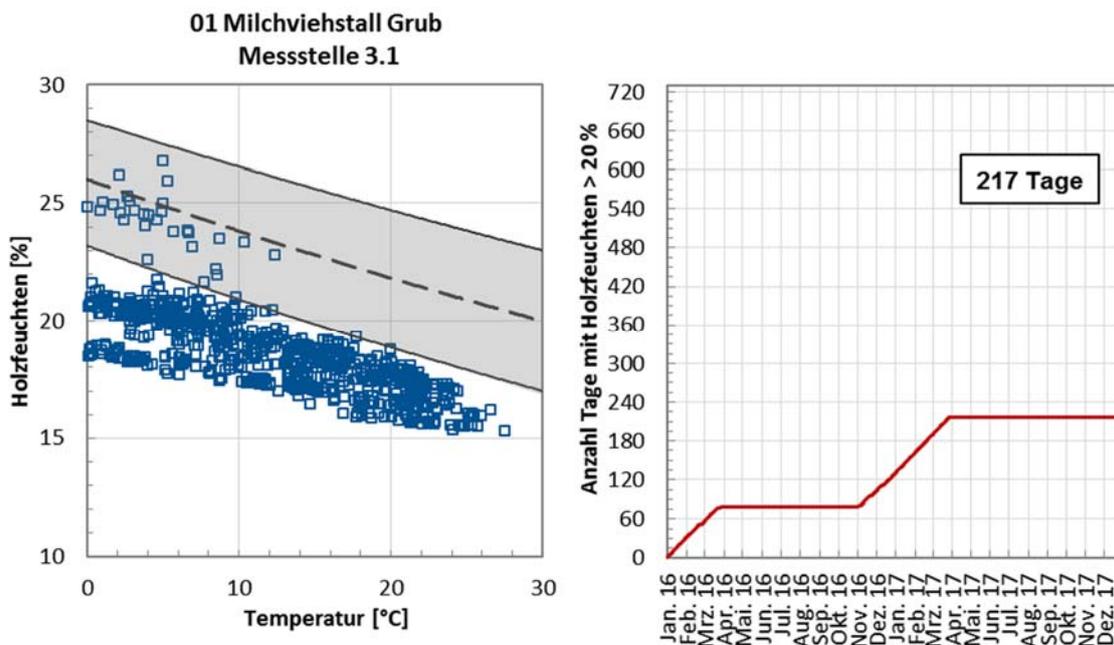


Abbildung 7-3: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 3.1 im Objekt 01 Milchviehstall Grub

Bei Messstelle 3.2 lagen die Holzfeuchten konstant über 20 % (vgl. Abbildung 7-4). Kombiniert mit der Temperatur fallen alle Messpunkte in den Bereich, in dem die Gefahr von Pilzwachstum gegeben ist. Der Grund, dass trotzdem kein Pilzbefall am Bauteil festgestellt wurde, könnte daran liegen, dass ein „Aktivieren“ der Pilzsporen nicht stattgefunden hat, da die dafür notwendige Luftfeuchte von mindestens 95 % nicht erreicht wurde (vgl. Anhang). Zudem ist ein möglicher „Auswascheffekt“ infolge des Reinigungsprozesses vorstellbar.

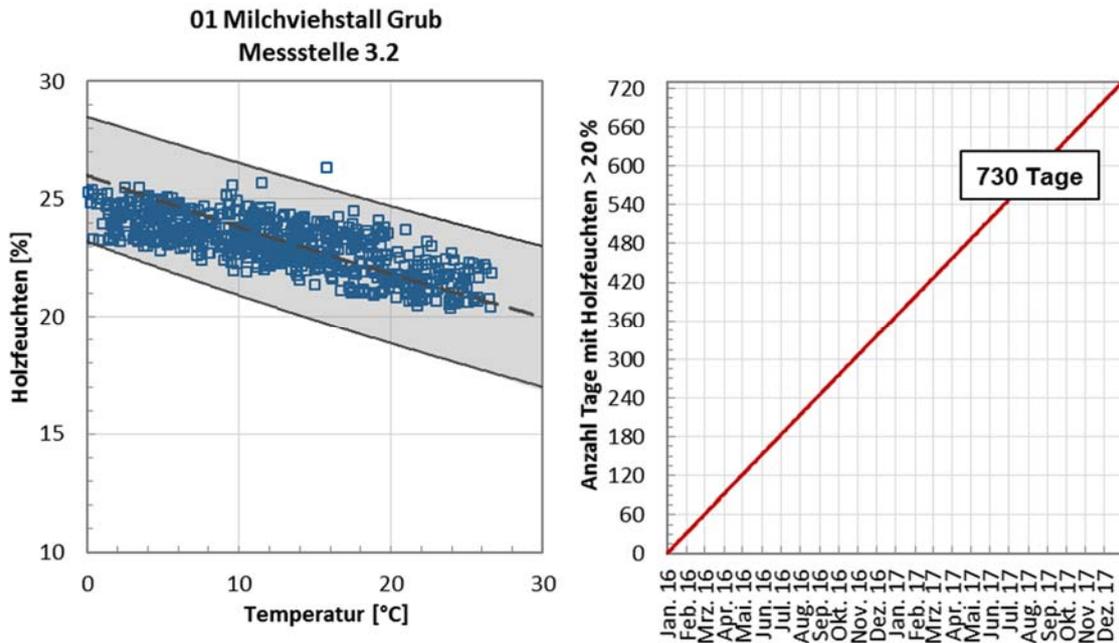


Abbildung 7-4: Punktswolke und Summenlinie der Messstelle 3.2 im Objekt 01 Milchviehstall Grub

### 7.4.2 Objekt 03 Milchviehstall Raubling

Im Objekt 03 handelt es sich um einen Dachträger, der sich ca. 4 m über dem Mistbereich befindet. Bei alleiniger Betrachtung der Grenzlinie nach DIN 68800 liegen einige Messpunkte oberhalb der dort angegebenen Grenze für eine Einstufung in GK 0 oder 1 (vgl. Abbildung 7-5).

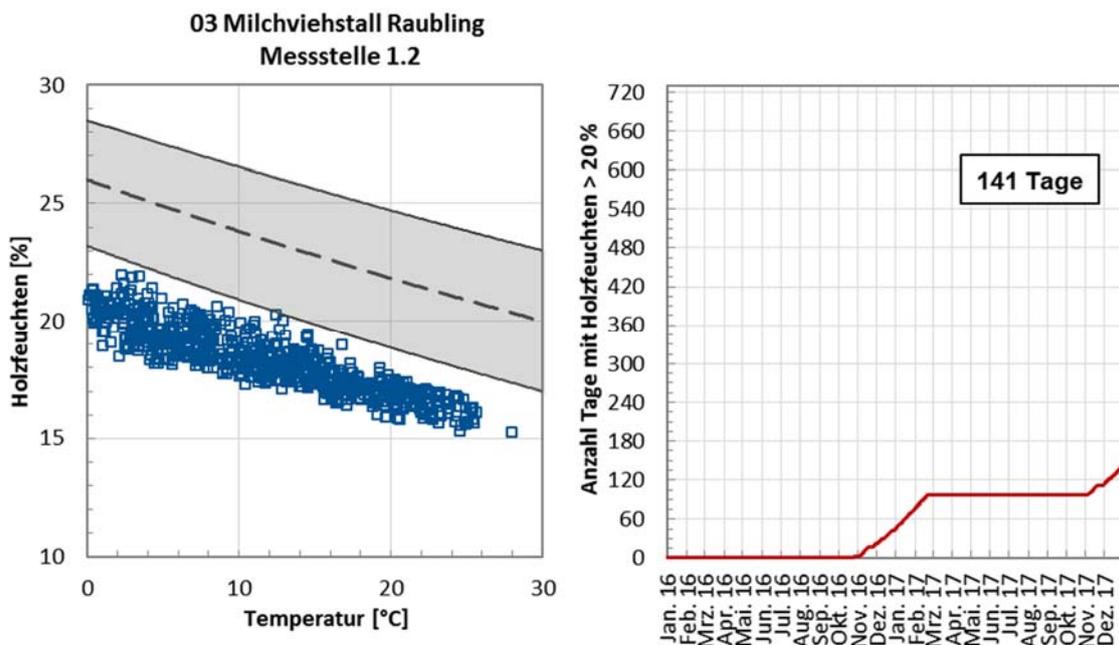


Abbildung 7-5: Punktswolke und Summenlinie der Messstelle 1.2 im Objekt 03 Milchviehstall Raubling

Vergleicht man die Ergebnisse mit dem Holzzerstörungsmodell unter Berücksichtigung der Temperatur, liegt keiner der Tagesmittelwerte innerhalb des grauen Schwankungsbereiches, d.h. ein Pilzwachstum am untersuchten Bauteil kann ausgeschlossen werden. Die ausschließlich in den kalten Wintermonaten gemessenen Holzfeuchten von über 20 % können auf die feuchte umgebende Stallluft und eine mögliche Bildung von Tauwasser zurückgeführt werden.

### 7.4.3 Objekt 04 Kälberstall Grub

Im Objekt 04 Kälberstall in Grub wurden bei allen drei Messstellen an der offenen Traufseite an insgesamt 50 bis 80 Tagen Holzfeuchten über 20 % gemessen (vgl. Abbildung 7-6, Abbildung 7-7 und Abbildung 7-8).

Vergleicht man die Ergebnisse mit dem Holzzerstörungsmodell unter Berücksichtigung der Temperatur, liegt keiner der Tagesmittelwerte innerhalb des grauen Schwankungsbereiches, d.h. ein Pilzwachstum am untersuchten Bauteil kann ausgeschlossen werden. Die ausschließlich in den kalten Wintermonaten gemessenen Holzfeuchten von über 20 % können auf die feuchte umgebende Stallluft und eine mögliche Bildung von Tauwasser zurückgeführt werden.

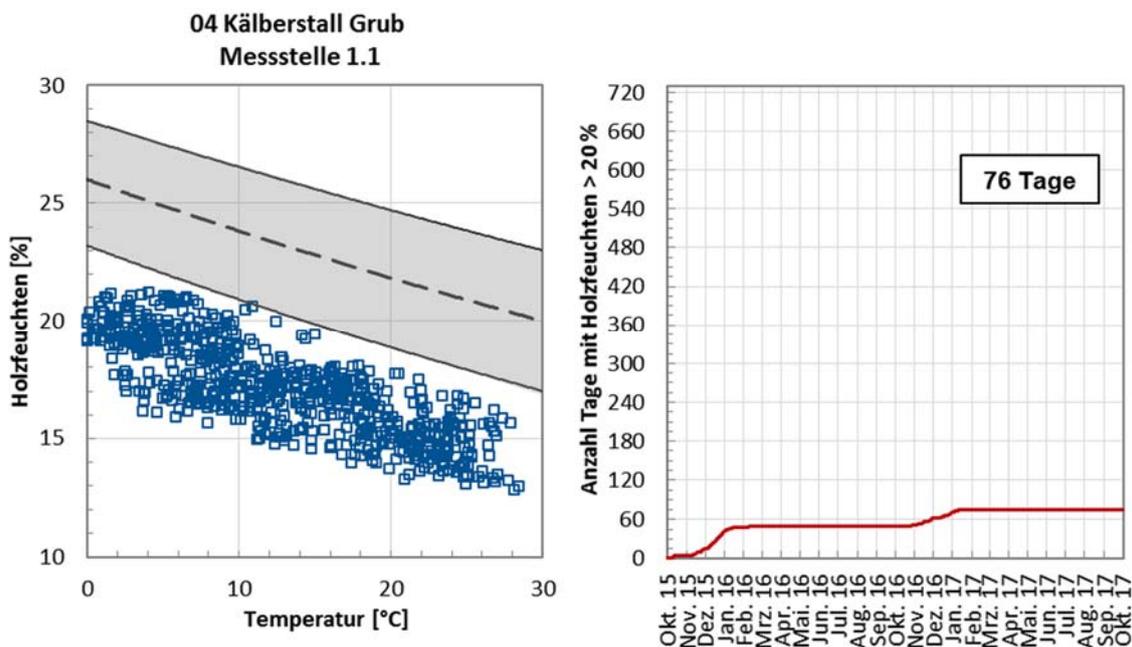


Abbildung 7-6: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 1.1 im Objekt 04 Kälberstall Grub

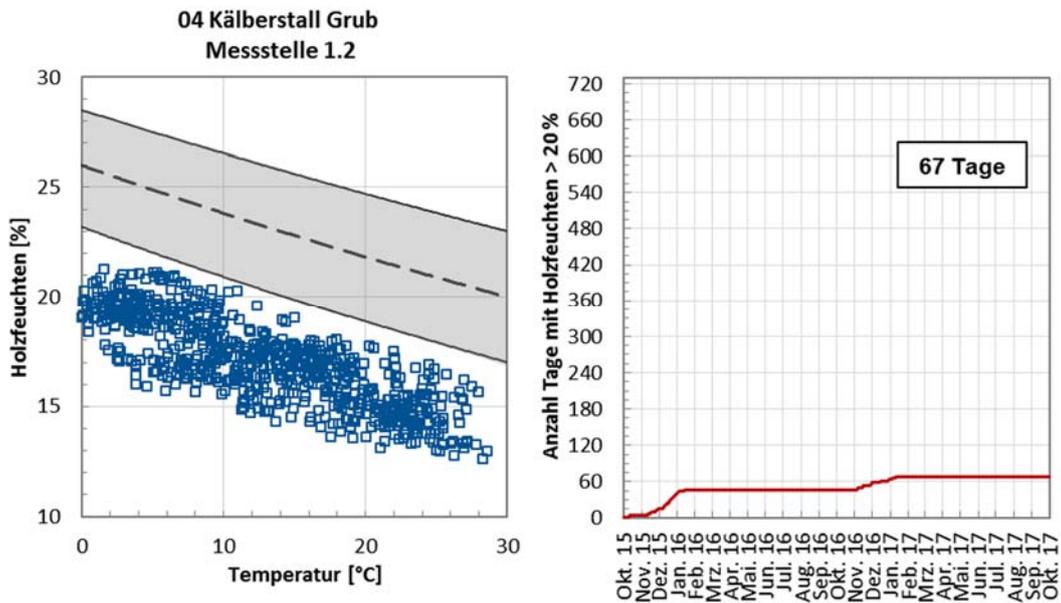


Abbildung 7-7: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 1.2 im Objekt 04 Kälberstall Grub

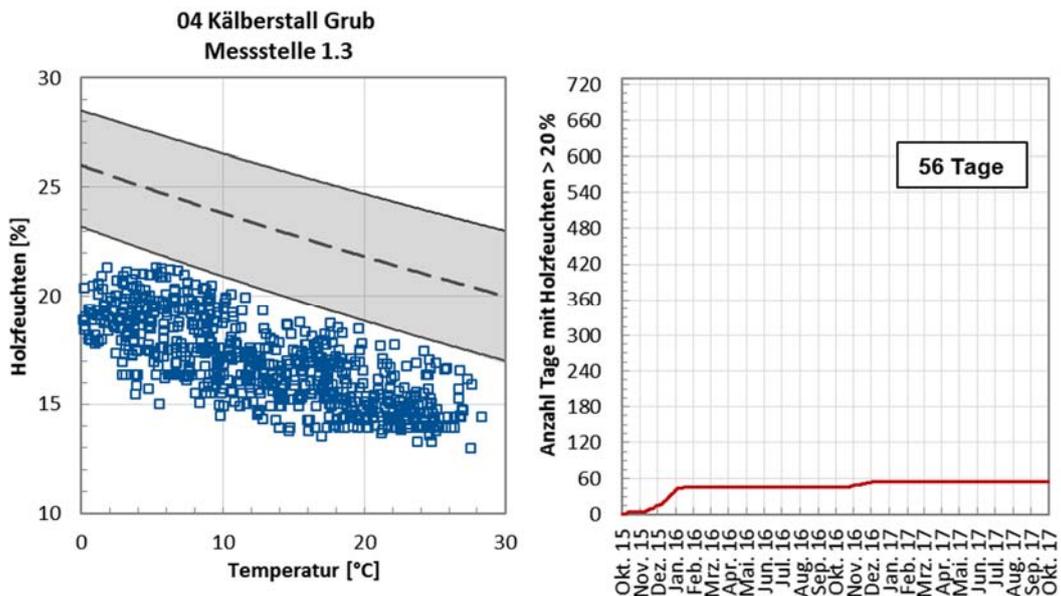


Abbildung 7-8: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 1.3 im Objekt 04 Kälberstall Grub

#### 7.4.4 Objekt 05 Bullenmast Schnotting

Im Objekt 05 wurden an der Mehrheit der Messstellen kurzfristig Holzfeuchten von über 20 % gemessen (vgl. Abbildung 7-9 bis Abbildung 7-14). Ein etwas extremerer Fall stellt die Messstelle 2.4 dar. An der untersuchten Stütze unter der bühnenseitigen Traufe wurden an 181 Tage, sprich ein Viertel der gesamten Messdauer, hohe Holzfeuchten von über 20 % gemessen (vgl. Abbildung 7-15).

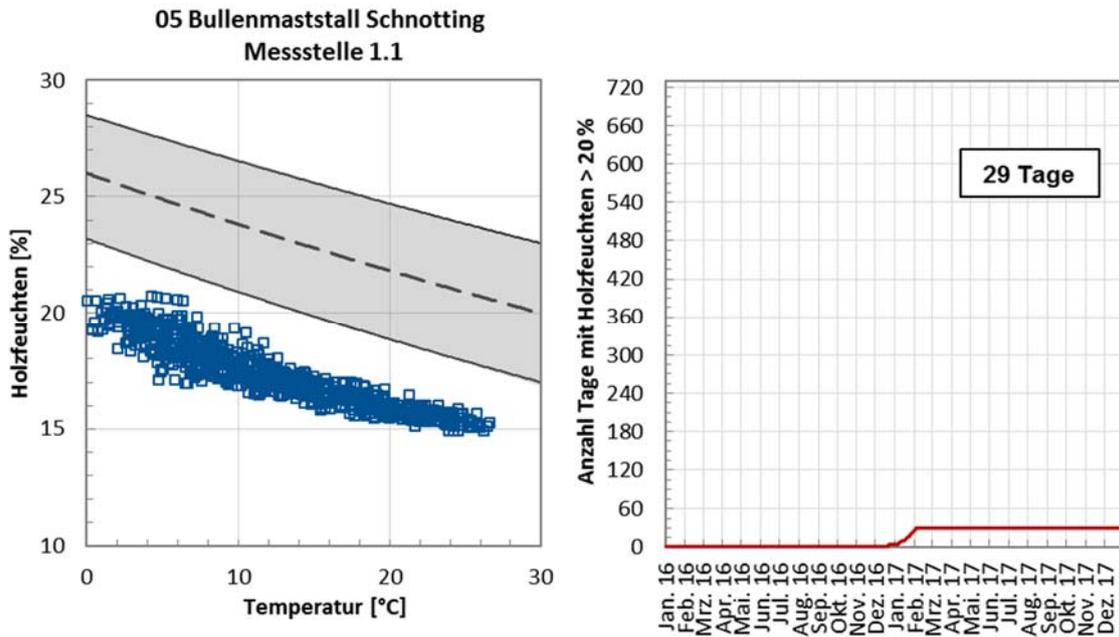


Abbildung 7-9: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 1.1 im Objekt 05 Bullenmast Schnotting

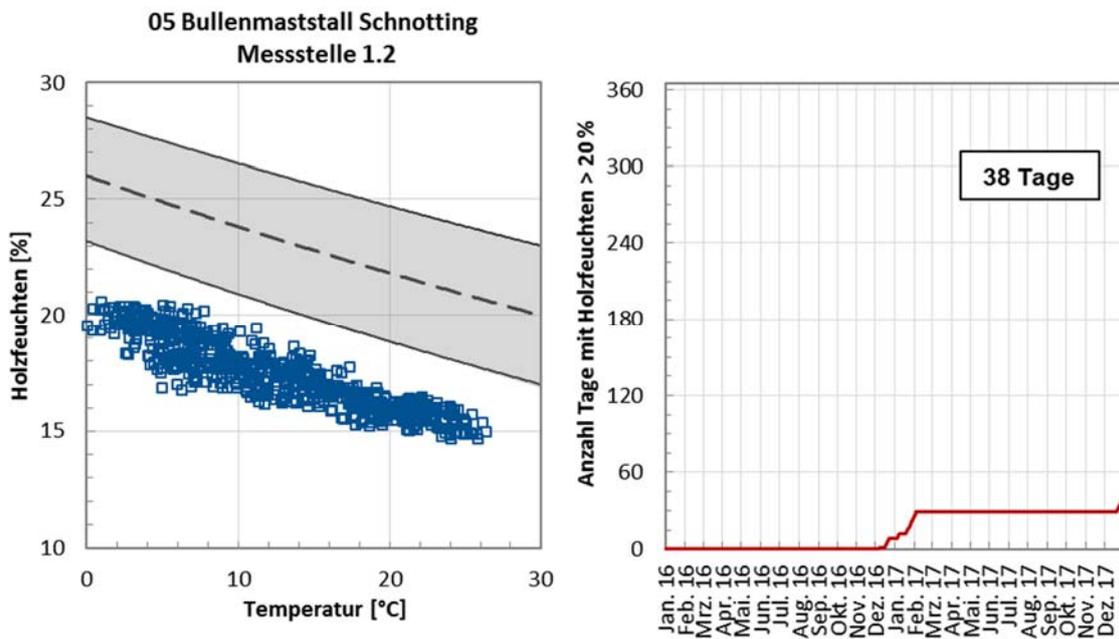


Abbildung 7-10: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 1.2 im Objekt 05 Bullenmast Schnotting

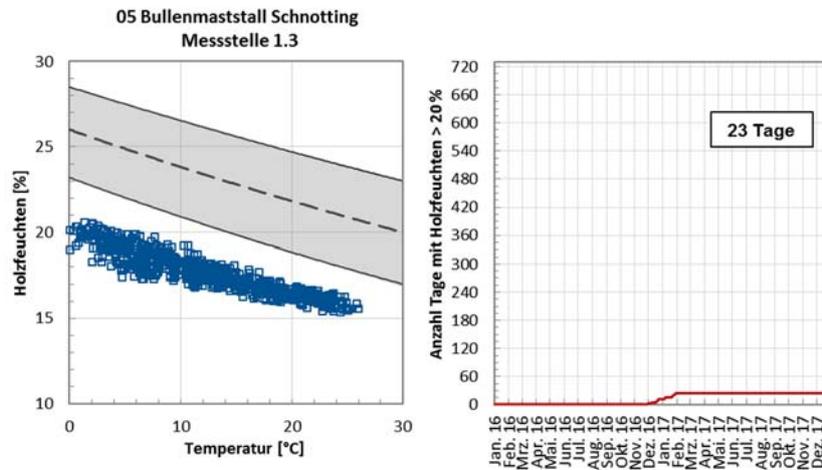


Abbildung 7-11: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 1.3 im Objekt 05 Bullenmast Schnotting

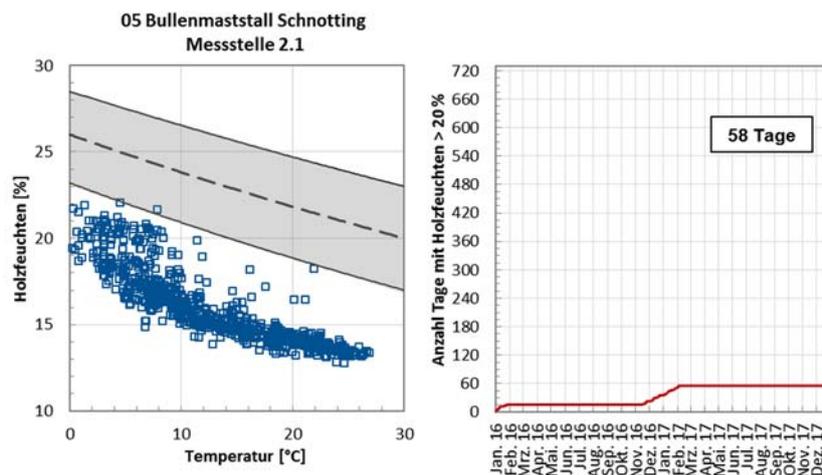


Abbildung 7-12: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 2.1 im Objekt 05 Bullenmast Schnotting

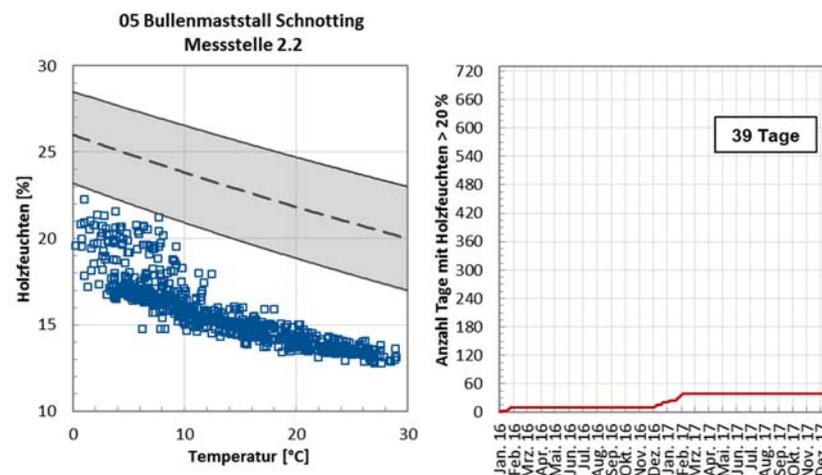


Abbildung 7-13: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 2.2 im Objekt 05 Bullenmast Schnotting

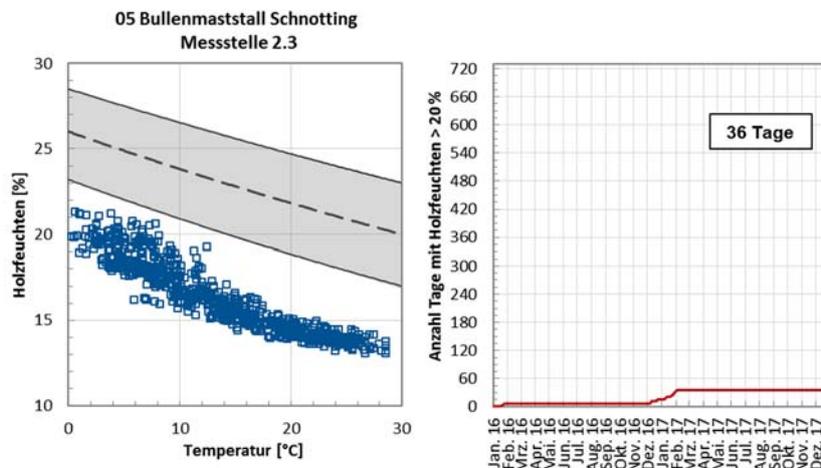


Abbildung 7-14: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 2.3 im Objekt 05 Bullenmast Schnotting

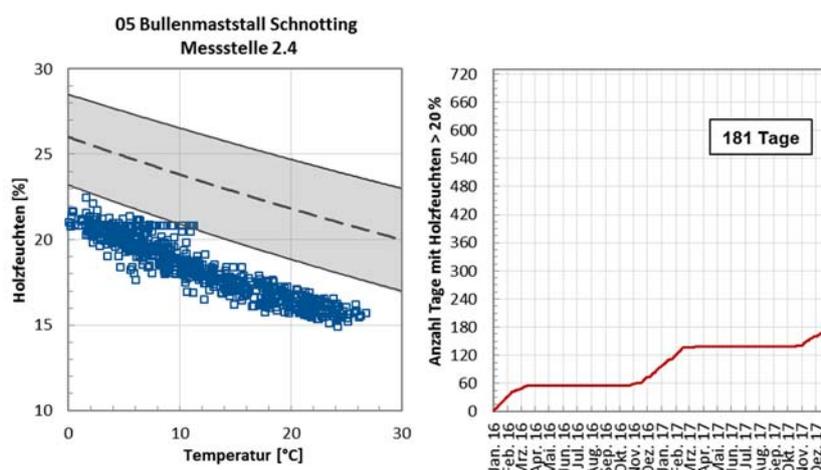


Abbildung 7-15: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 2.4 im Objekt 05 Bullenmast Schnotting

Vergleicht man die Ergebnisse mit dem Holzzerstörungsmodell unter Berücksichtigung der vorliegenden Materialtemperatur, liegt nahezu keiner der Tagesmittelwerte innerhalb des grauen Schwankungsbereiches, d.h. ein Pilzwachstum am untersuchten Bauteil kann ausgeschlossen werden. Die ausschließlich in den kalten Wintermonaten gemessenen Holzfeuchten von über 20 % können auf die feuchte umgebende Stallluft und eine mögliche Bildung von Tauwasser zurückgeführt werden. Die o.g. Stütze wurde aufgrund intensiver Luftzirkulation durch die Traufe noch häufiger von feuchter Luft umströmt.

#### 7.4.5 Objekt 06 Schweinestall Kringell

Im Objekt 06 wurden ebenfalls an mehreren Bauteilen Holzfeuchten über 20 % gemessen. Zu nennen sind vor allem die Messstellen 1.3 und 2.4. Diese befanden sich jeweils im engen Traufbereich des Abteils A und B (vgl. Anhang). Die feuchte Luft hat dazu geführt, dass Holzfeuchten von über 20 % an 15 bis 25 % der gesamten Messdauer erfasst wurden.

Bei einem Vergleich der Holzfeuchten mit dem Holzzerstörungsmodell unter Berücksichtigung der Temperatur kann festgestellt werden, dass ein Pilzwachstum an den beiden Bauteile ausgeschlossen werden kann (vgl. Abbildung 7-16 und Abbildung 7-17). Innerhalb des grauen Schwankungsbereiches sind fast keine Messpunkten vorhanden.

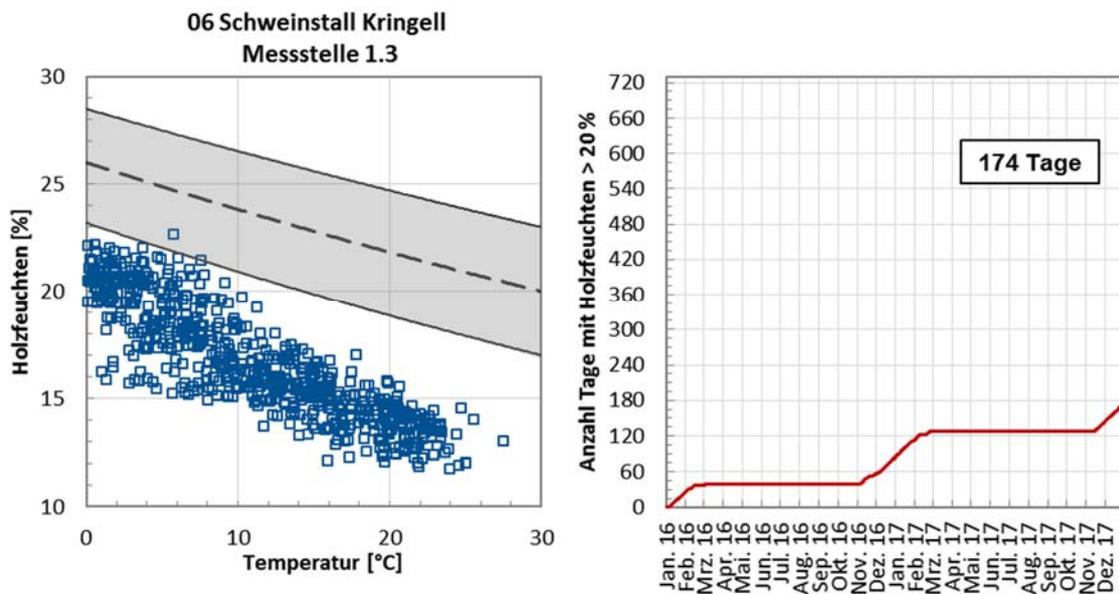


Abbildung 7-16: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 1.3 im Objekt 06 Schweinestall Kringell

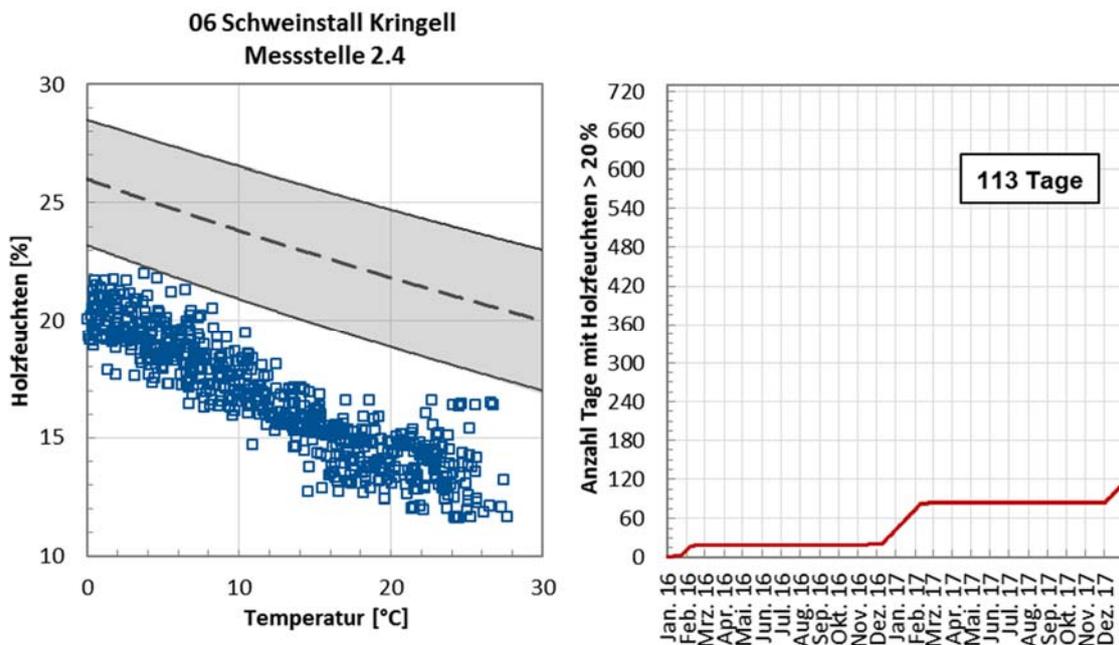


Abbildung 7-17: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 2.4 im Objekt 06 Schweinestall Kringell

An allen vier Messstellen des Abteils C (vgl. Anhang) wurden vereinzelt in der kalten Winterzeit Holzfeuchten von über 20 % gemessen, welche ebenfalls kein Gefährdungspotenzial durch Holz zerstörende Pilze aufweisen würden (vgl. Abbildung 7-18 bis Abbildung 7-21).

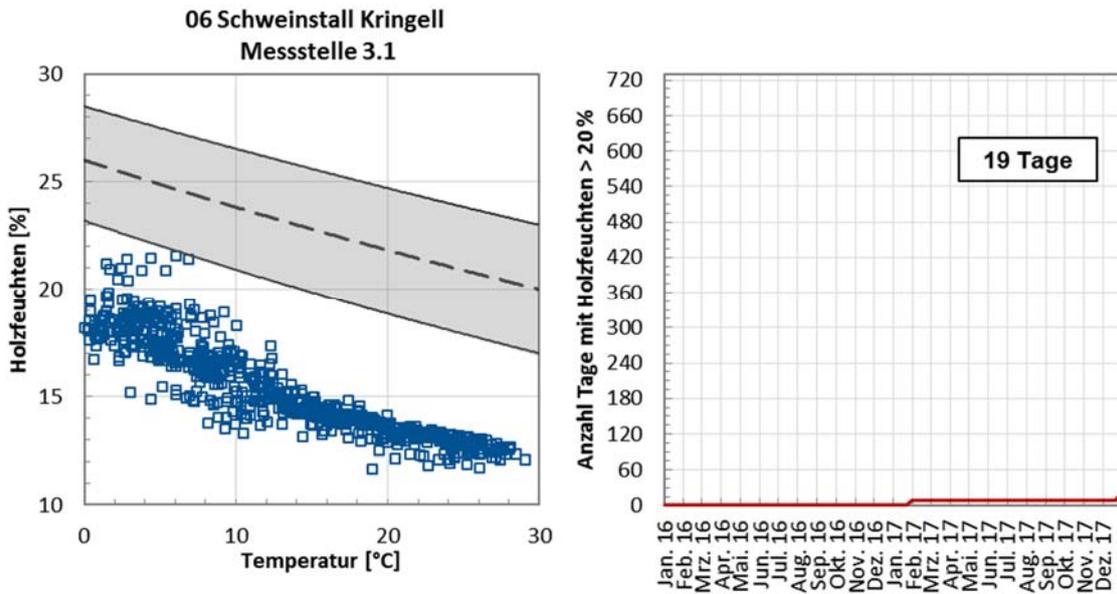


Abbildung 7-18: Punktvolke und Summenlinie der Messstelle 3.1 im Objekt 06 Schweinestall Kringell

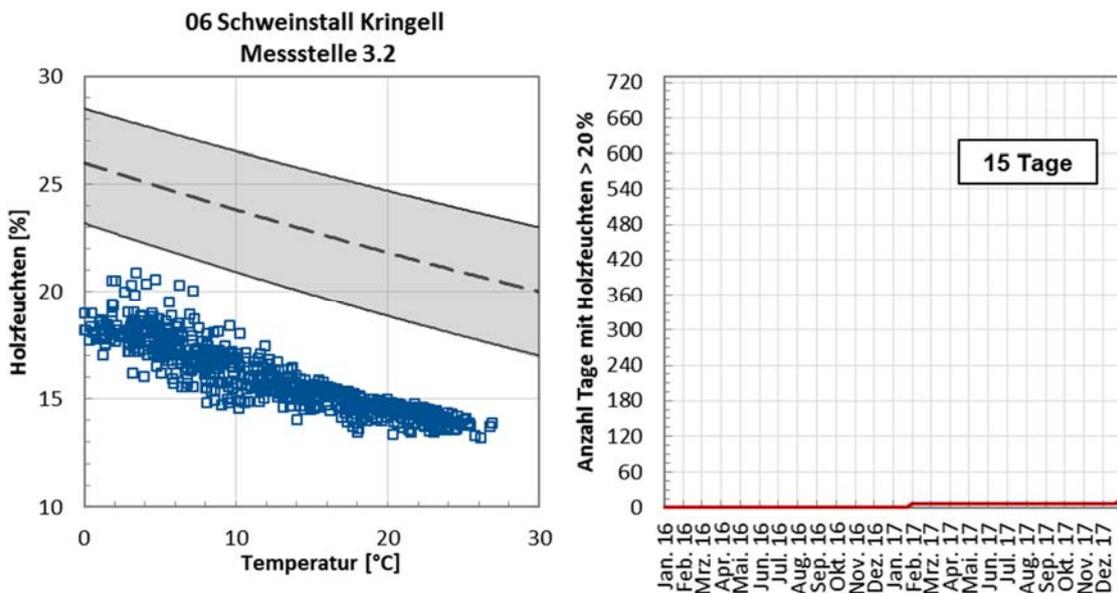


Abbildung 7-19: Punktvolke und Summenlinie der Messstelle 3.2 im Objekt 06 Schweinestall Kringell

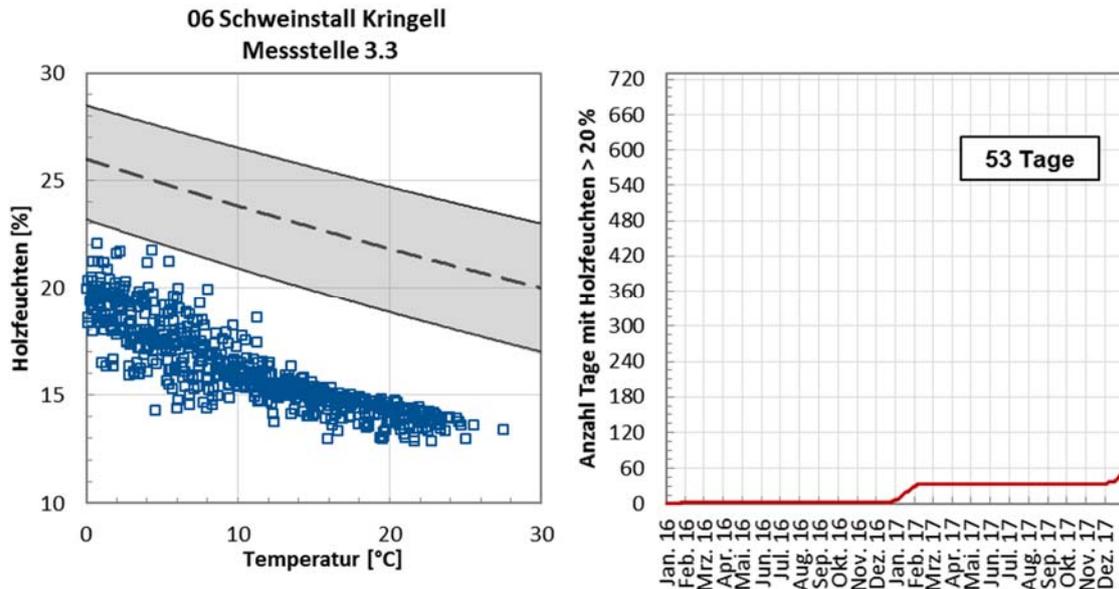


Abbildung 7-20: Punktvolke und Summenlinie der Messstelle 3.3 im Objekt 06 Schweinestall Kringell

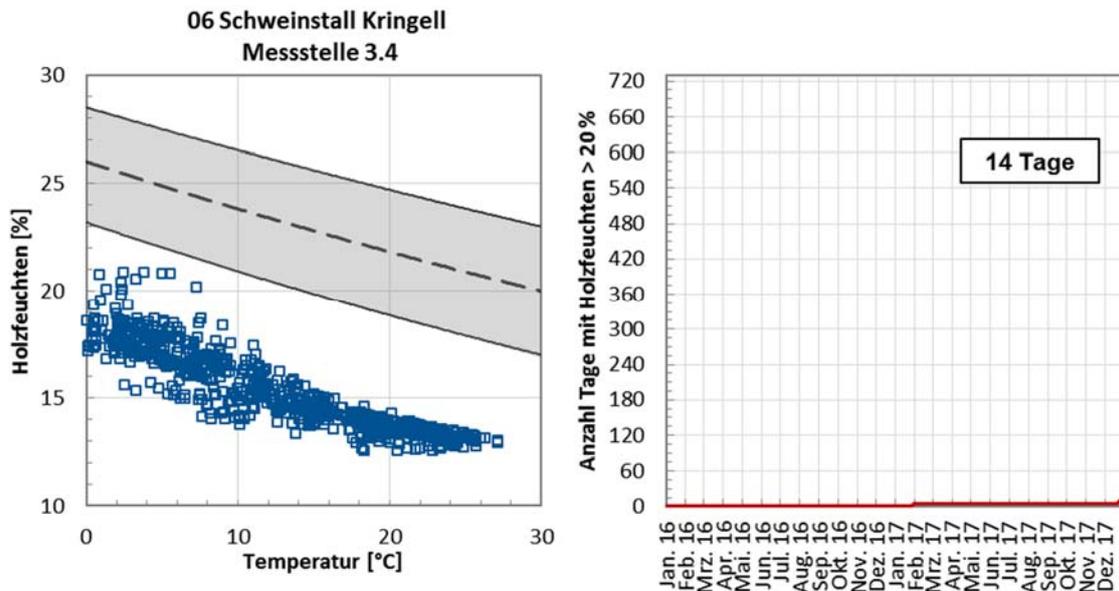


Abbildung 7-21: Punktvolke und Summenlinie der Messstelle 3.4 im Objekt 06 Schweinestall Kringell

#### 7.4.6 Objekt 08: Kartoffellager Thalmassing

Beim Objekt 08 ergaben sich im Lagerbereich der Kartoffellagerhalle während der Lagerung über lange Zeit Holzfeuchten über 20 %. Beinahe alle Messpunkte fallen in den Bereich, in dem Pilzwachstum möglich ist (vgl. Abbildung 7-22 und Abbildung 7-23).

Allerdings wurde hier ebenfalls kein Pilzbefall am Bauteil festgestellt. Bei genauerer Betrachtung herrschten in der Kartoffellagerhalle ab Anfang Oktober bis Mitte März für gut 5 Monate ca. 7 °C

und 95 % relative Luftfeuchte (vgl. Anhang). Dies hat eine „Aktivierung“ der Pilzsporen möglich gemacht. Danach ist die relative Luftfeuchte auf ca. 90 % gesunken und bewegte sich zwischen 80 und 90 % für die anschließenden 6 bis 7 Monate. Dabei lagen die Temperaturen zwischen 5 und 20 °C. Dies lässt sich die Schlussfolgerung zu, dass trotz einer eventuell schon gegebenen „Aktivierung“ der Pilzsporen, die nach dem Auskeimen für das „Starten“ des Pilzwachstums notwendigen Klimabedingungen nicht über eine ausreichende Zeitdauer gegeben waren.

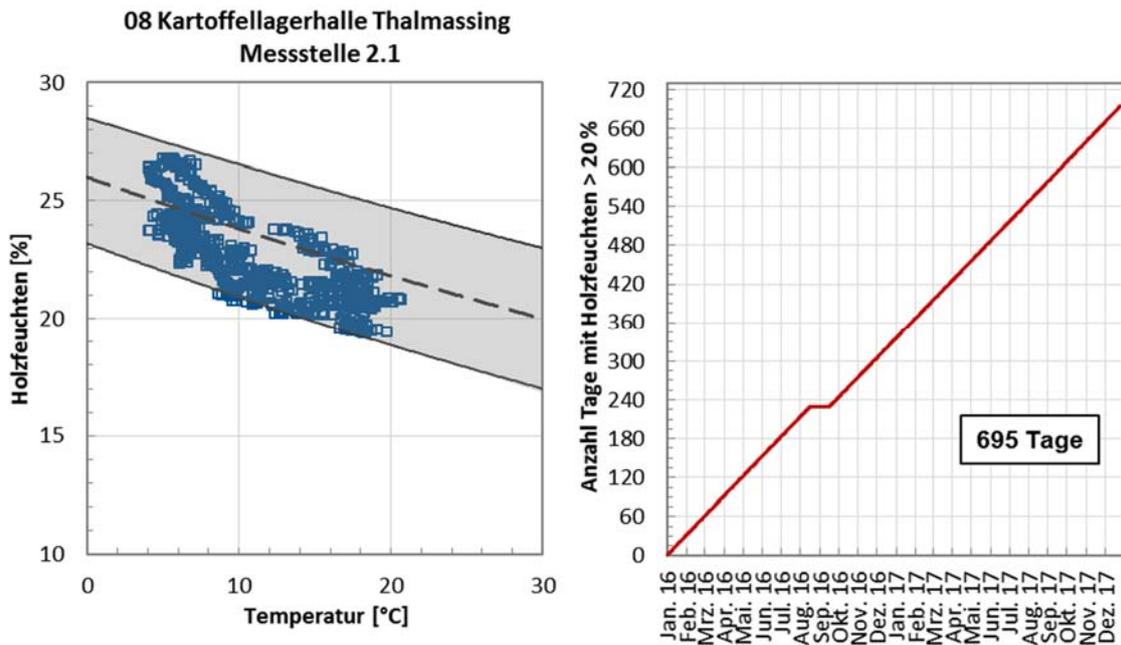


Abbildung 7-22: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 2.1 im Objekt 08 Kartoffellagerhalle Thalmassing

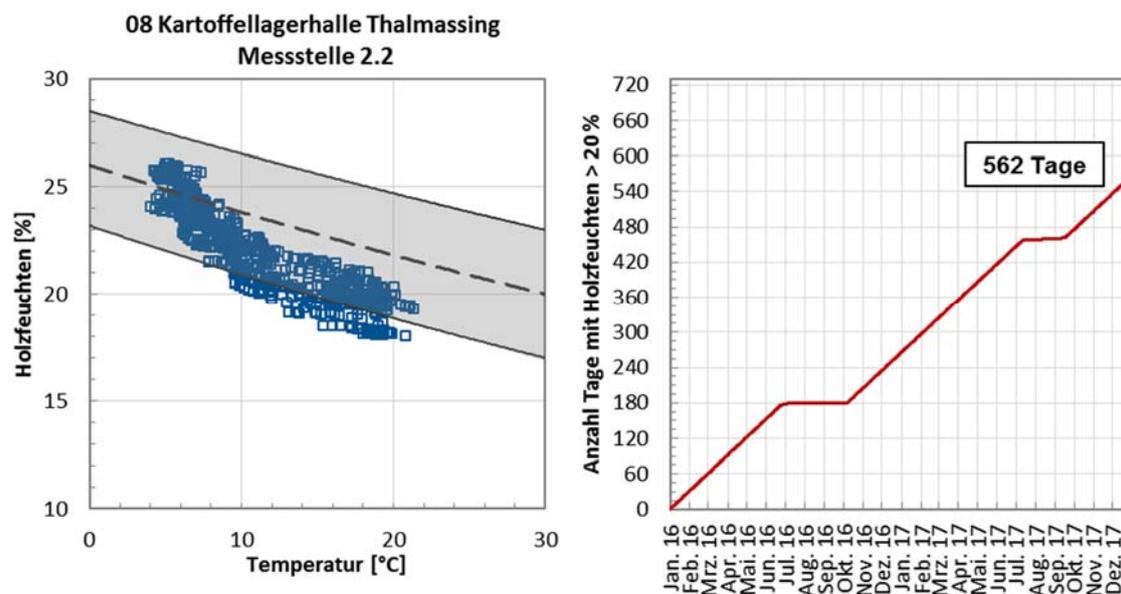


Abbildung 7-23: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 2.2 im Objekt 08 Kartoffellagerhalle Thalmassing

### 7.4.7 Objekt 10 Hackschnitzellager Langdorf

An den Messstellen 1.1, 1.3, 2.1, 2.2 und 2.3 des Objekts 10 Hackschnitzellager wurden Holzfeuchten über 20 % gemessen (vgl. Abbildung 7-25 bis Abbildung 7-28). Vergleicht man die Ergebnisse mit dem Holzzerstörungsmodell unter Berücksichtigung der Temperatur, liegen nahezu alle Tagesmittelwerte außerhalb des grauen Schwankungsbereiches, d.h. ein Pilzwachstum am untersuchten Bauteil kann ausgeschlossen werden. Die bei den Messstellen 1.3, 2.1 und 2.3 ausschließlich in den kalten Wintermonaten gemessenen Holzfeuchten können auf die feuchte umgebende Stallluft und eine mögliche Bildung von Tauwasser zurückgeführt werden. Bei den Messstellen 1.1 und 2.2 spielt der größere oder geringere Kontakt der gemessenen Bauteile mit den nass eingelagerten Hackschnitzeln eine größere Rolle.

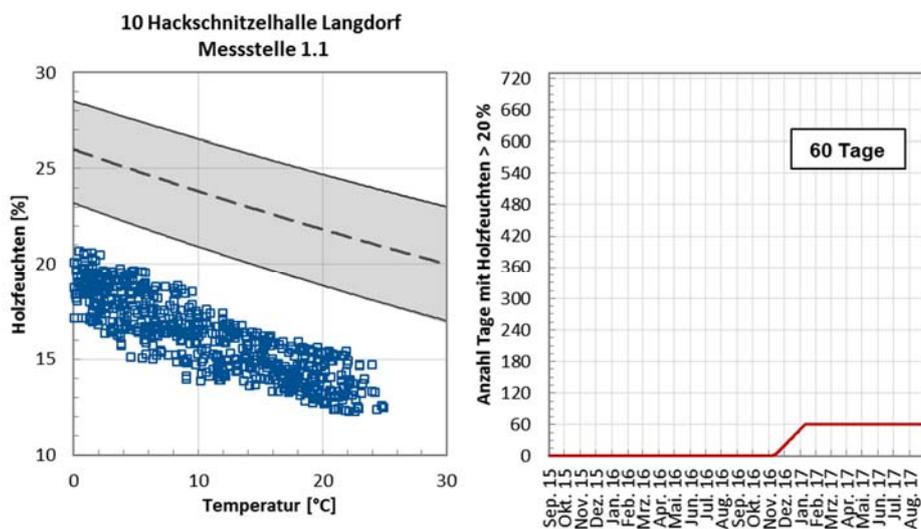


Abbildung 7-24: Punktvolke und Summenlinie der Messstelle 1.1 im Objekt 10 Hackschnitzellager Langdorf

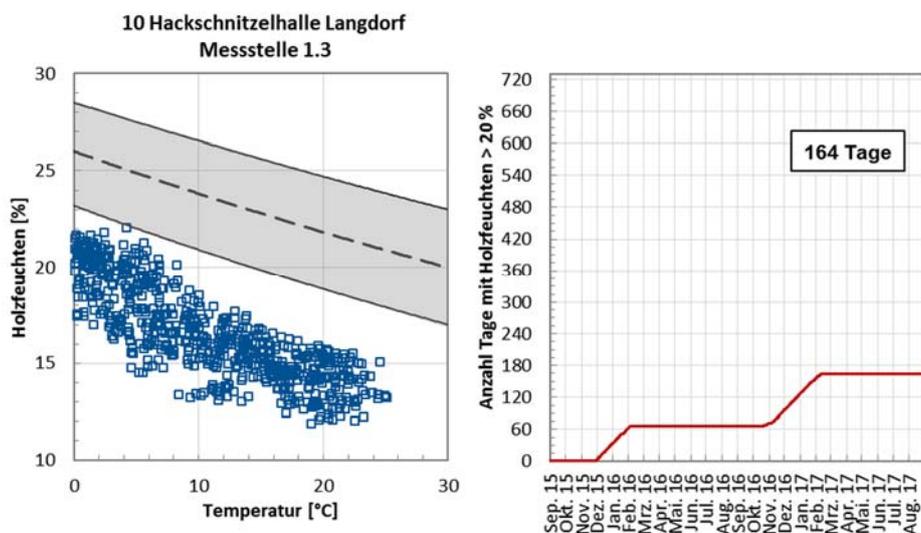


Abbildung 7-25: Punktvolke und Summenlinie der Messstelle 1.3 im Objekt 10 Hackschnitzellager Langdorf

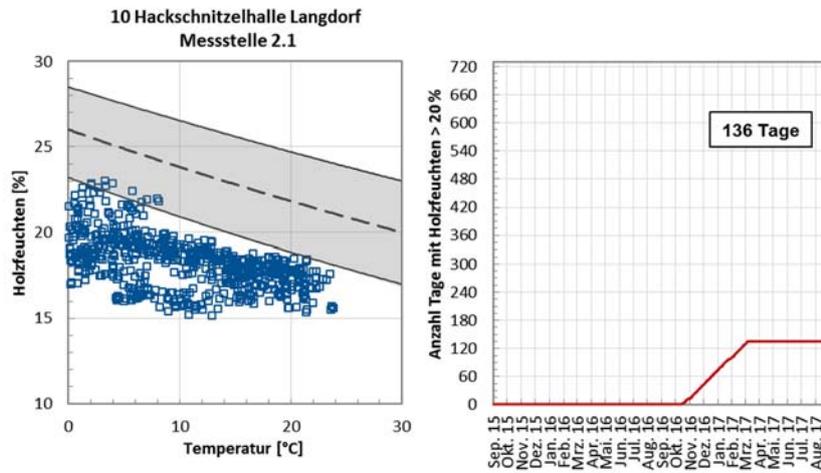


Abbildung 7-26: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 2.1 im Objekt 10 Hackschnitzellager Langdorf

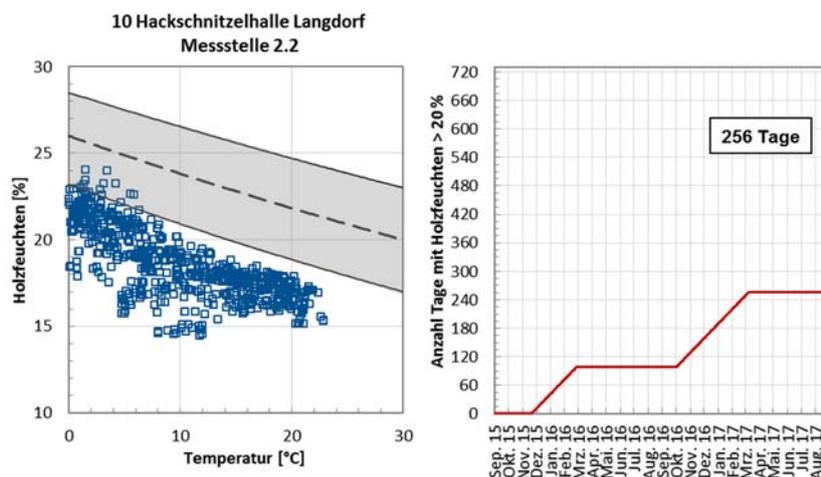


Abbildung 7-27: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 2.2 im Objekt 10 Hackschnitzellager Langdorf

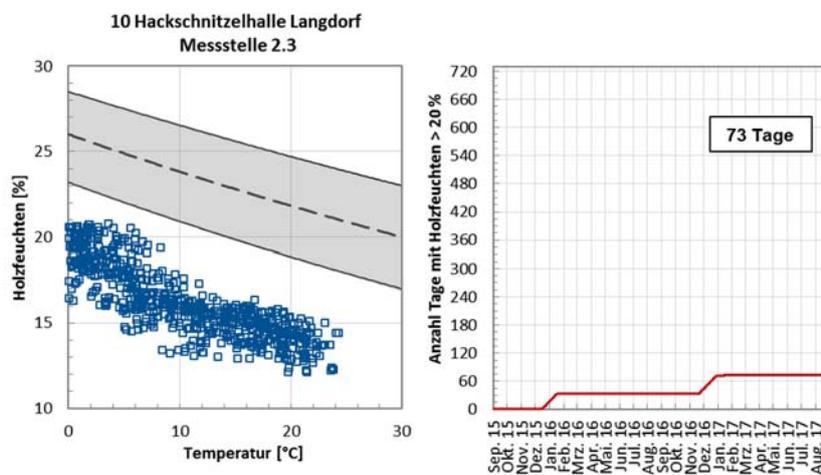


Abbildung 7-28: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 2.3 im Objekt 10 Hackschnitzellager Langdorf

### 7.4.8 Objekt 12 Milchviehstall Bad Aibling

Im Objekt 12, einem Warmstall zur Milchviehhaltung, bewirkte das warme und feuchte Hallenklima Holzfeuchten von über 20 % an die Messstelle 1.1, welche sich unmittelbar im Stall befand (die andere Messstelle liegt in der Zwischendecke hinter der Dämmung). Die Mehrzahl der Messpunkte fällt in den grauen Bereich, in dem das Wachstum des Pilzes ermöglicht ist (vgl. Abbildung 7-29).

Trotzdem konnte kein Pilzbefall am Bauteil festgestellt werden. Eine mögliche Erklärung ist, dass die für das „Aktivieren“ der Pilzsporen notwendigen Randbedingungen nicht erfüllt sind, da die Mindestluftfeuchtigkeit von 95 % nicht erreicht wurde (vgl. Anhang).

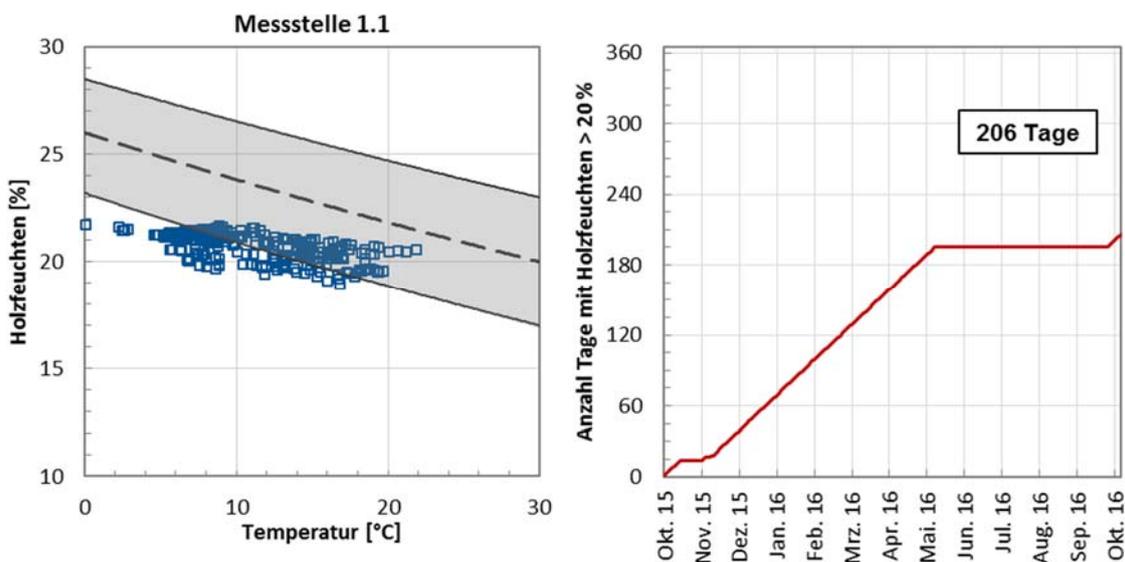


Abbildung 7-29: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 1.1 im Objekt 12 Milchviehstall Bad Aibling

## 8 Veränderte Randbedingungen in Beispielgebäuden

### 8.1 Änderung baulicher Randbedingungen

#### 8.1.1 Konzeptionierung konstruktiver Holzschutzmaßnahme

Die Bewertung des Gefährdungspotentials anhand des Holzerstörungsmodells im Abschnitt 7 hat gezeigt, dass bei 5 von den insgesamt 78 Messstellen die Möglichkeit eines Pilzwachstums/ Holzabbaus trotz nicht vorgefundenem Pilzbefall nicht auszuschließen ist. Sie sind nämlich:

- Objekt 01: Milchviehstall Grub                      Messstellen 3.1 und 3.2
- Objekt 08: Kartoffellager Thalmassing            Messstellen 2.1 und 2.2
- Objekt 12: Milchviehstall Bad Aibling            Messstelle 1.1

Die sich neben der Melkkammer befindenden Stützen im Milchviehstall in Grub waren dem Spritzwasser aus der Reinigungsvorrichtung ausgesetzt, während die in dem Kartoffellager und dem Milchviehstall in Bad Aibling gemessenen hohen Holzfeuchten auf die dort herrschenden klimatischen Bedingungen zurückzuführen waren. Für den ersten Fall ist eine lokal ausgerichtete konstruktive Holzschutzmaßnahme gegen die unzuträgliche Feuchtebeanspruchung vorstellbar. Als Lösungsansatz wurden im Rahmen einer Bachelorarbeit hinterlüftete Bretterschalungen an die zwei Stützen angebracht (Ostermaier 2017).

#### 8.1.2 Umsetzung der konstruktiven Holzschutzmaßnahme

In Abbildung 8-1 sind die beiden Stützen im Grundriss entsprechend dargestellt:

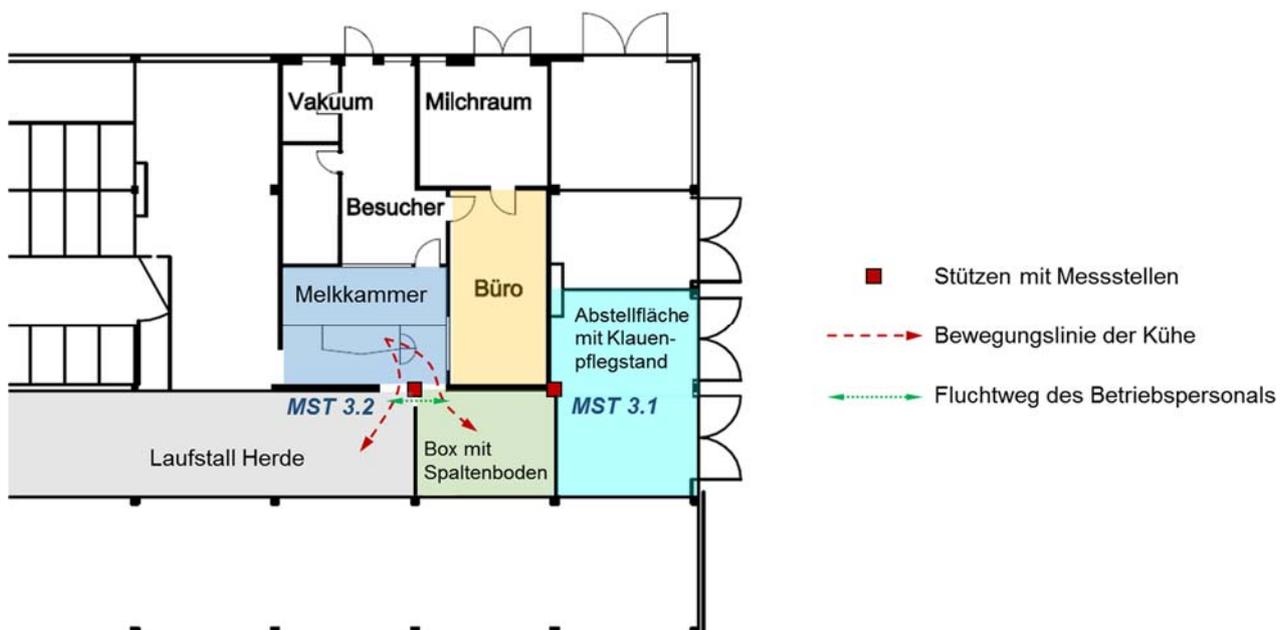


Abbildung 8-1: Anordnung der Messstellen 3.1 und 3.2 im Objekt 01 Milchviehstall Grub

Die Stütze der Messstelle 3.1 steht an der Außenecke des Büros. In den Boxen mit Spaltenboden werden zeitweise Milchkühe untergebracht, die aus Gründen des Herdenmanagements, wie z.B. für medizinische Untersuchungen, von der Herde separiert werden müssen. Mit der Stütze kommen die Tiere eher nicht direkt in Kontakt. Die Stütze der Messstelle 3.2 befindet sich am Ausgang der Kühe aus der Melkkammer, wo ebenfalls ein Fluchtweg für das Betriebspersonal verortet ist. Die bauliche Ausführung der beiden Stützen ist identisch. Die Holzstützen stehen unmittelbar auf den Betonsockeln auf, die ca. 100 cm über dem Spaltenboden enden. Der Zustand der beiden Stützen war ähnlich: an beiden Stützen waren Trocknungsrisse zu erkennen.

Um das Rücktrocknen von feuchten Stützenoberflächen zu gewährleisten, ist eine ausreichende Hinterlüftung notwendig. Dabei stellt sich die Frage, welcher Abstand zwischen der Stütze und den Schalungsbrettern anzustreben ist. Dazu wurde auf die Anforderungen an hinterlüftete Fassaden in DIN 68800-2 zurückgegriffen. Die Norm schreibt vor, dass die Außenwandbekleidungen als ausreichend hinterlüftet gelten, wenn die Bekleidungen mit einem Abstand von mindestens 20 mm von der Außenwand bzw. Dämmschicht angeordnet werden. Der Abstand darf örtlich bis auf 5 mm reduziert werden. Um den Flugweg nicht zu verengen, wurde bei der Stütze der Messstelle 3.2 der Abstand der Schalungsbretter teilweise auf 10 mm reduziert (vgl. Abbildung 8-3). Bei der Stütze der Messstelle 3.1 wurden 15 mm gewählt (vgl. Abbildung 8-2).

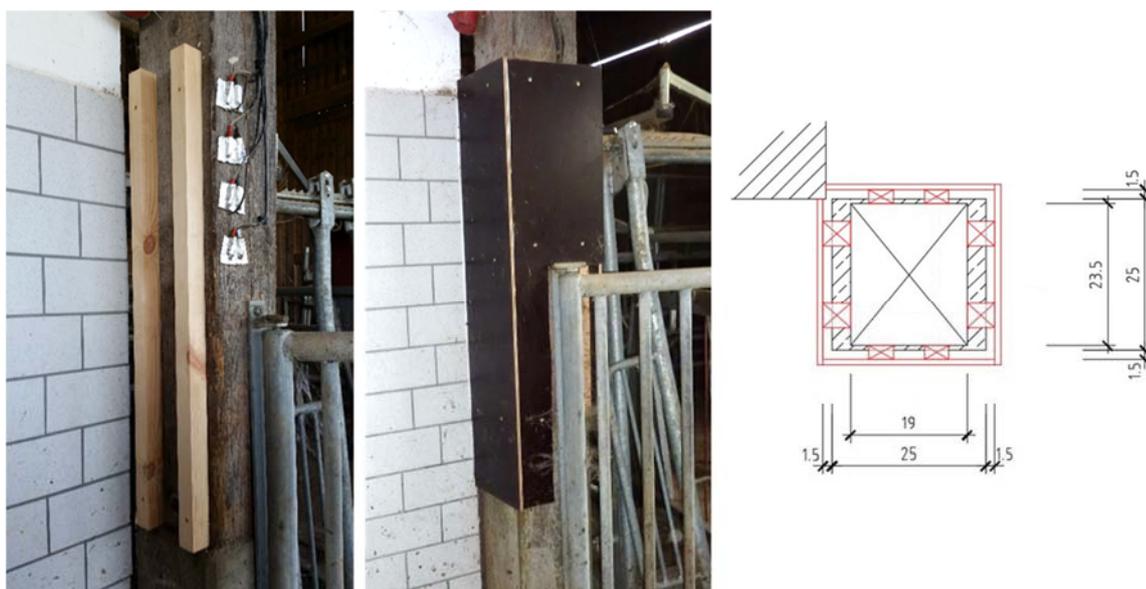


Abbildung 8-2: Unterkonstruktion der Bretterschalung (links) und horizontaler Schnitt der eingeschalteten Stütze (rechts) der Messstelle 3.1 (Maße in cm)

Die Bretterschalung beginnt ca. 900 mm über dem Spaltenboden und endet nach 1200 mm (also 2100 mm über Boden). Als Material wurden sogenannte Siebdruckplatten verwendet. Deren glatte Phenolharzfilmbeschichtung ist wasserbeständig. Die Platten wurden zum Teil auf Grund der vorhandenen Hindernisse wie z.B. Gatter, Steckdose und Stahlteilreste vor Ort händisch nachgeschnitten. Die Plattenstöße wurden mit Silikon abgedichtet. Als Abstandhalter für die Schalung dienten einfache Holzlatten.



Abbildung 8-3: Unterkonstruktion der Bretterschalung (links) und horizontaler Schnitt der eingeschalteten Stütze (rechts) der Messstelle 3.2 (Maße in cm)

### 8.1.3 Auswertung der Ergebnisse

Die Installation der Bretterschalungen erfolgte am 19. Juni 2017. Bis 24. Juli 2018 lagen für die Bewertung der konstruktiven Holzschutzmaßnahme Messdaten von mehr als einem Jahr zur Verfügung. Um die Funktionstüchtigkeit der Bretterschalung übersichtlich darzustellen, werden die von 2015 bis 2018 zwischen Juli bis Juni des nächsten Jahres erfassten Holzfeuchten ausgewertet und in der Tabelle 8-1 tabellarisch aufgeführt. Der betreffende Messzeitraum ist grau hinterlegt.

Tabelle 8-1: Ausgewertete Holzfeuchten über den ausgewählten Zeitraum für die Messstellen 3.1 und 3.2 des Objekts 01

Zeitraum	Messstelle 3.1				Messstelle 3.2			
	MW [%]	MW 15 [%]	max. A [%]	Ü 20 [d]	MW [%]	MW 15 [%]	max. A [%]	Ü 20 [d]
07.2015 - 06.2016	16,8	19,0	7,2	120	18,3	23,2	5,2	314
07.2016 - 06.2017	17,4	19,5	11,0	127	18,5	23,4	5,7	314
07.2017 - 06.2018	16,4	17,6	4,1	0	17,9	22,5	3,6	314

Die vor und nach der Installation gemessenen Holzfeuchten zeigen, dass die Bretterschalung einen positiven Effekt erbracht hat. Im Vergleich zu den Vorjahren wurden die Mittelwerte der in 15 mm gemessenen Holzfeuchten bei der Messstelle 3.1 um bis zu 2 % und der Messstelle 3.2 um bis zu 1 % reduziert. Die Schwankungen der Holzfeuchten im oberflächennahen Bereich wurden merklich abmildert. Insbesondere bei der Messstelle 3.1 wurde seit der Installation der Bretterschalungen an keinen einzigen Tag Holzfeuchten über 20 % gemessen. Die bei der Messstelle 3.2 etwas

langsamere Rücktrocknung der Stütze ist auf die im Vergleich zur anderen Stütze deutlich stärkere Feuchtebeanspruchung incl. hoher Luftfeuchten aus den Reinigungsvorgängen und den dort reduzierten Abstand der Schalungsbretter zu der Stützenoberflächen zurückzuführen.

## 8.2 Nutzungsbedingte Änderung der klimatischen Randbedingungen

Wie bereits im Abschnitt 7.3 erwähnt wurde im Rahmen einer Masterarbeit eine komplette Bauwerksaufnahme in allen untersuchten Objekten vorgenommen (Müller 2017). Dabei erfolgte am 10. Juli 2017 im Objekt 01 Milchviehstall in Grub eine stichprobenartige Kontrolle der Holzfeuchten in den Bauteilen, die nicht über die Langzeitmessungen überwacht wurden. Hierbei wurden an einigen Stütze in den Liegeboxen hohe Holzfeuchten von bis 30 % erfasst. Diese Ergebnisse waren deswegen überraschend, weil ähnliche Messungen am Anfang des Forschungsprojektes Ende 2015 bei der Festlegung der Messstellen bereits durchgeführt worden waren. Damals wurden in diesem Bereich keine Auffälligkeiten festgestellt.

Bei einer genaueren Betrachtung ließ sich feststellen, dass in einigen Liegeboxen ein andersartiges Einstreugemisch verwendet wurde (vgl. Abbildung 8-4). Dieser speziellen Liegeboxeneinstreu aus Kalk und Stroh wurde eine erhebliche Menge Wasser beigemischt. Das Mischungsverhältnis Kalk:Stroh:Wasser war dabei 3:1:4 Gewichtsanteile. Am südlichen Ende der Liegeboxen sind mehrere Ventilatoren im Dachbereich installiert. Die Vermutung war, dass die Ventilatorluft die Feuchtigkeit aus dem Einstreugemisch aufnahm und sich diese an den Ventilator zugewandten Seiten der Stützen niederschlug. Ein Beleg dafür war der Umstand, dass höhere Holzfeuchten an den Ventilator zugewandten Stützenseiten gemessen wurden. Durch zwei erneute Messungen am 12. März 2018 und am 24. Juli 2018 wurde die o.g. Vermutung bestätigt (vgl. Abbildung 8-4, Messstellen 1a, 1b, 2a, 2b, 4a, 5b).

Aufgrund lokaler Besonderheiten ergaben sich jedoch auch Abweichungen von den Erwartungswerten. Beispielweise befindet sich die Stütze mit der Messstelle 6b unterhalb einer Besichtigungsplattform, welche die Stütze vor feuchtegesättigter Zugluft vom Ventilator schützt. Zwischen den dem Ventilator zu- bzw. abgewandten Seiten wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt. Die Stützen mit den Messstellen 5b, 6a und 7a befinden sich unmittelbar neben Trogränken, so dass Spritzwasser zu höheren Holzfeuchten an den betroffenen Seiten der Stützen führte. Die Stützen mit den Messstellen 8a und 8b wurden durch Feuchteeintrag aus dem Melkstand beeinflusst.

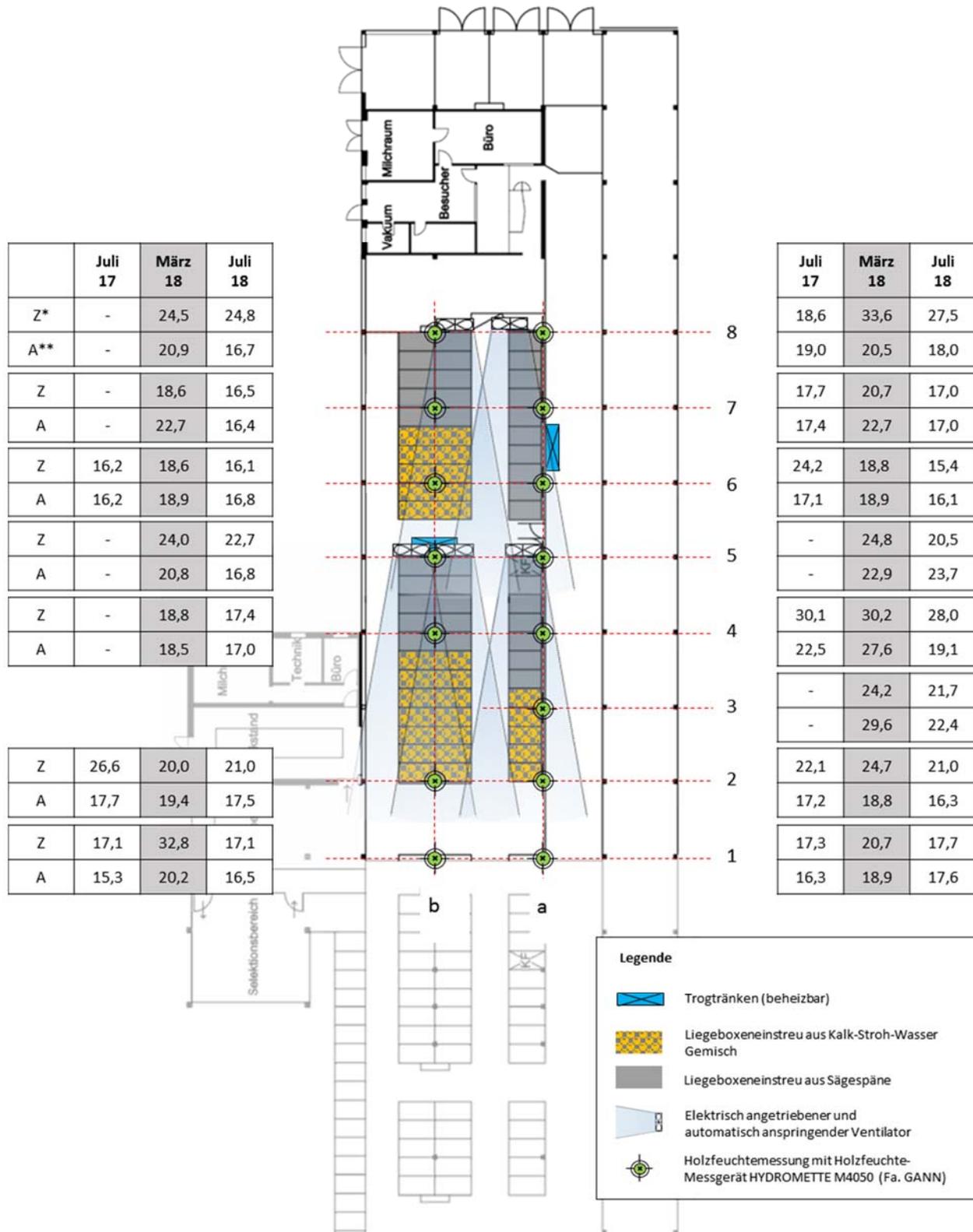


Abbildung 8-4: Anordnung der Ventilatoren und Liegeboxen mit unterschiedlicher Einstreu im Objekt 01 (Milchviehstall Grub) bzw. die stichprobenartig im Liegebereich gemessenen Holzfeuchten in % (\*Z – Ventilator zugewandte Stützensseite; \*\*A – Ventilator abgewandte Stützensseite)

## 9 Leitfaden zum konstruktiven Holzschutz im landwirtschaftlichen Bauwesen

### 9.1 Allgemeines

Parallel zu den über das Monitoring erfassten Objekten wurde der Leitfaden zum konstruktiven Holzschutz im Landwirtschaftlichen Bauwesen erstellt (s. Anhang 2). In diesem werden die Grundsätze und Ziele der DIN 68800 „Holzschutz“ dargestellt. Darüber hinaus werden die typischen Nutzungsformen für landwirtschaftliche Nutzgebäude in Holzbauweise und, daraus abgeleitet, die notwendigen konstruktiven Maßnahmen in Text, Plan- und Detailzeichnungen sowie über entsprechende Fotos dargestellt und erläutert.

Wie zum Teil schon bei den untersuchten Gebäuden gezeigt werden konnte, ergeben sich die Feuchtequellen und damit die Ursachen für eine erhöhte Holzfeuchte zum einen aus dem Einwirken von Feuchtigkeit aus der (Außen)Luft, zum anderen aus der Nutzung (Tierhaltung, Lagerhallen) sowie der Bauweise der Gebäude (vgl. Abbildung 9-1).

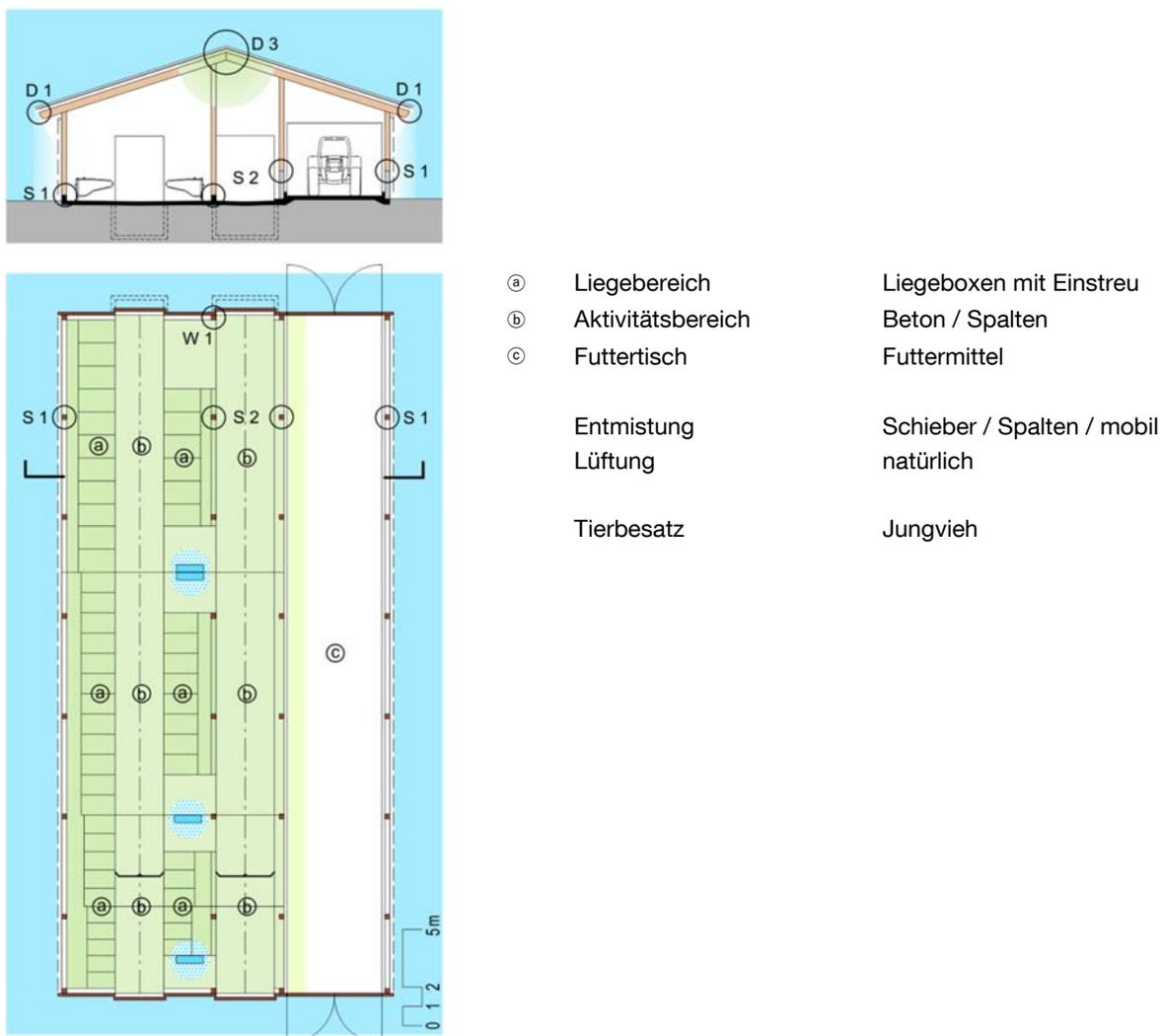


Abbildung 9-1: Schnitt und Grundriss eines Jungviehstalls mit Detailverortung und zugehöriger Legende

## 9.2 Erhöhte Holzfeuchte aus der Luftfeuchtigkeit

### Stallanlagen

Bei Stallanlagen werden zum Beispiel im Rinderbereich (Milchvieh, Mutterkühe, Jungvieh und Kälber) in der überwiegenden Zahl sogenannte Außenklimaställe realisiert. Bei diesen korreliert der Verlauf der Luftfeuchte im Gebäude mit der Außenluftfeuchte - zuzüglich der Feuchtigkeit, die über physiologische Vorgänge von den Tieren abgegeben wird (vgl. Abbildung 9-2).

Umgebungs- temperatur in ° C	Gesamtwärme- produktion in Watt	Wärmeabgabe (sens. Wärme) in Watt	Wasserdampfproduktion (latente Wärme) in g/h
-10	ca. 3500	ca. 2800	ca. 1054
0	ca. 2200	ca. 1800	ca. 650
10	1800	1400	600
20	1730	1120	880
30	1650	540	1640
35	1490	60	2100

Abbildung 9-2: Wärmeproduktion und Wasserdampfabgabe einer Hochleistungskuh (10.000 kg Milch je Jahr) im ersten Laktationsdrittel (nach DIN 18910-1, Quelle: DLG Merkblatt 336)

Dieses Verfahren, das in der Zukunft unter dem Gesichtspunkt der Optimierung des Tierwohls und des Investitionsbedarfs immer mehr an Bedeutung gewinnen wird, wurde auch mehrfach bei den ausgewählten Objekten im Rahmen des Monitorings berücksichtigt.

Wenn nicht auf Wunsch des einzelnen Bauherrn beim Bau von Milchviehställen im ganzjährigen Mittel höhere Temperaturen angestrebt werden, ergeben sich im Rinderbereich allein bei Stallanlagen für Mastbullen Abweichungen vom Prinzip des frei gelüfteten Außenklimastalls. Auf Grund des weit verbreiteten Haltungsverfahrens auf Spaltenböden aus Stahlbeton, würde die Haltung in einem reinen Außenklimastall im Winter zu einer starken Abkühlung der Liegeflächen und damit für die Tiere zu hohen Energieverlusten über Wärmeleitung (Konduktion) führen. Aus diesem Grund ist der derzeitige Stand der Technik, die Gebäudehüllen von Bullenmastställen häufig „dichter“ auszuführen, um den Temperaturabfall im Winter zu reduzieren.

In der Milchviehhaltung werden die Traufwände zur Regelung der Luftgeschwindigkeit im Stall, die wiederum aus der freien Anströmung und der Bauweise des Gebäudes resultiert, mit Windschutznetzen beziehungsweise Curtain-Systemen verschlossen. Im Gegensatz dazu kommen in der Bullenmast häufig vertikal verschiebbare Stegplatten aus Polycarbonat zum Einsatz. Abgesehen von systembedingten Undichtigkeiten im Anschluss- beziehungsweise Führungsbereich der Schiebeelemente nutzt man den höheren Wärmedurchgangswiderstand (U-Wert: ca. 2,3 W/ m<sup>2</sup>K) der Platten, um höhere Innenraumtemperaturen zu erreichen. Gleichzeitig

werden damit aber auch die Luftwechselraten verringert, woraus wiederum eine erhöhte Luftfeuchtigkeit resultiert – hier vor allem aus dem Feuchtigkeitseintrag der Tiere.

Vollkommen andere Bedingungen ergeben sich wiederum in der konventionellen Schweine- und Geflügelhaltung. Hier werden in der Regel geschlossene Gebäudehüllen mit mechanischer Be- und Entlüftung umgesetzt. Soweit Holz zum Einsatz kommt, werden konstruktive Bauteile in diesen Bauhüllen zunächst durch Wand- und Deckenverkleidungen - in Kombination mit entsprechenden Sperrschichten (Dampfbremsen) - geschützt. Darüber hinaus werden die Anlagen bezüglich der Klimatechnik selten im Gleichdruckverfahren, sondern überwiegend mit einem leichten Unterdruck gefahren. Je nach Anlagentyp wird die konditionierte Außenluft (gekühlt bzw. erwärmt) mechanisch zu- und auch wieder über entsprechende Entlüftungssysteme mechanisch abgeführt. Abgesehen von den im Rahmen der anerkannten Regeln der Technik notwendigen Dampfbremsen in den Wänden und der Decke ergibt sich daraus ein möglicher Feuchteintrag aus dem Tierbereich in die Unterkonstruktion vom Prinzip her nur im Störfall der Anlage.

Typisch zum Beispiel im Geflügelmastbereich, aber auch bei Mastschweinen ist ein erhöhter Feuchtigkeitseintrag aus regelmäßigen Reinigungsvorgängen, da die Ställe im sogenannten „Rein-Raus“-Verfahren belegt werden. Das heißt, dass die einzelnen Abteile partienweise aufgestellt, die Tiere gemästet und nach dem Erreichen des Endmastgewichtes dann gleichzeitig ausgestallt werden. Danach wird das gesamte Abteil gereinigt beziehungsweise desinfiziert und für den nächsten Durchgang vorbereitet. Durch diese Reinigungsvorgänge ergibt sich temporär ein erhöhter Eintrag an Feuchtigkeit.

Dieser kann auch Einzelbauteile betreffen. Aus dem Holzfeuchte-Monitoring ist hier zum Beispiel eine Holzstütze in einem Milchviehstall bekannt, die sich in der Nähe des Melkstands (hier ein automatisches Melksystem) befindet. Die Technik wird im Tagesverlauf nach jedem Melkvorgang gereinigt, woraus ein erhöhter Feuchtigkeitsanfall durch den entstehenden Sprühnebel, der auch in den Vorbereich des Melkstands entweicht. Für die hier eingebaute Stütze ergeben sich deutlich höhere Holzfeuchtwerte als im übrigen Stall. Über aktuelle Messungen im Rahmen des Holzfeuchte-Monitorings der TUM hat sich ergeben, dass durch die Zugabe von Wasser bei der Mischung des Einstreumaterials für Tiefboxen (sog. Kalk-Stroh-Mistmatratze) in Kombination mit in den warmen Monaten laufenden Ventilatoren eine deutliche Erhöhung der Holzfeuchte auf der angeströmten Seite ergibt (S. 69f.).

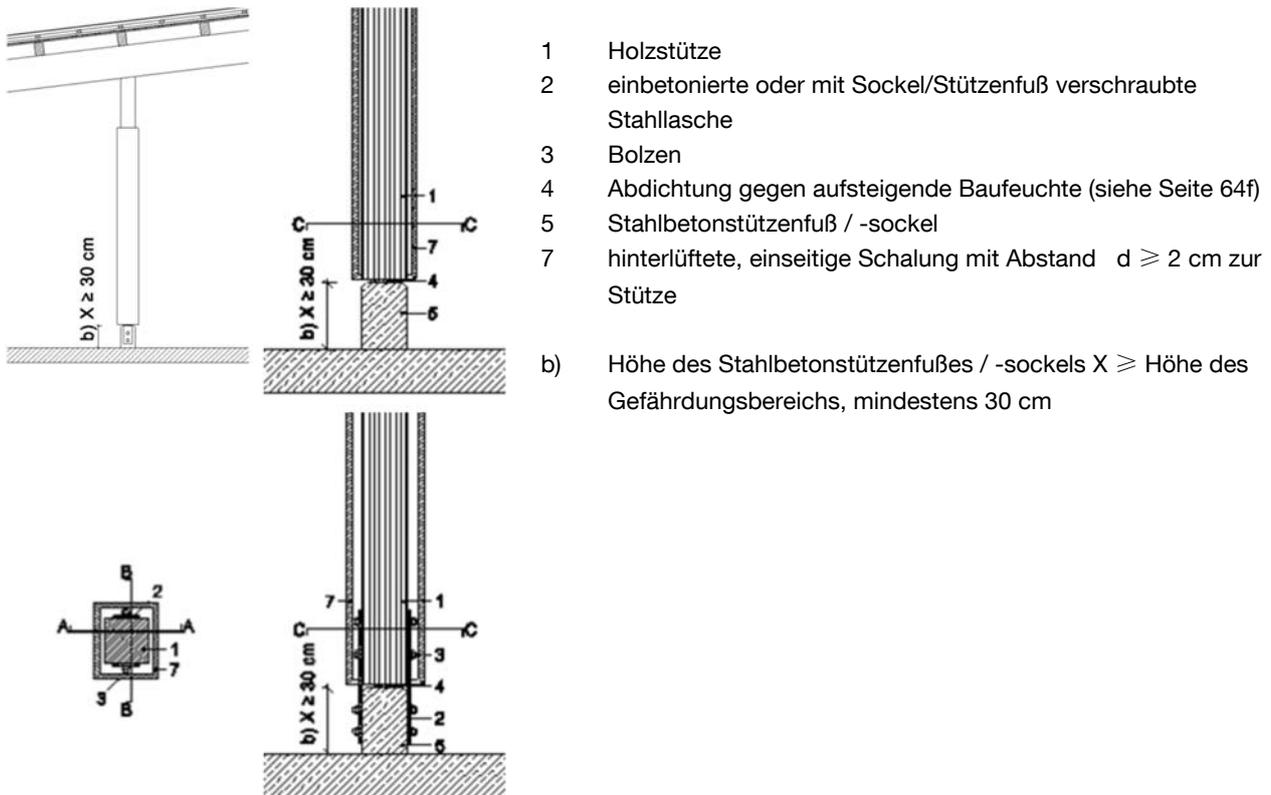


Abbildung 9-3: Beispieldetail mit Legende – Stützenfuß mit allseitiger Einschalung

## Maschinen- und Lagerhallen

Bei den Maschinen- und Lagerhallen ergibt sich die Luftfeuchte zum einen wieder aus der Bauweise sowie aus den gelagerten Stoffen wie Düngemitteln beziehungsweise landwirtschaftlichen Produkten wie Getreide, Kartoffeln, Zwiebeln oder Heu.

Offene Bauweisen und ein daraus resultierender direkter Luftaustausch werden sowohl bei einfachen Dachkonstruktionen oder Remisen zum Unterstellen von Maschinen als auch bei Lagerhallen für Lagergut mit geringen Anforderungen (zum Beispiel Hackschnitzel) umgesetzt. Geschlossene Bauweisen kommen aus unterschiedlichen Gründen sowohl bei Maschinen- als auch bei Lagerhallen für Düngemittel, Getreide, Futtermittel oder Feldfrüchte (zum Beispiel Zwiebel, Kartoffel) zum Einsatz.

Im Bereich der Maschinenhallen werden in der Regel einschalige Konstruktionen, sowohl im Wand- als auch im Unterdachbereich ausgeführt. Durch nicht dicht schließende Bauteile (zum Beispiel Wandbekleidungen, Schiebetore) beziehungsweise Öffnungen (zum Beispiel im Übergang vom Wand- zum Unterdachbereich), die der Hinterlüftung dienen, finden ein entsprechender Luftaustausch und damit der Eintrag von Luftfeuchtigkeit statt. Waschplätze befinden sich in der Regel außerhalb der Gebäude, so dass eher selten und dann auch nur vorübergehend von erhöhter Feuchtigkeit durch die Reinigung von Maschinen auszugehen ist.

Lagerhallen für Getreide und Düngemittel werden in gleicher Weise wie die oben beschriebenen geschlossenen Maschinenhallen ausgeführt. Bei den sogenannten Flachlagern, bei denen das Getreide beziehungsweise die Düngemittel direkt auf der massiven Bodenplatte in Häufen aufgeschüttet werden, werden die Wände bis zur maximalen Schütthöhe durch innenseitige Verkleidungen auf die zu erwartenden Lasten ertüchtigt. Bei größeren Hallen ergeben sich aus diesen, zusammen mit den in der Regel quer eingebauten Zwischenwänden, voneinander getrennte Lagerbereiche.

Als Material für diese Wandverkleidungen und Zwischenwände kommen sowohl Holz in Massivbauweise (Bohlenwände) als auch Leichtbauweise (zum Beispiel Pfosten-Riegelkonstruktionen mit einer Verkleidung aus Holzwerkstoffplatten) sowie massive Wände in Ort beton beziehungsweise Betonfertigteilen zum Einsatz. In Verbindung mit der horizontalen Ausriegelung für die Montage der Außenwandverkleidung können bei diesen doppelwandigen Konstruktionen Hohlräume entstehen.

Durch die dargestellte Bauweise der Hallen kommt es zum gleichen Luftfeuchtigkeitseintrag wie bei den geschlossenen Maschinenhallen. Aus dem gelagerten Getreide ist nicht mit einem erhöhten Feuchtigkeitseintrag zu rechnen. Gleiches gilt auch für die Lagerung von Düngemitteln, die zwischenzeitlich so gereinigt sind, dass es nicht mehr zu einer nennenswerten Bildung von Feinstaub kommt, der sich unter anderem auch um die konstruktiven Bauteile oberhalb der Wandverkleidungen abgelagert und durch die hygroskopische Wirkung eine dauerhaft feuchte Ummantelung der Holzbauteile gebildet hatte. Eine gesonderte Betrachtung der, je nach Bauweise, nicht belüfteten Hohlräume ist hinsichtlich möglicherweise aufsteigender Feuchte aus dem Fundamentbereich beziehungsweise der Bodenplatte notwendig (siehe unten).

Bei der Lagerung von Heu und Feldfrüchten herrschen dagegen vollkommen andere Bedingungen hinsichtlich der Luftfeuchtigkeit. Bei der Einlagerung von Heu werden je nach Witterungsbedingung unterschiedliche Wassermengen durch das Erntegut eingebracht. Dazu kommt die sogenannte Heubelüftung, bei der große Mengen erwärmter Luft von unten durch den Heustock gedrückt werden, um das Heu nachzutrocknen. Dabei können oberhalb des Heustocks vorübergehend Luftfeuchten von bis zu 95 % entstehen.

Technisch werden unterschiedliche Verfahren zur Trocknung beziehungsweise Belüftung eingesetzt. Tagsüber wird zum Beispiel bei der sogenannten Unterdachabsaugung erwärmte Luft aus den baulich vorgehaltenen Hohlräumen zwischen Dacheindeckung und Schalung bzw. einer zusätzlich abgehängten Decke abgesaugt und in den Heustock gepresst. Nachts wird durch ein Klappensystem die Zuluftführung umgeschaltet und die bereits erwärmte Luft in der Halle zur Belüftung verwendet (Umluftverfahren). Eine mögliche Betriebsvariante ist dabei, die angesaugte Luft über einen Kondensat-Trockner zu leiten, um den Eintrag an Luftfeuchtigkeit zu reduzieren. Je nach Sonneneinstrahlung beziehungsweise Tageszeit kann die Zuluft zusätzlich durch eine Heizungsanlage erwärmt werden. Als kritisch sind hier insbesondere die Hohlräume unter der Eindeckung anzusehen, da außerhalb der Betriebszeiten der Anlage ein möglicher Kondensat-Anfall

unterhalb des Eindeckungsmaterials nicht über die übliche Anordnung von Schalung, Lattung und Luftlattung erfolgt, sondern erst um das Maß der Pfetten verschoben in der Ebene darunter.

Das Ziel bei der Kartoffel- und Zwiebellagerung ist die Erhaltung der Qualität und Vermeidung von Schäden. Hinzu kommt die Verlängerung der Lagerzeiten, um damit die Lieferzeiträume zu verlängern. Nach einer anfänglichen Trocknungs- und Wundheilungsphase werden Kartoffeln auf nutzungsspezifische (Saat-, Speise- und Industriekartoffeln) Temperaturen heruntergekühlt. Die Temperaturen liegen zwischen 5 – 8°C bei relativen Luftfeuchten zwischen 92 – 98 %. Bei Zwiebeln liegen die Temperaturen nach einer anfänglichen Trocknungsphase zwischen 0 – 1°C bei einer relativen Luftfeuchte zwischen 70 – 80 %. Bei Kartoffeln kommt hinzu, dass sie während des Lagerprozesses „atmen“, wodurch zusätzliche Feuchtigkeit an die Umgebungsluft abgegeben wird.

Dass aus diesen Lagerbedingungen mit einem erhöhten Feuchtigkeitsanfall im Bereich der Wand- und Dachkonstruktion zu rechnen ist, zeigte sich bereits bei der Begehung einer im Rahmen des Holzfeuchte-Monitorings erfassten Kartoffellagerhalle. Als Tragwerk sind bei dieser Anlage Fachwerkbinder auf eingespannten Stützen realisiert. Der Dachraum ist zunächst nach unten durch an die Untergurte montierte Dämmplatten abgetrennt. Mangels Entlüftung hatte sich auf diesen Dämmplatten eine erhebliche Kondensatmenge gebildet. Im Vergleich zu allen anderen Nutzungsformen zeigen hier die Messergebnisse auch den bisher stärksten Anstieg der Holzfeuchte im Tragwerk.

### **9.3 Erhöhter Spritzwassereintrag und aufsteigende Baufeuchte**

Der Spritzwassereintrag bzw. die direkte Bewitterung von konstruktiven Holzbauteilen ergibt sich dort, wo keine schützenden Fassadenkonstruktionen vormontiert sind. In der Tierhaltung, und hier im speziellen bei den sogenannten Außenklimaställen, spielen bei der Entscheidung und Ausführung für offene Bauweisen weniger ökonomische Gründe eine Rolle, sondern vielmehr die Maximierung der Öffnungsflächen, um die für die Tiere physiologisch wichtige Luftbewegung aus der freien Anströmung in den Gebäuden nutzen zu können.

Hinsichtlich des möglichen Schlagregeneintrags auf Holzbauteile im Wandbereich bei flexiblen Wandverschluss-Systemen (Curtains) sind die Projektpartner in Abstimmung mit Experten zum Holzschutz übereingekommen, dass diese als konstruktiver Witterungsschutz angesehen werden können, da diese bei Regen geschlossen werden, um ein Vernässen der angrenzenden Funktionsbereiche zu verhindern. Obligatorisch ist die Einhaltung des Mindestabstands für Holzbauteile vom Boden ( $\geq 30$  cm gemäß DIN 68800) durch Sockel oder Stützenfüße. Ebenso sind Binder-, Pfetten- und Sparrenköpfe durch entsprechende Dachüberstände beziehungsweise eine ausreichende Dachneigung zu schützen.

Bei offenen Maschinen- und Lagerhallen (siehe oben) wird zumindest auf der oder den Erschließungsseite(n) auf eine Verkleidung der Tragkonstruktion in Holz und damit den konstruktiven Witterungsschutz verzichtet. Alternativ zum konstruktiven Holzschutz kann für vertikale Bauteile die nicht auf der Wetterseite stehen und hauptsächlich einseitig bewittert sind,

technisch getrocknetes Vollholz (Breite der bewitterten Seite  $\leq 16$  cm) – oder Brettschichtholz (bewitterte Seite ohne Klebefuge mit Breite  $\leq 20$  cm) – verwendet werden, solange sichergestellt ist, dass dieses kerngetrennt eingeschnitten worden ist, eine gehobelte Oberfläche aufweist, sich kein Stauwasser in Anschlüssen sammeln kann und das Hirnholz abgedeckt ist.

Neben dem Feuchtigkeitseintrag aus der Bewitterung oder aus Reinigungsvorgängen muss bei allen baulichen Anlagen besonders auf die aufsteigende Feuchtigkeit aus Betonbauteilen, wie Fundamenten, Bodenplatten, Sockeln oder Stützenfüßen geachtet werden, da die Anlagen in der Regel ohne Unterkellerung ausgeführt werden und damit auch keine Sperrschichten eingebaut werden.

#### **9.4 Sonstige Schädigungen von Holzkonstruktionen**

Darüber hinaus sind konstruktive Holzbauteile insbesondere in der Tierhaltung zum Beispiel durch Verbiss und Scheuern gefährdet. Da sich die konstruktiven Maßnahmen zur Vermeidung der Schäden aus dem Spritzwasser zum Teil überlagern, werden im Rahmen dieses Leitfadens auch diese Schadensursachen und entsprechende konstruktive Gegenmaßnahmen dargestellt.

#### **9.5 Leitfaden zum konstruktiven Holzschutz im landwirtschaftlichen Bauwesen**

Im Anhang 2 wird der Leitfaden vorgestellt.

## 10 Schlussfolgerung und Ausblick

### 10.1 Allgemeines

Ziel dieses Projektes war es, über das Monitoring landwirtschaftlicher Gebäude mit typischen Nutzungen die Gebrauchsbedingungen, denen Holzkonstruktionen unter landwirtschaftlichen Nutzungsbedingungen ausgesetzt sind, zu erfassen. Hierfür wurden abweichend vom Forschungsantrag insgesamt 13 Gebäude in 12 Praxis-Betrieben aus den Bereichen Stallanlagen und Lagerhallen für die Langzeitmessung ausgewählt. Dabei wurde darauf geachtet, eine möglichst große Vielfalt an landwirtschaftlichen Nutzungen zusammenzustellen, um einen Überblick über unterschiedliche klimatische Beanspruchungen, bezogen auf typische Gebäudenutzungen im landwirtschaftlichen Bauwesen zu ermitteln. Aufgrund des unerwartet hohen Aufwands bei der Generierung der Messobjekte wurden die Messungen in 2015 zeitlich versetzt gestartet. Bis März 2018 betrug die Messdauer bei allen Messobjekten mehr als 2 Jahre. Zusätzlich wurde eine komplette Bauwerksaufnahme aller untersuchten Objekte vorgenommen und die Gebäudenutzer befragt. Im März 2018 wurden die Messungen in 10 von 13 Objekten beendet, bei denen die Gefahr eines Pilzbefalls ausgeschlossen werden konnte.

### 10.2 Schlussfolgerungen zur Messtechnik

Das aus verschiedenen vorausgegangenen Forschungsvorhaben bekannte und für vorliegendes Forschungsvorhaben weiterentwickelte und erweiterte Messsystem erwies sich als grundsätzlich geeignet, Langzeitmessungen der Holzfeuchte und des Klimas in landwirtschaftlichen Nutzgebäude zu realisieren.

Es waren mehrfach kurz- bis langfristige Ausfälle von Klimasensoren festzustellen. Die kurzfristigen Ausfälle konnten zum Teil auf Tauwasserbildung in den Sensoren zurückgeführt werden. Nach der Verdunstung des Tauwassers wurden die Messungen meist von selbst wieder aufgenommen. In Fällen, in denen die Sensoren durch zu starke Verschmutzung aufgehört haben Daten zu erfassen, konnten manche defekten Sensoren aufgrund der schlechten Zugänglichkeit und Erreichbarkeit nur zum Teil ersetzt werden. Zwei Klimasensoren, die durch Reinigungsmaßnahmen in den Geflügelställen beschädigt wurden, wurden zu einem späteren Zeitpunkt ausgetauscht. Hierbei wurden entsprechende Schutzmaßnahmen gegen Wasserstrahl/Tropfwasser vorgenommen.

Bei den Holzfeuchtemessungen sind 7 der insgesamt 25 Messgeräte für eine Periode von ein paar Wochen bis ein paar Monaten ausgefallen. Das war meist auf unterbrochene Stromversorgung zurückzuführen. Nach dem Austausch der Batterien wurden die Messungen meist wieder aufgenommen. Durch das Auslaufen von alten Batterien wurden zwei Geräte stark beschädigt, die durch neue Geräte ersetzt werden mussten. Die Messungen mit Messgeräten im Objekt 01 (Milchviehstall in Grub) mussten aufgrund des dort herrschenden elektromagnetischen Feldes bedauerlicherweise abgebrochen werden.

### 10.3 Schlussfolgerungen aus den Messergebnissen

Bis Anfang März 2018 wurden im Rahmen des Forschungsprojekts insgesamt über 15 Millionen Messwerte erfasst und mit Hilfe eines eigens entwickelten Programmes ausgewertet. Daraus wurden für jedes Messobjekt Diagramme zum Verlauf der Holzfeuchte, des Außen- und Hallenklimas über die Zeit erstellt.

Bei 27 von insgesamt 78 Messstellen wurden Holzfeuchten über 20 %, jedoch unter Fasersättigungspunkt, gemessen. Bei Berücksichtigung des präziseren Holzzerstörungsmodells nach Viitanen (1991), d.h. bei Berücksichtigung des Einflusses von Holzfeuchte und Temperatur zeigte sich, dass Gefahr des Pilzwachstums bei lediglich 5 der 27 Messstellen, aufgrund der über der Grenzlinie liegenden Messwerte, nicht auszuschließen ist. Bei einer zusätzlichen Bauwerksaufnahme aller Bauteile und zusätzlicher Befragung der Gebäudenutzer konnte jedoch in keinem Objekt jetzt oder zu einem früheren Zeitpunkt Pilzbefall festgestellt werden.

Das positive Ergebnis dieser Untersuchungen in 13 beispielhaften landwirtschaftlichen Nutzgebäuden bedeutet jedoch nicht, dass für die beschriebenen Grenzfälle keine Maßnahmen zum Holzschutz empfohlen werden. Bei der Planung konstruktiver Maßnahmen sollte man unterscheiden zwischen lokalen Einflüssen, die nur lokale Maßnahmen verlangen, und globalen Einflüssen, für die globale Lösungen notwendig sind. Zwei Beispiele für lokale Einflüsse sind die Holzstütze im Reinigungsbereich des Melkstandes bzw. die Stützen, an welche Luft mit hoher Luftfeuchte aufgrund des feuchten Einstreus gegen eine Stützenseite geblasen wird. Die hierfür vorgeschlagene Lösung wäre ein Schutz vor direkter Befeuchtung mittels hinterlüfteter Bretterschalung. Am 19. Juni 2017 wurde eine solche Bretterschalung an zwei Stützen im Reinigungsbereich des Melkstands installiert. Die Messergebnisse über 12 Monate zeigen, dass die Schalung einen positiven Effekt hat. Im Neubau wird empfohlen, im direkten Melkbereich dauerhafte Holzarten einzusetzen oder bis zu einer Höhe von z.B. 1,5 m auf Stahlbetonteile auszuweichen. Ein Beispiel für globale Einflüsse ist die Klimatisierung der Kartoffelhalle. Hier käme der Einsatz von Holzarten höherer Dauerhaftigkeit, wie z.B. Lärche und Douglasie Kernholz in Betracht.

### 10.4 Schlussfolgerungen zum Leitfaden

Neben der Durchführung der Messungen wurden im Laufe des Forschungsprojektes vorbeugende konstruktive Maßnahmen festgelegt, die einen dauerhaften Schutz von Holzkonstruktionen im landwirtschaftlichen Bauen gewährleisten. Im Rahmen der Erarbeitung des Leitfadens „Landwirtschaftliche Nutzgebäude in Holzbauweise – Beispielkonstruktionen in Gebrauchsklasse 0 nach DIN 68800-2“ wurde angestrebt, entweder durch bauliche Maßnahmen eine Einstufung in die Gebrauchsklasse 0 (kein vorbeugend chemischer Holzschutz für Fichte erforderlich) zu erreichen oder die Gebrauchsklasse soweit abzusenken, dass durch den Einsatz von Holzarten erhöhter Resistenz auf den Einsatz chemischer Holzschutzmittel verzichtet werden kann. Zu diesen baulichen Maßnahmen gehören zusätzliche Verkleidungen, z.B. von Holzstützen, oder aber die

Regelung, dass variable Wandverschluss-Systeme (Curtains) bei entsprechender Handhabung als konstruktiver Witterungsschutz eingesetzt werden können.

## 10.5 Ausblick

Die Messungen werden in 3 Gebäuden fortgeführt, bei denen die Gefahr eines Pilzbefalls nicht ausgeschlossen werden konnte. Diese sind:

- Objekt 01: Milchviehstall Grub
- Objekt 08: Kartoffellager Thalmassing
- Objekt 12: Milchviehstall Bad Aibling

Die regelmäßige Auslesung und Auswertung der Messdaten und eine zeitgleiche Funktionskontrolle der Messtechnik werden seitens der TU München im Rahmen von studentischen Arbeit ausgeführt.

Die Arbeit zur Erstellung eines Leitfadens mit Bauteilkatalog zur praktischen Umsetzung der erforderlichen Maßnahmen im Sinne von DIN 68800-2:2012-02 ist bereits abgeschlossen. In Abstimmung mit der Obersten Baubehörde des Freistaates Bayern und nachfolgend mit der Fachkommission Bauaufsicht der ARGEBAU, wird als nächster Schritt angestrebt, derartige ‚Besonderen Baulichen Maßnahmen‘ in Anlehnung an DIN 68800-2 baurechtlich verwendbar zu machen. Vorschläge für die Berücksichtigung landwirtschaftlicher Gebäude in einer zukünftigen Überarbeitung der DIN 68800-2 werden erarbeitet.

Über eine Status-quo-Erfassung auf den landwirtschaftlichen Betrieben wird der Konstruktionskatalog laufend fortgeschrieben. Die Abstimmung erfolgt sowohl mit dem Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter als auch mit dem Bayerischen Zimmererverband, Herrn Kirst und Herrn Kraft. Zudem ist geplant, mit Stallbauunternehmen die dargestellten Detaillösungen abzustimmen.

Darüber hinaus fließen die Erkenntnisse aus den gemeinsamen Bereisungen und Handmessungen vor Ort hinsichtlich Schlagregen auf konstruktive Bauteile sowie aufsteigende Baufeuchte aus der Gründung bzw. Bodenplatte bereits in die Tragwerksplanung der aktuell in Bearbeitung befindlichen Konstruktionspläne für das ModulBauSystem Grub-Weihenstephan™ (im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) ein.

München, 31. Juli 2018

Grub, 31. Juli 2018

## Literaturverzeichnis

- DIN EN 350:2016-12. *Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Prüfung und Klassifizierung der Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten gegen biologischen Angriff*. Berlin: Beuth, 2016.
- Aondio, P. *Auswirkungen klimatischer Umgebungsbedingungen auf sanierte BSH-Bauteile*. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der TU München, 2008.
- Bauernzeitung.at. 02. 11 2016. [www.bauernzeitung.at/?id=295&i=contentIimgP\\_review&p=111754](http://www.bauernzeitung.at/?id=295&i=contentIimgP_review&p=111754) (Zugriff am 03. 08 2016).
- . 01. 11 2016. [www.bauernzeitung-online.net/?+Neuer+Masterlehrgang+%26id=2500%2C1067081%2C%2C%2CY3Q9MiZzUXU9JTIwJmJhY2s9MQ%3D%3D](http://www.bauernzeitung-online.net/?+Neuer+Masterlehrgang+%26id=2500%2C1067081%2C%2C%2CY3Q9MiZzUXU9JTIwJmJhY2s9MQ%3D%3D) (Zugriff am 02. 08 2016).
- DIN 52183:1977-11. *Prüfung von Holz - Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes*. Berlin: Beuth, 1977-11.
- DIN 68800-1:2011-10. *Holzschutz - Teil 1: Allgemeines*. Berlin: Beuth-Verlag, 2011.
- DIN 68800-2:2012-02. *Holzschutz - Teil 2 - Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau*. Berlin: Beuth Verlag, 2012.
- DIN 68800-3:2012-02. *Holzschutz - Teil 3 - Vorbeugender Schutz von Holz mit Holzschutzmitteln*. Berlin: Beuth Verlag, 2012.
- DIN EN 1995-1-1/NA:2010-12. *Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 5: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau*. Berlin: Beuth Verlag, 2010.
- DIN EN 1995-1-1:2010-12. *Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau*. Berlin: Beuth verlag, 2010.
- DIN EN 60529:2014-09. *Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code)*. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2014.
- Ernst, M. *Langzeitmessung zur Bestimmung der klimatischen Beanspruchung von Holzbauteilen in landwirtschaftlichen Nutzgebäuden*. Masterarbeit am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der TU München, 2015.
- Gamper, A., P. Dietsch, M. Merk, und S. Winter. *Gebäudeklima - Langzeitmessung zur Bestimmung der Auswirkungen auf Feuchtegradienten in Holzbauteilen. Abschlussbericht*. München: Fraunhofer IRB Verlag, 2013.

- Glass, S. V., und S. L. Zelinka. „Moisture Relations and Physical Properties of Wood.“ In *Wood Handbook, Wood as an Engineering Material*, von U.S. Department of Agriculture, Forest Service und Forest Products Laboratory, Chapter 04. Madison, WI, 2010.
- Grosser, D. *Pflanzliche und tierische Bau- und Werkholzschädlinge*. Leinfelden-Echterdingen: DRW-Verlag Weinbrenner, 1985.
- Haidn, Heidenreich, und Simon. *Hitzestress im Milchviehstall. LfL-Information*. 2008.
- Hailwood, A J, und S Horrobin. „Absorption of water by polymers: analysis in terms of a simple model.“ *Transactions of the Faraday Society* Vol. 42B (1946): p. 84-92.
- Hawley, L., F. *Wood-liquid relations*. Technical Bulletin Nr. 248: United States Department of Agriculture, Washington, D.C., 1931.
- Herrmann, M. *Innovationen der Holzfeuchtemessung*. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der TU München, 2009.
- Kehl, D. „Feuchtetechnische Bemessung von Holzkonstruktionen nach WTA.“ *HOLZBAU - die neue quadriga*, 2013: 24-28.
- . „Pilzmodelle - Ist der Befall vorhersehbar? Oder: Wann geht Holz kaputt?“ *HOLZBAU - die neue quadriga*, 1 2011: 23-26.
- Keylwerth, R. „Einfache Kontrollmessung bei der Holz Trocknung.“ *Holz- Zentralblatt*, 1949: 307-309.
- Keylwerth, R., und D. Noack. „Die Kammertrocknung von Schnittholz. Betriebsblatt 1.“ *Holz Roh-Werkstoff* 22, 1963: 29-36.
- Kolb, H., H. Goth, und A. Epple. *Untersuchungen zum Einfluss von Dauerbelastung, Temperatur- und Klimawechsellagerung auf die Querkzugfestigkeit von Fichtenholz*. Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg - FMPA, Forschungsbericht, Stuttgart: Otto-Graf-Institut, Stuttgart, 1984.
- Kollmann, F. *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe*. Bd. 1. München: Springer Verlag, 1951.
- Lohmann, U., T. Annies, und D. Ermschel. *Holz Handbuch*. Bd. 16. Rosenheim: DRW-Verlag, 1998.
- Mägdefrau, K. *Botanik*. Heidelberg: Winter-Verlag, 1951.
- Möhler, K., und G. Steck. „Untersuchungen über die Rissbildung in BSH infolge Klimabeanspruchung.“ *Bauen mit Holz*, 1980: 194-200.

- Mohrmann, M., und T. Wiegand. *Holzschut bei Ingenieurholzbauten*. Herausgeber: Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. INFORMATIONSDIENT HOLZ, 2015.
- Müller, M. S. *Auswirkungen baulicher und konstruktiver Ausführung sowie der Gebäudenutzung auf das Innenraumklima landwirtschaftlicher Nutzbauten in Holzbauweise*. Masterarbeit am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der TU München, 2017.
- Niemz, P. *Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe*. Bd. 3. ETH, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich: Institut für Baustoffe IfB, 2005.
- Nutsch, Wolfgang. *Fachkunde Holztechnik*. 21. Europa Lehrmittel, 2007.
- Ostermaier, Benjamin. *Konzeptionierung und Evaluation von baulichen Holzschutzmaßnahmen in landwirtschaftlichen Nutzgebäuden*. Bachelorarbeit am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der TU München, 2017.
- Reischenbeck, Andreas. *Erfassung und Auswertung von klimatischen Beanspruchungen sowie den daraus resultierenden Holzfeuchten in landwirtschaftlichen Nutzgebäuden in Holzbauweise*. Masterarbeit am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der TU München, 2016.
- Rodemeier, S. *Fortführung von Langzeitmessung zur Bestimmung der klimatischen Beanspruchung von Holzbauteilen in landwirtschaftlichen Nutzgebäuden*. Bachelorarbeit am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der TU München, 2015.
- Siau, J. F. *Transport Processes in Wood*. Berlin, Heidelberg, New York, Tokio: Springer Verlag, 1983.
- Simpson, W. T. „Prediction equilibrium moisture content of wood by mathematical models.“ *Wood and Fiber* Vol. 5 (1973): p.41-48.
- Steck, G. *Abbau von Eigenspannungen aus Feuchteänderungen bei Brettschichtholz durch Sägeschnitte*. Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau , Forschungsbericht, Universität Karlsruhe, 1985.
- Svensson, S., und T. Toratti. „Mechanical response of wood perpendicular to grain when subjected to changes of humidity.“ *Wood Science and Technology*, 2002: 145-156.
- Toratti, T., und S. Svensson. „Mechano-sorptive experiments perpendicular to grain under tensile and compressive loads.“ *Wood Science and Technology*, 2000: 317-326.
- Trendelenburg, R. *Holz als Rohstoff*. München: Hanser, 1955.

Viitanen, H. *Brown rot decay in wooden constructions. Effect of temperature, humidity and moisture*. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products, Report no. 222, 1991.

Wagenführ, A., und F. Scholz. *Taschenbuch der Holztechnik*. München: Carl Hanser Verlag, 2008.

Weichert, L. „Untersuchungen über das Sorptions- und Quellungsverhalten von Fichte, Buche und Buchen-Preßvollholz bei Temperaturen zwischen 20° und 100°C.“ *Holz als Roh- und Werkstoff* 21, 1963: 290-300.

Weiß, B., A. Wagenführ, und K. Kruse. *Beschreibung und Bestimmung von Bauholupilzen*. Bd. 16. Leinfelden-Echterdingen: DRW-Verlag, 2000.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Schematischer Aufbau von Laubholz (Mägdefrau 1951) .....	12
Abbildung 3-2: Elektronenmikroskopische Aufnahme von Buchenholz (Foto: HFM).....	12
Abbildung 3-3: Wasserabgabe und -aufnahme des Holzes (Nutsch 2007).....	13
Abbildung 3-4: Einfluss der Holzfeuchte auf ausgewählte Eigenschaften des Holzes (Kollmann 1951).....	15
Abbildung 3-5: Sorptionsisothermen und Bindungsformen des Wassers (Niemz 2005) .....	16
Abbildung 3-6: Hygroskopisches Gleichgewicht von Sitka-Fichte in Abhängigkeit von der Temperatur und relativer Luftfeuchte (Keylwerth und Noack, Die Kammertrocknung von Schnittholz. Betriebsblatt 1 1963) .....	17
Abbildung 3-7: Verzerrung von Holz durch unterschiedliche Schwindung (Glass und Zelinka 2010) .....	18
Abbildung 3-8: Beispielhafte Feuchteverläufe über den BSH-Querschnitt bei trockenen (links) und feuchten (rechts) Umgebungsbedingungen .....	19
Abbildung 3-9: Beispielhafte Veränderung der Feuchtegradienten in BSH-Bauteilen (Möhler und Steck 1980).....	21
Abbildung 4-1: Gebäudestandorte aller ausgewählten Messobjekte.....	23
Abbildung 4-2: Links: Funktionsprinzip eines Spaltenbodens; Rechts: Spaltenboden des Objekts 01 .....	24
Abbildung 4-3: Mist-/Gülfeschieber im Objekt 03 .....	25
Abbildung 4-4. Entmistungsprinzip des Objekts 05 (Bauernzeitung.at 2016) .....	26
Abbildung 4-5: Abteil A des Objekts 06 mit Ferkelnestern und mechanischem Entlüftungssystem .....	27
Abbildung 4-6: Objekt 11 mit den alten (links) und neuen Putenställen (rechts) .....	28
Abbildung 4-7: Objekt 07 im geschlossenen (links) bzw. offenen (rechts) Zustand .....	29
Abbildung 4-8: Lagerraum des Objekts 08 Kartoffellagerhalle mit Einlass- und Abluftklappen.....	30
Abbildung 4-9: Be- und Entlüftungsprinzip des Objekts 08 Kartoffellagerhalle .....	30

Abbildung 4-10: Funktionsprinzip des Objekts 09 Heutrocknungshalle (Bauernzeitung.at 2016) .	31
Abbildung 4-11: Objekt 10 Hackschnitzellager in Langdorf .....	32
Abbildung 5-1: Beispielhafte Darstellung des verwendeten Messsystems in der Variante mit drei Messstellen.....	34
Abbildung 5-2: Wetterstation zur Erfassung des Außenklimas. links = Schutzgehäuse; rechts = Datenlogger mit integrierten Klimasensor Hygrofox Mini.....	35
Abbildung 5-3: Vom Messsystem 2 im Objekt 01 Milchviehstall Grub gemessene Widerstände aus dem Zeitraum von 04.07.2016 bis 08.07.2016 (Auswertungsprogramm SoftFOX 3.02, Fa. Scantronik Mugrauer) .....	36
Abbildung 5-4: Kombinierte Maßnahmen zum Schutz der Messstellen vor Beeinträchtigungen durch starke Verschmutzung, Tauwasser oder mechanische Beschädigung.....	36
Abbildung 5-5: Maßnahmen zum Schutz der Messtechnik gegen Staub und Strahlwasser im Objekt 11, Geflügelhallen Söhl .....	37
Abbildung 5-6: Abdichtung der Temperatursensoren (im roten Kreis) mit Isolierkitt.....	38
Abbildung 6-1: Verlauf der Holzfeuchte über den betrachteten Messzeitraum an einer beispielhaften Messstelle.....	39
Abbildung 6-2: Verläufe der relativen und absoluten Luftfeuchte sowie der Lufttemperatur und Taupunkte über den betrachteten Messzeitraum an einer beispielhaften Messstelle .....	40
Abbildung 6-3: Zusammenfassung der durchschnittlichen Klimabedingungen in den untersuchten Objekten .....	42
Abbildung 7-1: Holzzerstörungsmodell (Kehl 2011) .....	51
Abbildung 7-2: Temperaturabhängige Grenzlinie zur Bewertung des Gefährdungspotentials .....	52
Abbildung 7-3: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 3.1 im Objekt 01 Milchviehstall Grub .....	53
Abbildung 7-4: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 3.2 im Objekt 01 Milchviehstall Grub .....	54
Abbildung 7-5: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 1.2 im Objekt 03 Milchviehstall Raubling.....	54
Abbildung 7-6: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 1.1 im Objekt 04 Kälberstall Grub .	55

Abbildung 7-7: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 1.2 im Objekt 04 Kälberstall Grub .	56
Abbildung 7-8: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 1.3 im Objekt 04 Kälberstall Grub .	56
Abbildung 7-9: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 1.1 im Objekt 05 Bullenmast Schnotting .....	57
Abbildung 7-10: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 1.2 im Objekt 05 Bullenmast Schnotting .....	57
Abbildung 7-11: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 1.3 im Objekt 05 Bullenmast Schnotting .....	58
Abbildung 7-12: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 2.1 im Objekt 05 Bullenmast Schnotting .....	58
Abbildung 7-13: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 2.2 im Objekt 05 Bullenmast Schnotting .....	58
Abbildung 7-14: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 2.3 im Objekt 05 Bullenmast Schnotting .....	59
Abbildung 7-15: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 2.4 im Objekt 05 Bullenmast Schnotting .....	59
Abbildung 7-16: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 1.3 im Objekt 06 Schweinestall Kringell.....	60
Abbildung 7-17: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 2.4 im Objekt 06 Schweinestall Kringell.....	60
Abbildung 7-18: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 3.1 im Objekt 06 Schweinestall Kringell.....	61
Abbildung 7-19: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 3.2 im Objekt 06 Schweinestall Kringell.....	61
Abbildung 7-20: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 3.3 im Objekt 06 Schweinestall Kringell.....	62
Abbildung 7-21: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 3.4 im Objekt 06 Schweinestall Kringell.....	62
Abbildung 7-22: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 2.1 im Objekt 08 Kartoffellager Thalmassing.....	63

Abbildung 7-23: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 2.2 im Objekt 08 Kartoffellager Thalmassing.....	63
Abbildung 7-24: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 1.1 im Objekt 10 Hackschnitzzellager Langdorf .....	64
Abbildung 7-25: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 1.3 im Objekt 10 Hackschnitzzellager Langdorf .....	64
Abbildung 7-26: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 2.1 im Objekt 10 Hackschnitzzellager Langdorf .....	65
Abbildung 7-27: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 2.2 im Objekt 10 Hackschnitzzellager Langdorf .....	65
Abbildung 7-28: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 2.3 im Objekt 10 Hackschnitzzellager Langdorf .....	65
Abbildung 7-29: Punktwolke und Summenlinie der Messstelle 1.1 im Objekt 12 Milchviehstall Bad Aibling.....	66
Abbildung 8-1: Anordnung der Messstellen 3.1 und 3.2 im Objekt 01 Milchviehstall Grub.....	67
Abbildung 8-2: Unterkonstruktion der Bretterschalung (links) und horizontaler Schnitt der eingeschalteten Stütze (rechts) der Messstelle 3.1 (Maße in cm).....	68
Abbildung 8-3: Unterkonstruktion der Bretterschalung (links) und horizontaler Schnitt der eingeschalteten Stütze (rechts) der Messstelle 3.2 (Maße in cm).....	69
Abbildung 8-4: Anordnung der Ventilatoren und Liegeboxen mit unterschiedlicher Einstreu im Objekt 01 (Milchviehstall Grub) bzw. die stichprobenartig im Liegebereich gemessenen Holzfeuchten in % (*Z – Ventilator zugewandte Stützenseite; **A – Ventilator abgewandte Stützenseite).....	71
Abbildung 9-1: Schnitt und Grundriss eines Jungviehstalls mit Detailverortung und zugehöriger Legende.....	72
Abbildung 9-2: Wärmeproduktion und Wasserdampfabgabe einer Hochleistungskuh (10.000 kg Milch je Jahr) im ersten Laktationsdrittel (nach DIN 18910-1, Quelle: DLG Merkblatt 336) ....	73
Abbildung 9-3: Beispieldetail mit Legende – Stützenfuß mit allseitiger Einschalung .....	75

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Auszug aus der DIN 68800-1:2011-10 (Tabelle 1 - Gebrauchsklassen (GK)).....	8
Tabelle 2-2: Natürliche Dauerhaftigkeit ausgewählter Nadelholzarten nach DIN EN 350:2016 .....	10
<i>Tabelle 2-3: Gebrauchsklassen, in denen ausgewählte Holzarten ohne zusätzliche Holzschutzmaßnahmen verwendet werden dürfen</i> .....	10
Tabelle 3-1: Auszug aus der DIN 68800-1:2011-10 (Tabelle B.1 - Fasersättigungsfeuchte gebräuchlicher einheimischer Bauholzarten).....	14
Tabelle 3-2: Zu erwartende Holzfeuchten in Nutzungsklassen nach DIN EN 1995-1-1/NA:2010-12 .....	20
Tabelle 4-1: Übersicht der ausgewählten landwirtschaftlichen Nutzgebäude .....	22
Tabelle 6-1: Ausgewertete Größe einer beispielhaften Messstelle.....	41
Tabelle 6-2: Ausgewertete Größen über den gemessenen Zeitraum für alle Objekte der Nutzung Rinderstall.....	43
Tabelle 6-3: Ausgewertete Größen über den gemessenen Zeitraum für das Objekt des Bullenstalls .....	44
Tabelle 6-4: Ausgewertete Größen über den gemessenen Zeitraum für das Objekt des Schweinestalls.....	45
Tabelle 6-5: Ausgewertete Größen über den gemessenen Zeitraum für das Objekt der Geflügelhallen .....	47
Tabelle 6-6: Ausgewertete Größen über den gemessenen Zeitraum für das Objekt der Mineraldüngerhalle .....	47
Tabelle 6-7: Ausgewertete Größen über den gemessenen Zeitraum für das Objekt der Kartoffellagerhalle.....	48
Tabelle 6-8: Ausgewertete Größen über den gemessenen Zeitraum für das Objekt der Hautrocknungshalle.....	49
Tabelle 6-9: Ausgewertete Größe über den gemessenen Zeitraum für das Objekt der Hackschnitzellagerhalle .....	49
Tabelle 8-1: Ausgewertete Holzfeuchten über den ausgewählten Zeitraum für die Messstellen 3.1 und 3.2 des Objekts 01 .....	69



## Anhang 1

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	A-2
Objekt 01: Milchviehstall Grub.....	A-3
Objekt 02: Milchviehstall Roßhaupten .....	A-13
Objekt 03: Milchviehstall Raubling.....	A-27
Objekt 04: Kälberstall Grub .....	A-41
Objekt 05: Bullenmaststall Schnotting.....	A-49
Objekt 06: Schweinstall Kringell .....	A-63
Objekt 07: Mineraldüngerhalle Möschenfeld .....	A-87
Objekt 08: Kartoffellagerhalle Thalmassing .....	A-101
Objekt 09: Heutrocknung Waltenhofen .....	A-115
Objekt 10: Hackschnitzelhalle Langdorf.....	A-127
Objekt 11: Geflügelhalle Söhl .....	A-141
Objekt 12: Milchviehstall Bad Aibling .....	A-159

## Objekt 01: Milchviehstall Grub

Anschrift:	Institut für Landtechnik und Tierhaltung Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft Prof.-Dürrwaechter-Platz 2 85586 Poing-Grub
Ansprechpartner:	Jochen Simon (vor Ort)
Anwesende vor Ort:	Andreas Gamper, Yuan Jiang, Philipp Dietsch, Maximilian Ernst, Michael Geyer, Jochen Simon (Auswahl, Besichtigung am 01.10.2014)
Installationsdatum:	26.11.2014, 07:00 – 17:00
Umgebungsbedingungen:	Kaltstall einseitig offen, mit Windschutzsystem an der offenen Traufseite, offener First, Bretterschalung an Giebel und Traufseiten winddurchlässig
Tragsystem:	Kombination aus Hänge- und Sprengwerk, Tragwerk aus KVH mit doppelten Sprengstreben

### Messsystem 1:

Messstelle 1.1:	Mitte Stütze bühnenseitig	(15, 25 mm)
Messstelle 1.2:	Diagonale bühnenseitig	(15, 25 mm)
Messstelle 1.3:	Stützenfuß bühnenseitig im Liegebereich	(15, 25, 40, 70 mm)

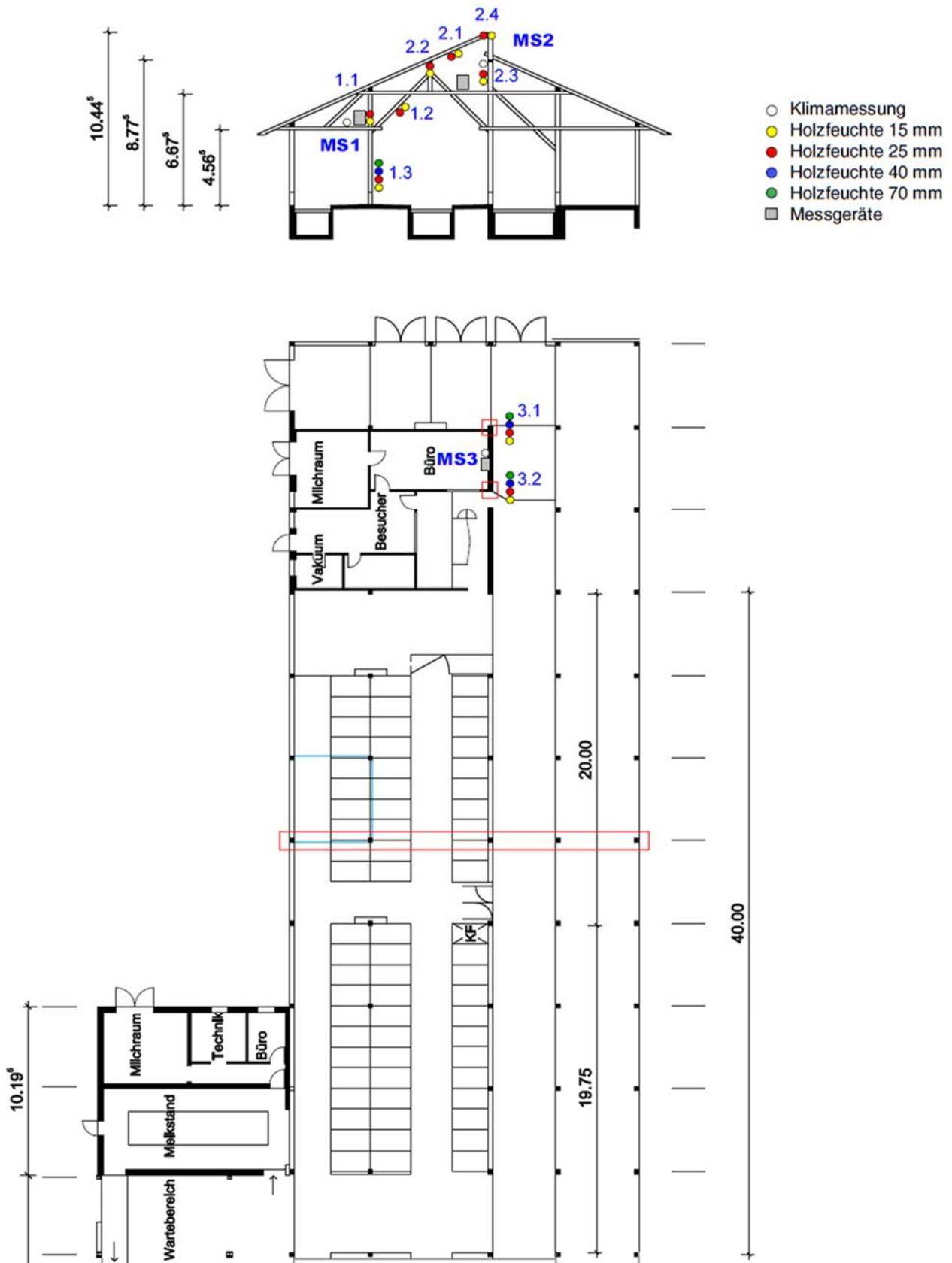
### Messsystem 2:

Messstelle 2.1:	Sparren an der oberen Dachfläche	(15, 25 mm)
Messstelle 2.2:	Stütze, mit der sich die Mittelpfette der oberen Dachfläche auf der Querstrebe (Zange) abstützt	(15, 25 mm)
Messstelle 2.3:	Stütze unter der Firstpfette der unteren Dachfläche	(15, 25 mm)
Messstelle 2.4:	Firstpfette der oberen Dachfläche	(15, 25 mm)

### Messsystem 3:

Messstelle 3.1:	Stütze auf der linken Seite vom Büro	(15, 25, 40, 70 mm)
Messstelle 3.2:	Stütze zwischen Melkkammer und Büro	(15, 25, 40, 70 mm)

Skizze:



Bilder:



Abbildung 1: Gesamtansicht des Stalls



Abbildung 2: Anordnung der Messstellen des Messsystems 1

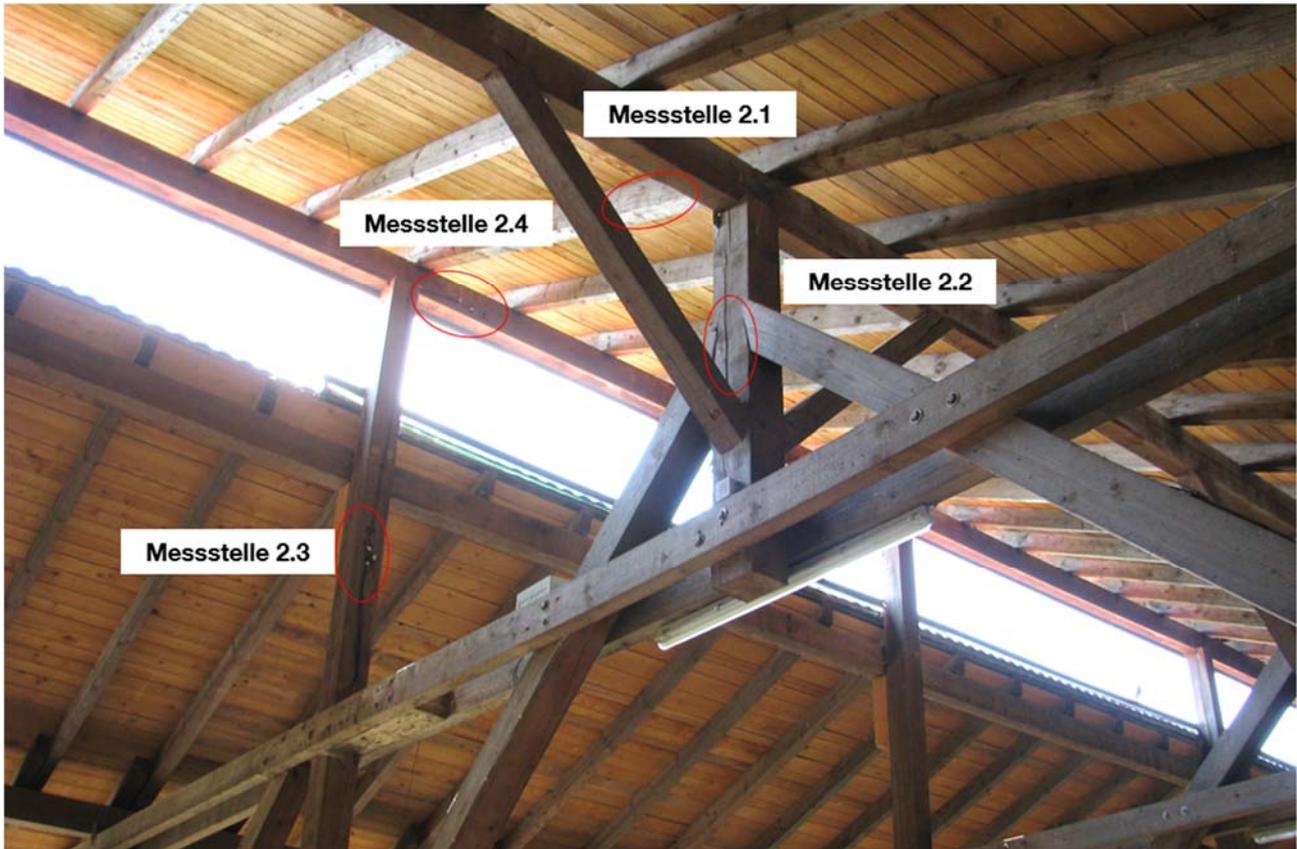
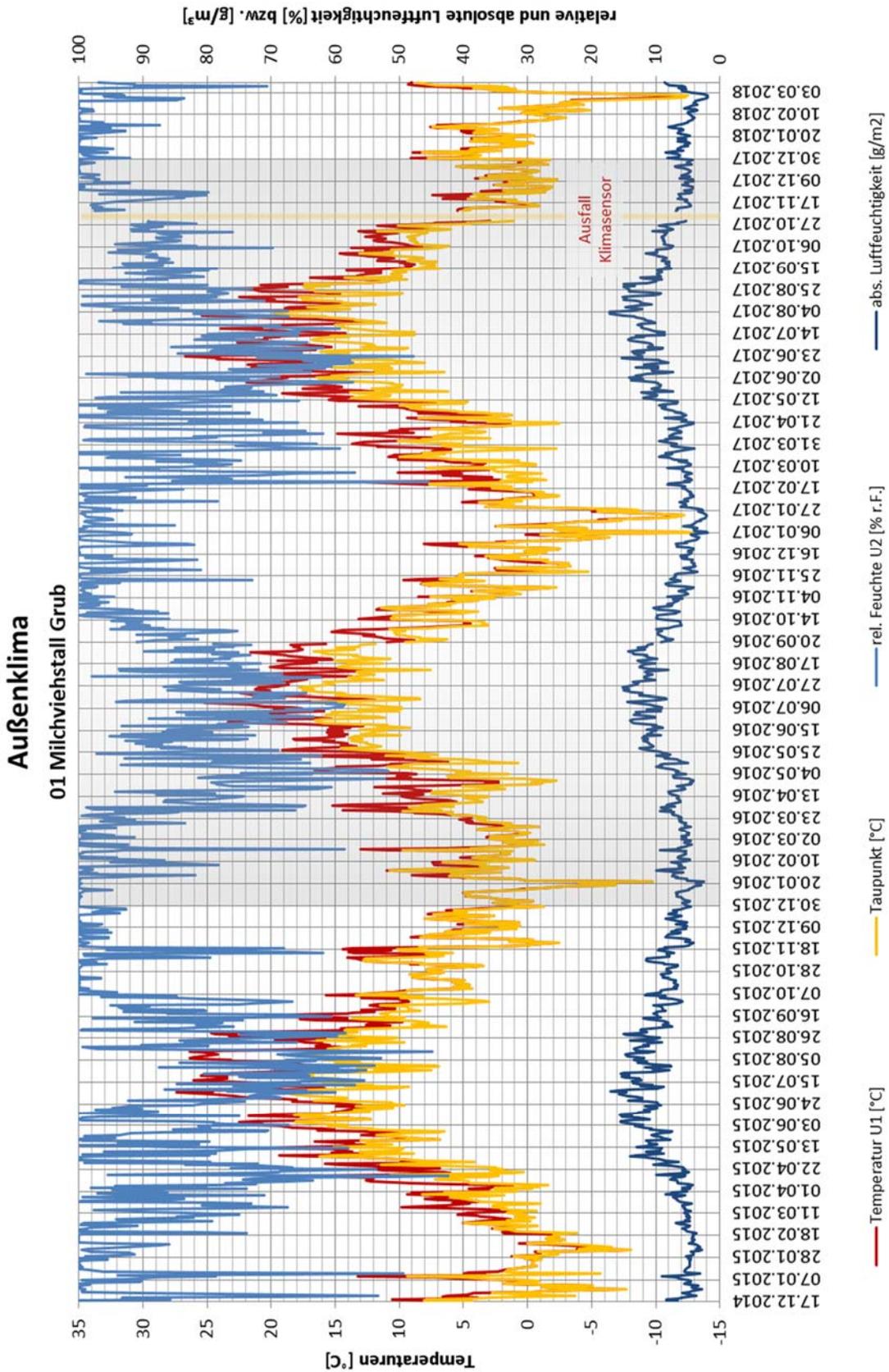


Abbildung 3: Anordnung der Messstellen des Messsystems 2 (Dachkonstruktion)

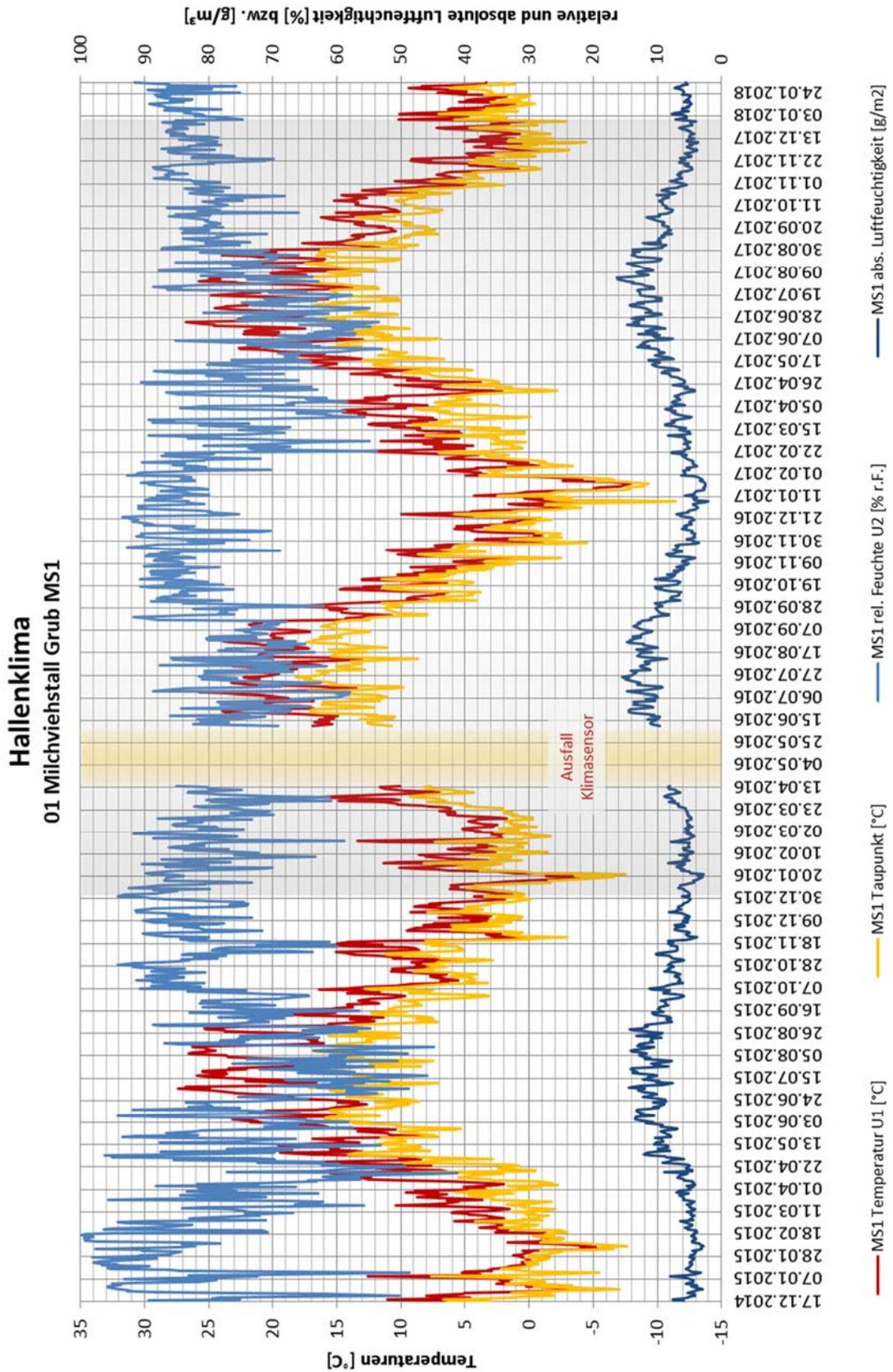


Abbildung 4: Anordnung der Messstellen des Messsystems 3 (Melkkammer)

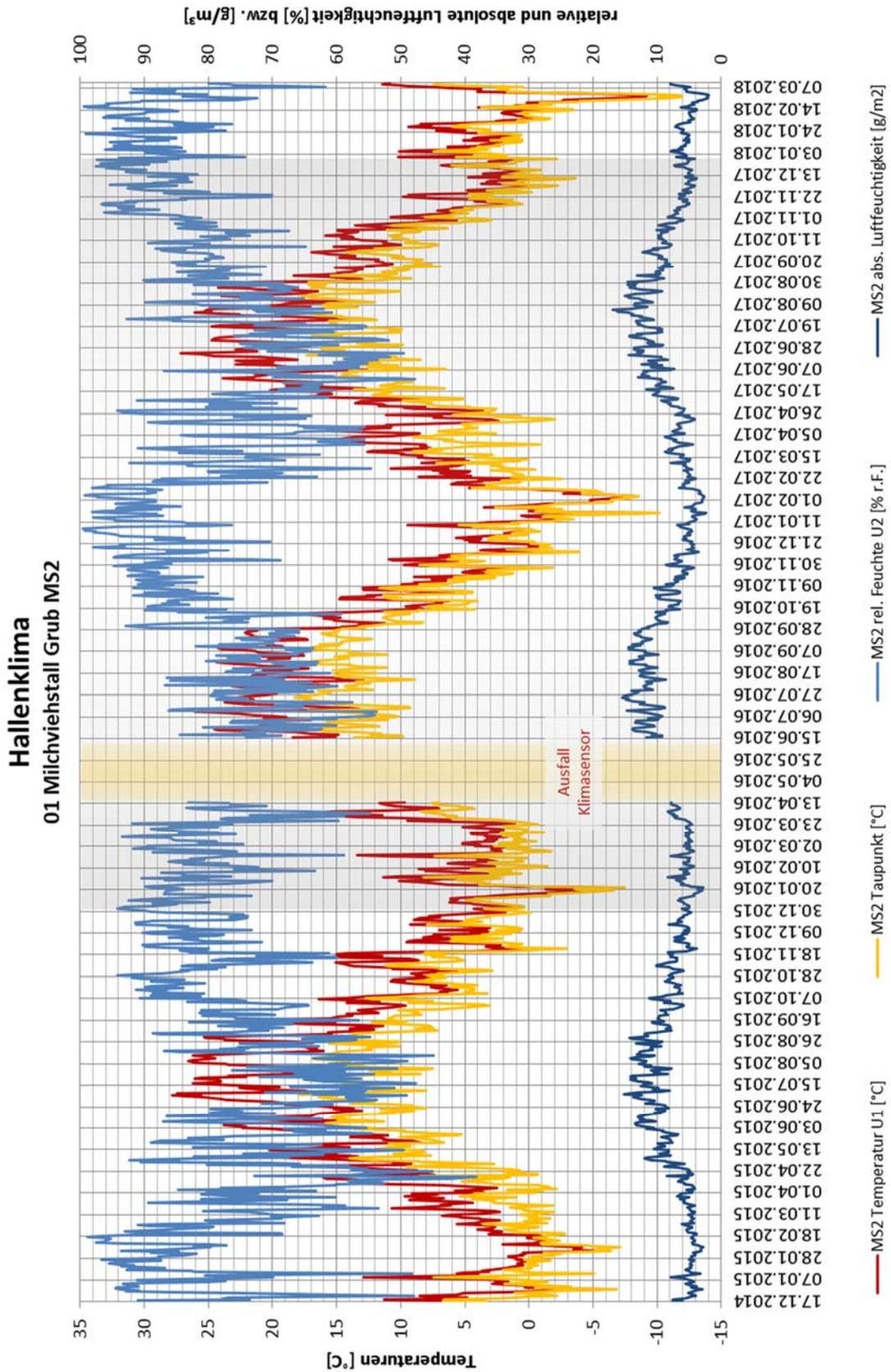
## Außenklima



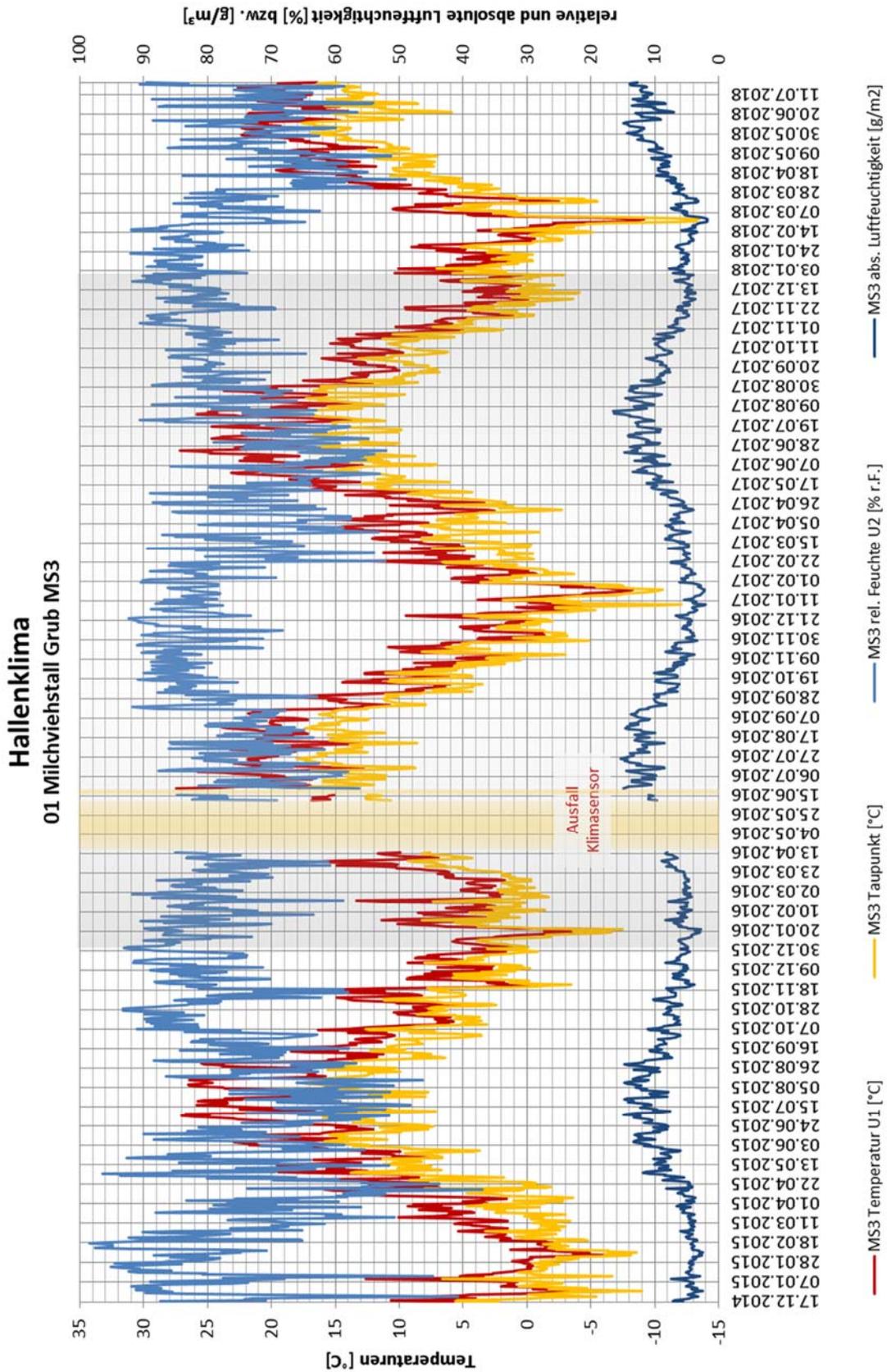
### Messsystem 1



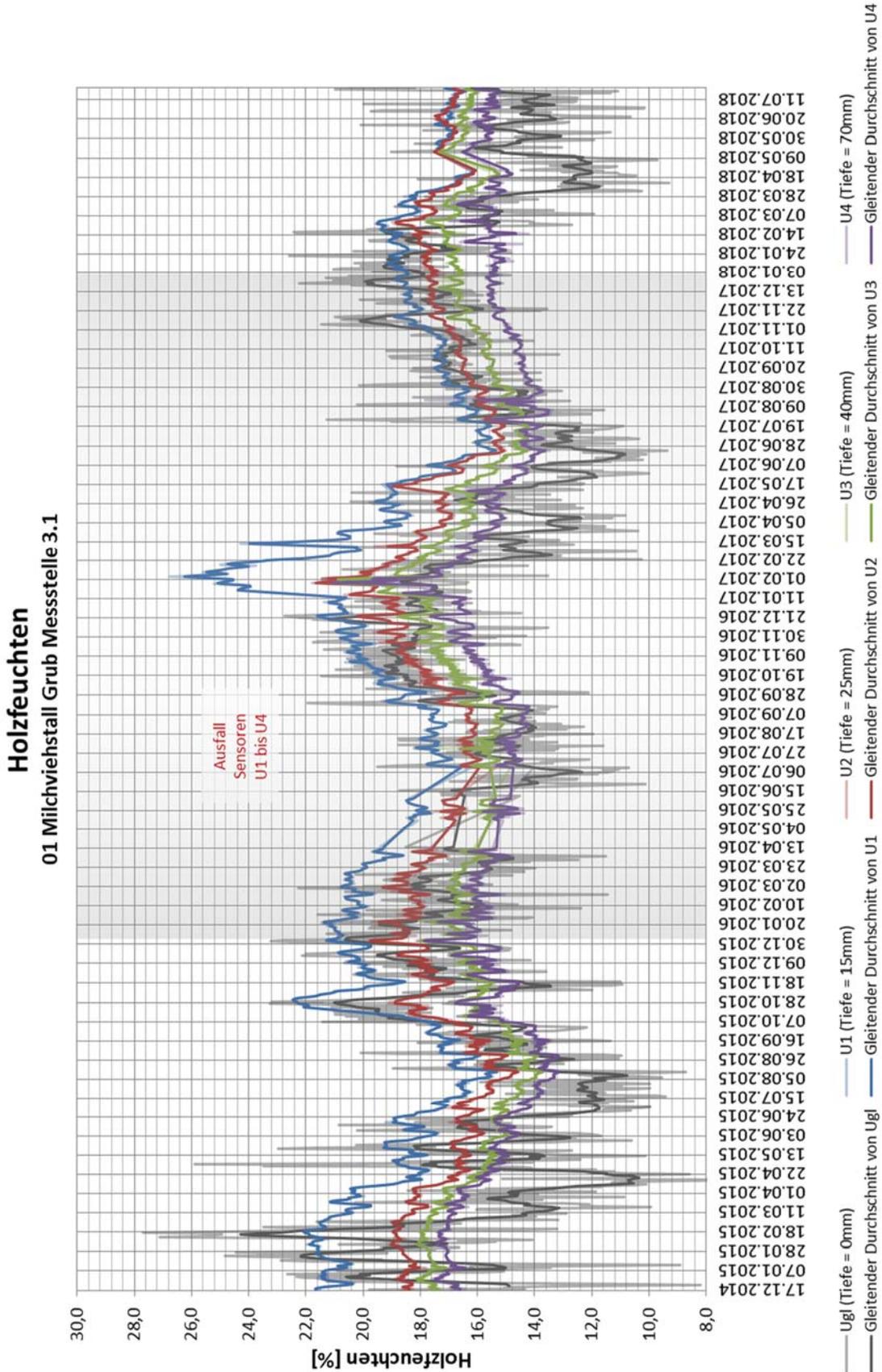
## Messsystem 2



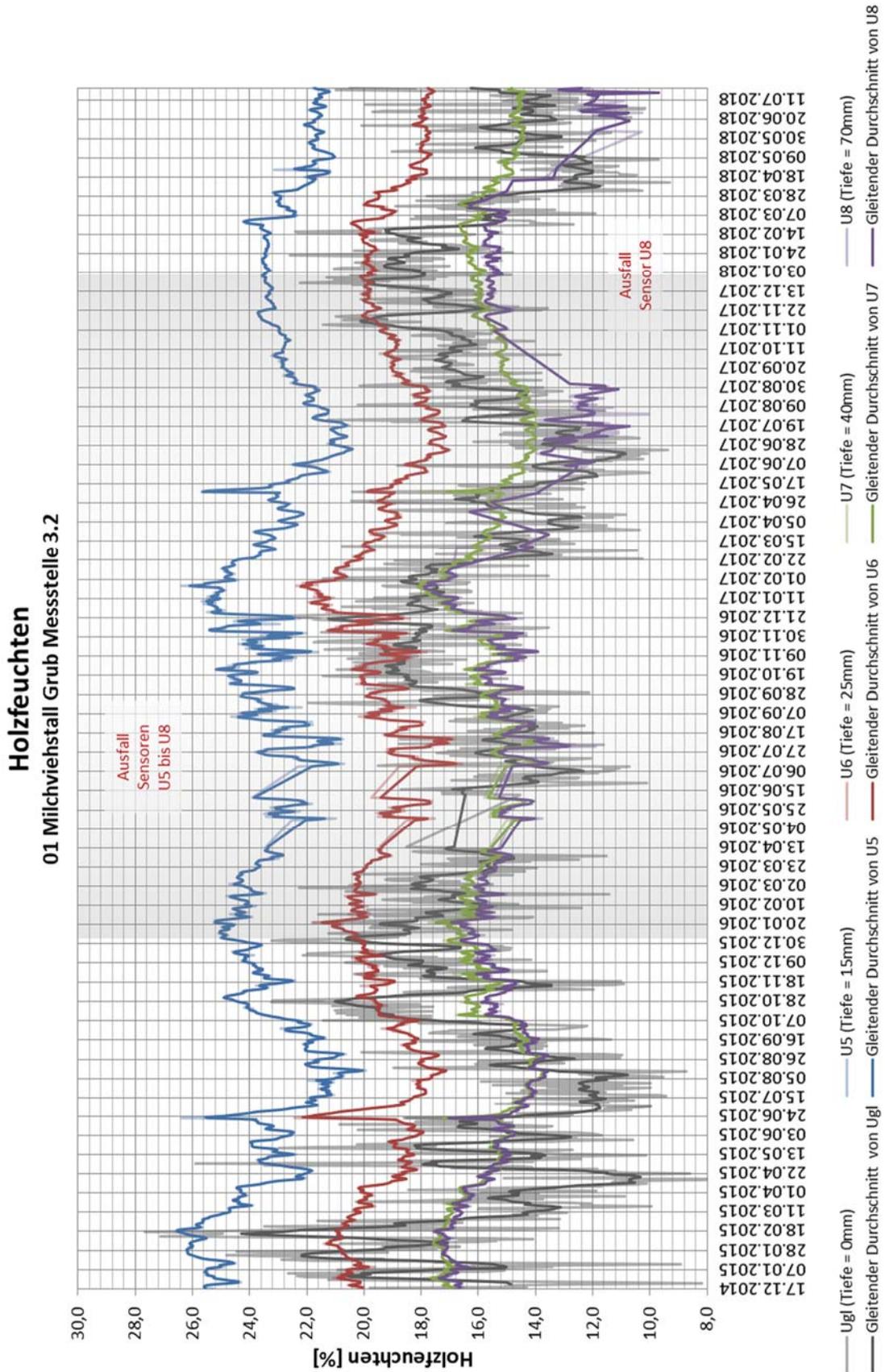
### Messsystem 3



Messstelle 3.1



Messstelle 3.2



## Objekt 02: Milchviehstall Roßhaupten

Anschrift:	Betrieb Florian Greis Fischhaus 5 87672 Roßhaupten
Ansprechpartner:	Florian Greis (vor Ort)
Anwesende vor Ort:	Andreas Gamper, Yuan Jiang, Sebastian Rodemeier
Installationsdatum:	08.07.2015, 07:00 – 18:00
Umgebungsbedingungen:	Einseitig offene Halle, Wände an geschlossener Seite konstruktiv gedämmt, Lichtband mit Öffnungen zur Belüftung
Tragsystem:	Rahmenkonstruktion mit BSH-Trägern, 2-fach unterstützt durch KVH-Stützen

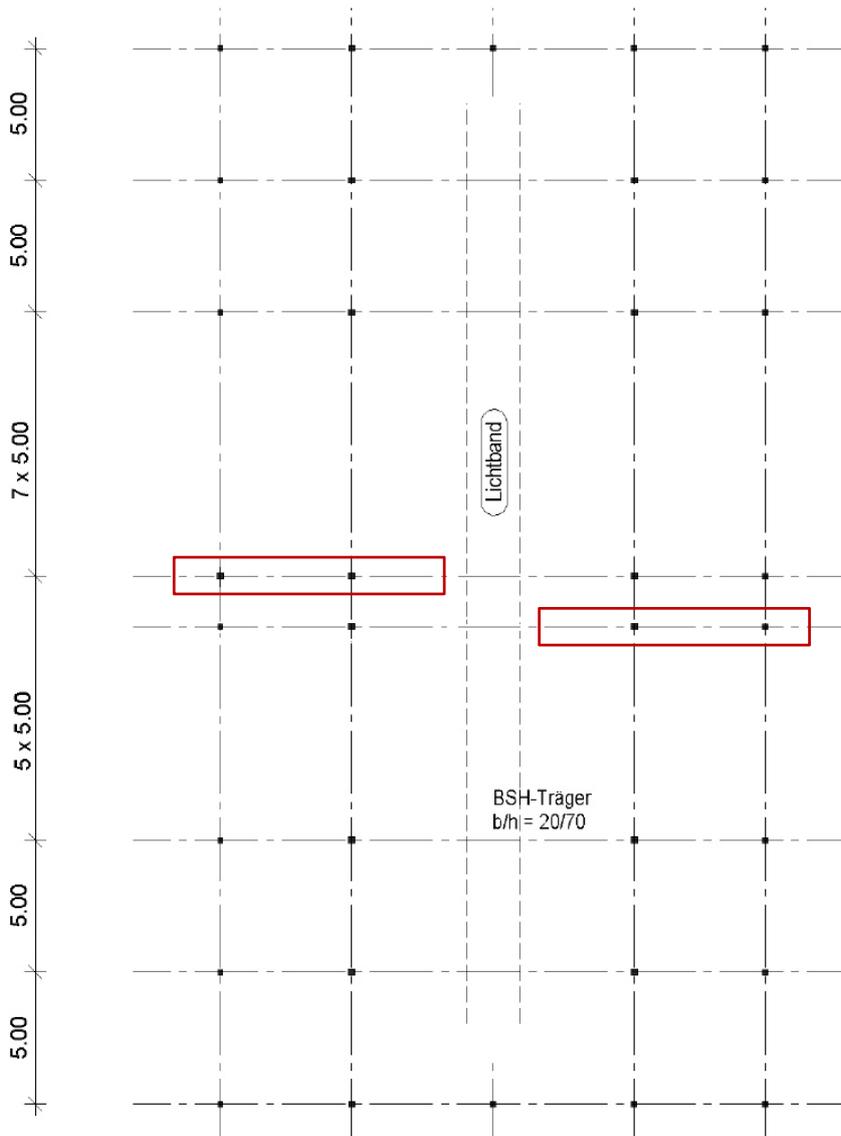
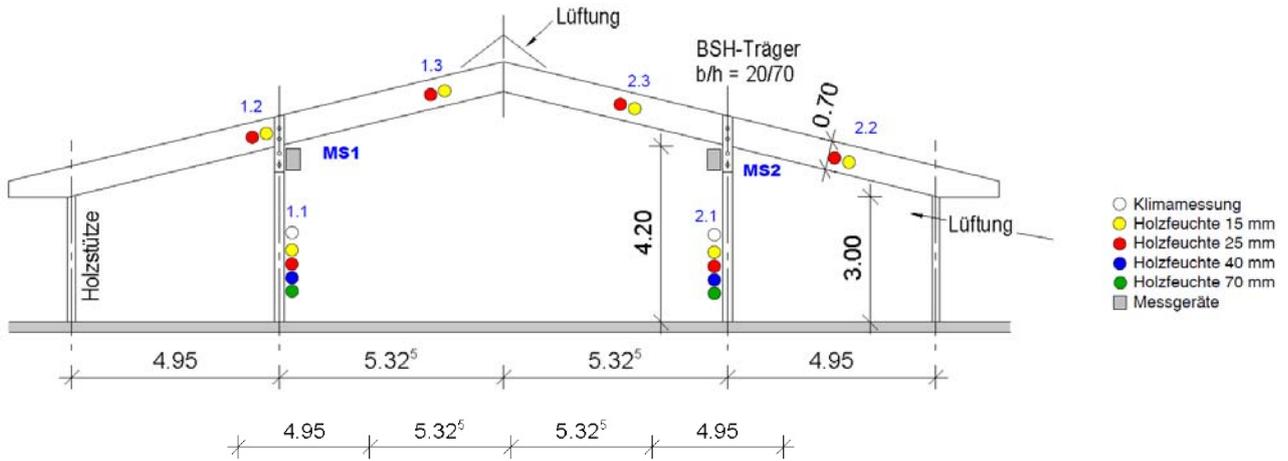
### Messsystem 1:

Messstelle 1.1:	Stütze zwischen Futtertisch und Laufflächen	(15, 25, 40, 70 mm)
Messstelle 1.2:	Mitte Träger über Laufflächen	(15, 25 mm)
Messstelle 1.3:	Träger Richtung Hallenmitte	(15, 25 mm)

### Messsystem 2:

Messstelle 2.1:	Stützenfuß im Liegebereich	(15, 25, 40, 70 mm)
Messstelle 2.2:	Träger Richtung Hallenaußenseite	(15, 25 mm)
Messstelle 2.3:	Träger Richtung Hallenmitte	(15, 25 mm)

Skizze:



Bilder:



Abbildung 5: Gesamtansicht des Stalls

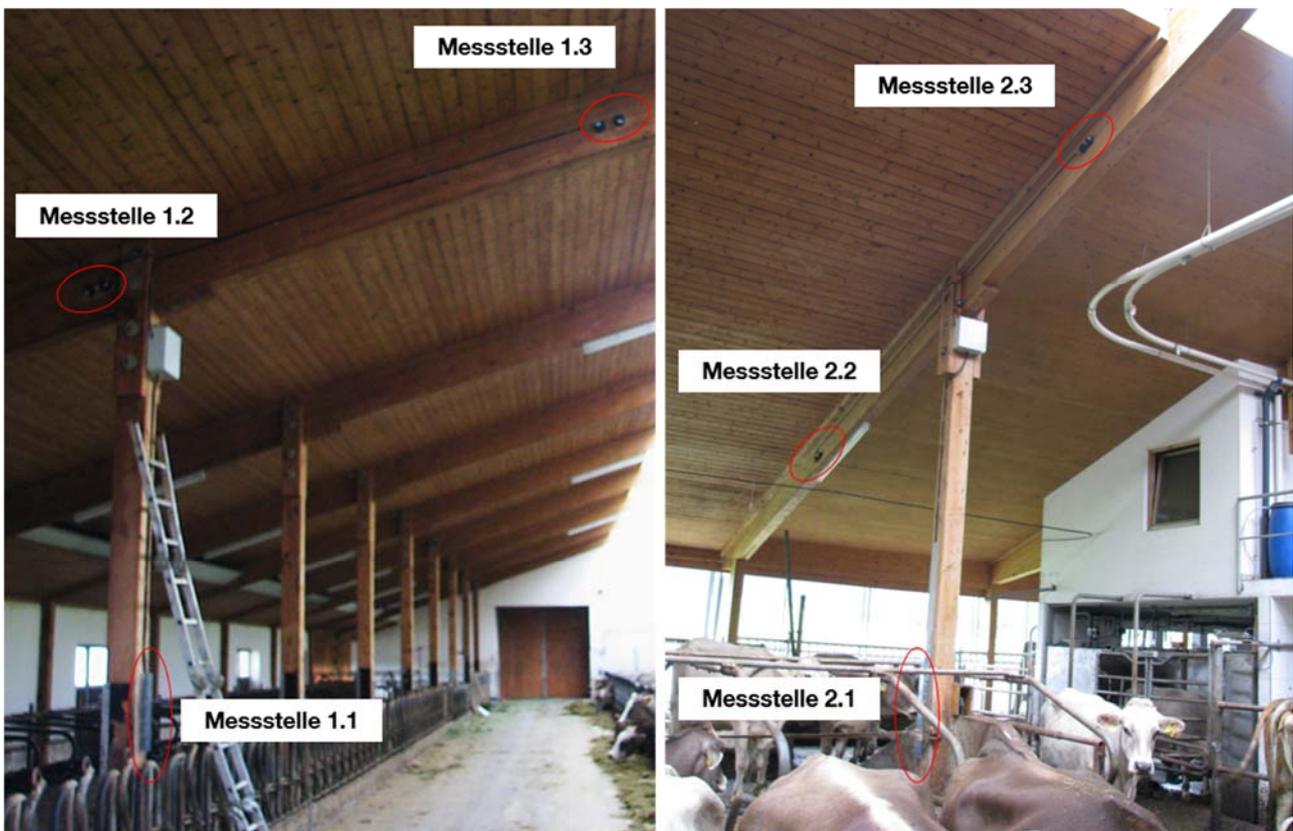
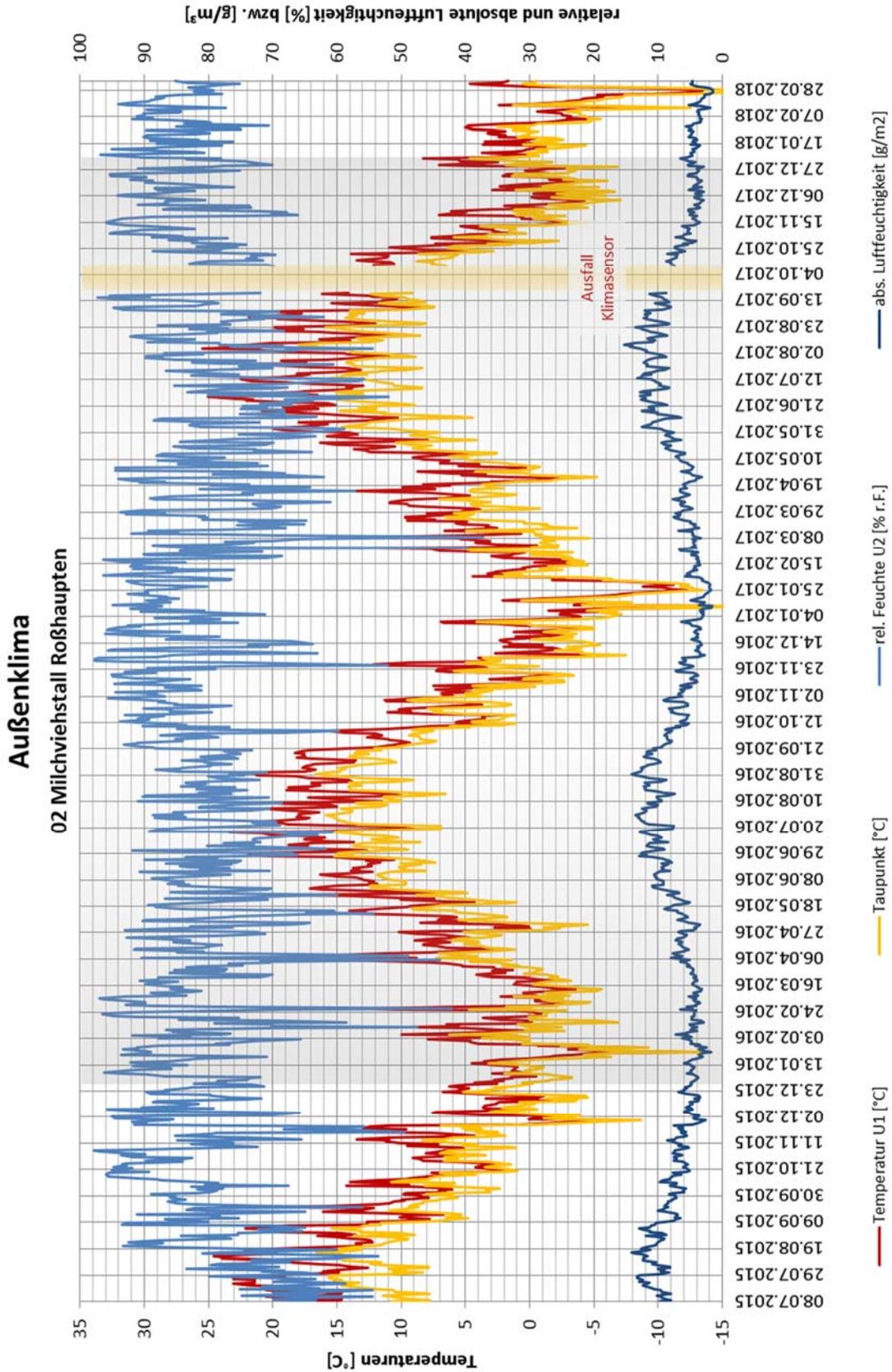


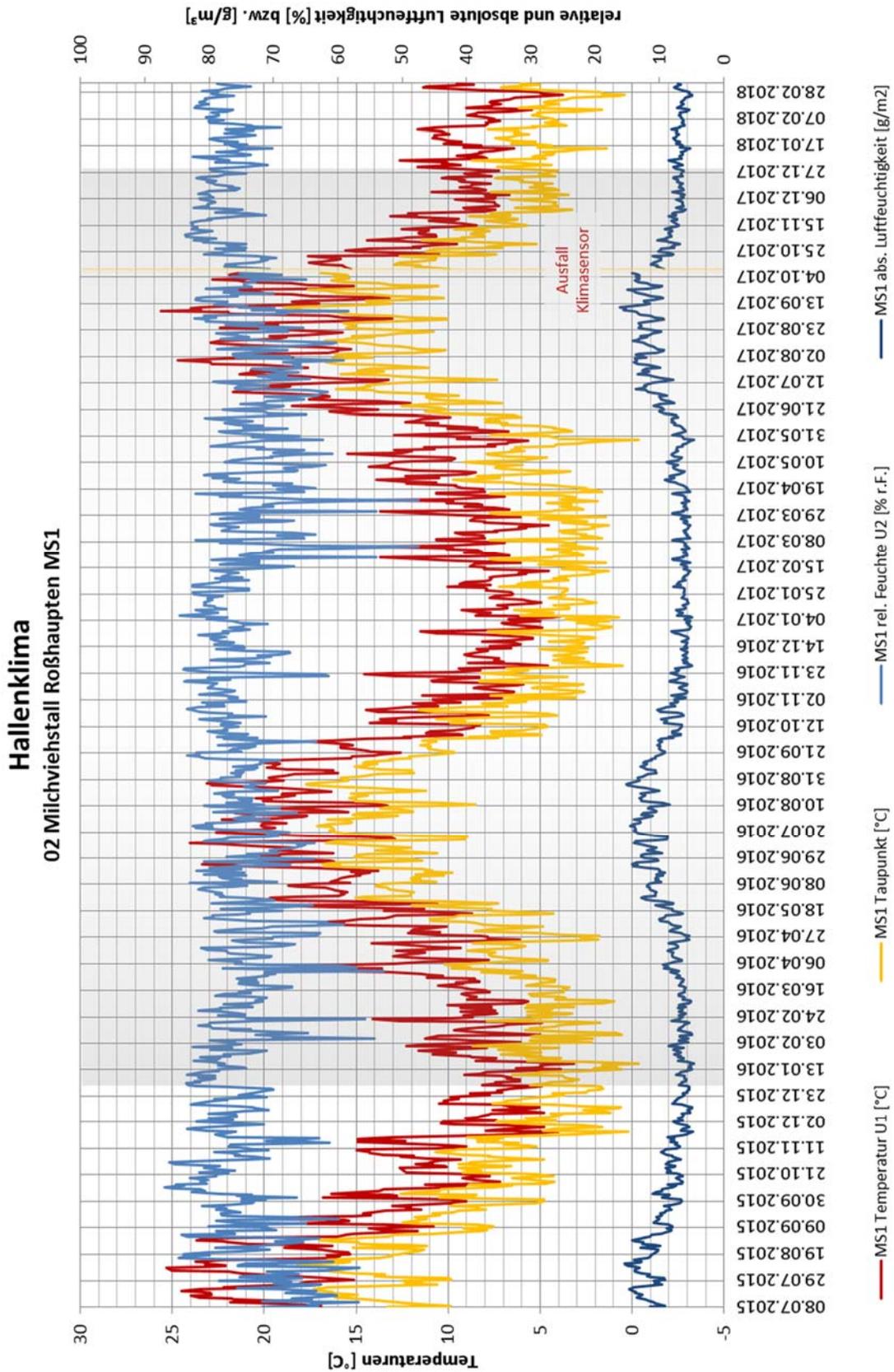
Abbildung 6: Anordnung der Messstellen der Messsysteme 1 (links) und 2 (rechts)



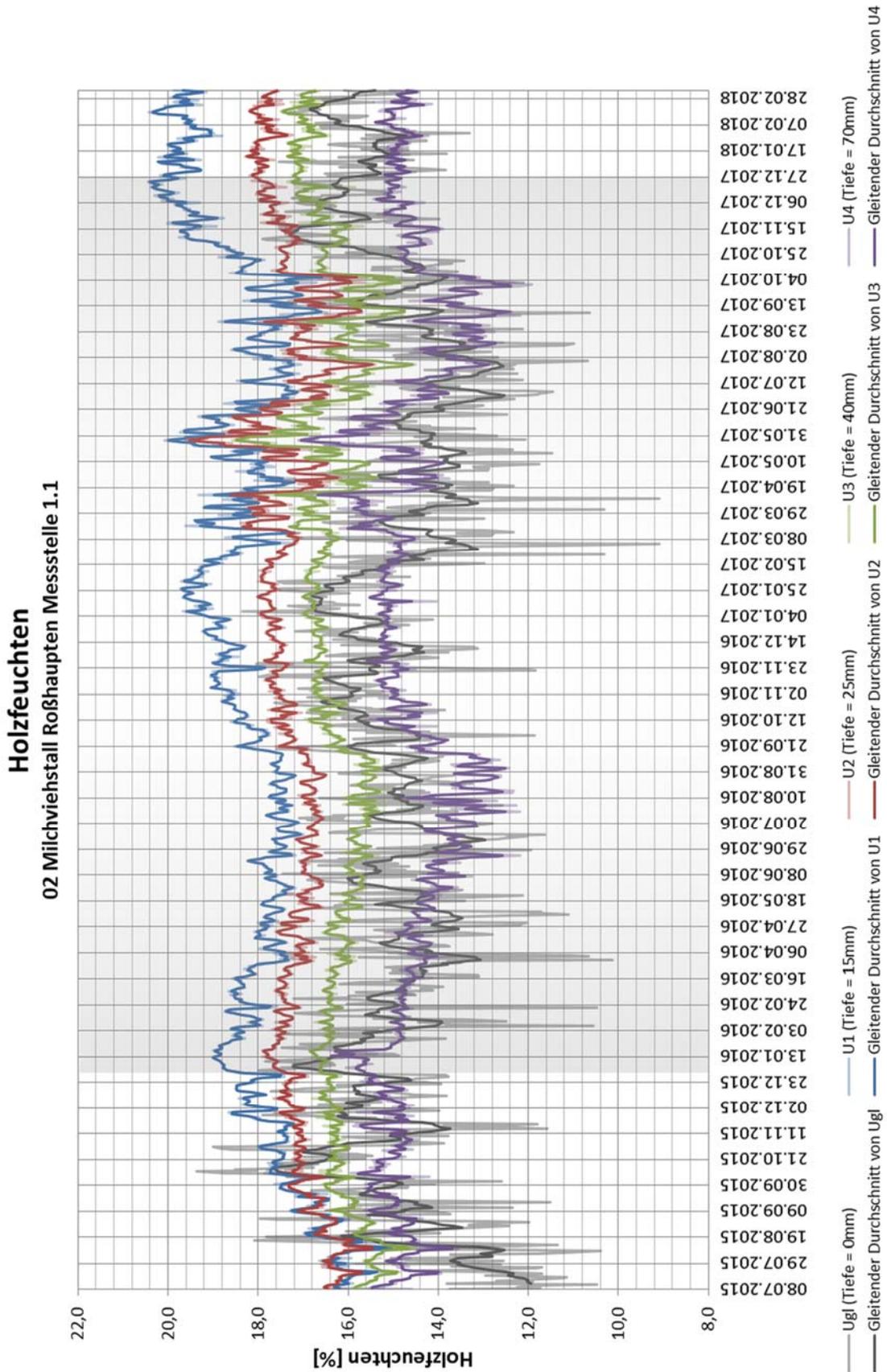
## Außenklima



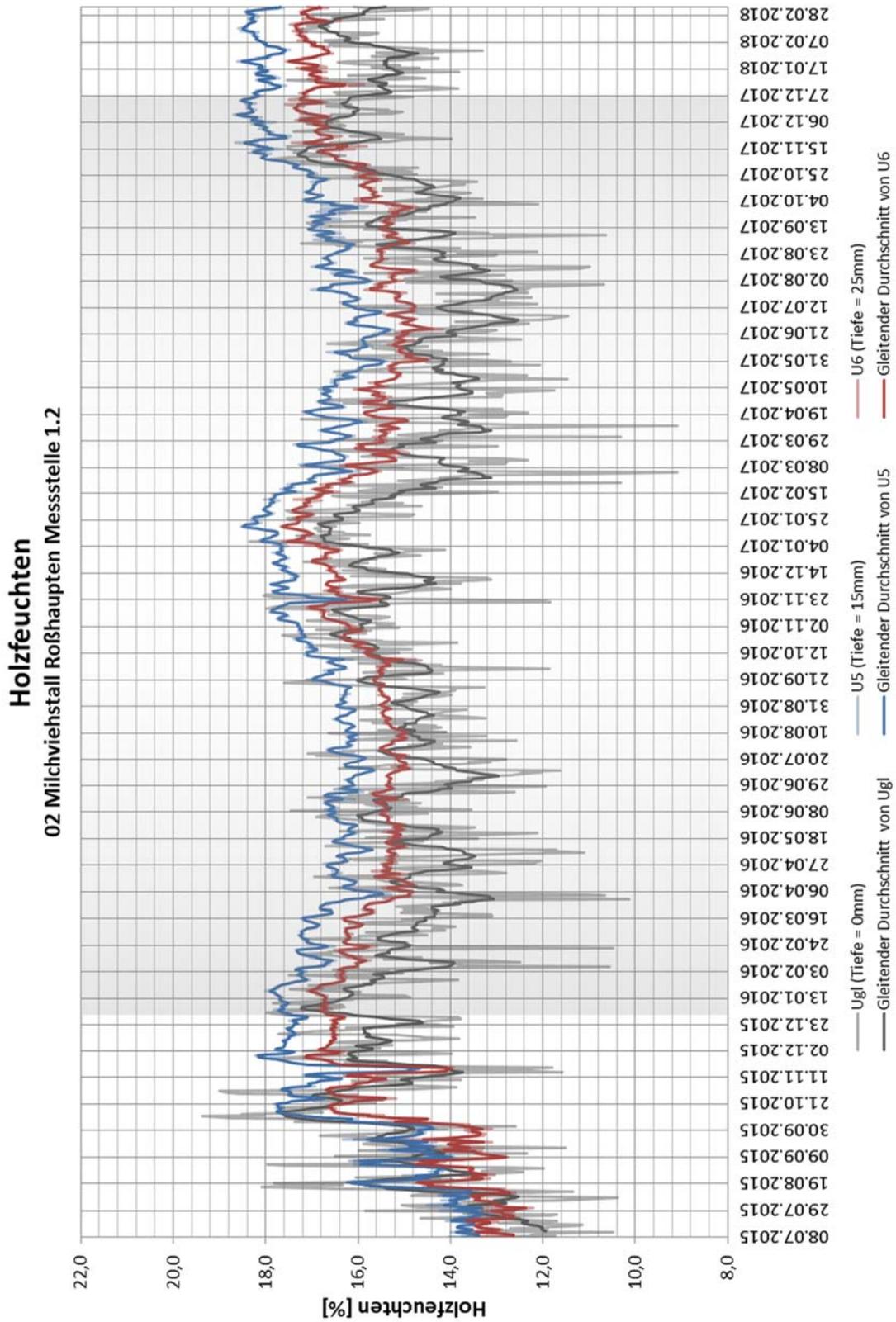
### Messsystem 1



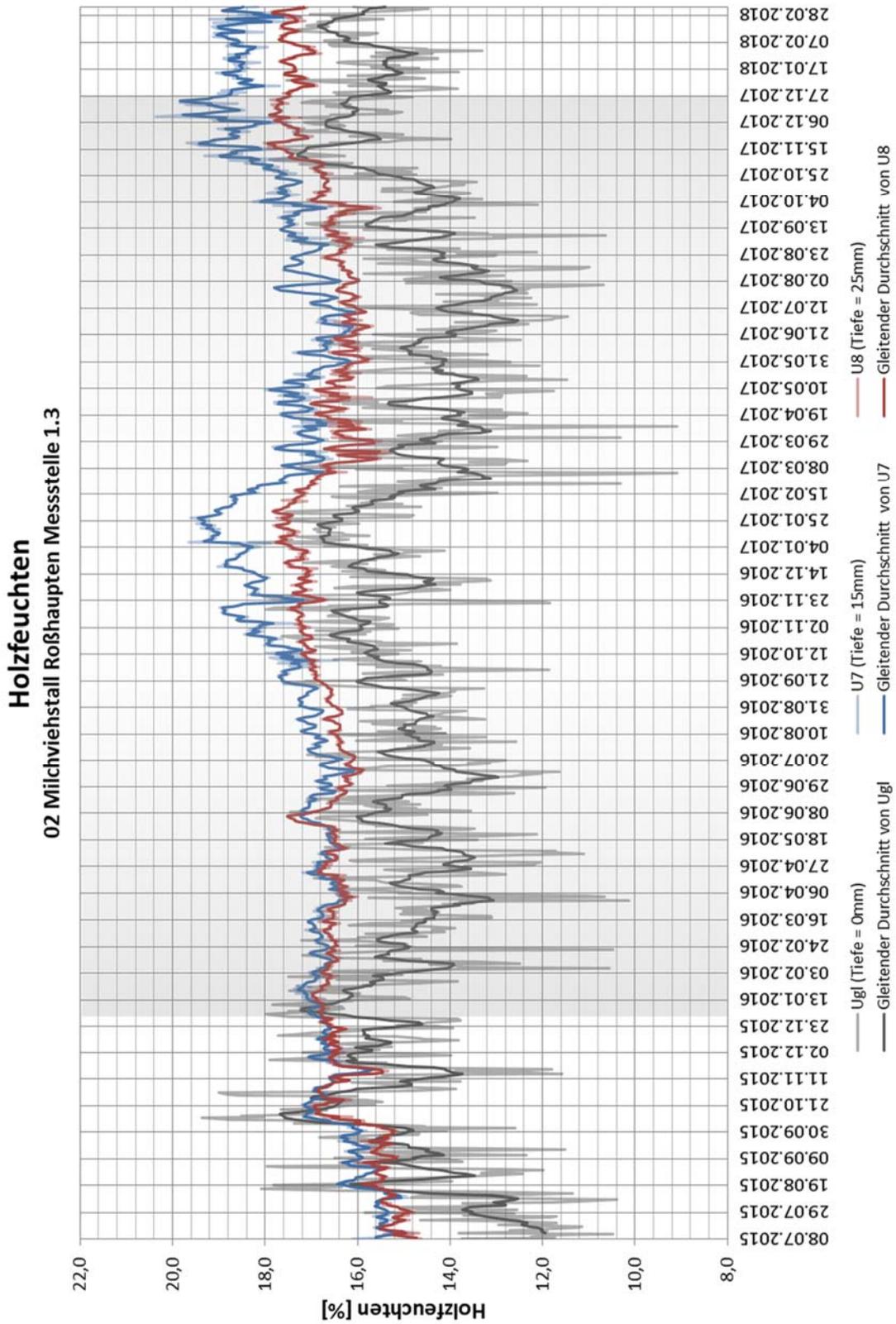
Messstelle 1.1



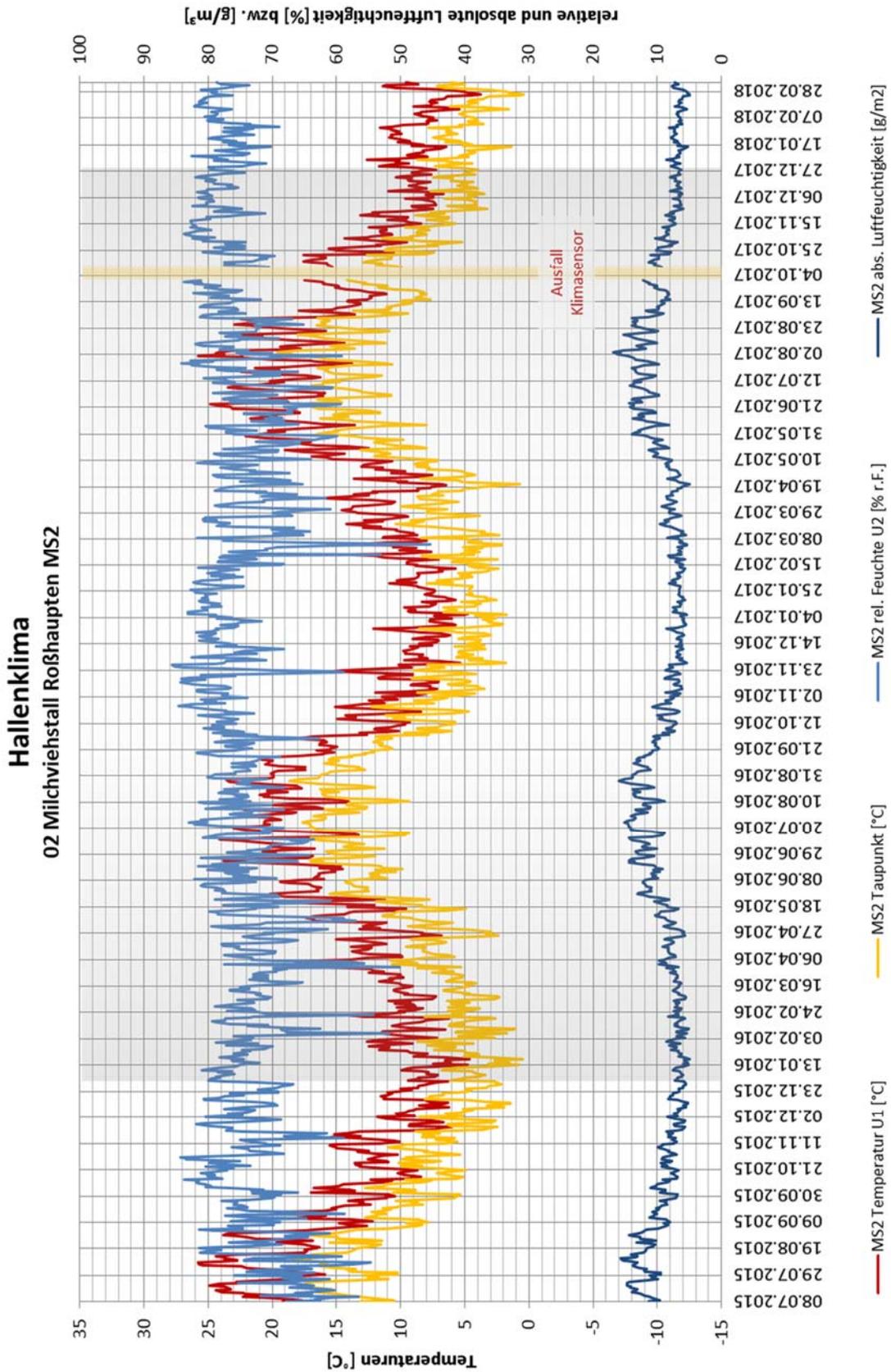
Messstelle 1.2



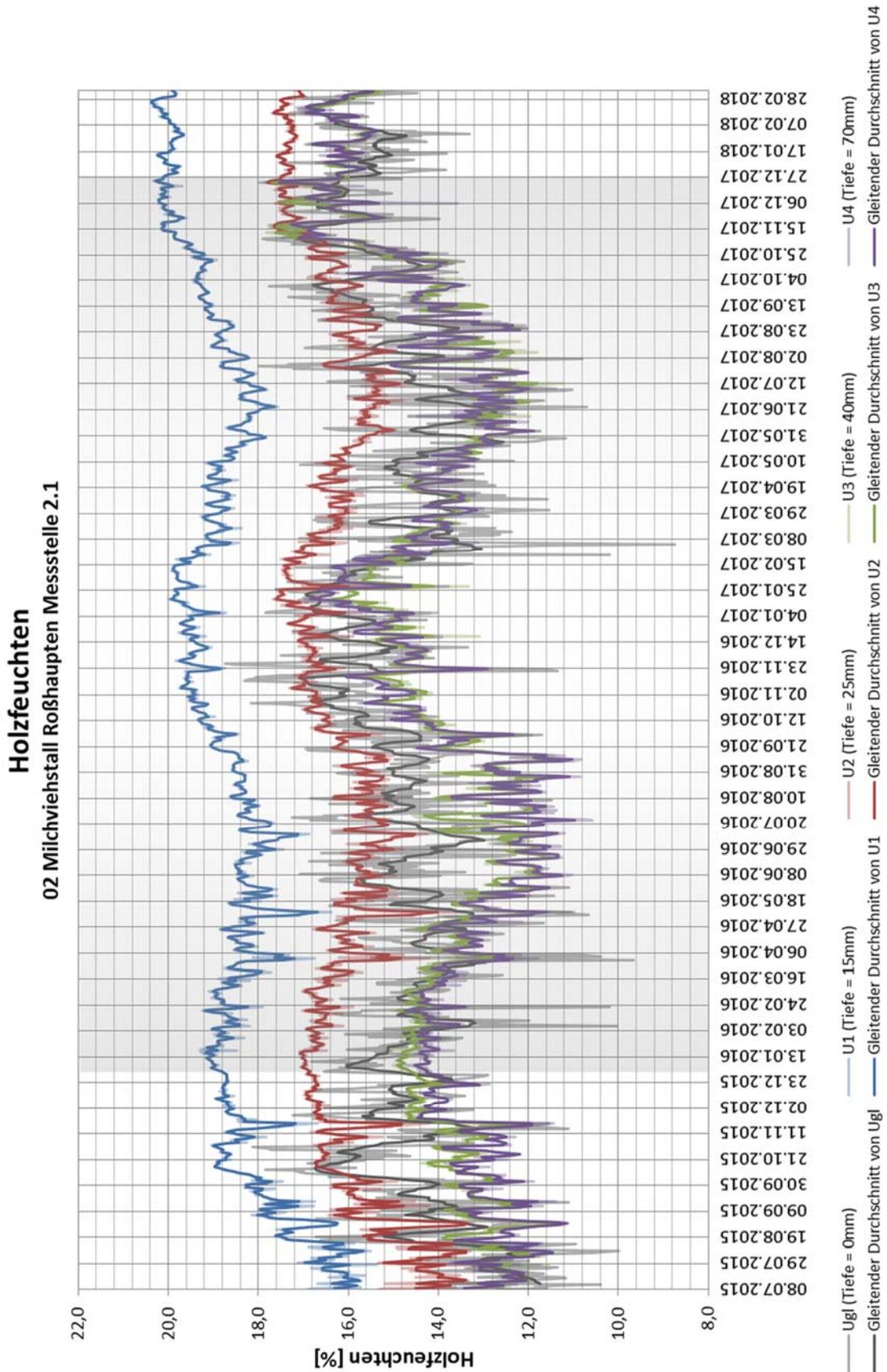
Messstelle 1.3



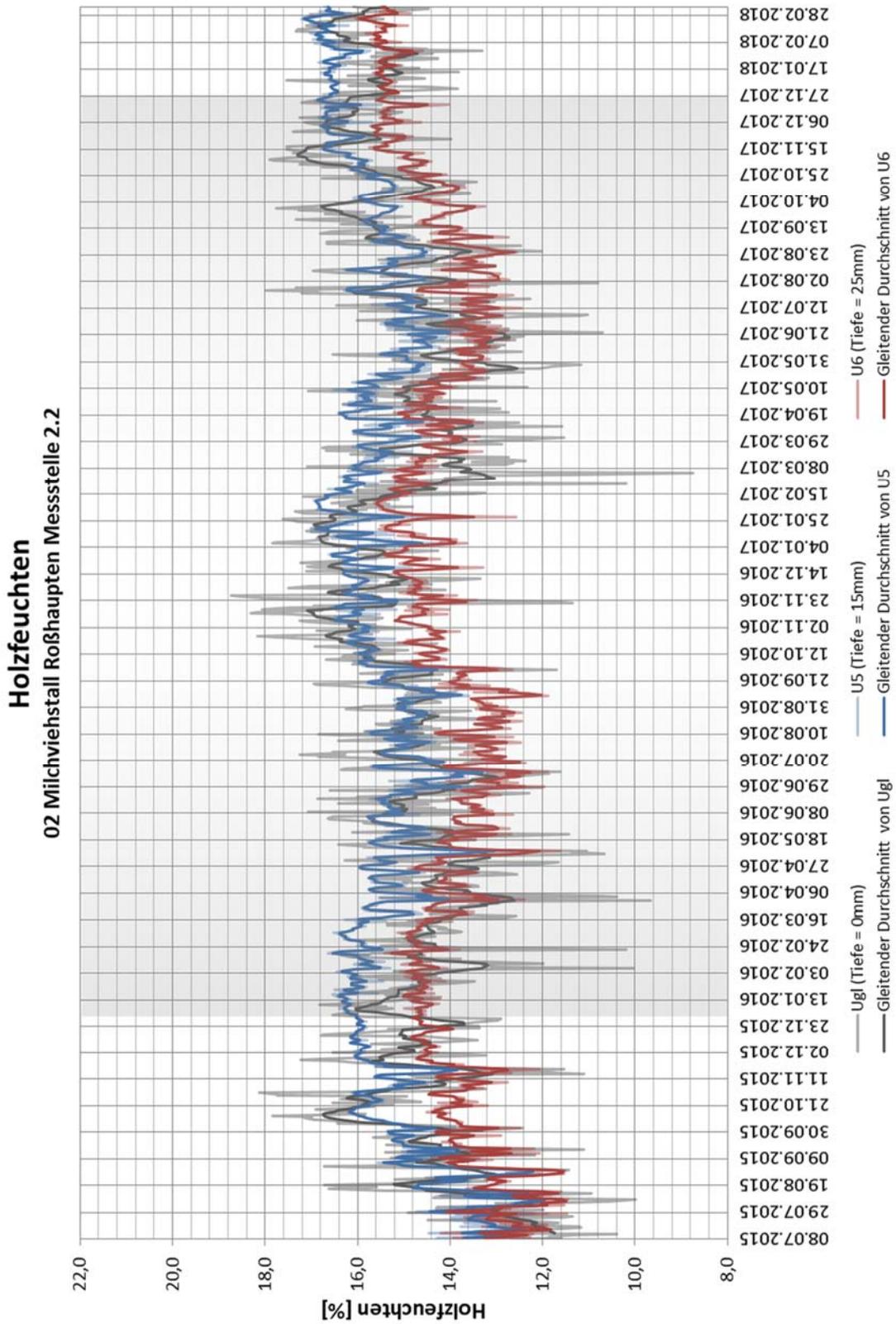
## Messsystem 2



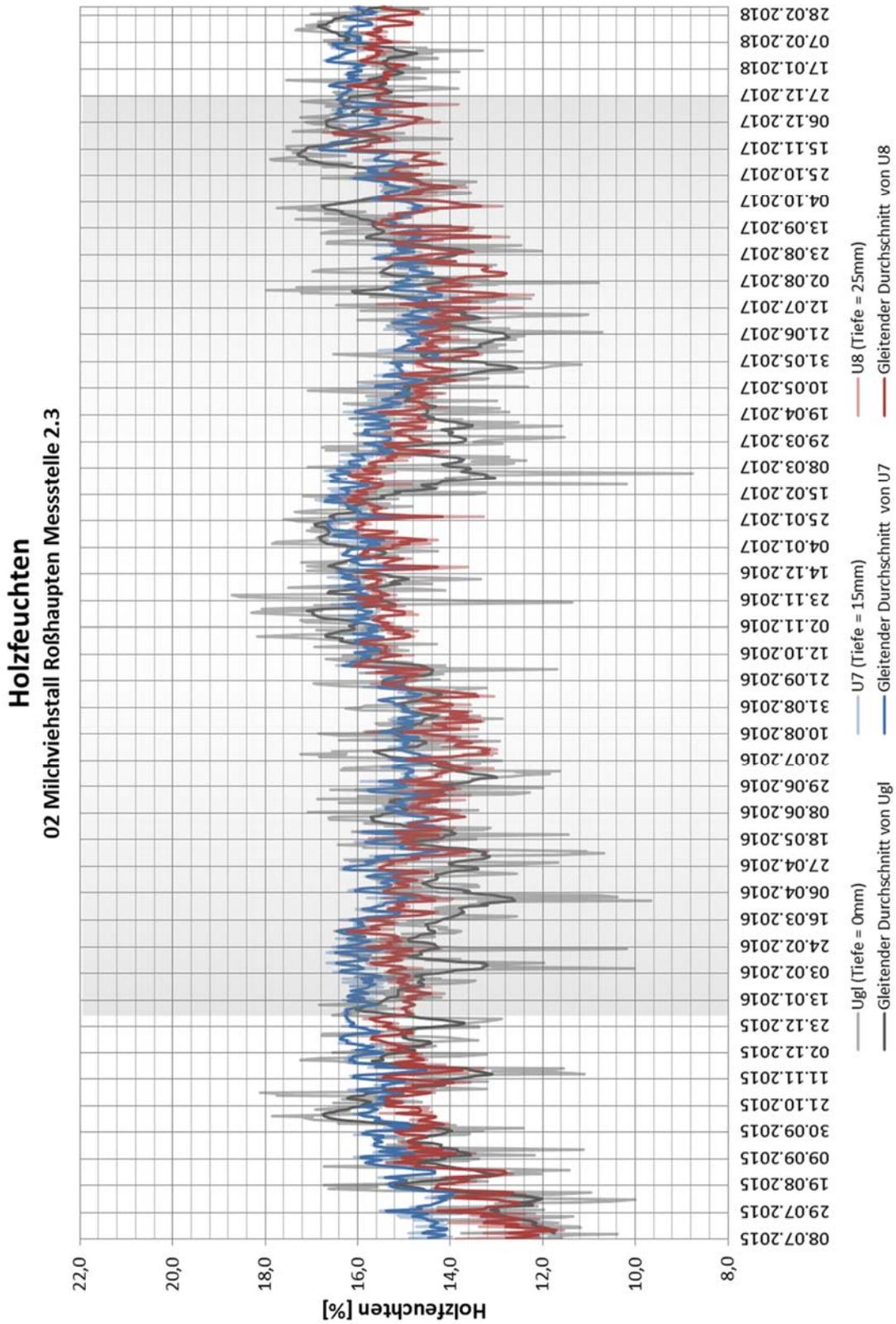
Messstelle 2.1



Messstelle 2.2



### Messstelle 2.3

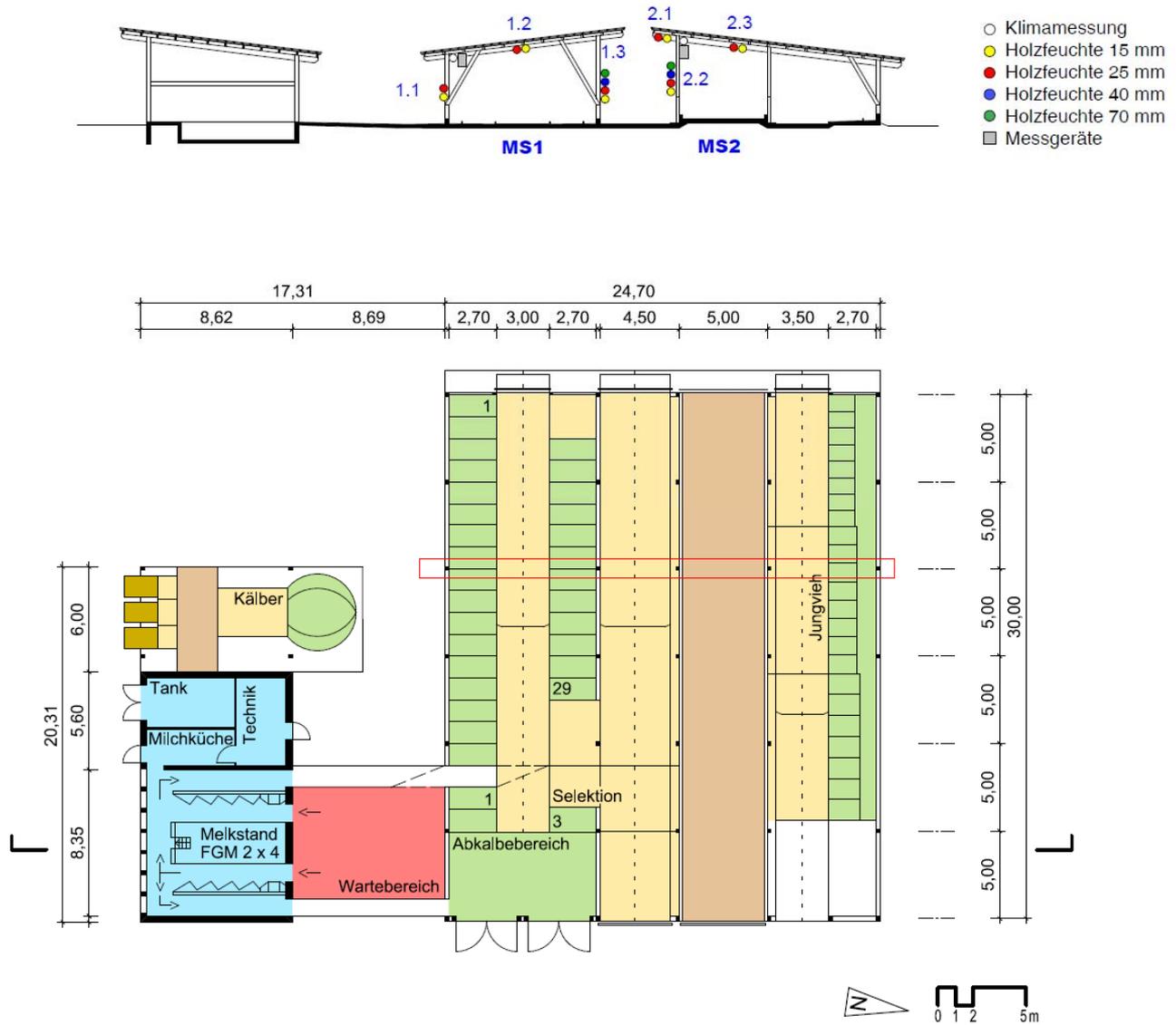




## Objekt 03: Milchviehstall Raubling

Anschrift:	Betrieb Kronast Mitterfeldweg 25a 83064 Raubling
Ansprechpartner:	Georg Kronast (vor Ort)
Anwesende vor Ort:	Andreas Gamper, Maximilian Ernst Jochen Simon (Auswahl, Besichtigung am 09.01.2015) Christine Biermanski, Peter Stötzel (Dokumentation)
Installationsdatum:	12.02.2015, 09:00 – 15:00
Umgebungsbedingungen:	Freilaufstall mit ca. 30 Stück Milchvieh und ca. 20 Stück Jungvieh, offener First, offene Traufseiten mit Curtains, geschlossene Giebelseiten mit Bretterschalung, große Tore; Dachaufbau mit Bretterschalung und Blecheindeckung.
Tragsystem:	Haupttragsystem als Zweigelenk-Rahmen bzw. einhüftiger Rahmen - mit Verbandsstreben in Längs- bzw. Querrichtung ausgeführt, Träger zweiteilig aus Fichtenvollholz (2 x 12/32 bzw. 2 x 12/24), Stützen einteilig aus Tannenvollholz (16/20), Nebentragwerk als Koppelpfetten
Messsystem 1:	
Messstelle 1.1:	Stützenfuß traufseitig im Milchviehbereich (15, 25 mm)
Messstelle 1.2:	Mitte Träger über Milchviehbereich (15, 25 mm)
Messstelle 1.3:	Stützenfuß firstseitig im Milchviehbereich (15, 25, 40, 70 mm)
Messsystem 2:	
Messstelle 2.1:	Trägerende im Firstbereich (15, 25 mm)
Messstelle 2.2:	Stützenfuß firstseitig am Futtertisch (15, 25, 40, 70 mm)
Messstelle 2.3:	Mitte Träger über Futtertisch (15, 25 mm)

Skizze:



Bilder:



Abbildung 7: Gesamtansicht des Stalls (Foto: LfL)

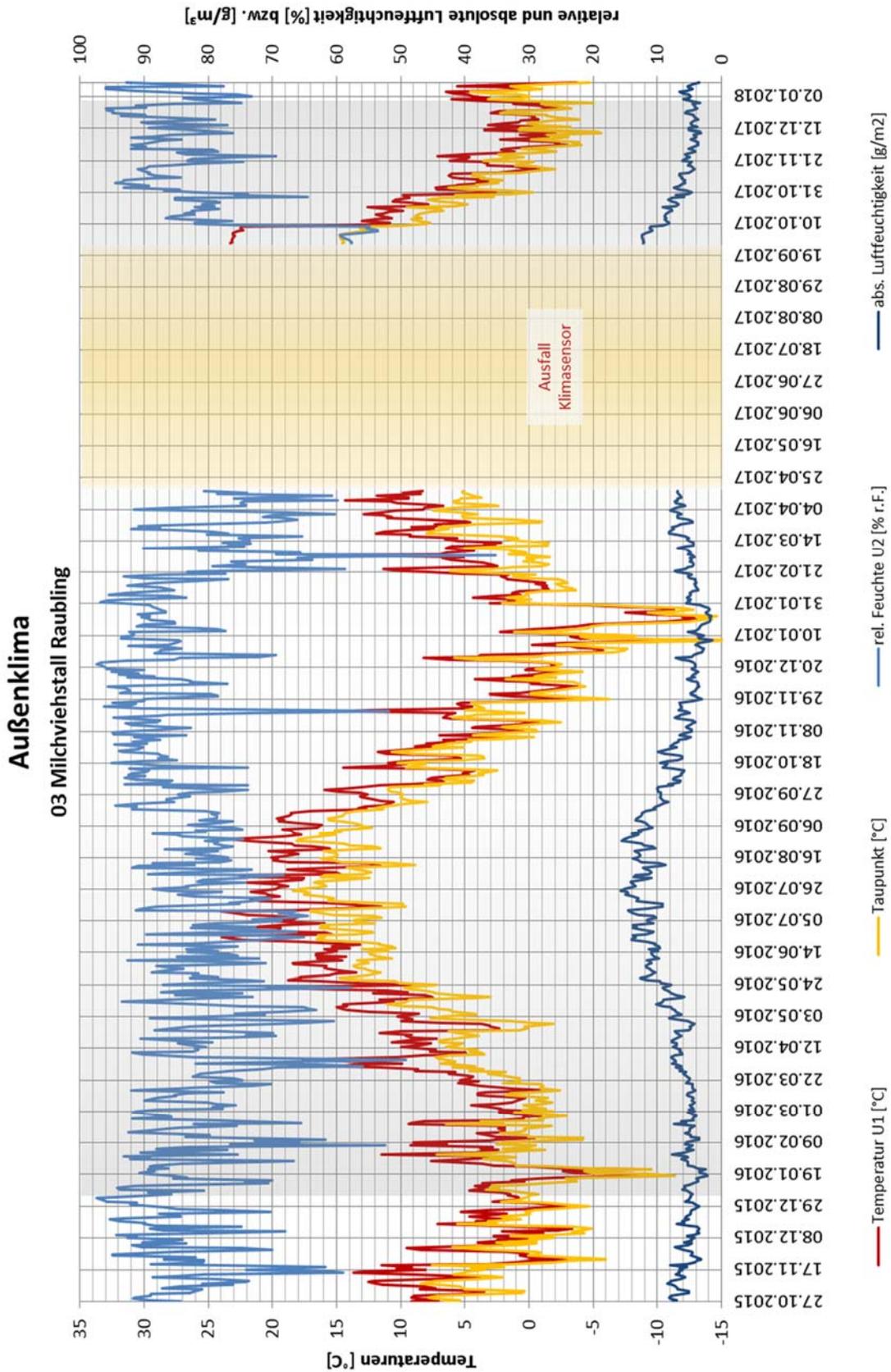


Abbildung 8: Anordnung der Messstellen des Messsystems 1

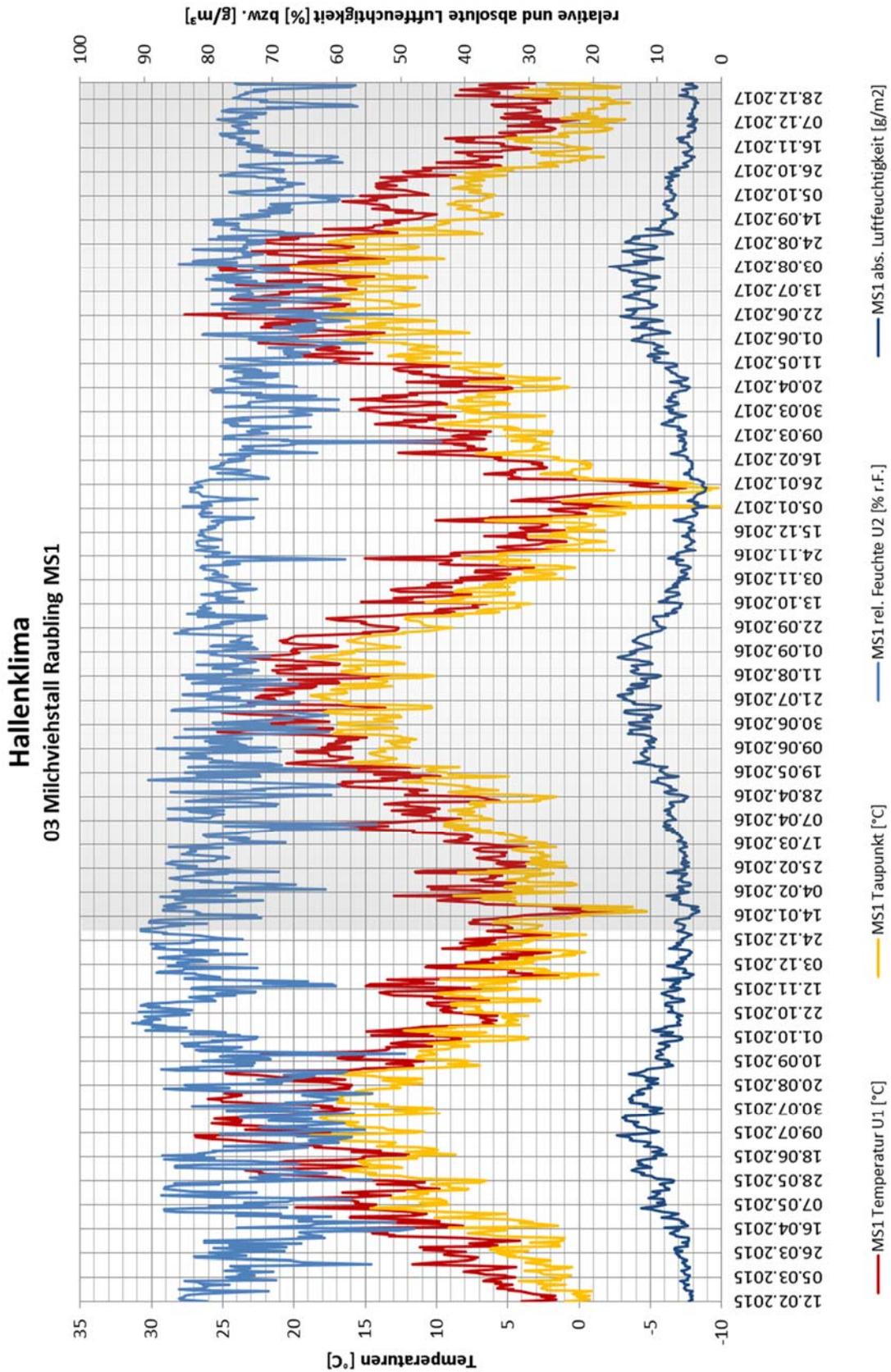


Abbildung 9: Anordnung der Messstellen des Messsystems 2

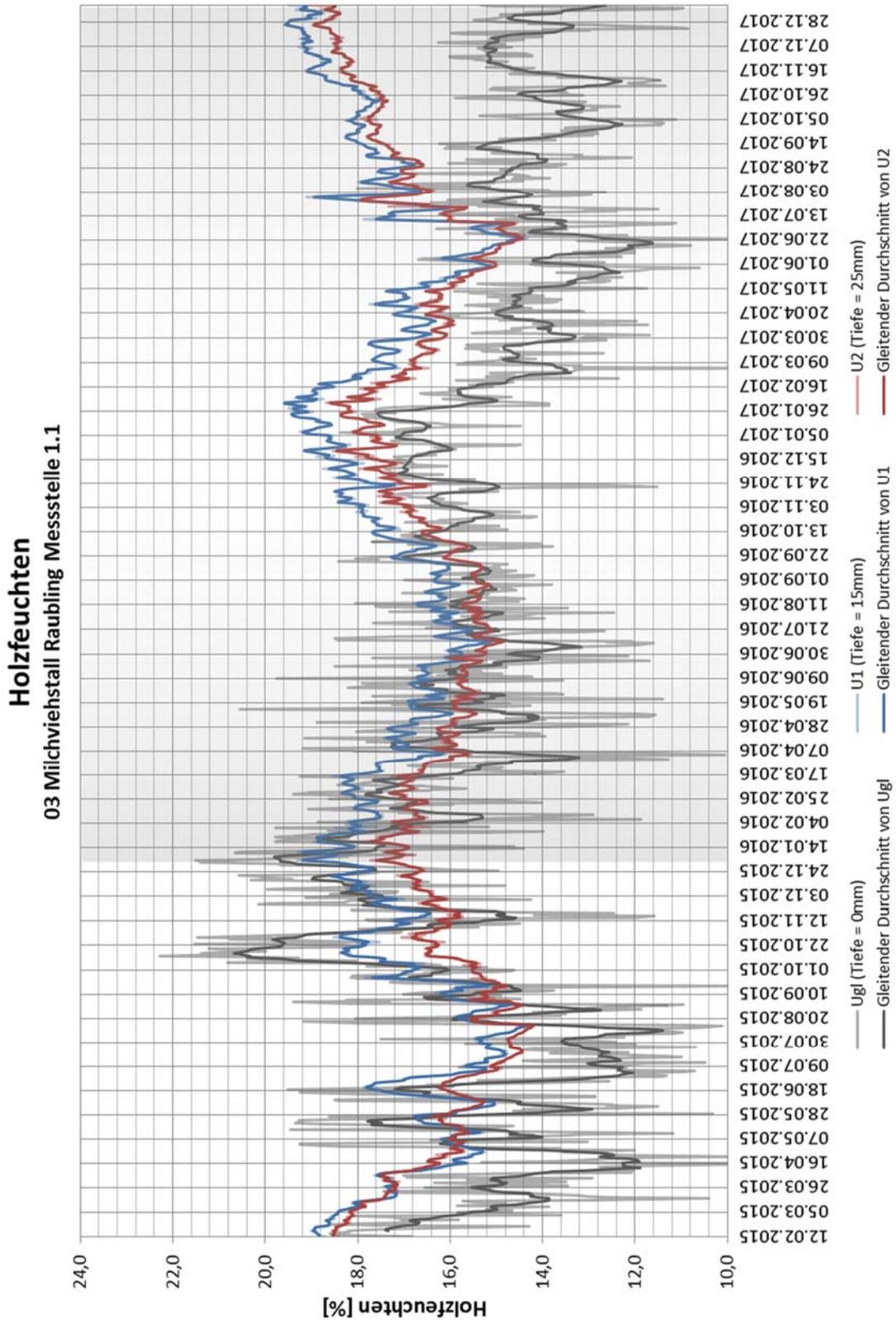
## Außenklima



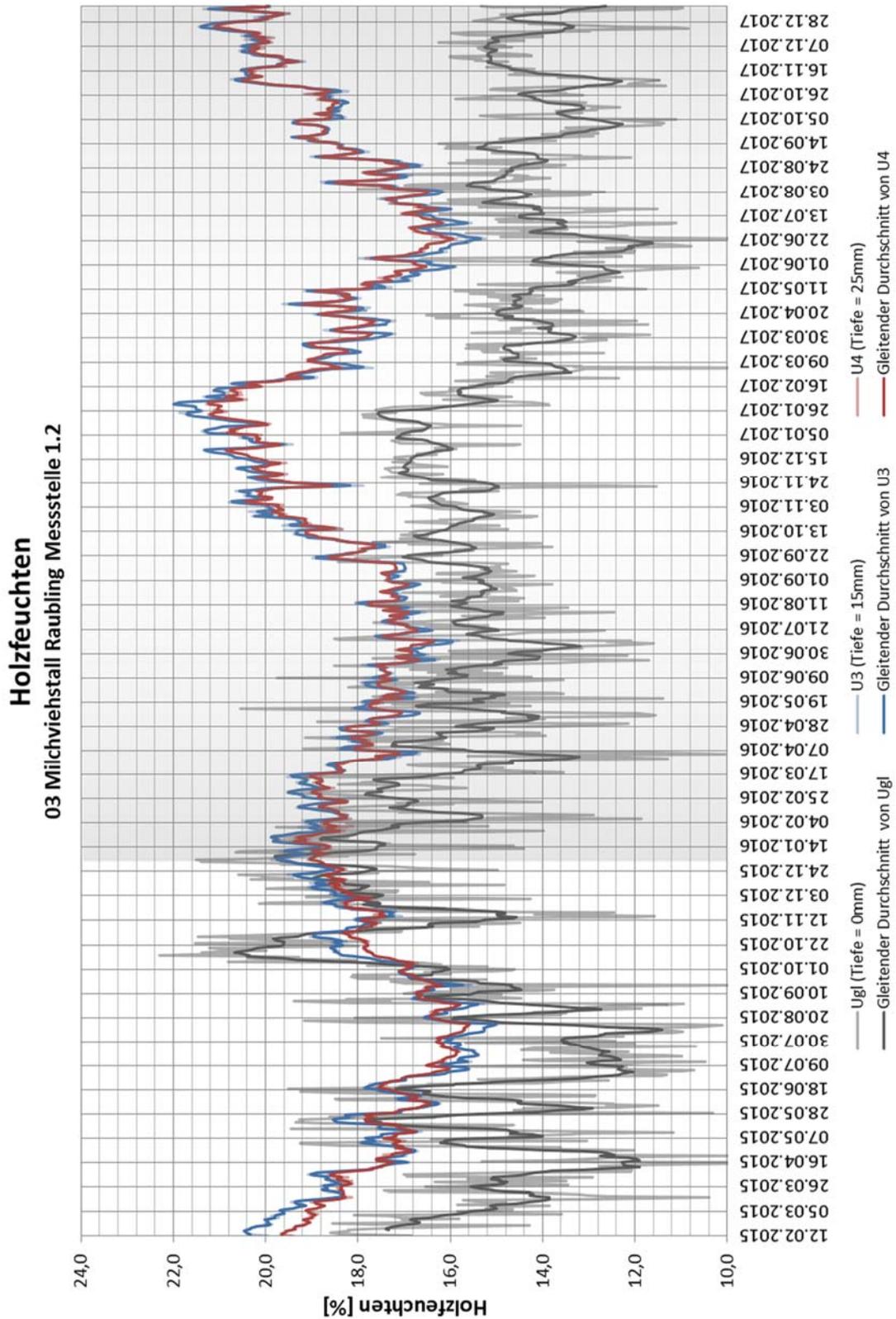
### Messsystem 1



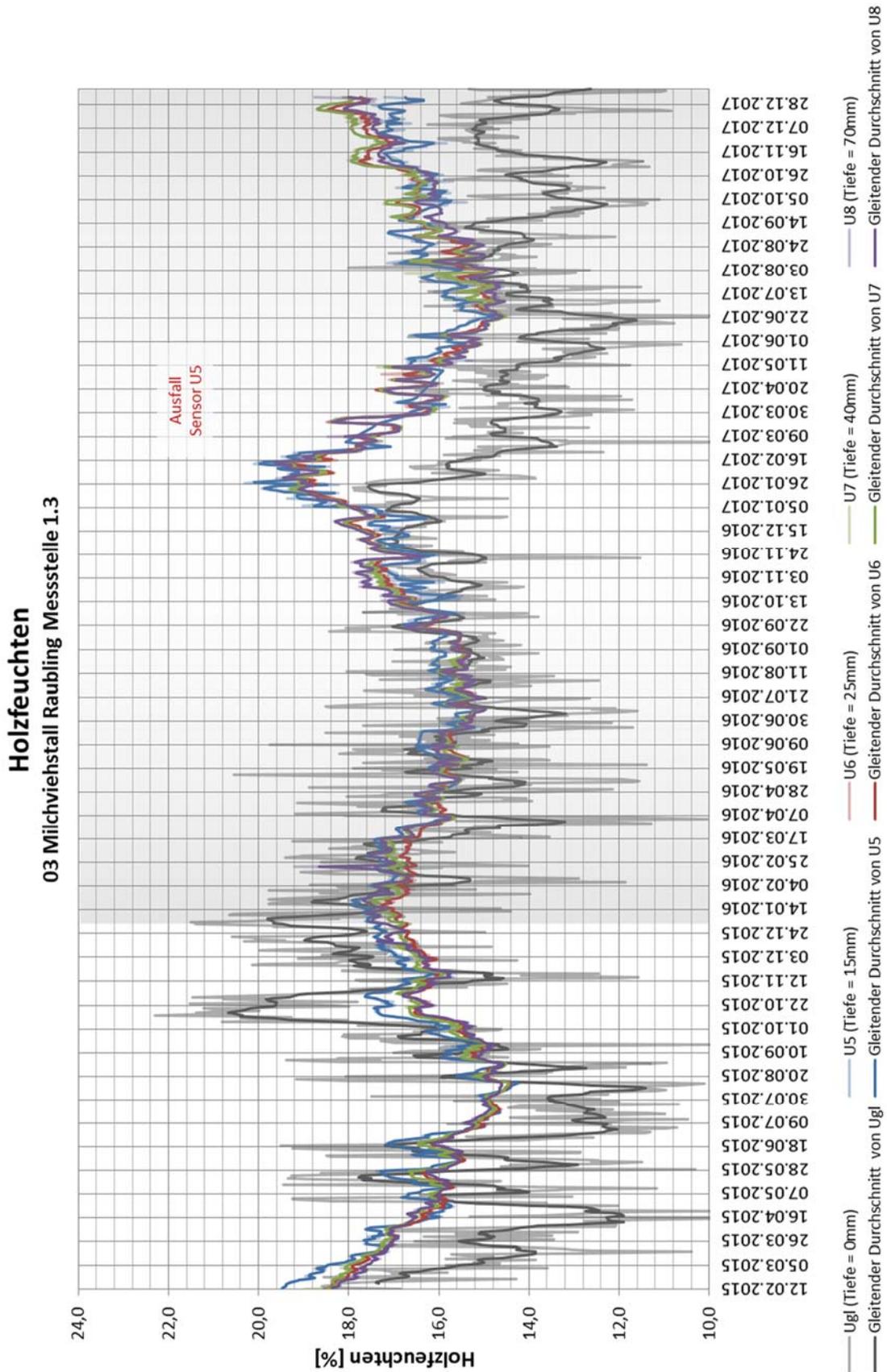
Messstelle 1.1



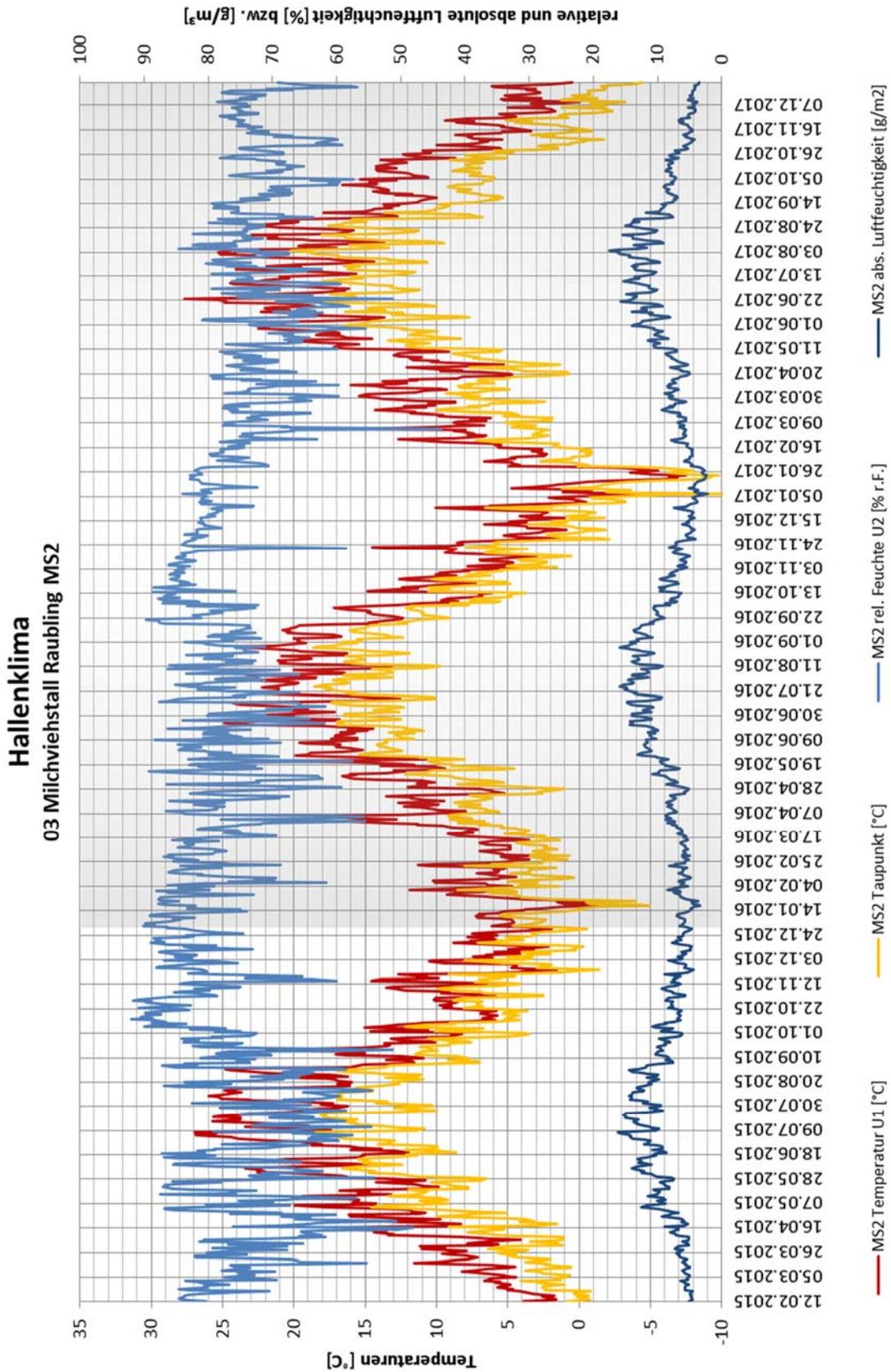
Messstelle 1.2



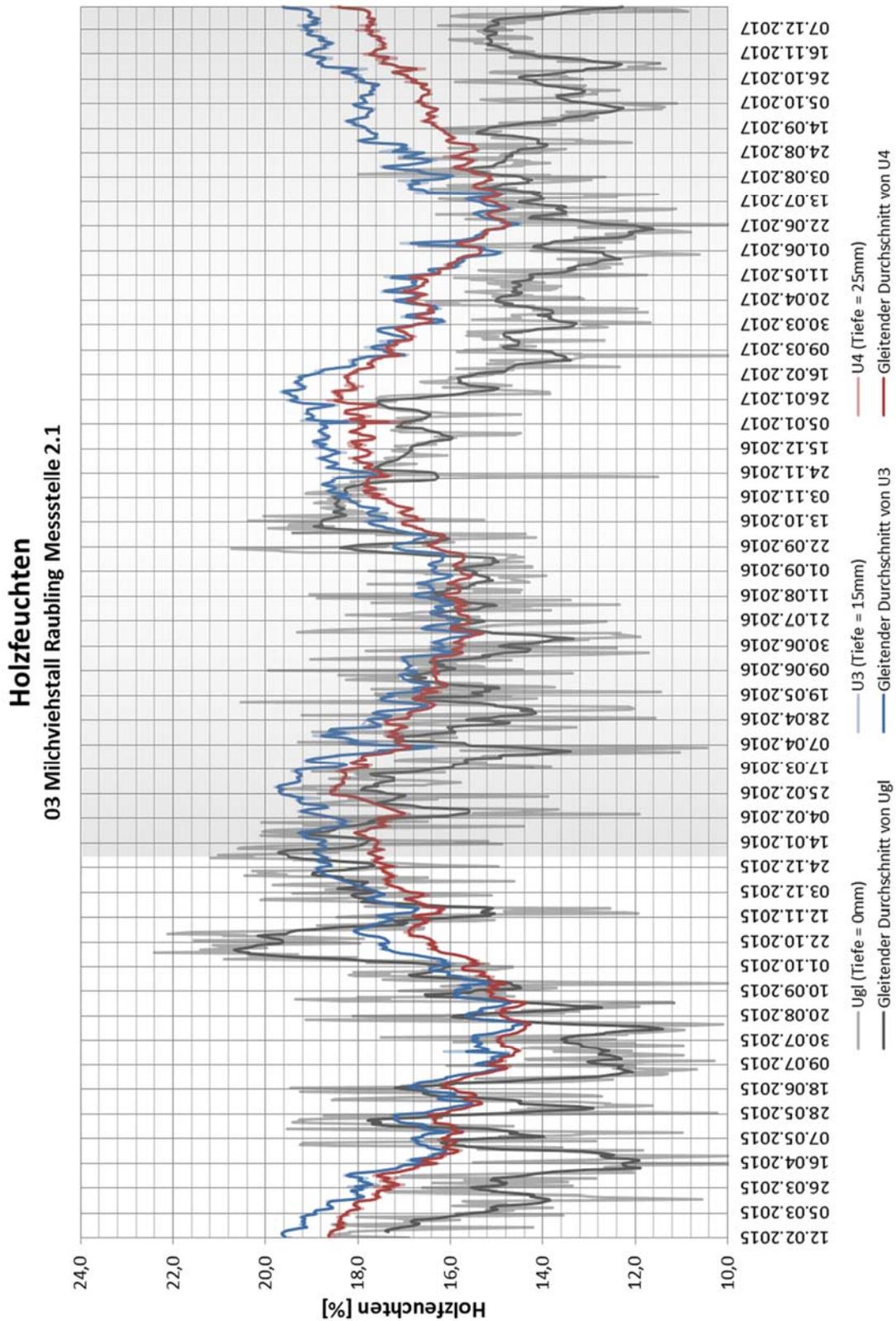
Messstelle 1.3



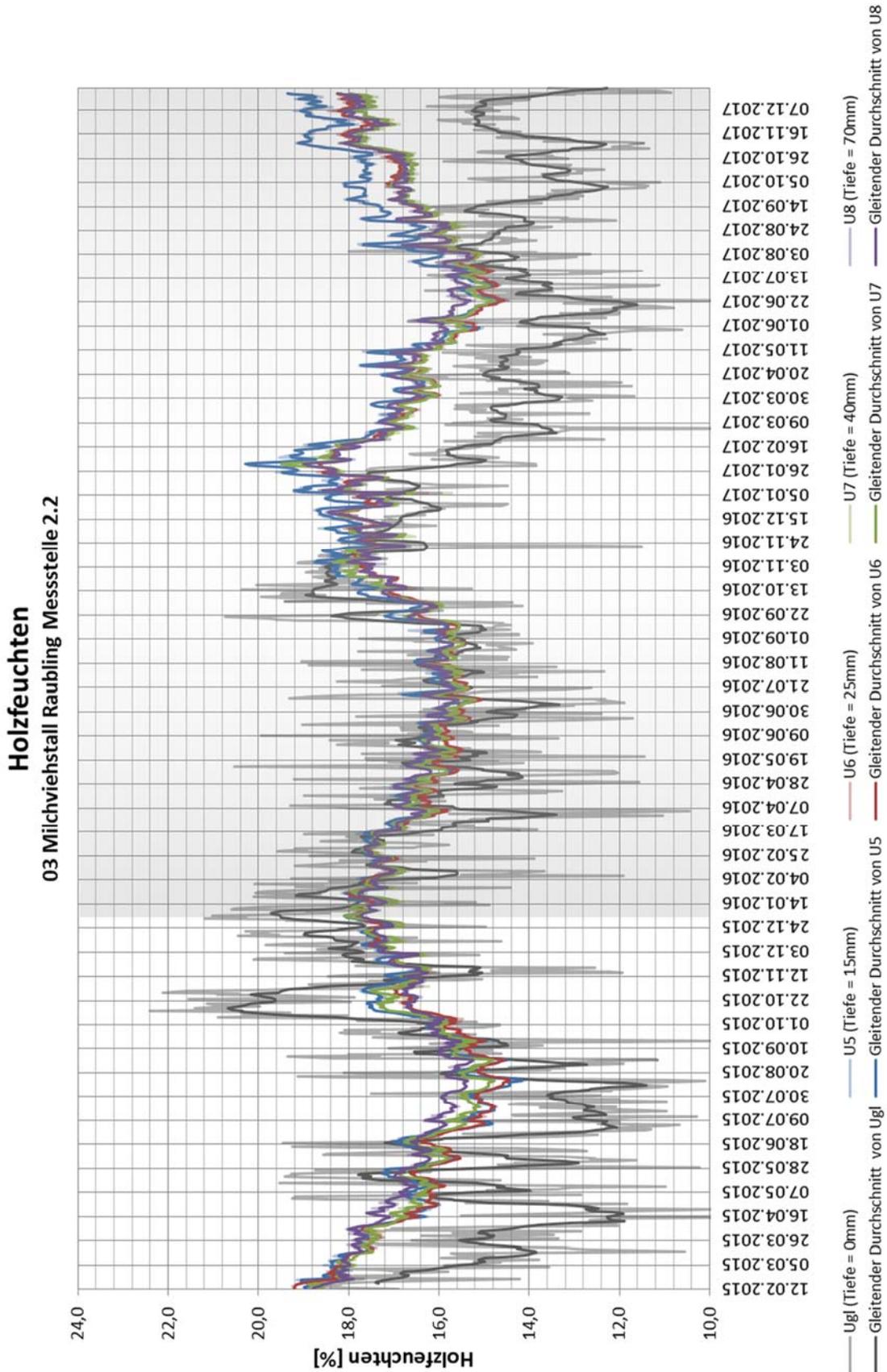
## Messsystem 2



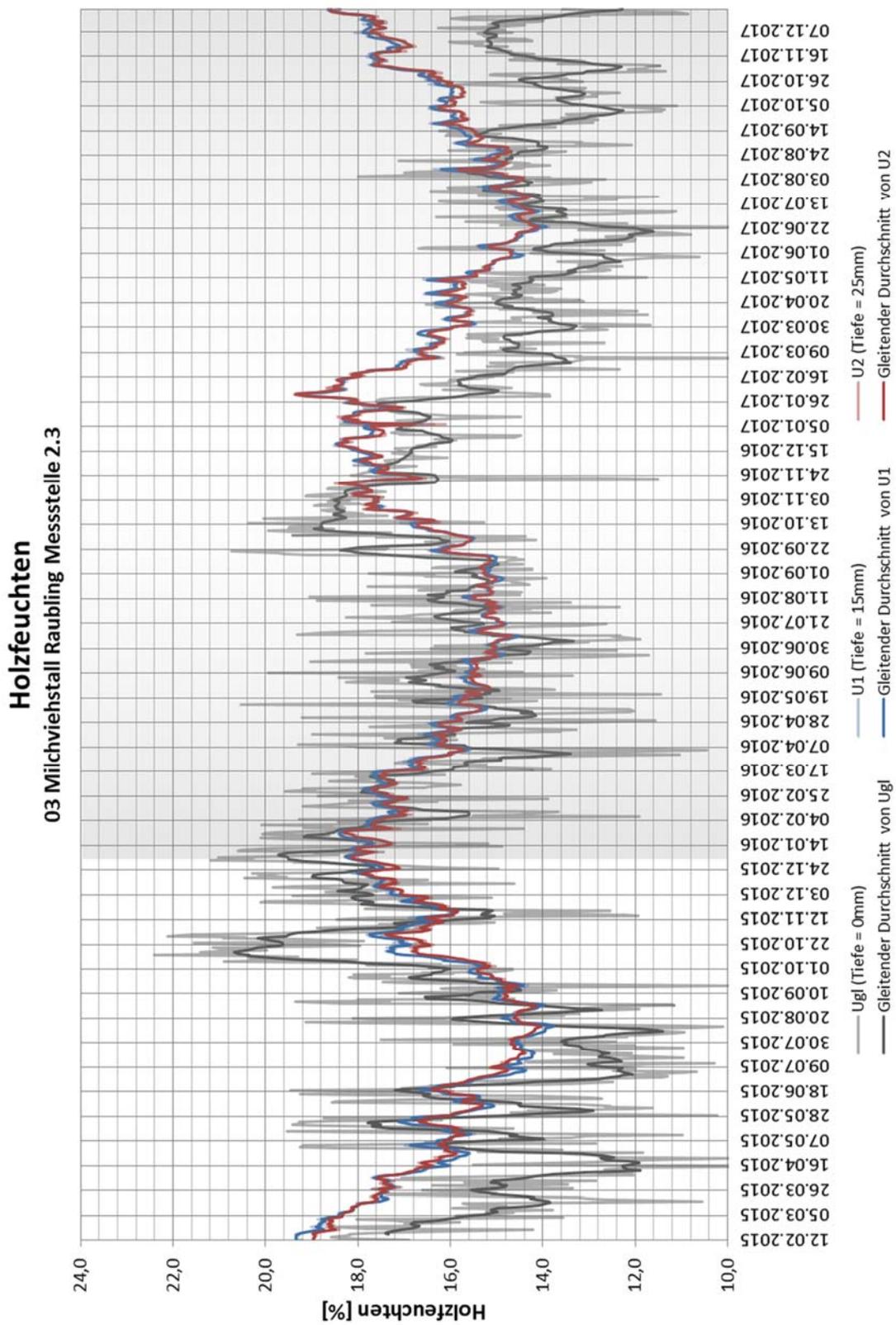
### Messstelle 2.1



Messstelle 2.2



### Messstelle 2.3

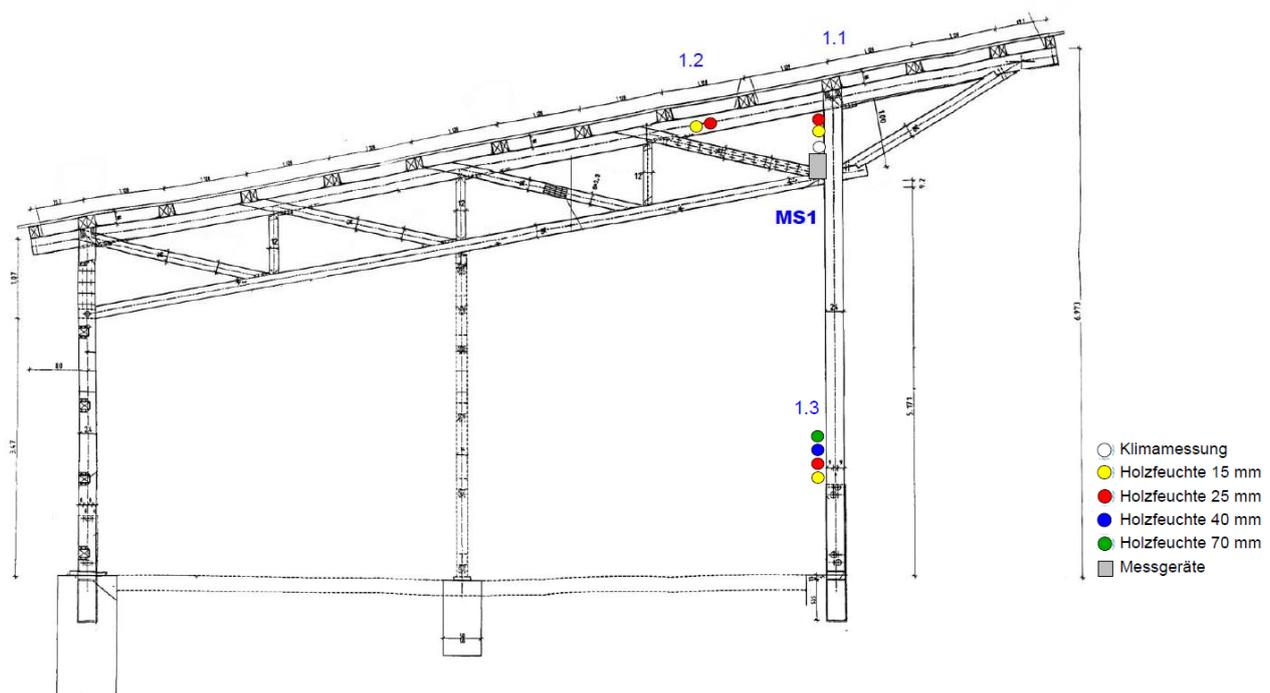




## Objekt 04: Kälberstall Grub

Anschrift:	Institut für Landtechnik und Tierhaltung Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft Prof.-Dürrewächter-Platz 2 85586 Poing-Grub
Ansprechpartner:	Jochen Simon (vor Ort)
Anwesende vor Ort:	Andreas Gamper, Maximilian Ernst
Installationsdatum:	10.02.2015, 14:00 – 16:00
Umgebungsbedingungen:	einseitig offen, Giebelseiten geschlossen, Windschutzsystem (Curtains) an offener Seite
Tragsystem:	Rahmenkonstruktion mit Fachwerkträger 1-fach unterstützt
Messsystem 1:	
Messstelle 1.1:	Stützenkopf unter der Dachpfette (15, 25 mm)
Messstelle 1.2:	Mitte der Dachpfette (15, 25 mm)
Messstelle 1.3:	Stützenfuß in Laufflächen (15, 25, 40, 70 mm)

Skizze:



Bilder:

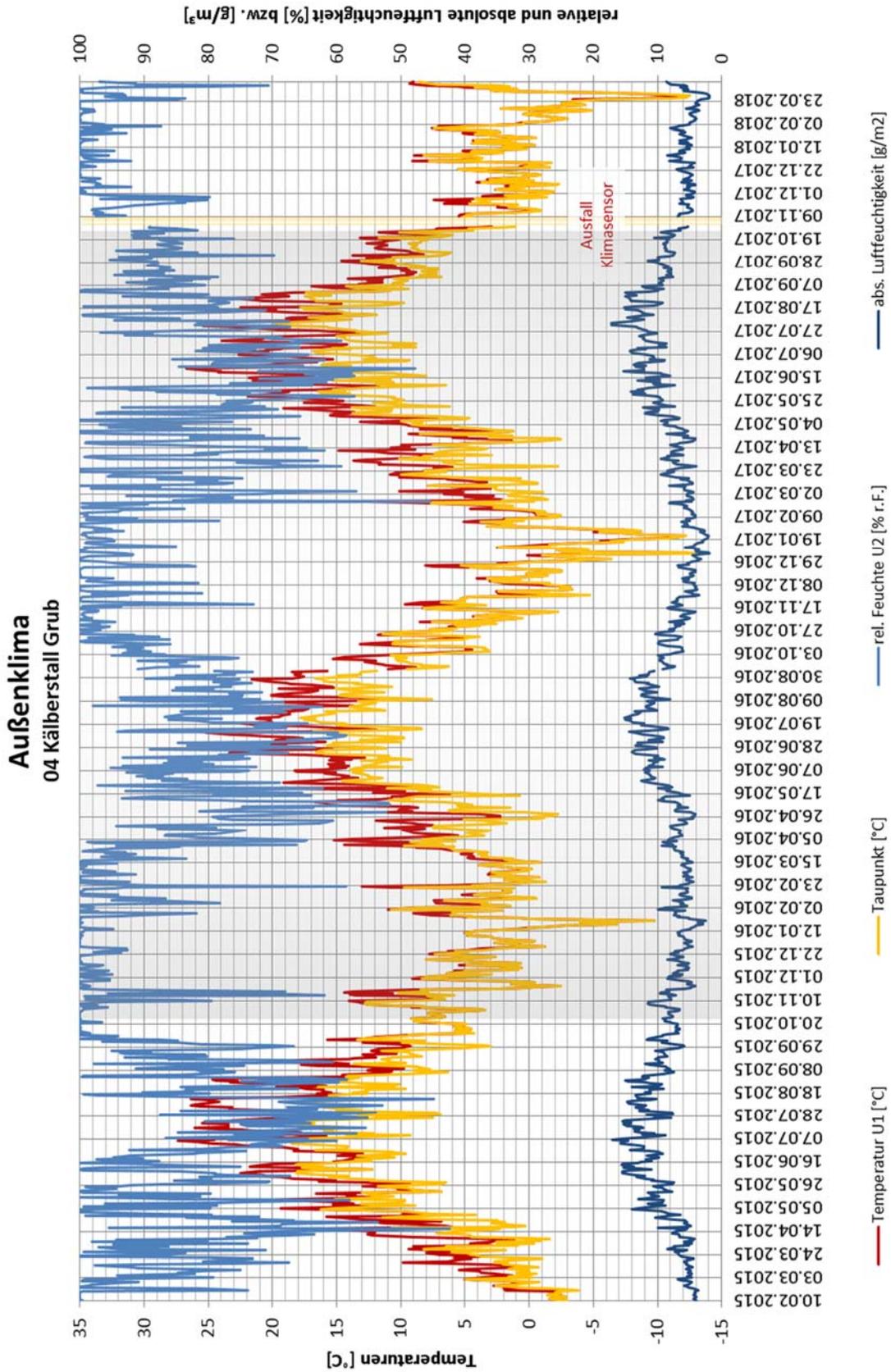


Abbildung 10: Gesamtansicht des Stalls

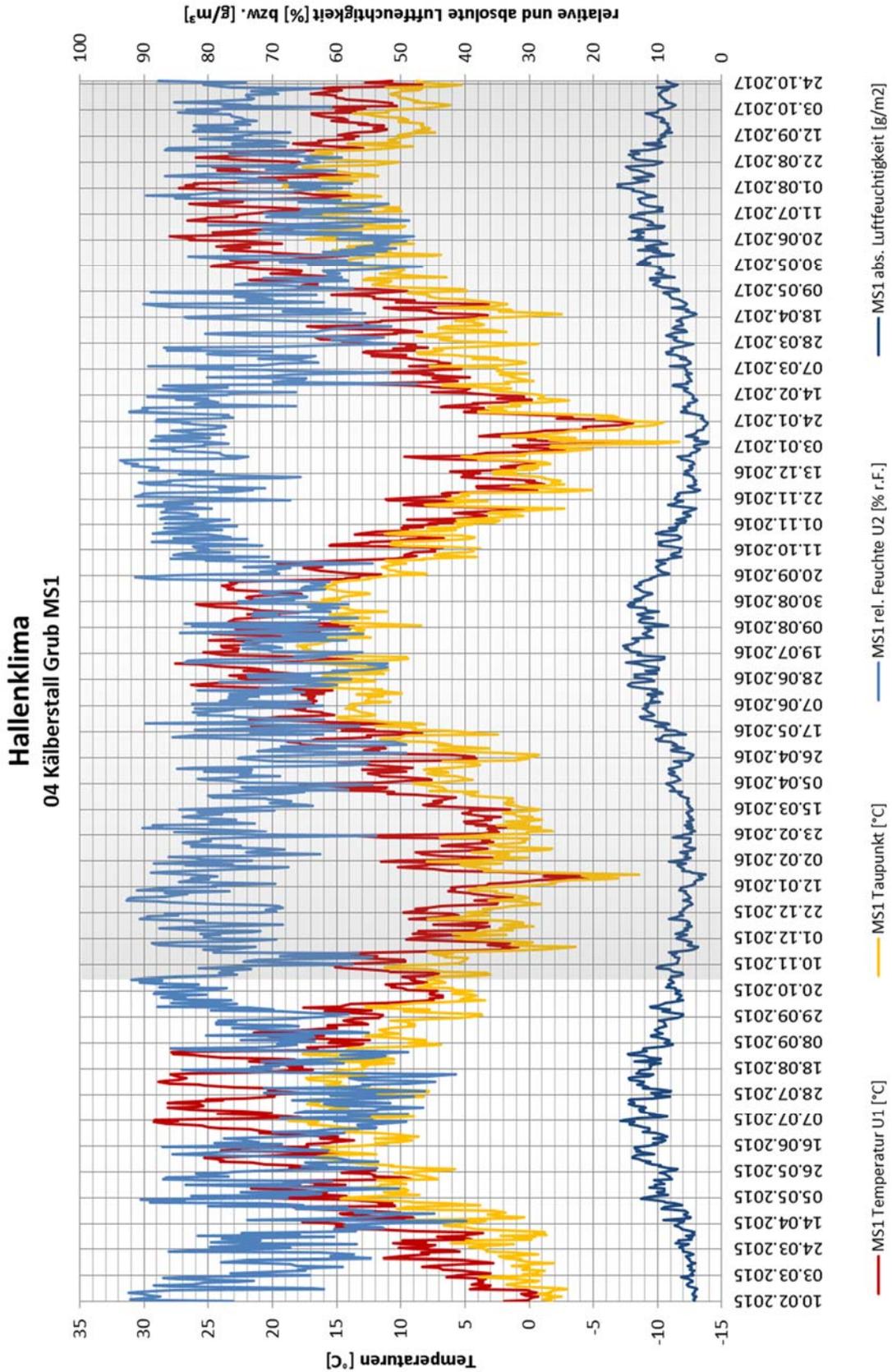


Abbildung 11: Anordnung der Messstellen

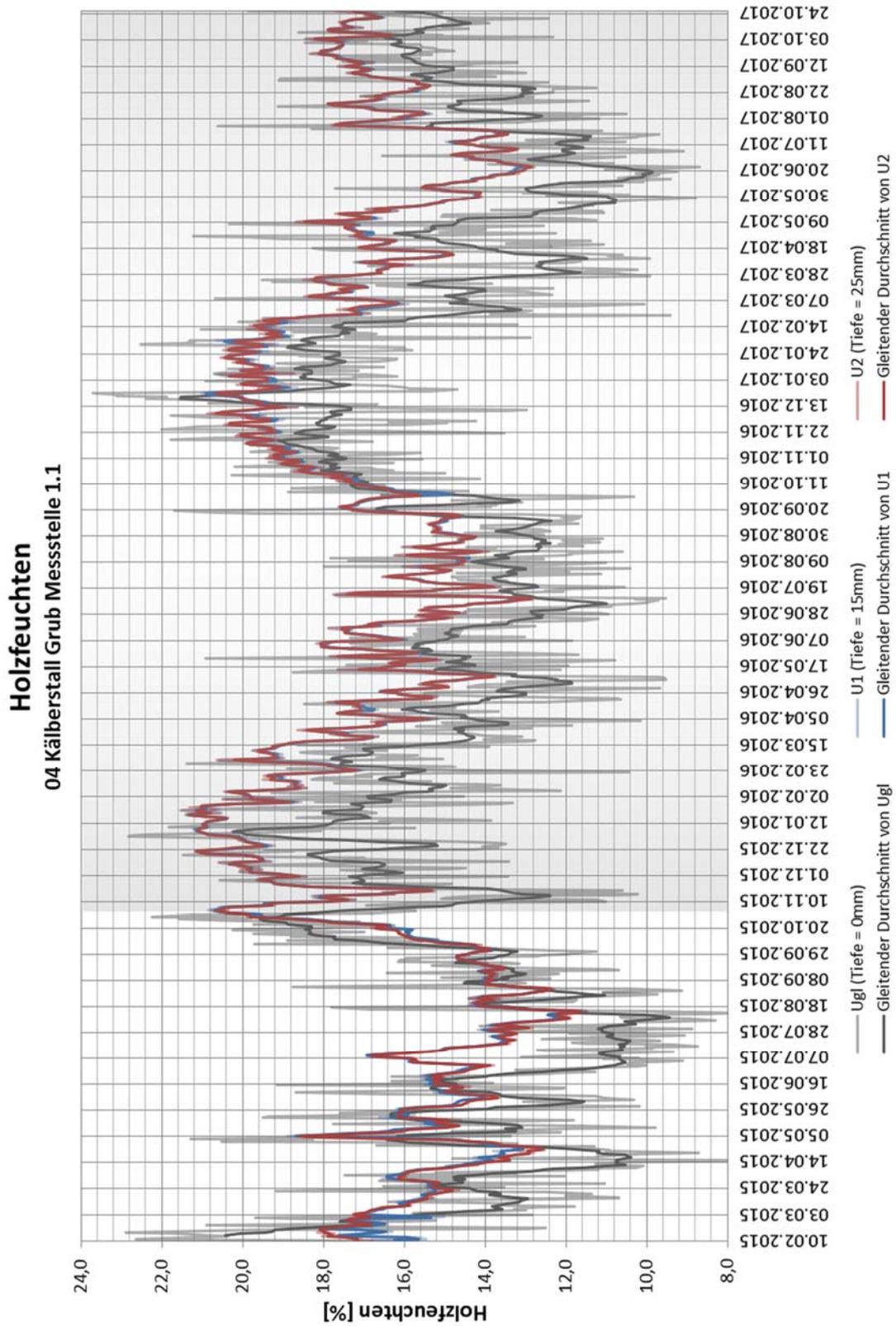
## Außenklima



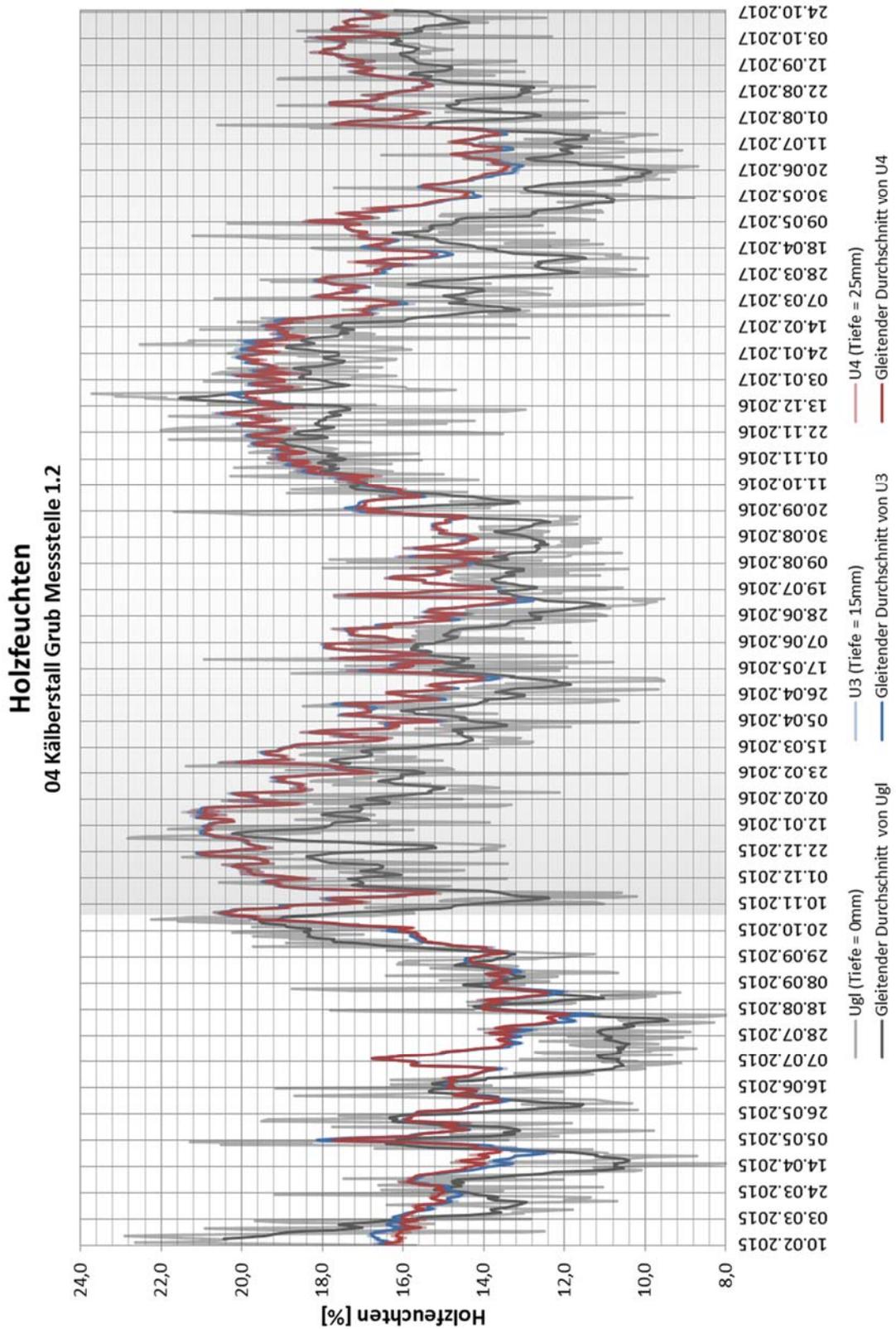
### Messsystem 1



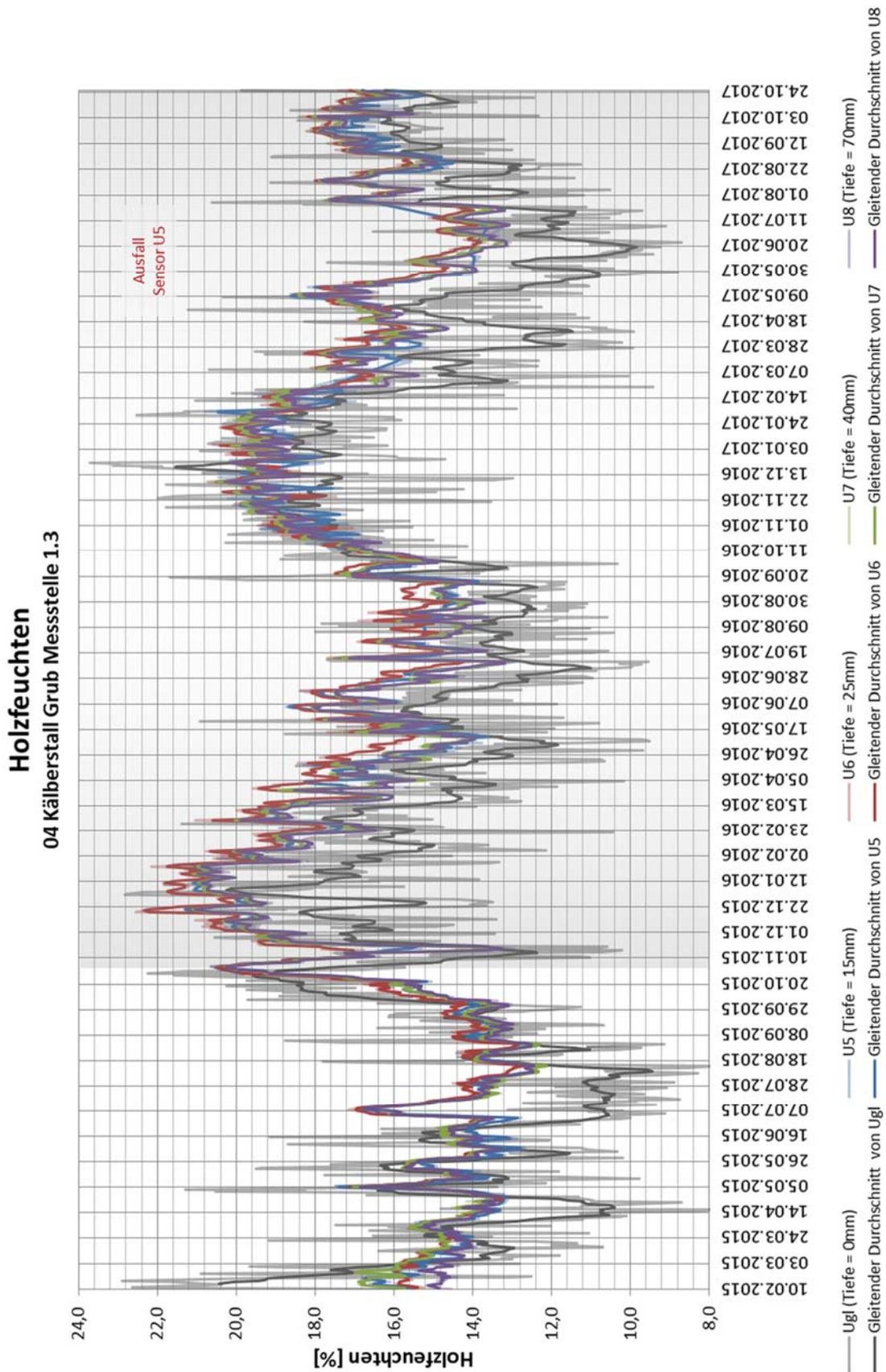
Messstelle 1.1



Messstelle 1.2



Messstelle 1.3





## Objekt 05: Bullenmaststall Schnotting

Anschrift:	Schnotting 3 85414 Kirchdorf
Ansprechpartner:	Anton Weinsteiger (vor Ort)
Anwesende vor Ort:	Andreas Gamper, Yuan Jiang, Sebastian Rodemeier, Maximilian Ernst, Jochen Simon (Auswahl, Besichtigung am 11.02.2015)
Installationsdatum:	08.06.2015/21.07.2015, 8:00 – 16:00
Umgebungsbedingungen:	Kaltstall, dauerhaft belüftet über offenen First, Traufseiten mit verschließbaren Öffnungen zum Schutz vor Wind, Giebelseiten jeweils mit einem großen Tor
Tragsystem:	Rahmenkonstruktion aus KVH, 2-fach unterstützt, mit Kopfbändern und doppelter Zange zur Aussteifung in Querrichtung, Aussteifung in Längsrichtung durch Stahlverbandstreben

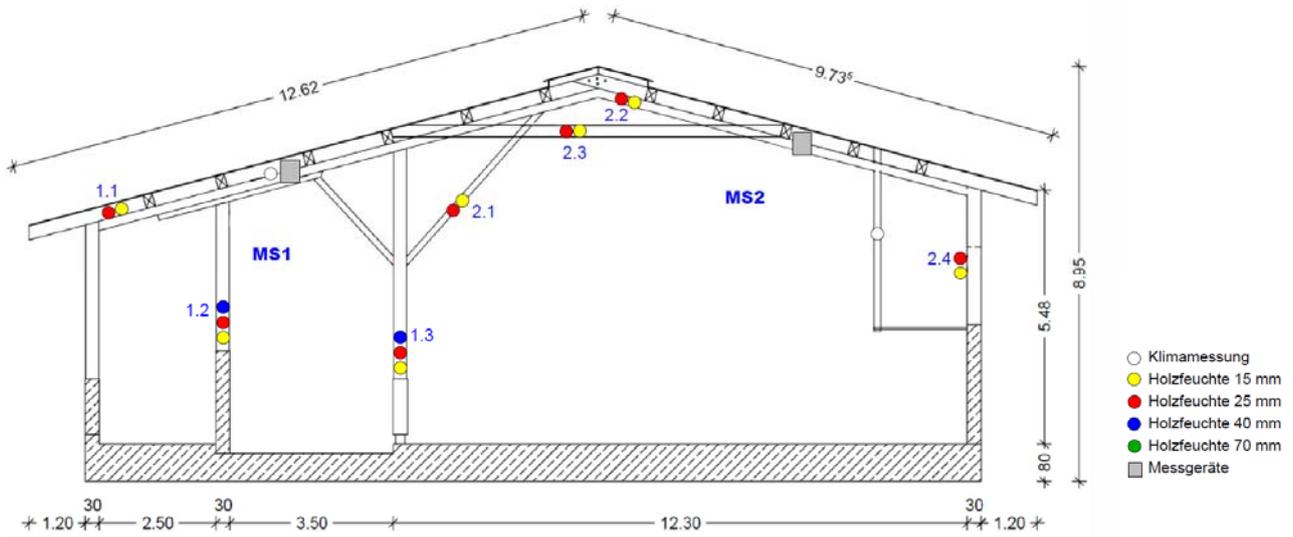
### Messsystem 1:

Messstelle 1.1:	Sparren traufseitig über dem Gehweg	(15, 25 mm)
Messstelle 1.2:	Mitte Stütze zwischen Futtertisch und Mistfläche	(15, 25, 40 mm)
Messstelle 1.3:	Stütze in Liegefläche	(15, 25, 40 mm)

### Messsystem 2:

Messstelle 2.1:	Diagonale im Firstbereich	(15, 25 mm)
Messstelle 2.2:	Am First	(15, 25 mm)
Messstelle 2.3:	Zange unterhalb des Firstes	(15, 25 mm)
Messstelle 2.4:	Traufe	(15, 25 mm)

Skizze:



Bilder:



Abbildung 12: Gesamtansicht des Stalls



Abbildung 13: Anordnung der Messstellen des Messsystems 1

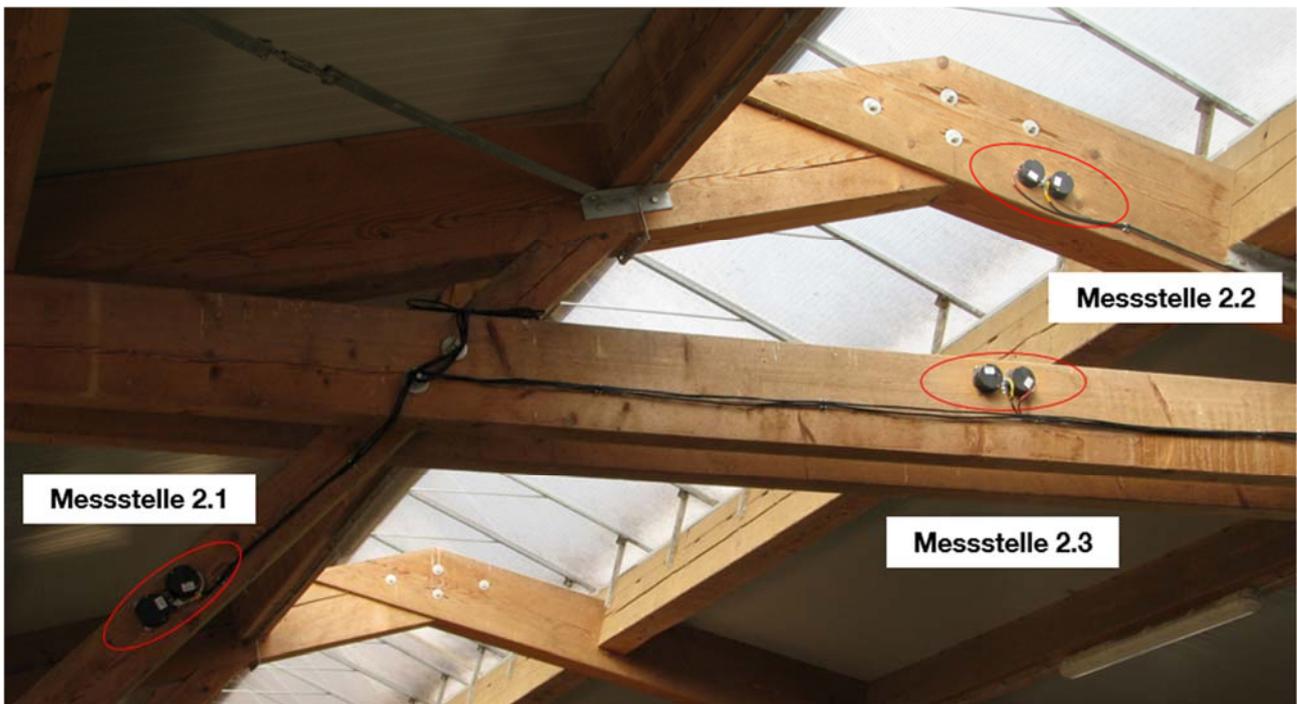
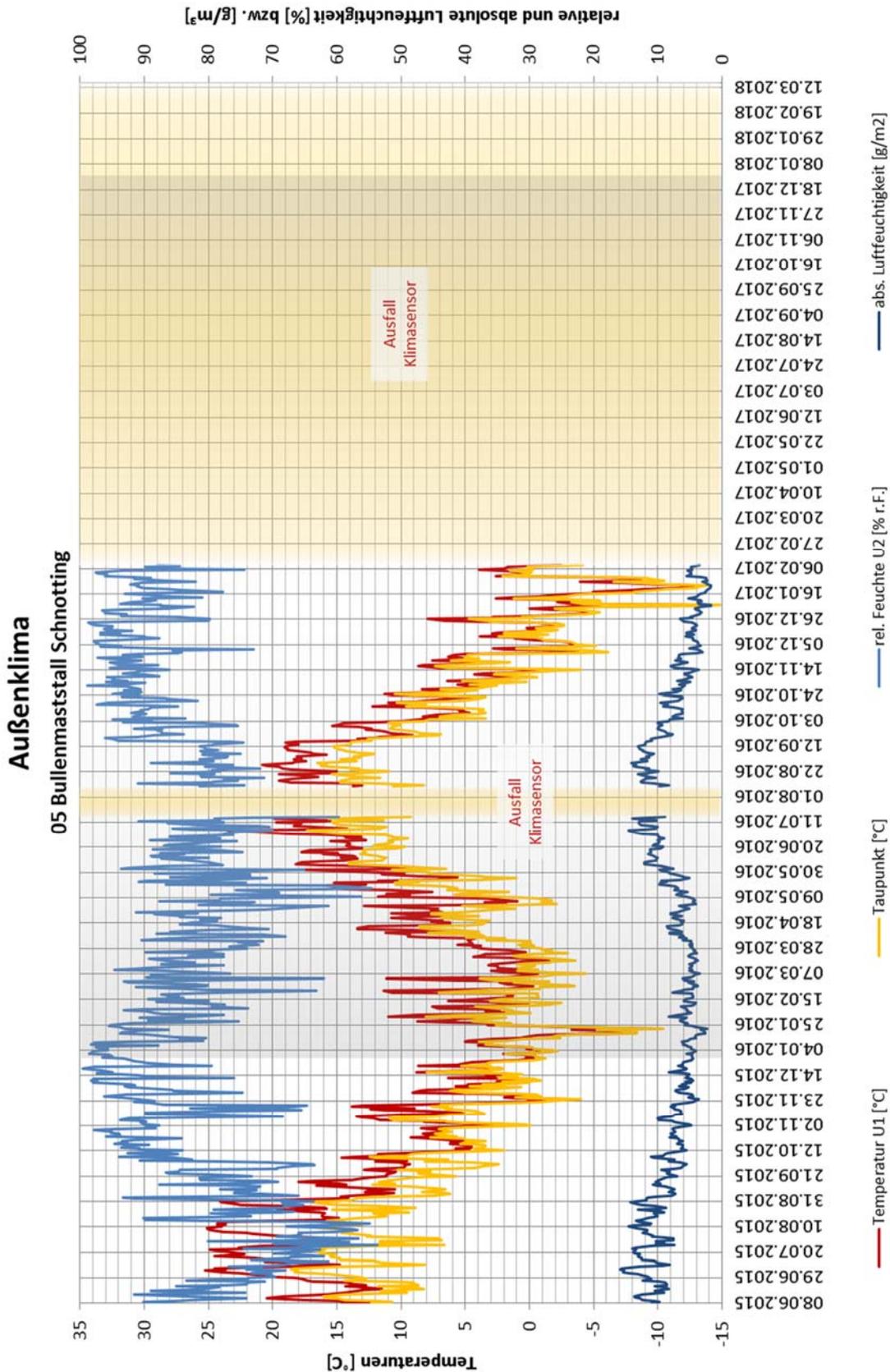


Abbildung 14: Anordnung der Messstellen des Messsystems 2 (Teil 1)

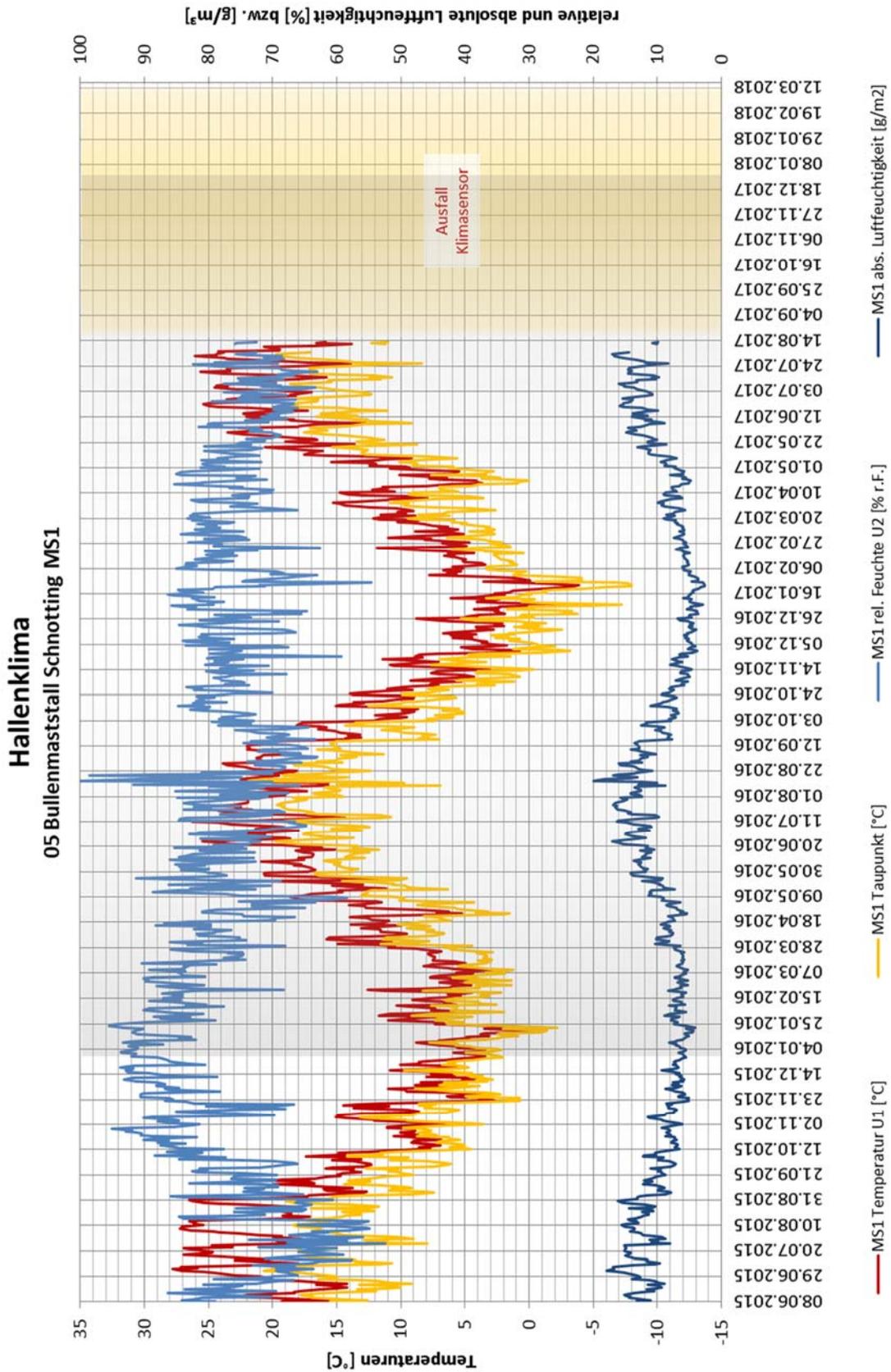


Abbildung 15: Anordnung der Messstellen des Messsystems 2 (Teil 2)

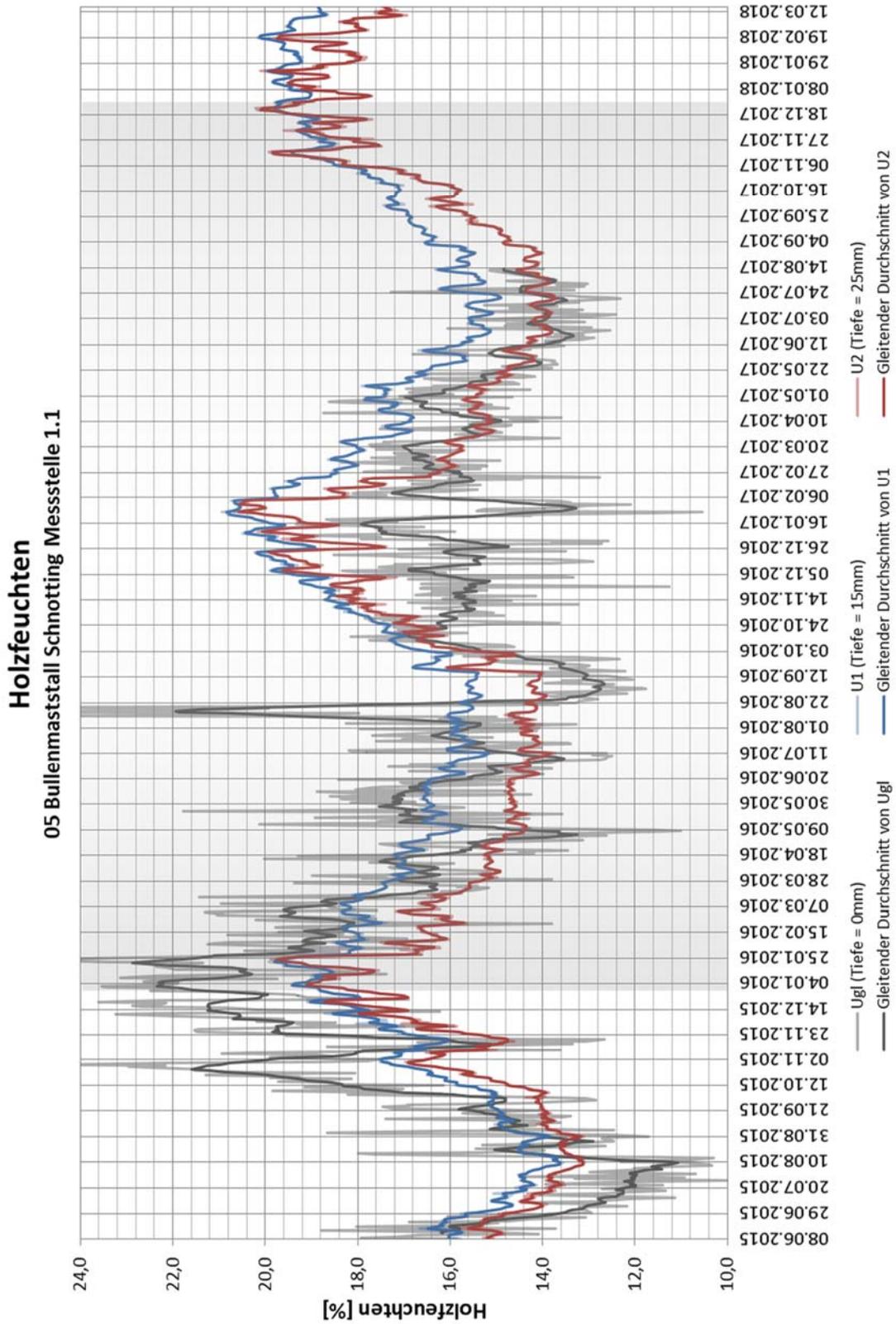
## Außenklima



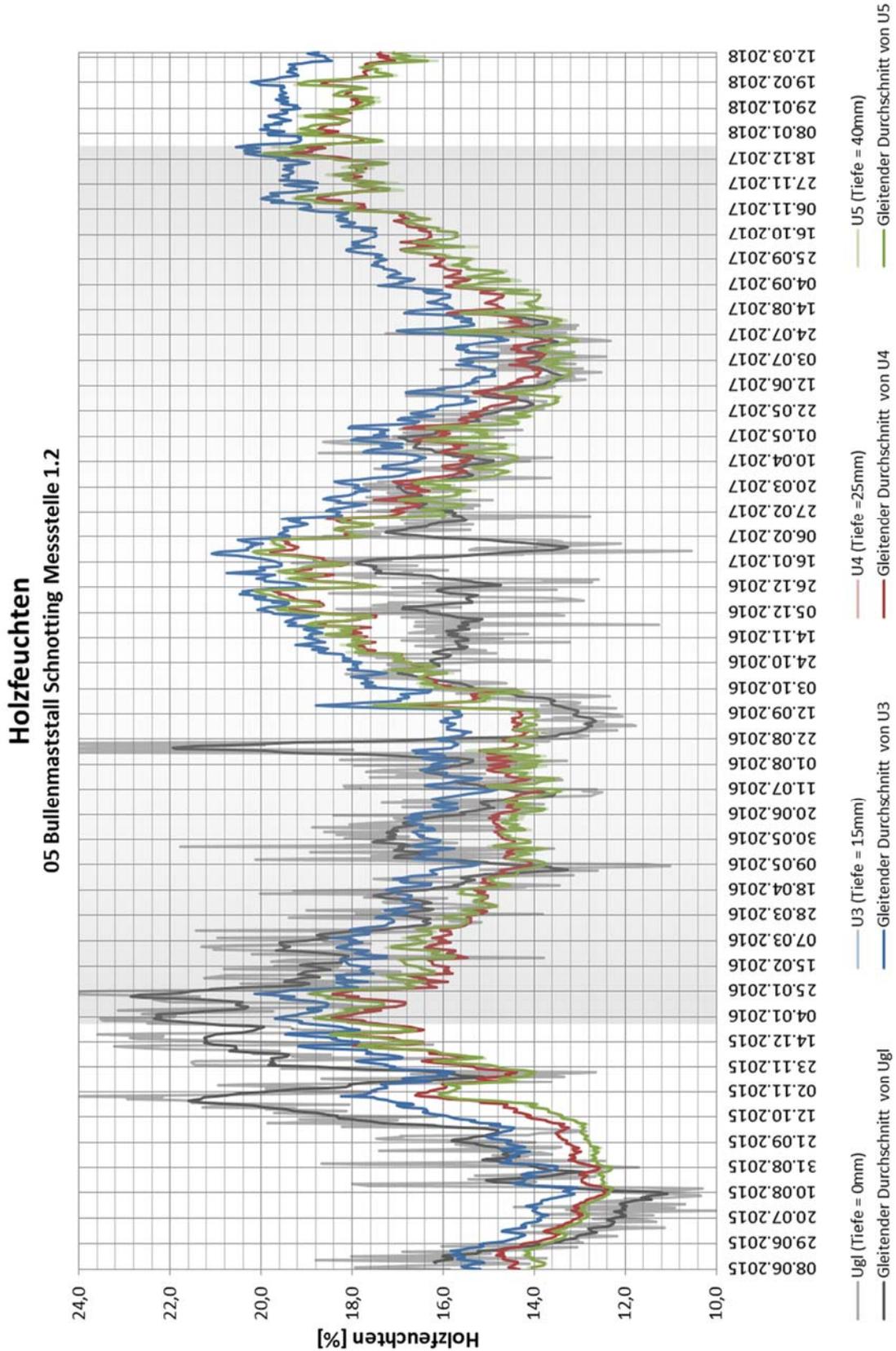
### Messsystem 1



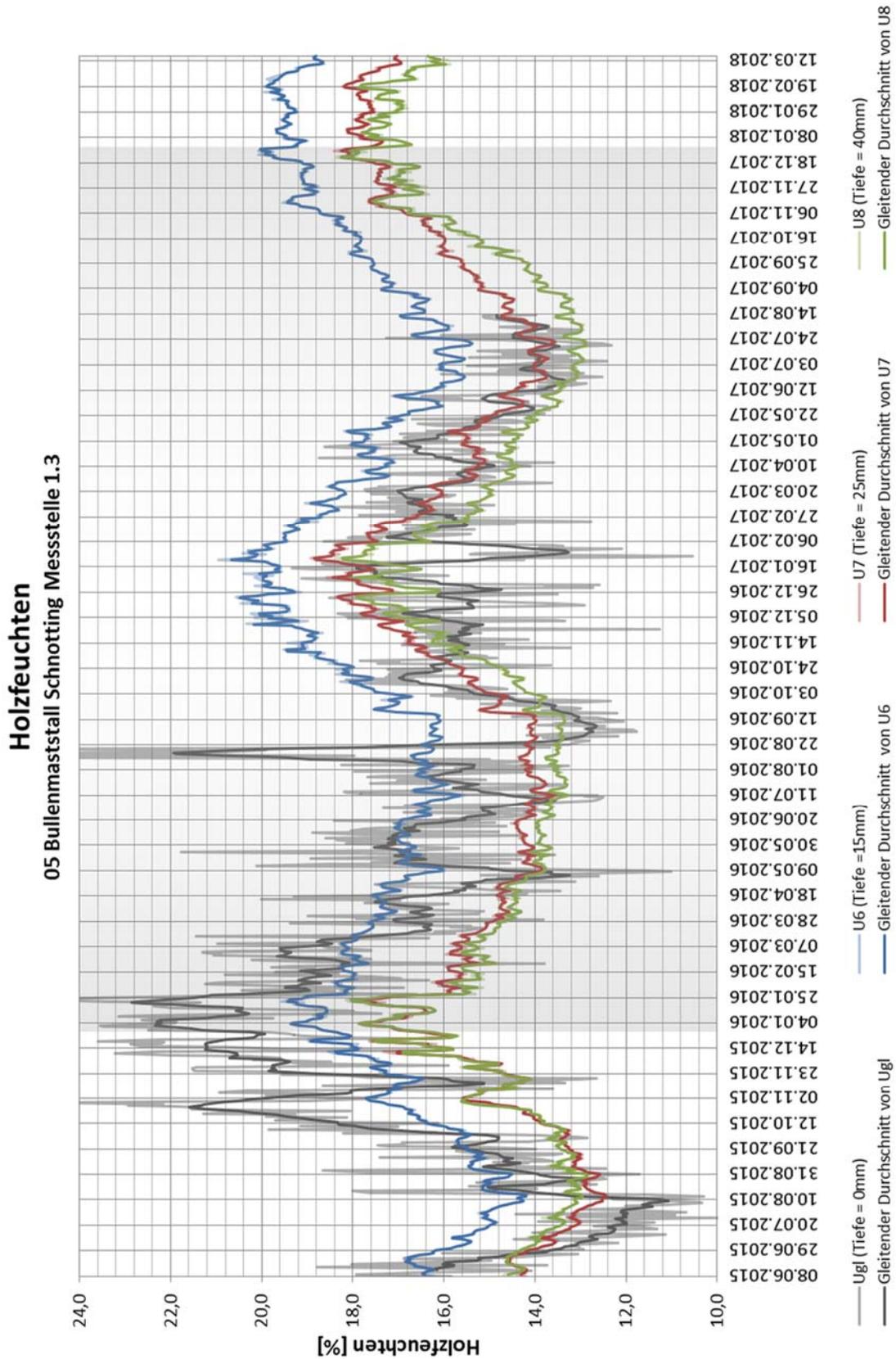
Messstelle 1.1



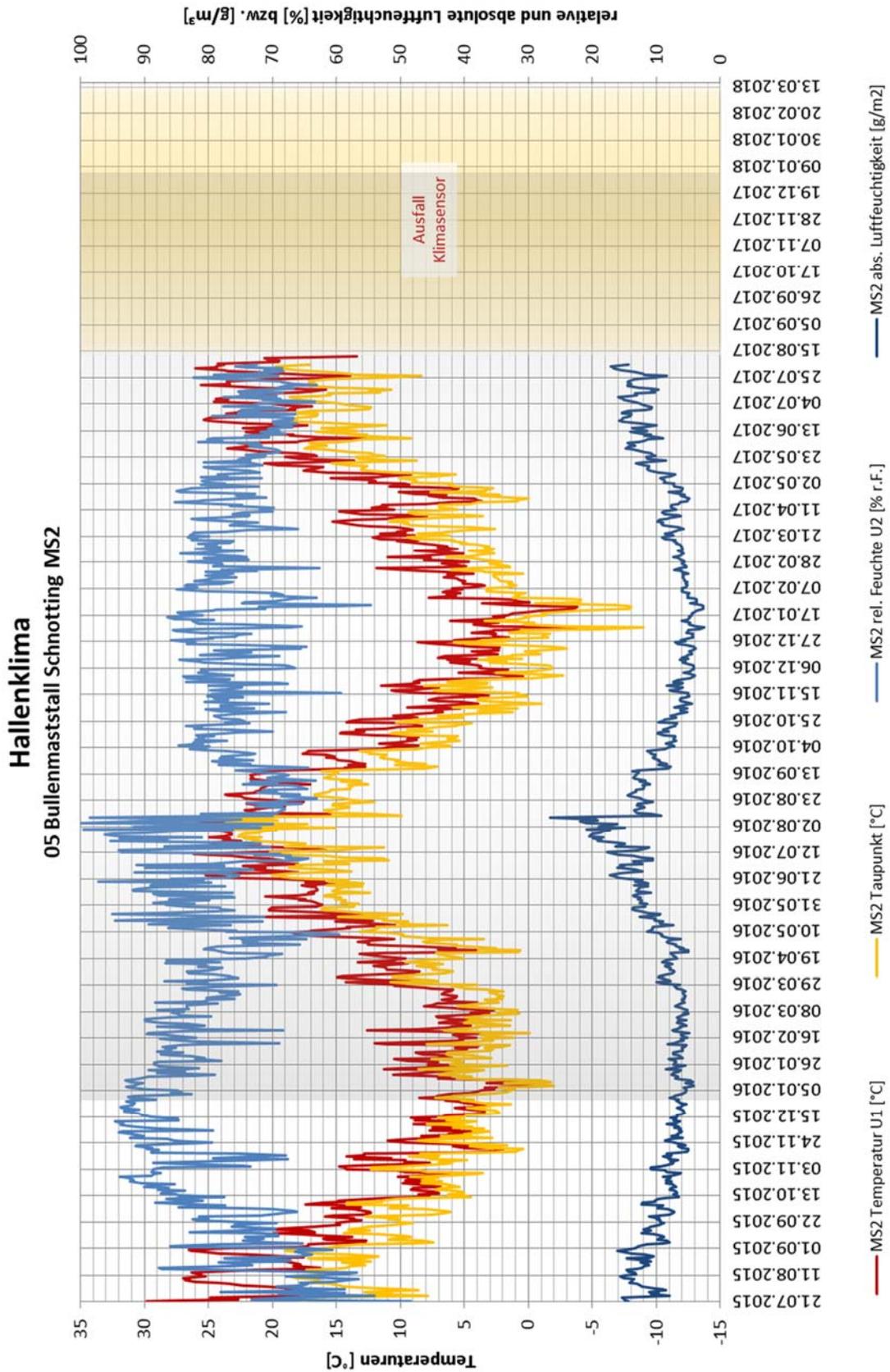
Messstelle 1.2



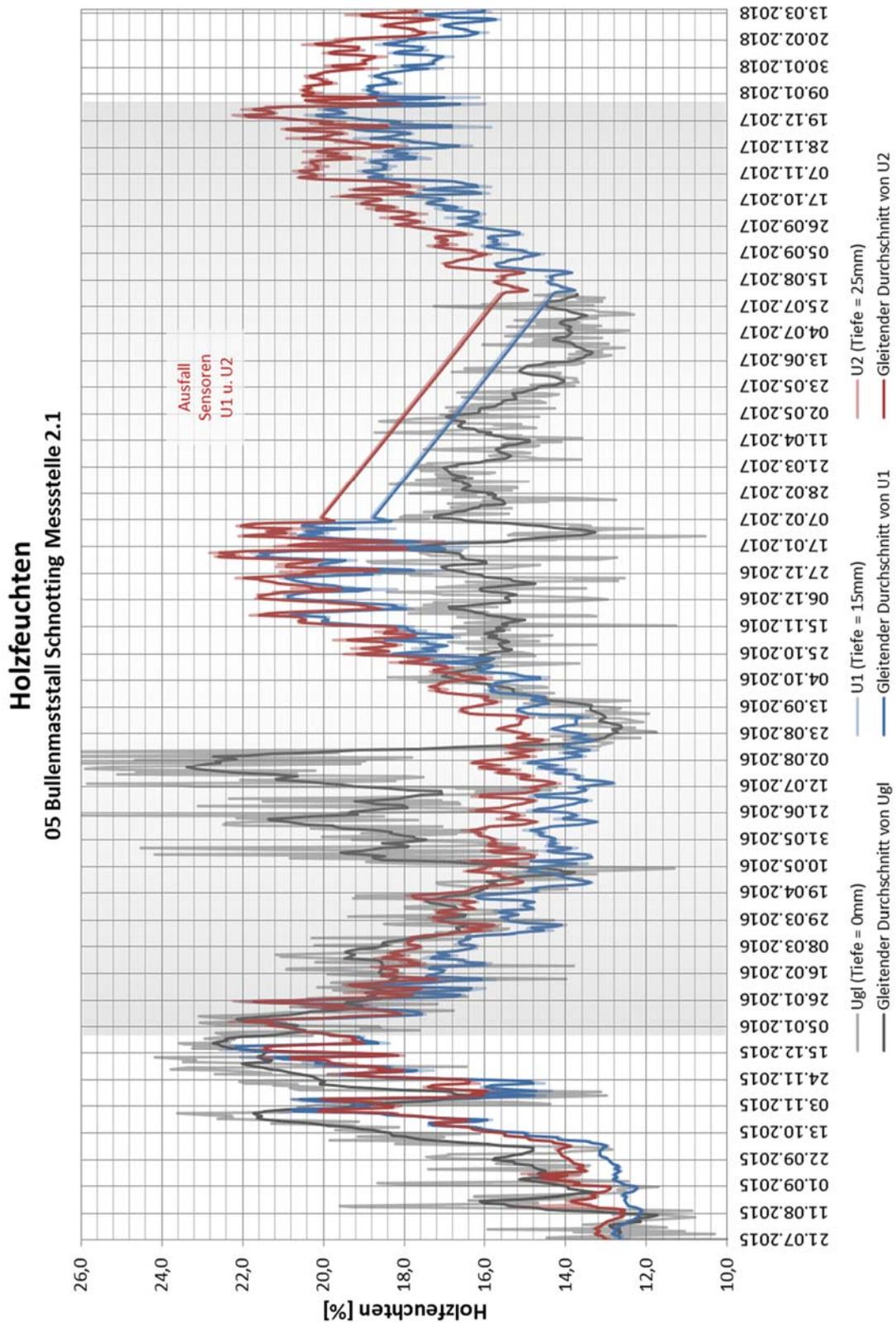
Messstelle 1.3



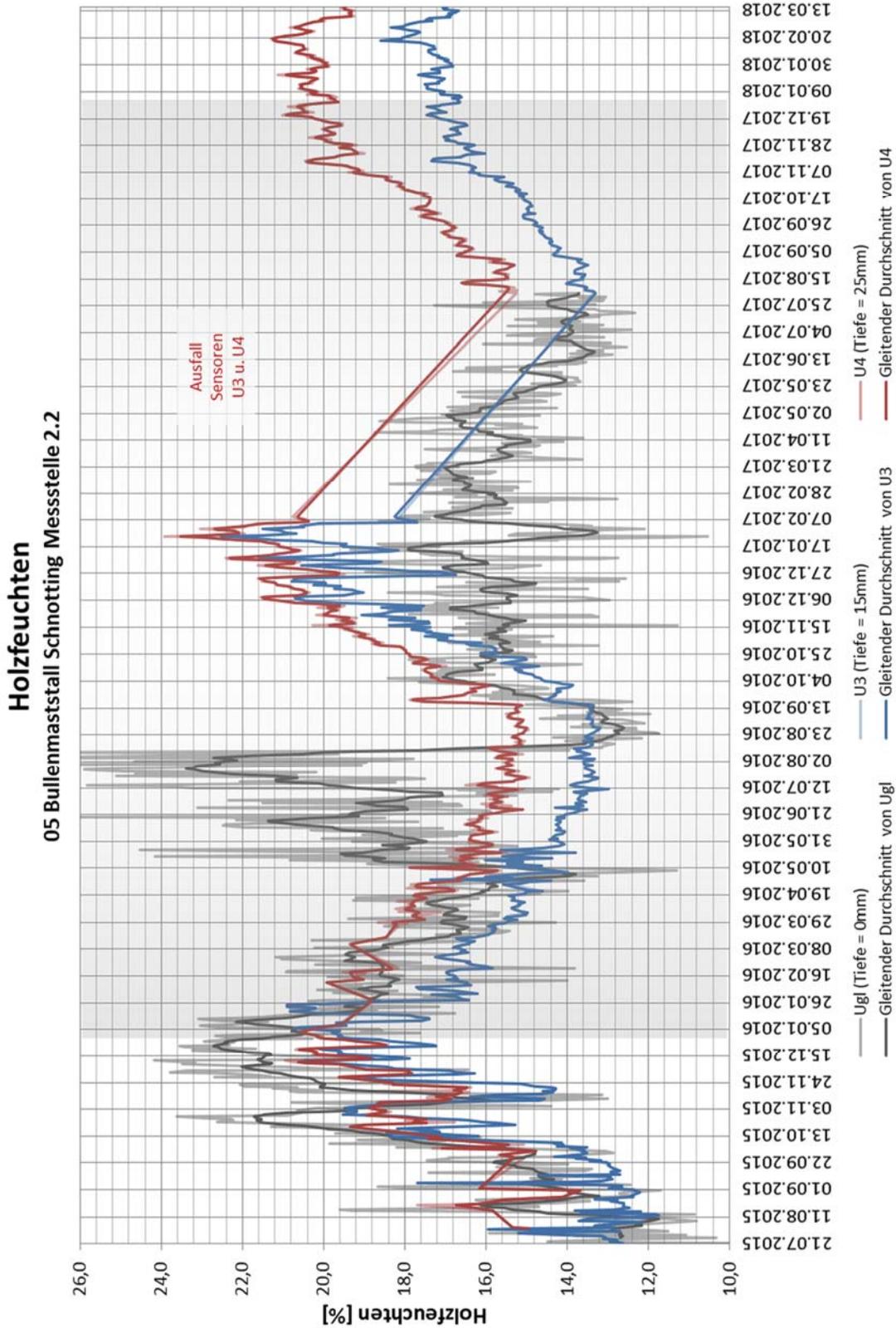
## Messsystem 2



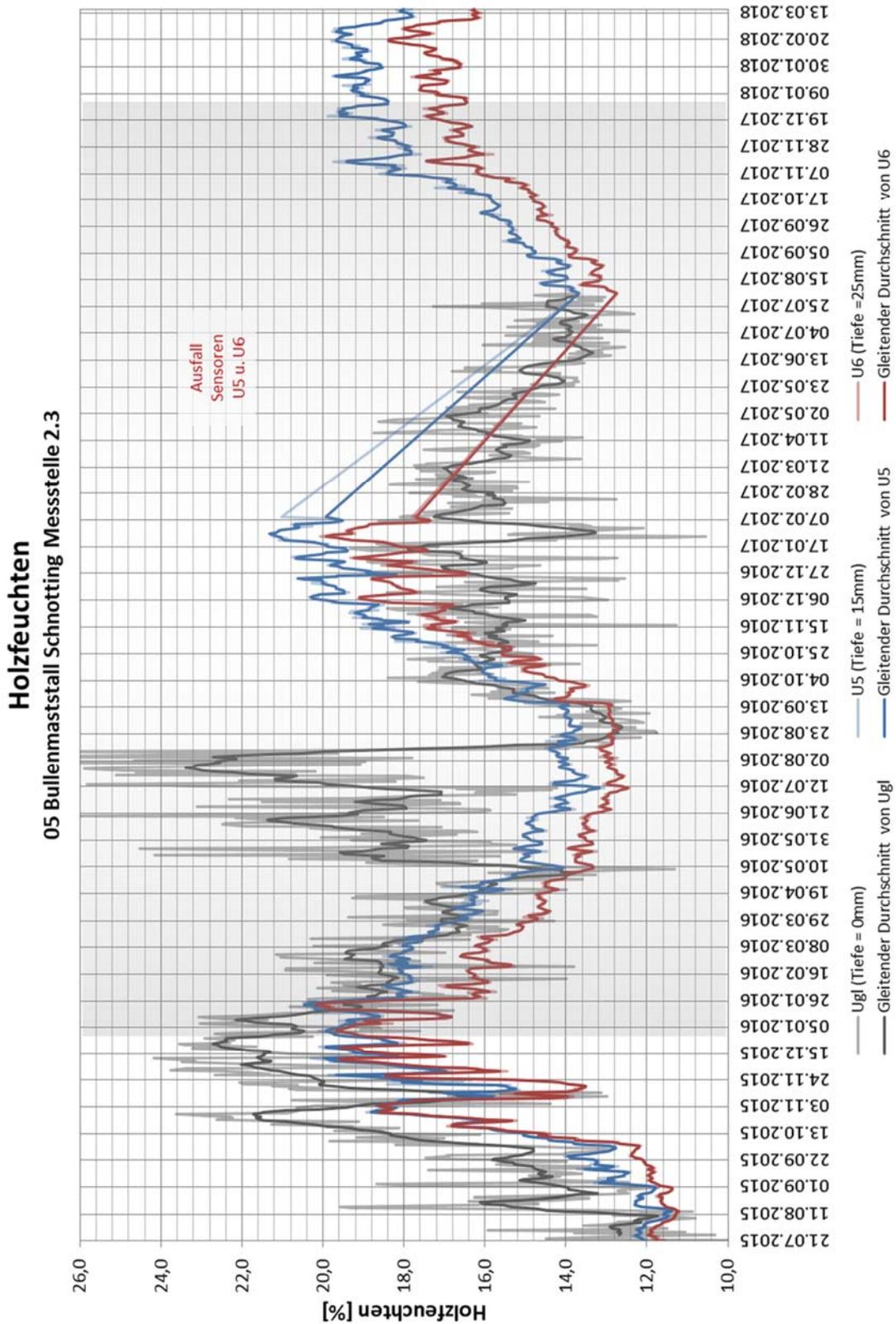
Messstelle 2.1



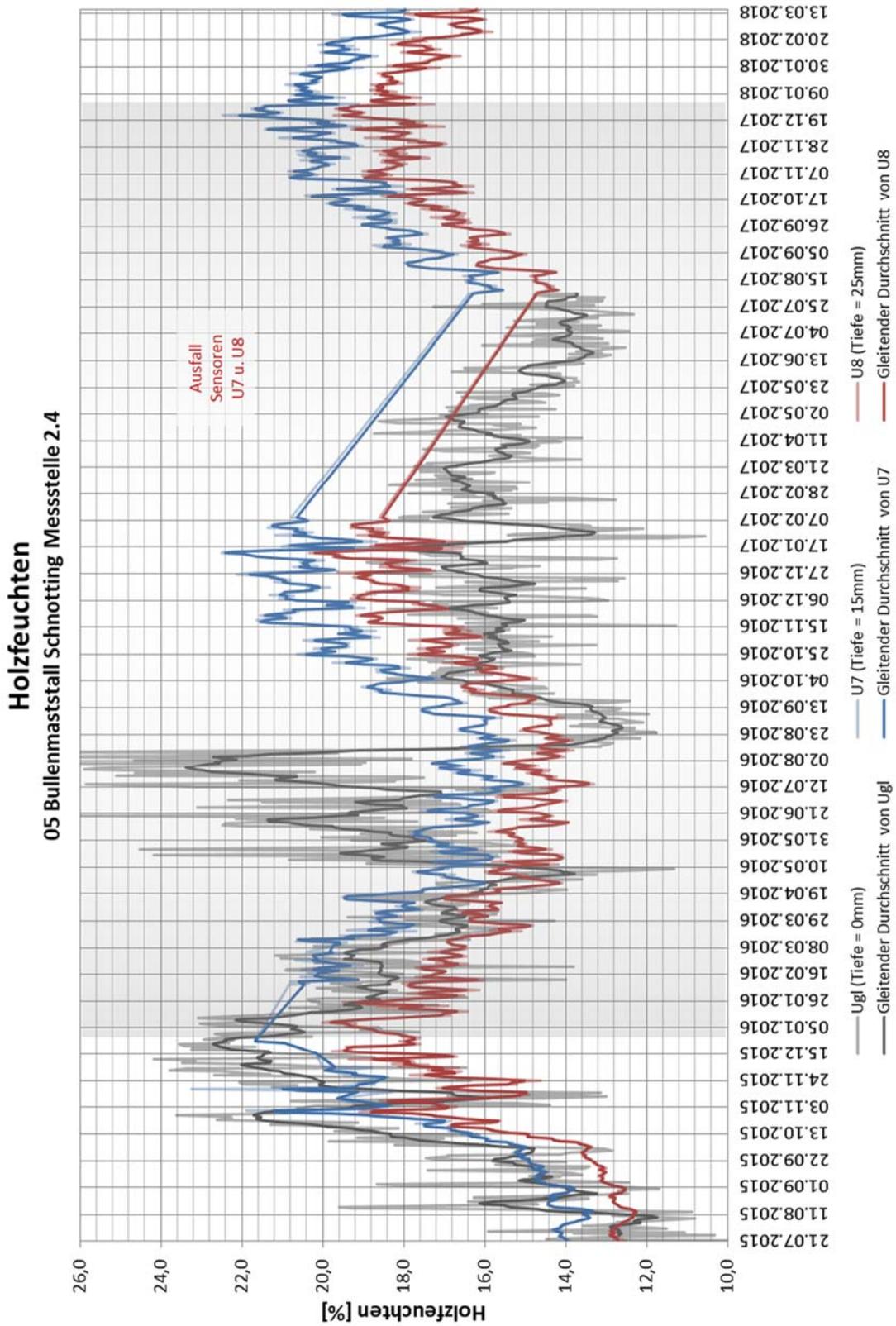
Messstelle 2.2



Messstelle 2.3



Messstelle 2.4



## Objekt 06: Schweinstall Kringell

Anschrift:	Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum für Ökologischen Landbau Kringell Kringell 2 94116 Hutthurm
Ansprechpartner:	Matthias Lippl (vor Ort)
Anwesende vor Ort:	Andreas Gamper, Sebastian Rodemeier, Maximilian Ernst, Jochen Simon (Auswahl, Besichtigung am 14.01.2015)
Installationsdatum:	20.05.2015, 08:00 – 23:00
Umgebungsbedingungen:	Abteil A: Abgehängte, gedämmte Decke und gedämmte Wände, Bodenheizung, mechanische Entlüftung  Abteil B: Abgehängte, gedämmte Decke und ungedämmte Wände, mechanische Entlüftung  Abteil C: Ungedämmt, Entlüftung über offenen First
Tragsystem:	Rahmenkonstruktion aus KVH-Fachwerkträgern

### Messsystem 1 (Abteil B):

Messstelle 1.1:	Am First	(15, 25 mm)
Messstelle 1.2:	Mitte Untergurt des Dachstuhls	(15, 25 mm)
Messstelle 1.3:	Untergurt traufseitig	(15, 25 mm)
Messstelle 1.4:	Unten im Stall auf dem Querbalken der Außenwand	(15, 25 mm)

### Messsystem 2 (Abteil A):

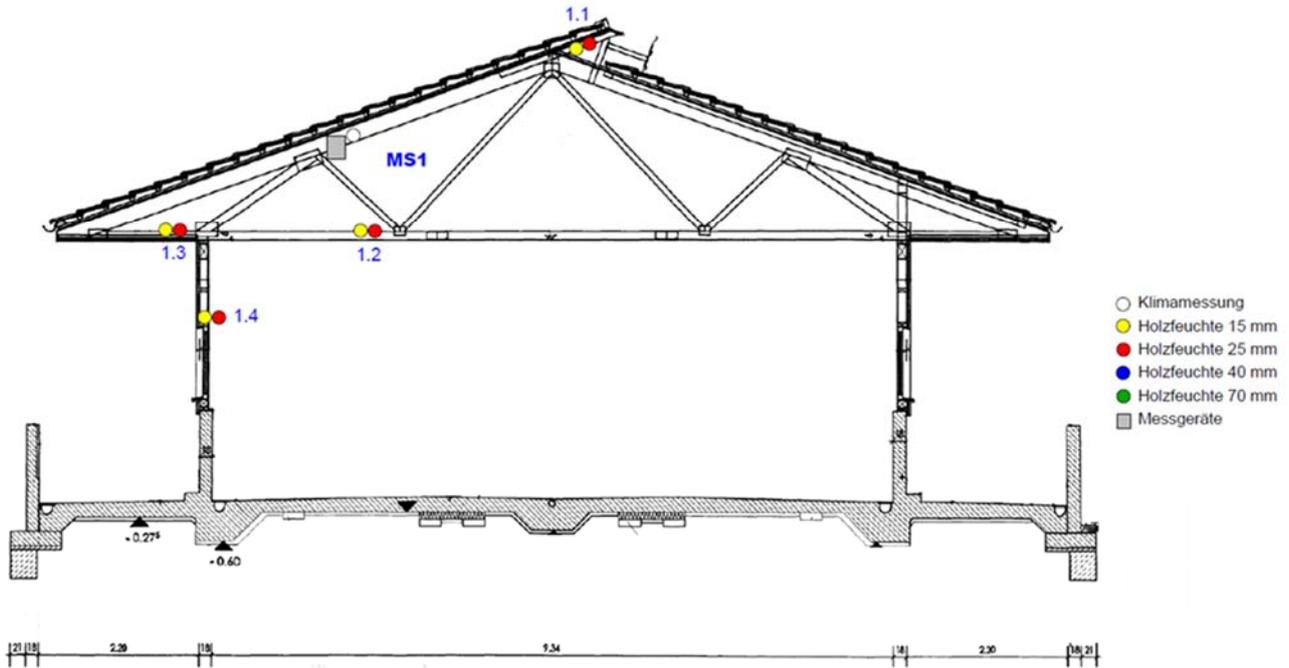
Messstelle 2.1:	Am First	(15, 25 mm)
Messstelle 2.2:	Diagonale unterhalb dem First	(15, 25 mm)
Messstelle 2.3:	Mitte Untergurt des Dachstuhls	(15, 25 mm)
Messstelle 2.4:	Untergurt traufseitig	(15, 25 mm)

### Messsystem 3 (Abteil C):

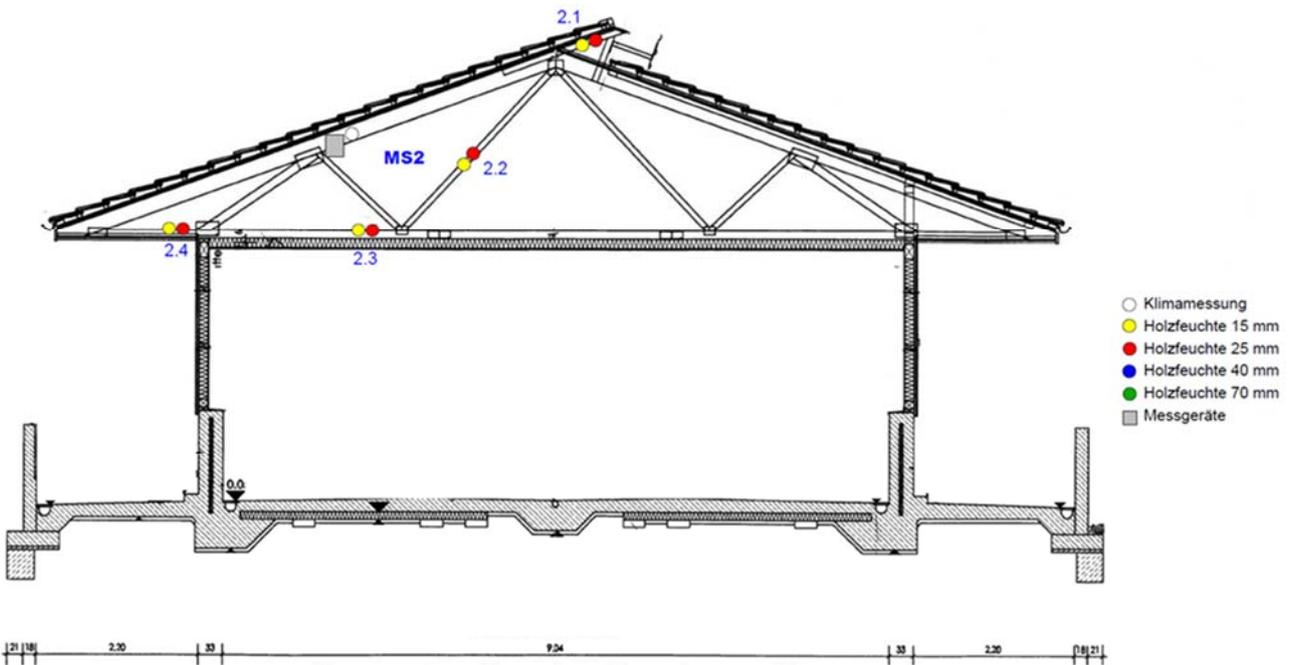
Messstelle 3.1:	Am First	(15, 25 mm)
Messstelle 3.2:	Ständer des Dachstuhls	(15, 25 mm)
Messstelle 3.3:	Untergurt traufseitig	(15, 25 mm)
Messstelle 3.4:	Unten im Stall auf dem Querbalken der Außenwand	(15, 25 mm)

Skizze:

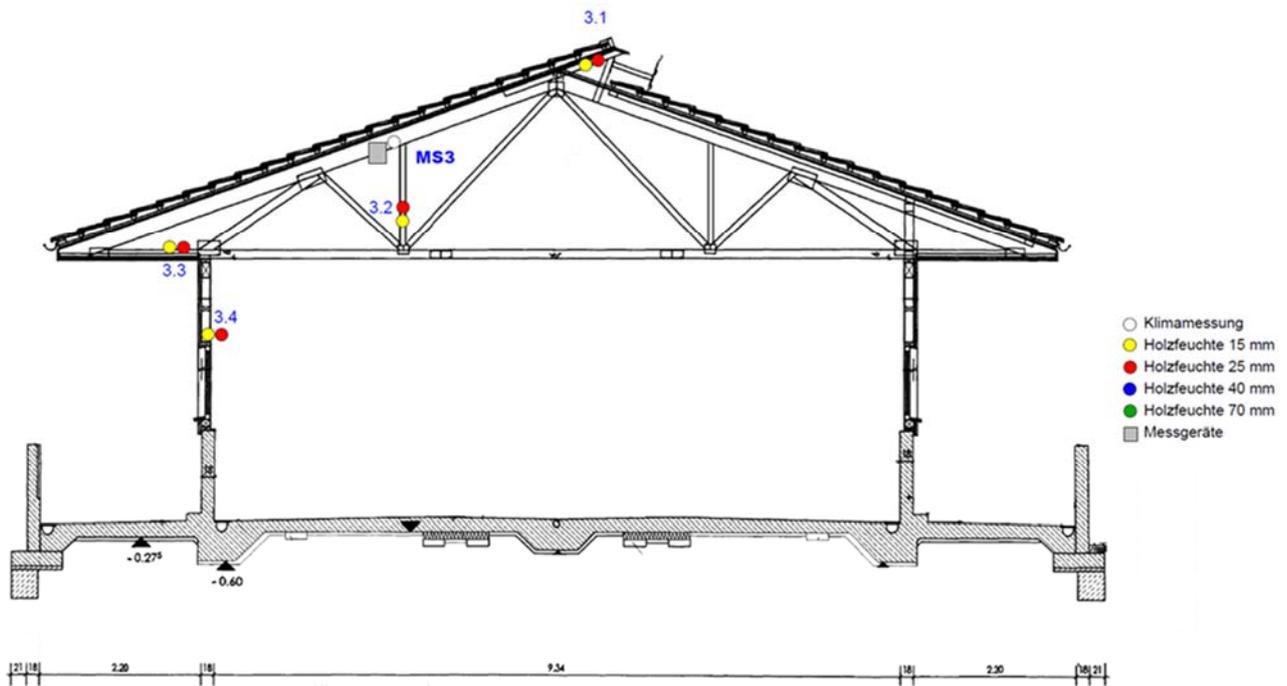




**Messsystem 1 in Abteil B mit abgehängter, gedämmter Decke und ungedämmten Wänden**



**Messsystem 2 in Abteil A mit abgehängter, gedämmter Decke und gedämmten Wänden**



**Messsystem 3 in Abteil C mit ungedämmten Wänden und ohne abgehängte Decke**

Bilder:



Abbildung 16: Gesamtansicht der Abteile A und B des Stalls



Abbildung 17: Gesamtansicht des Abteils C des Stalls



Abbildung 18: Anordnung der Messstellen des Messsystems 1 (Abteil B)



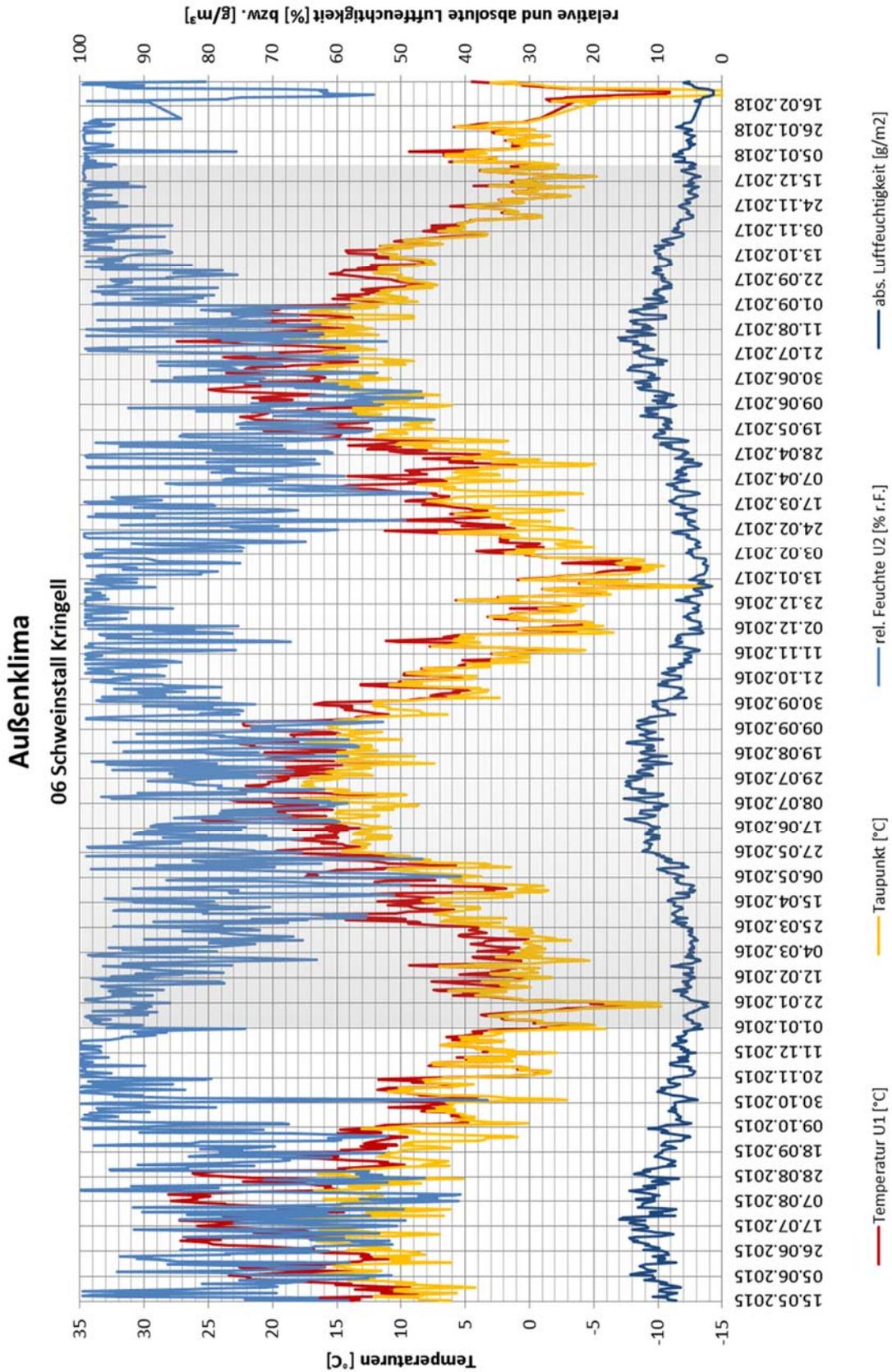
Abbildung 19: Anordnung der Messstellen des Messsystems 2 (Abteil A)



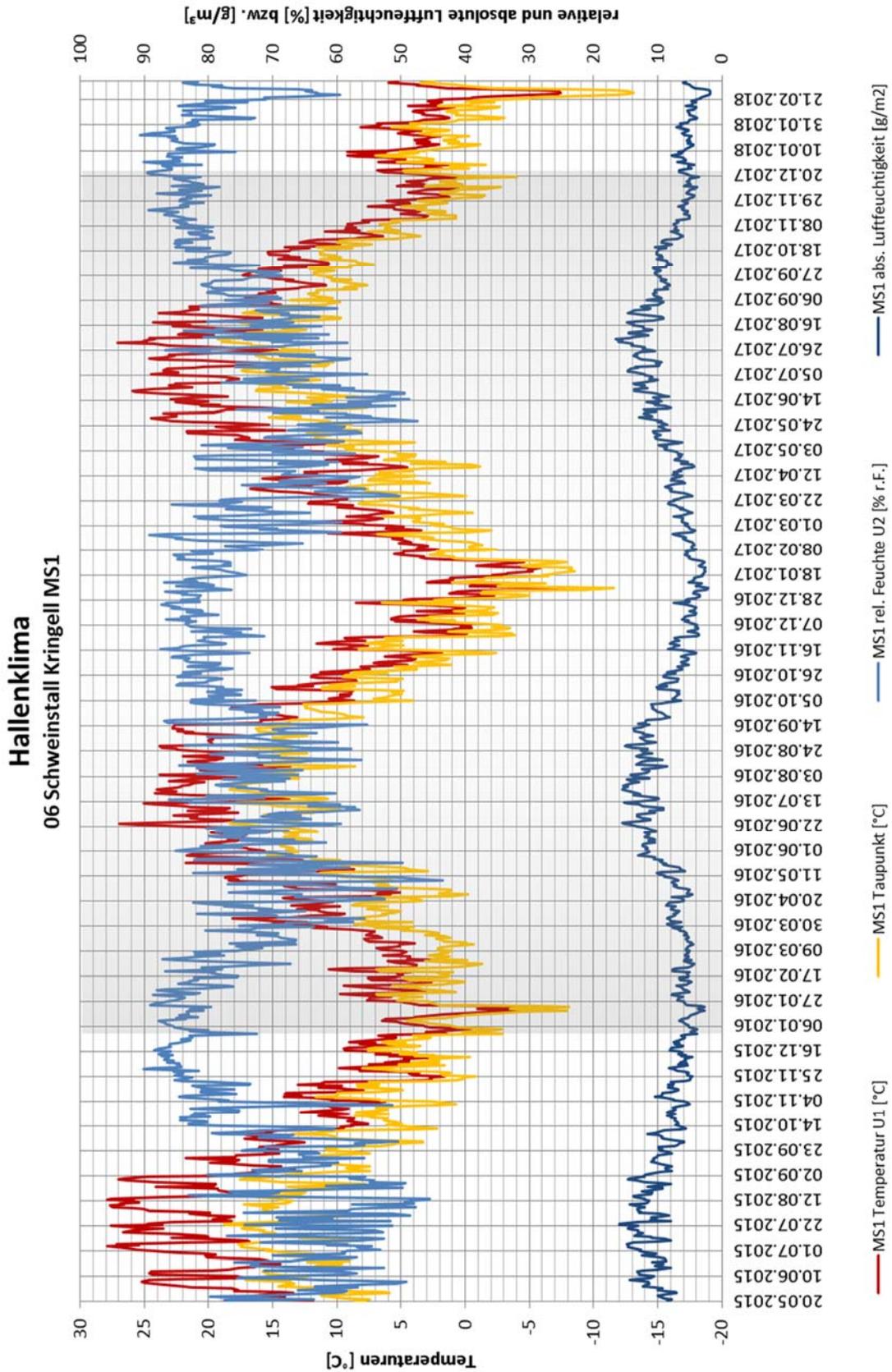
Abbildung 20: Anordnung der Messstellen des Messsystems 3 (Abteil C)



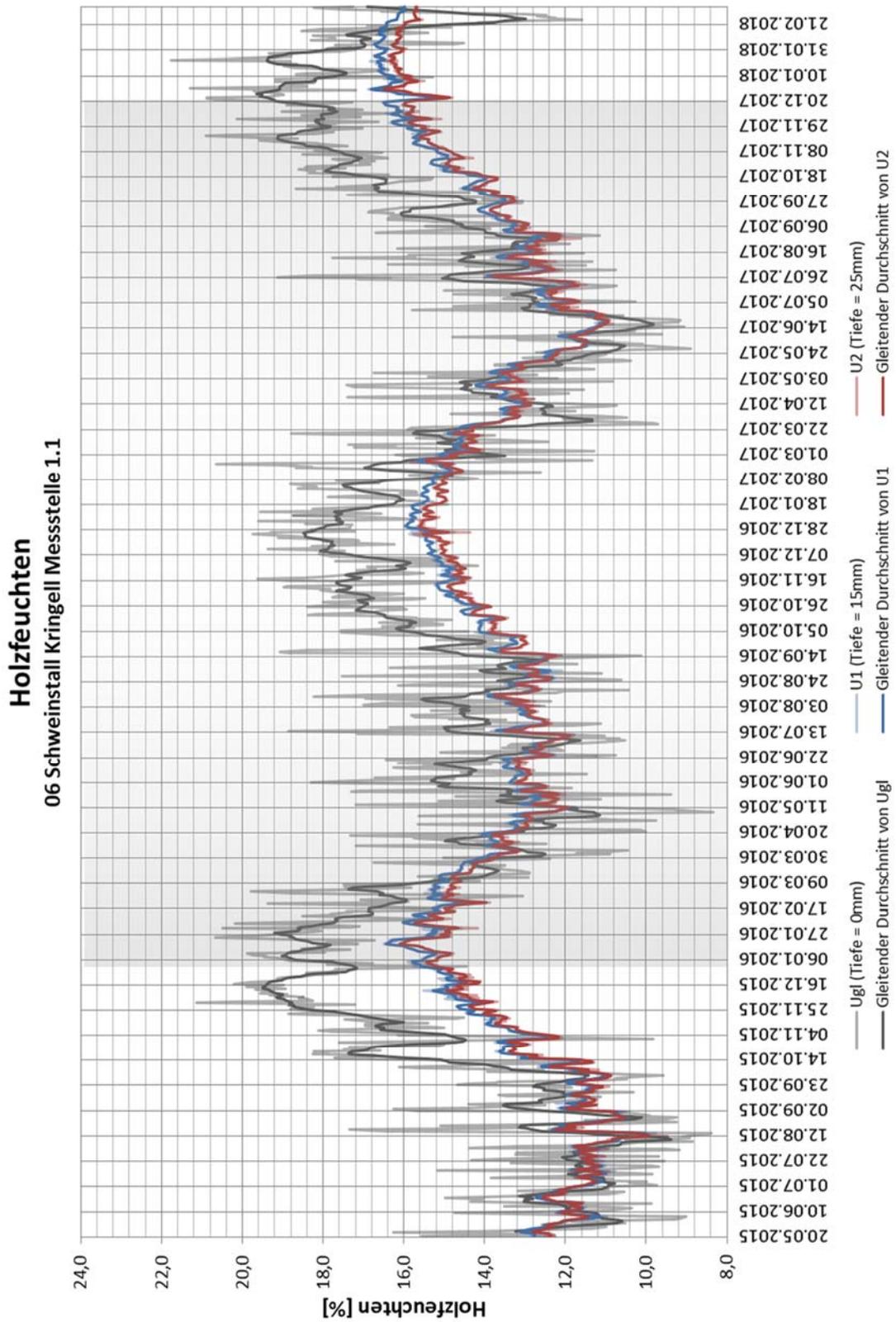
## Außenklima



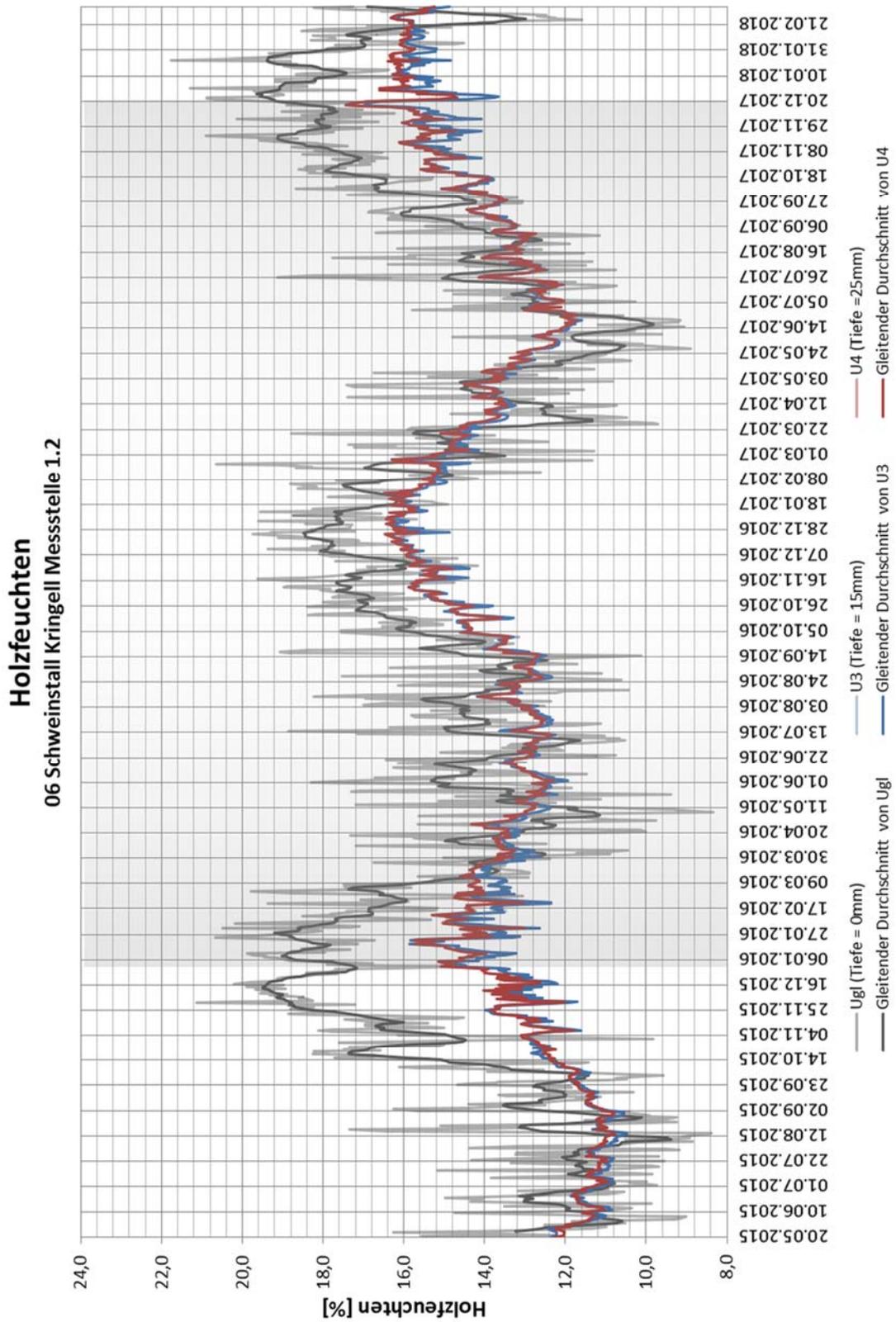
### Messsystem 1



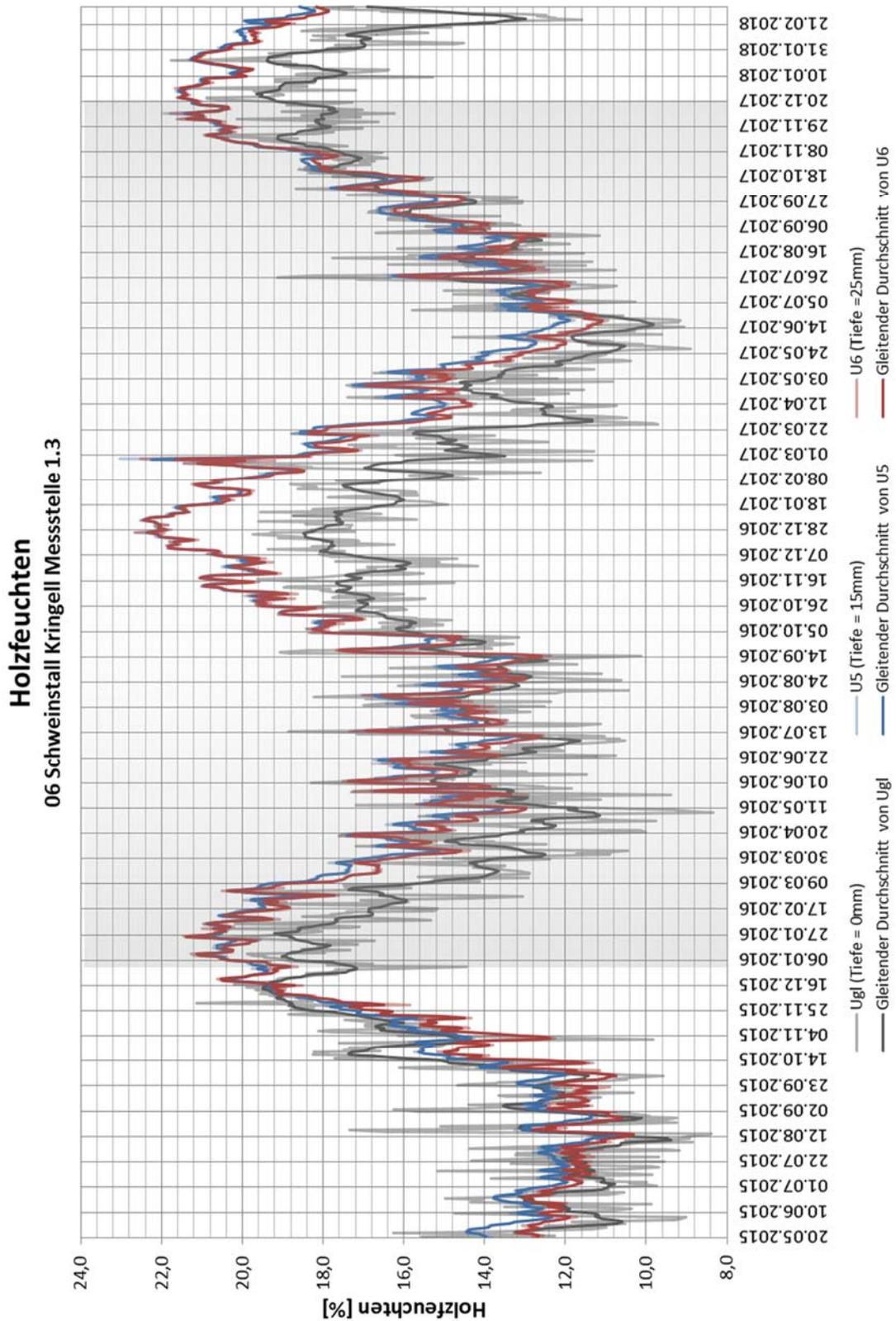
Messstelle 1.1



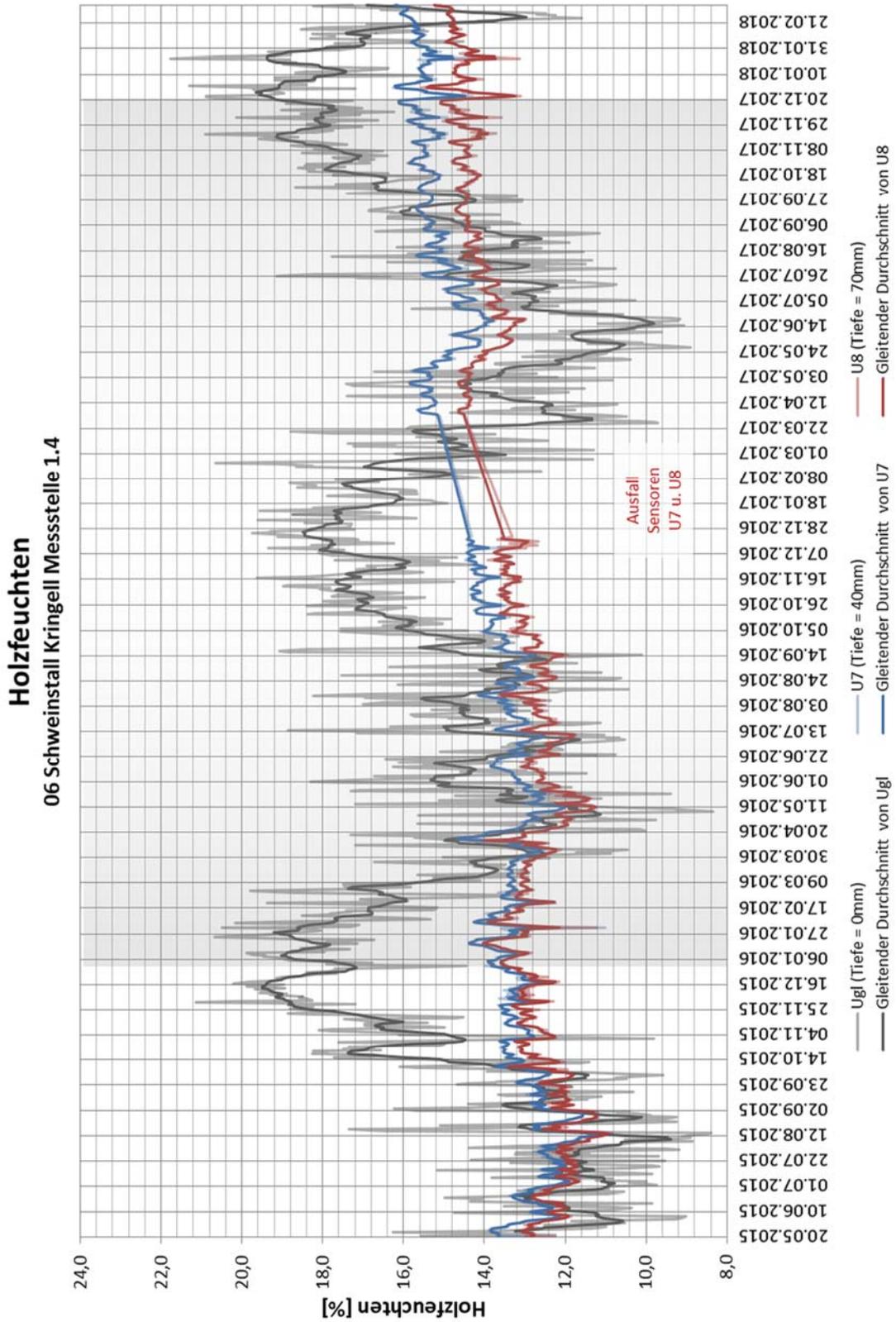
Messstelle 1.2



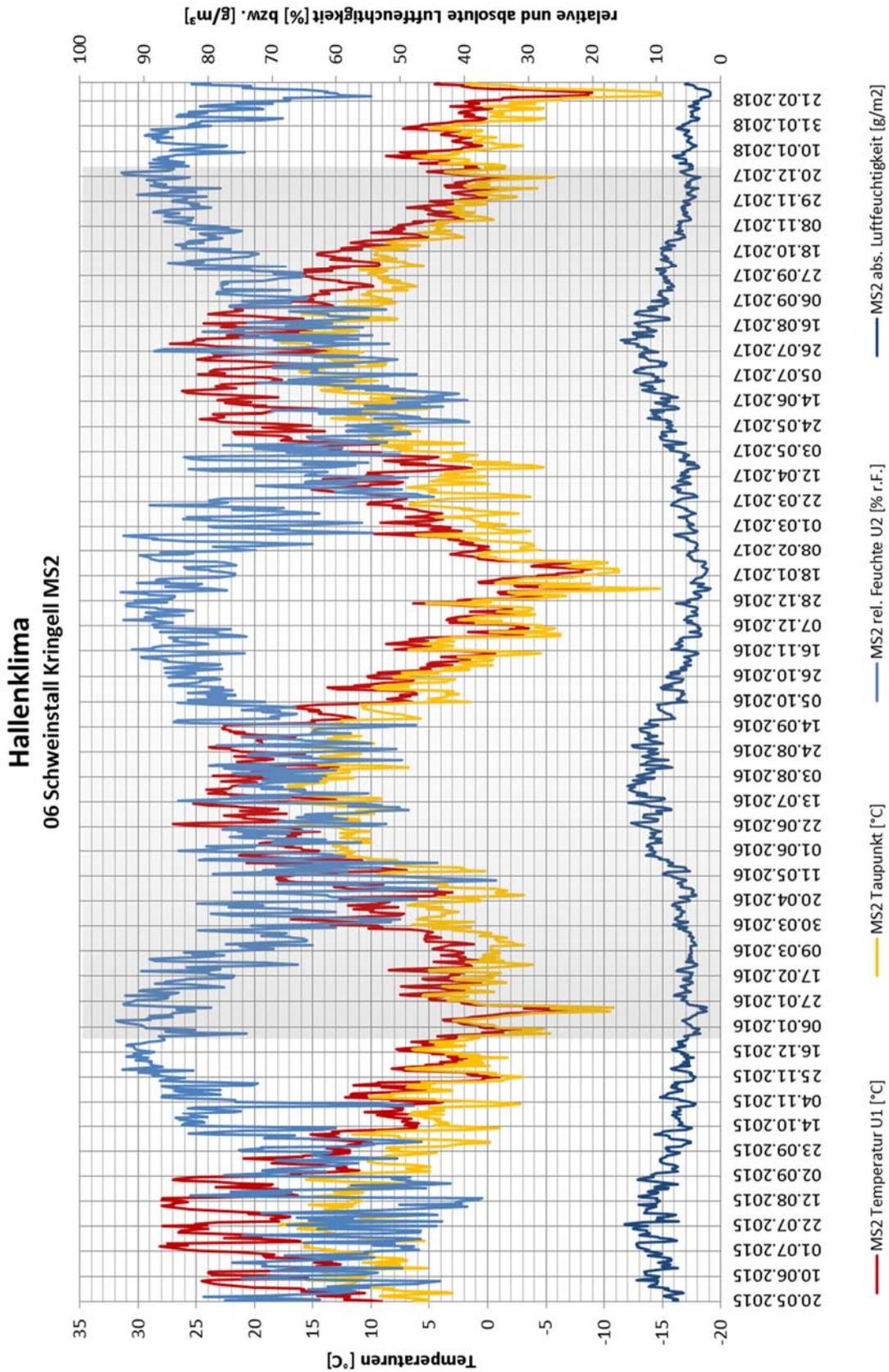
Messstelle 1.3



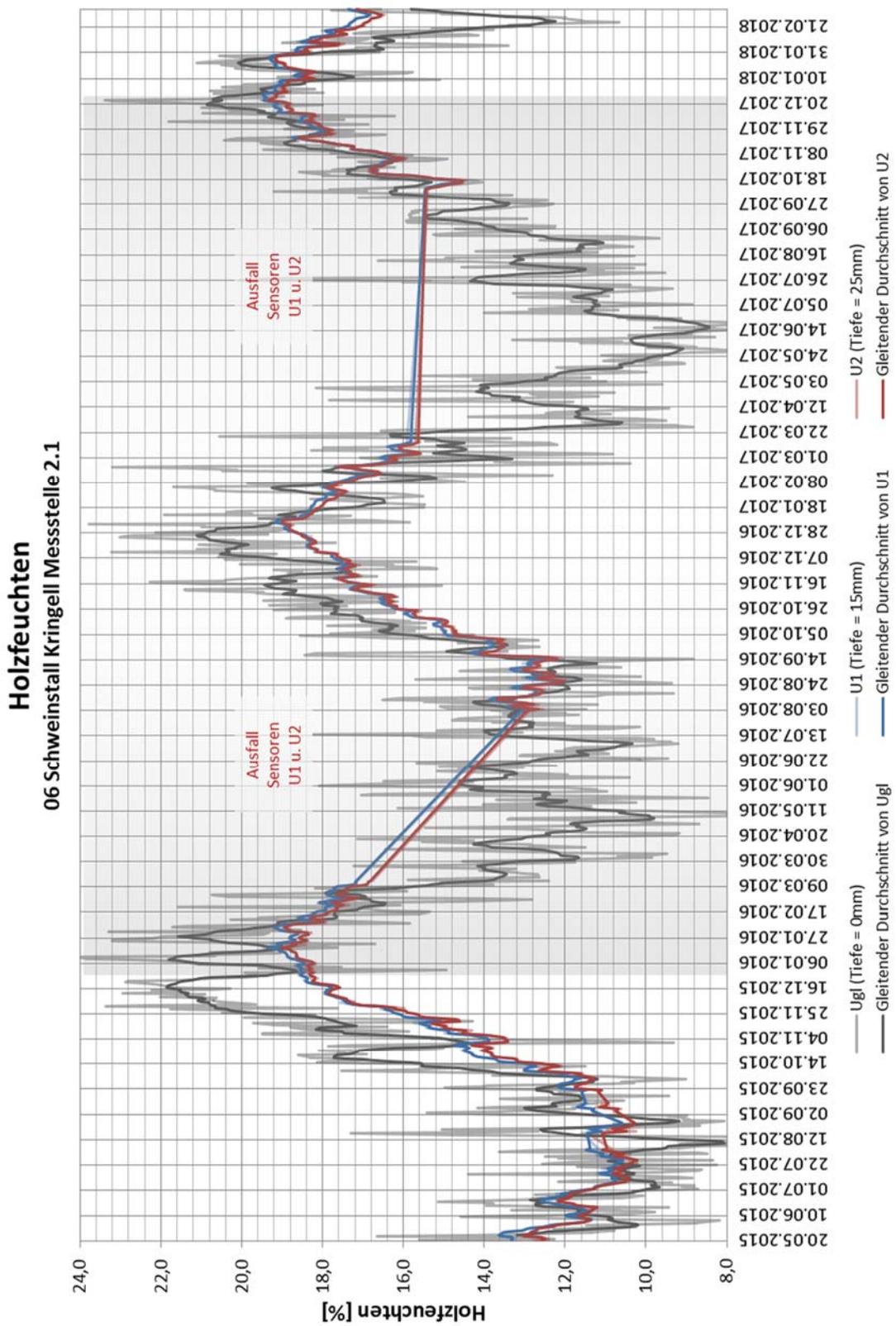
Messstelle 1.4



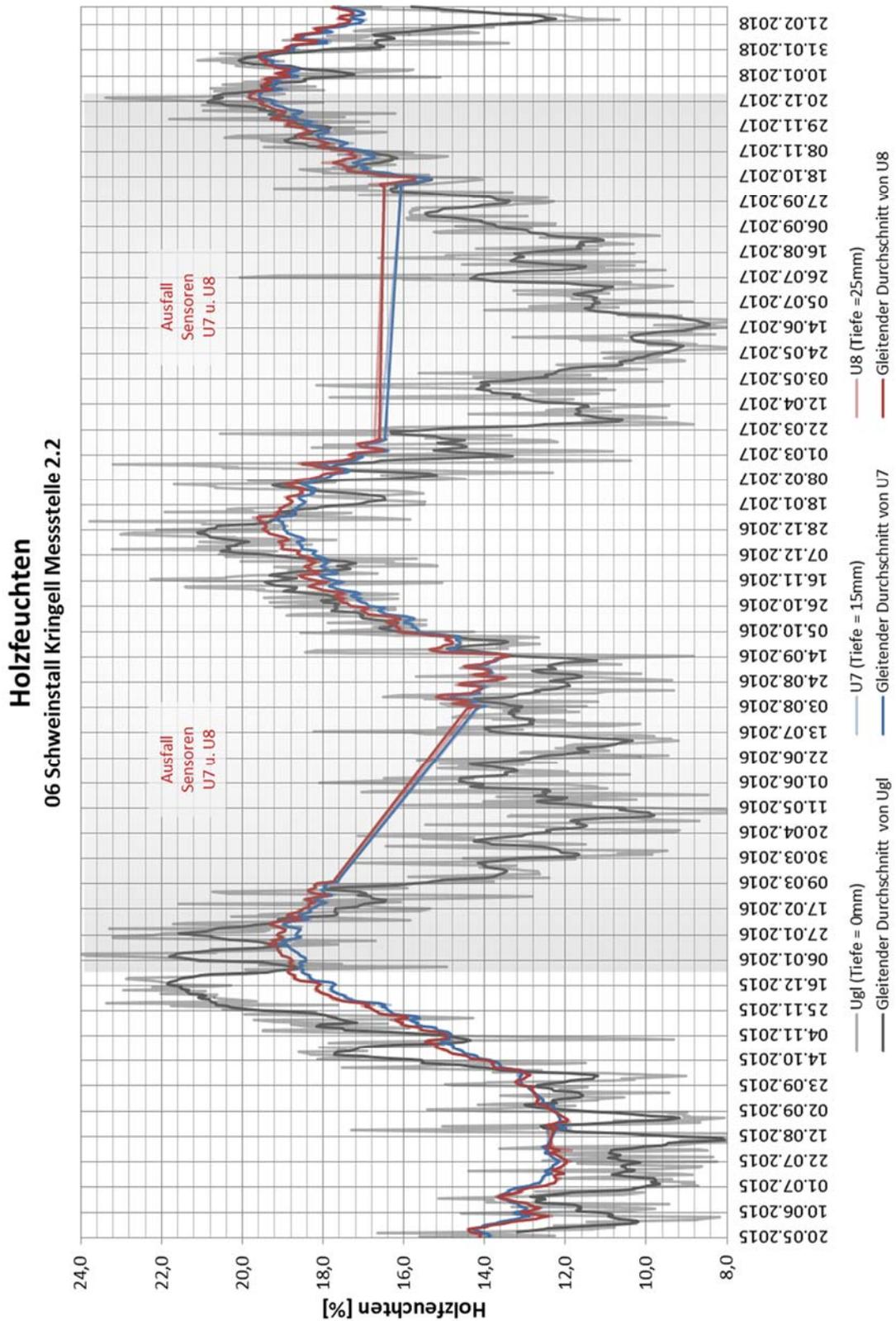
## Messsystem 2



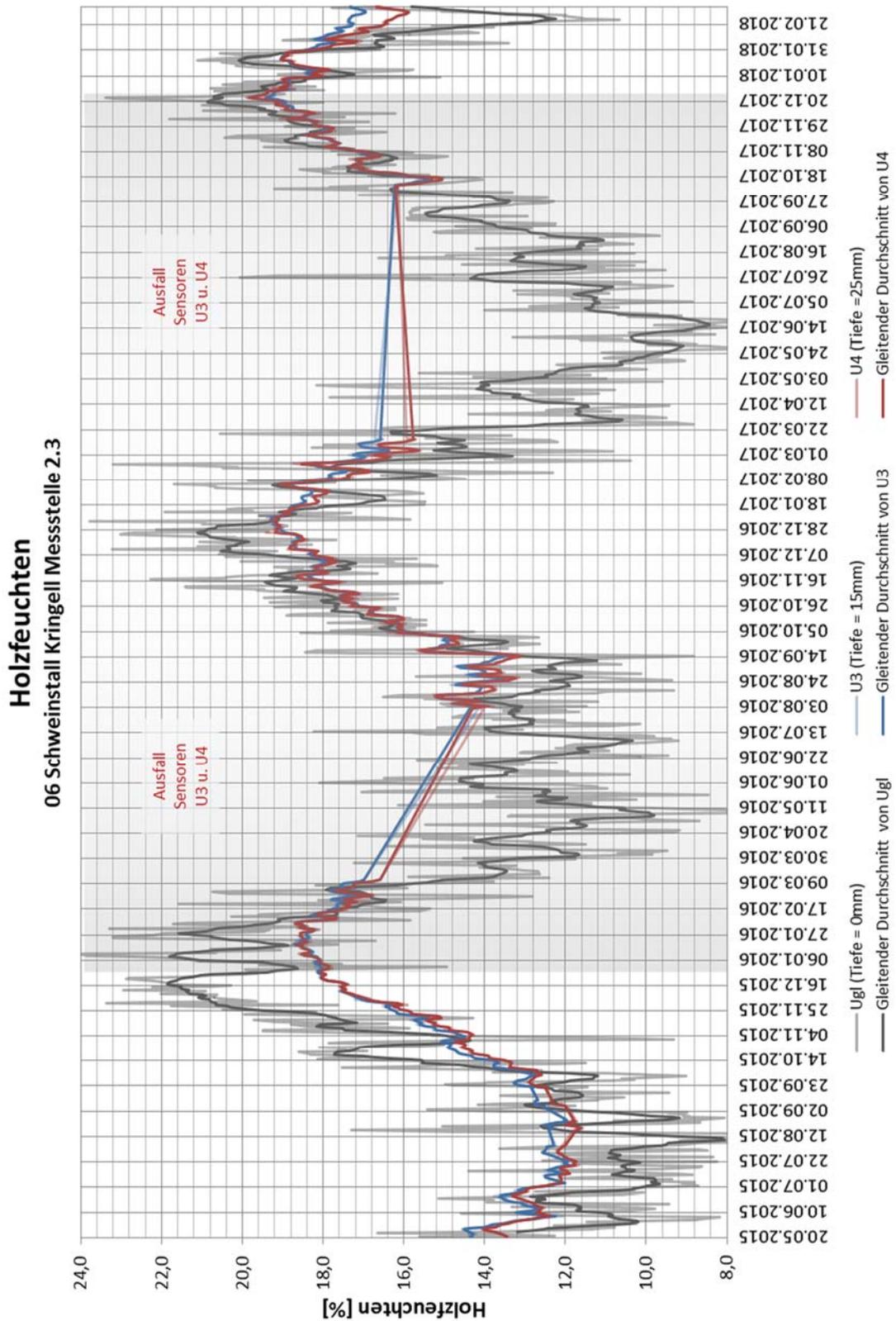
Messstelle 2.1



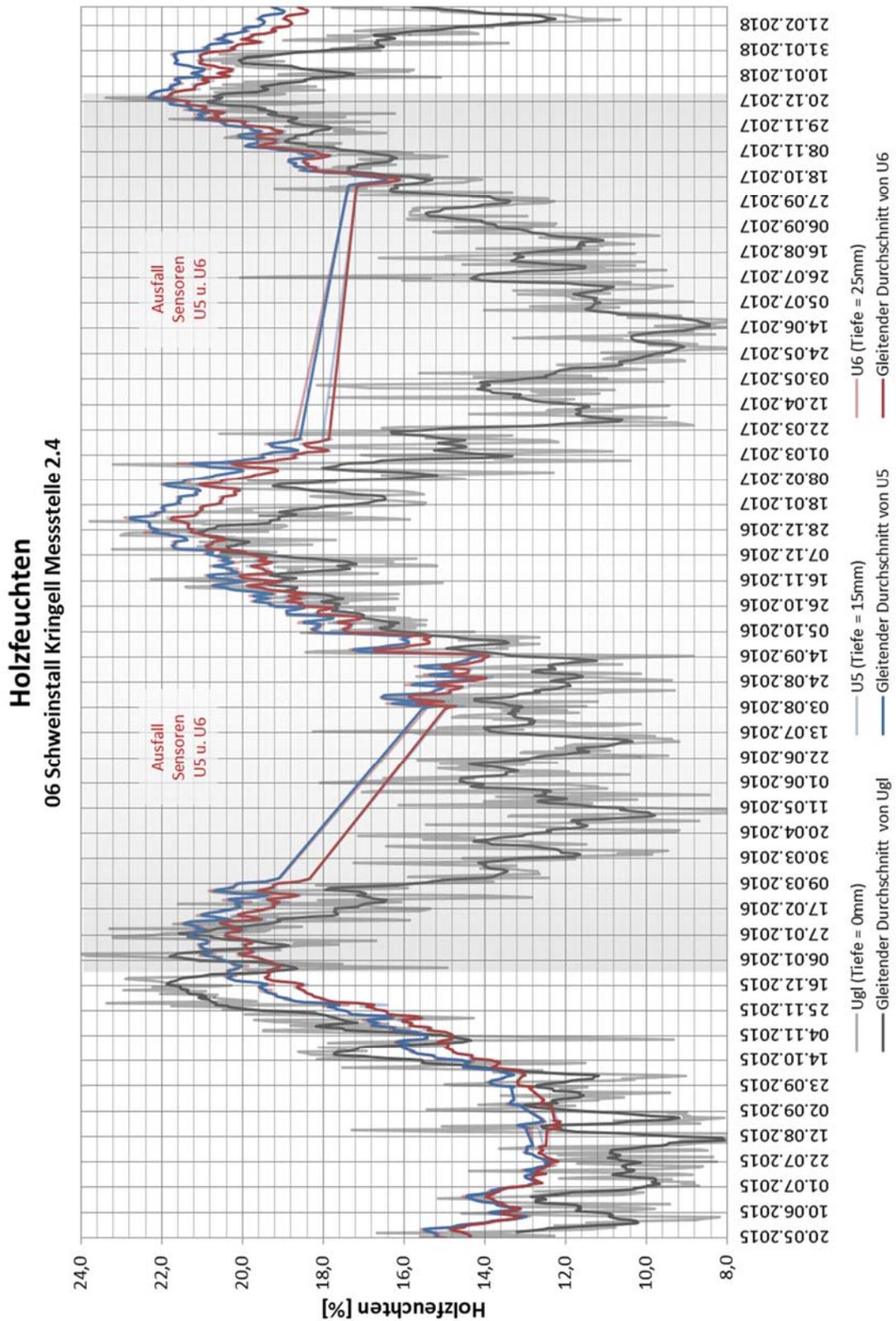
Messstelle 2.2



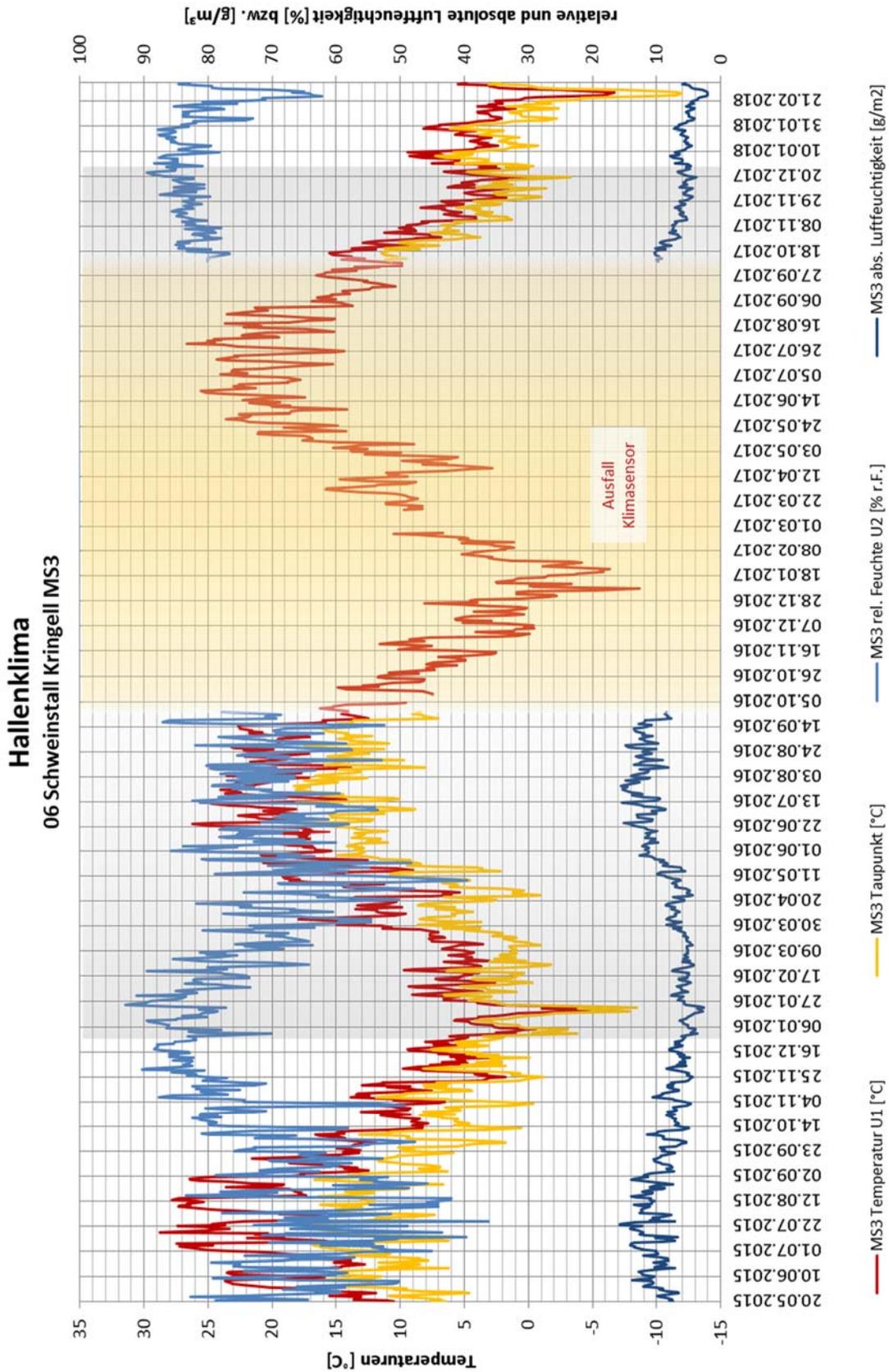
Messstelle 2.3



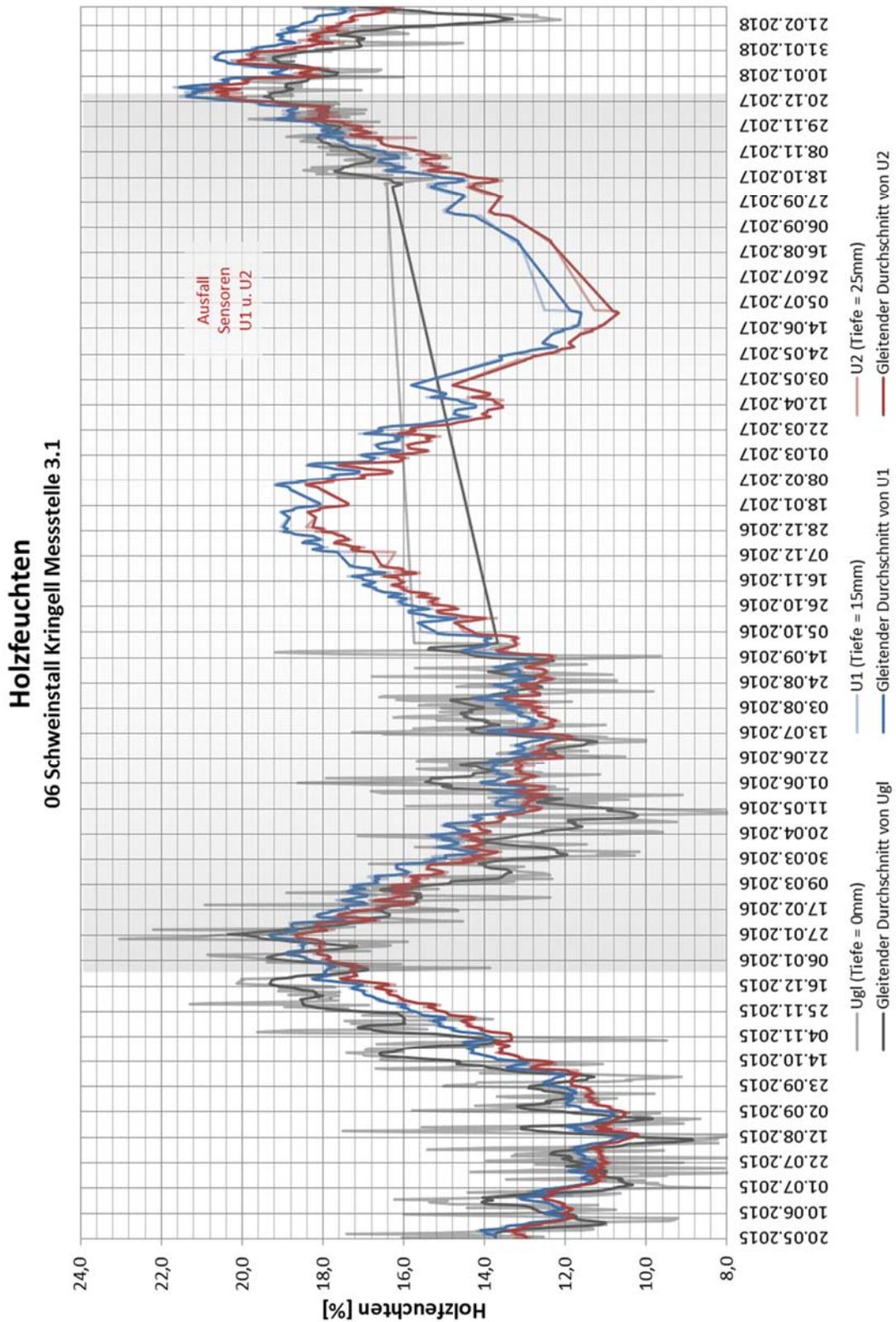
Messstelle 2.4



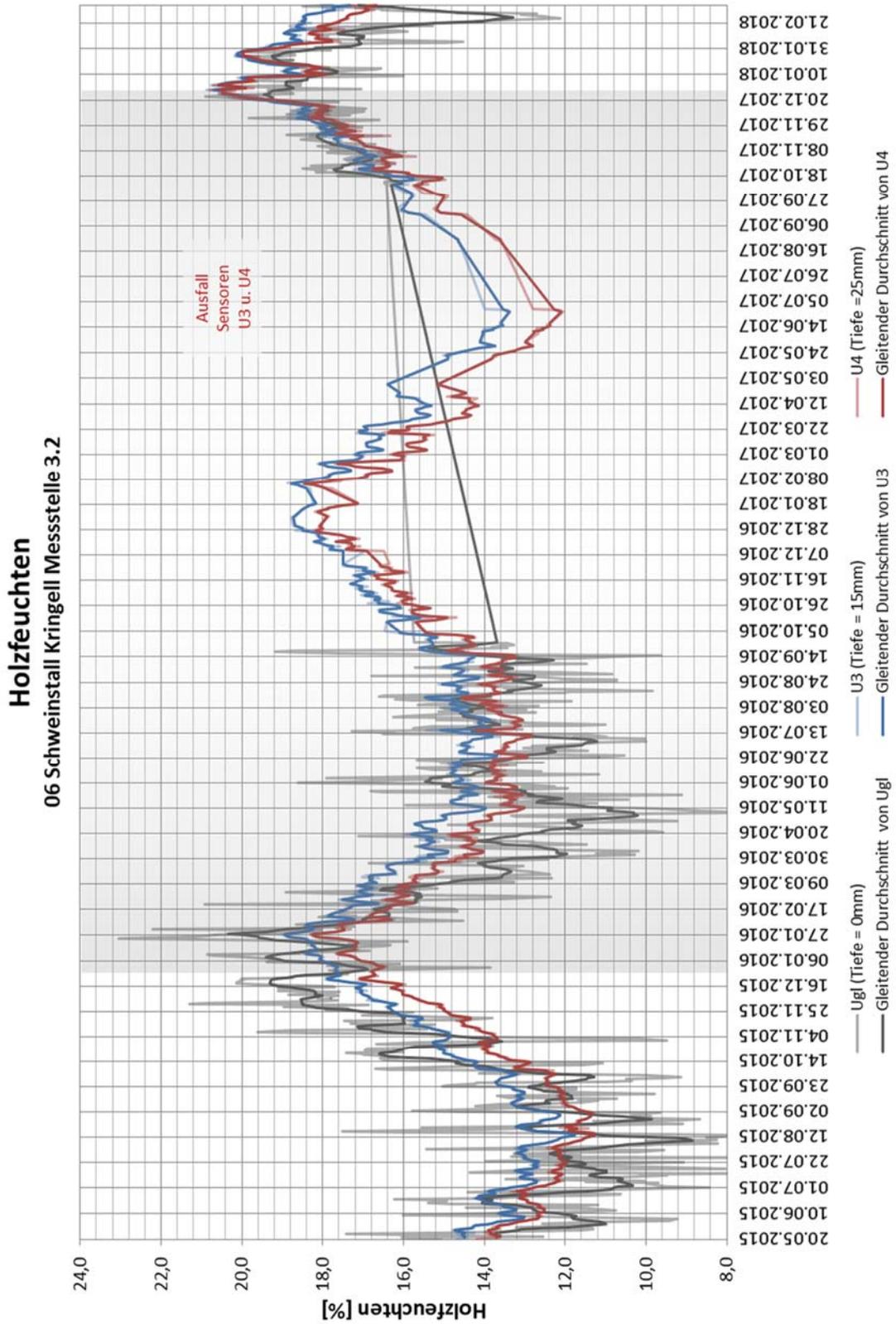
### Messsystem 3



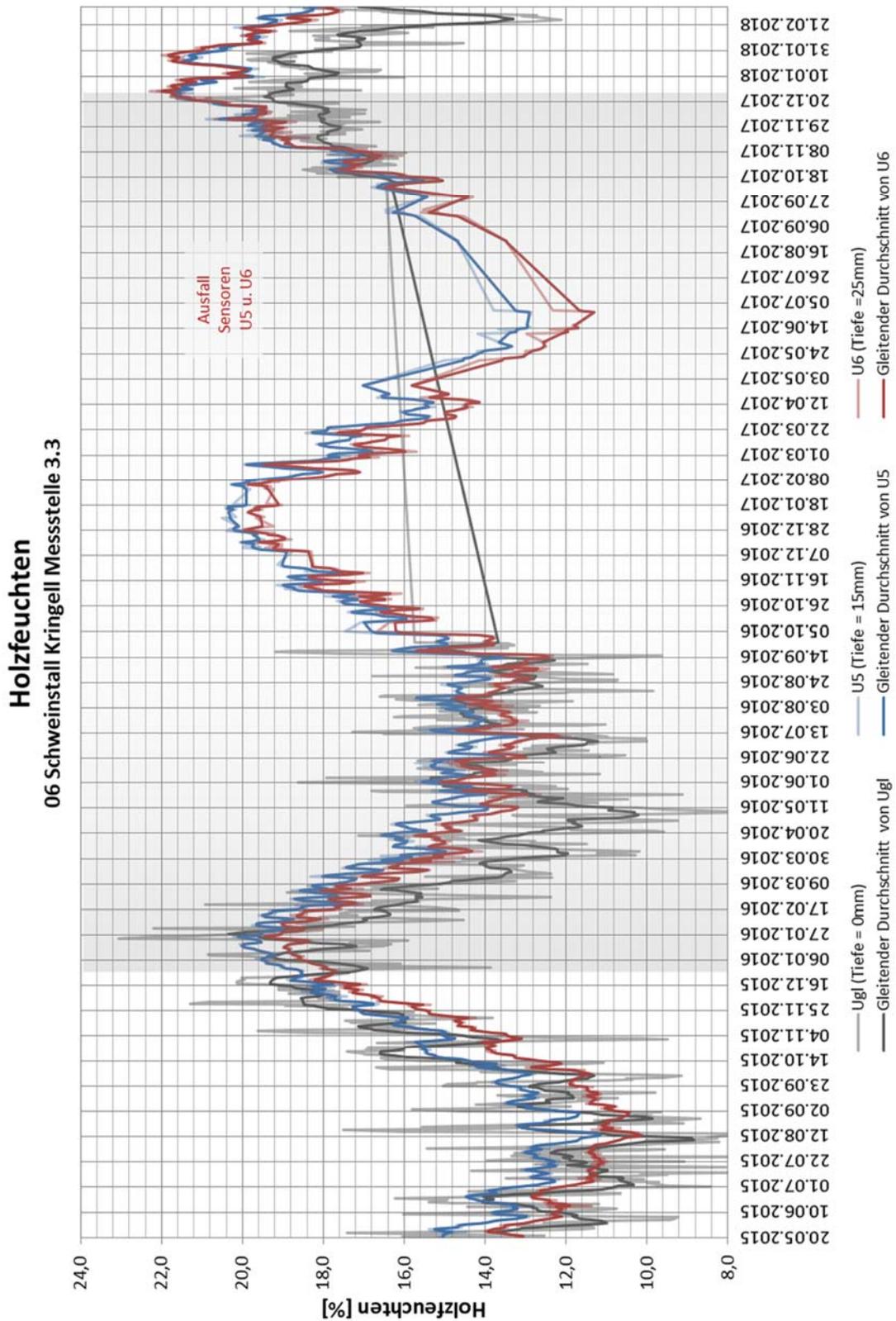
Messstelle 3.1



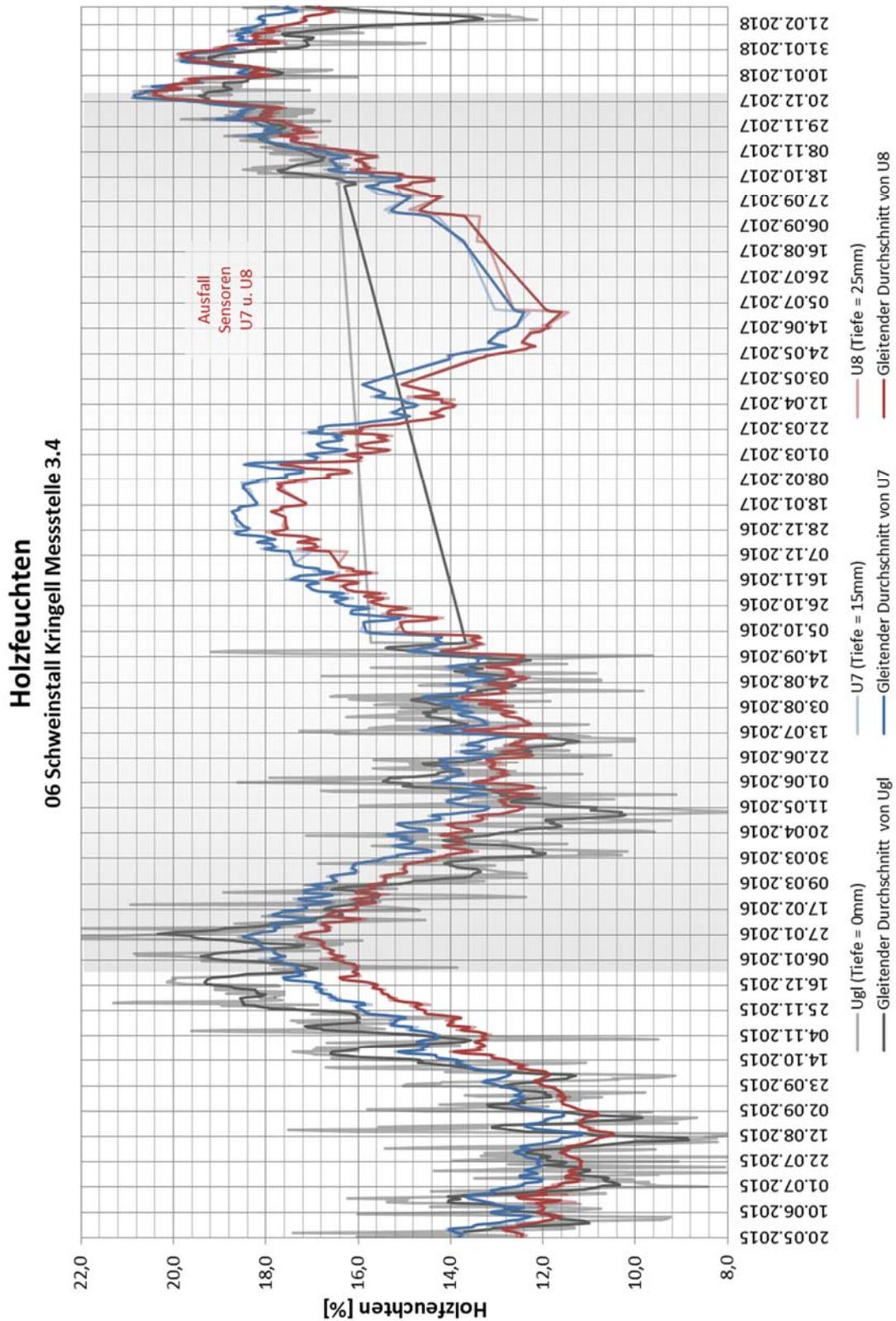
Messstelle 3.2



Messstelle 3.3



Messstelle 3.4



## Objekt 07: Mineraldüngerhalle Möschenfeld

Anschrift:	Wilhelm Finck Agrar Möschenfeld 5 85630 Grasbrunn
Ansprechpartner:	Hans Keller (vor Ort)
Anwesende vor Ort:	Andreas Gamper, Yuan Jiang, Maximilian Ernst, Jochen Simon (Auswahl, Besichtigung am 04.02.2015)
Installationsdatum:	04.03.2015, 11:00 – 16:00
Umgebungsbedingungen:	Geschlossene Halle mit Abteilen zur Düngerlagerung
Tragsystem:	Rahmenkonstruktion aus KVH-Fachwerkträgern, mit nichttragenden Holzstützen zur Abtrennung einzelner Abteile

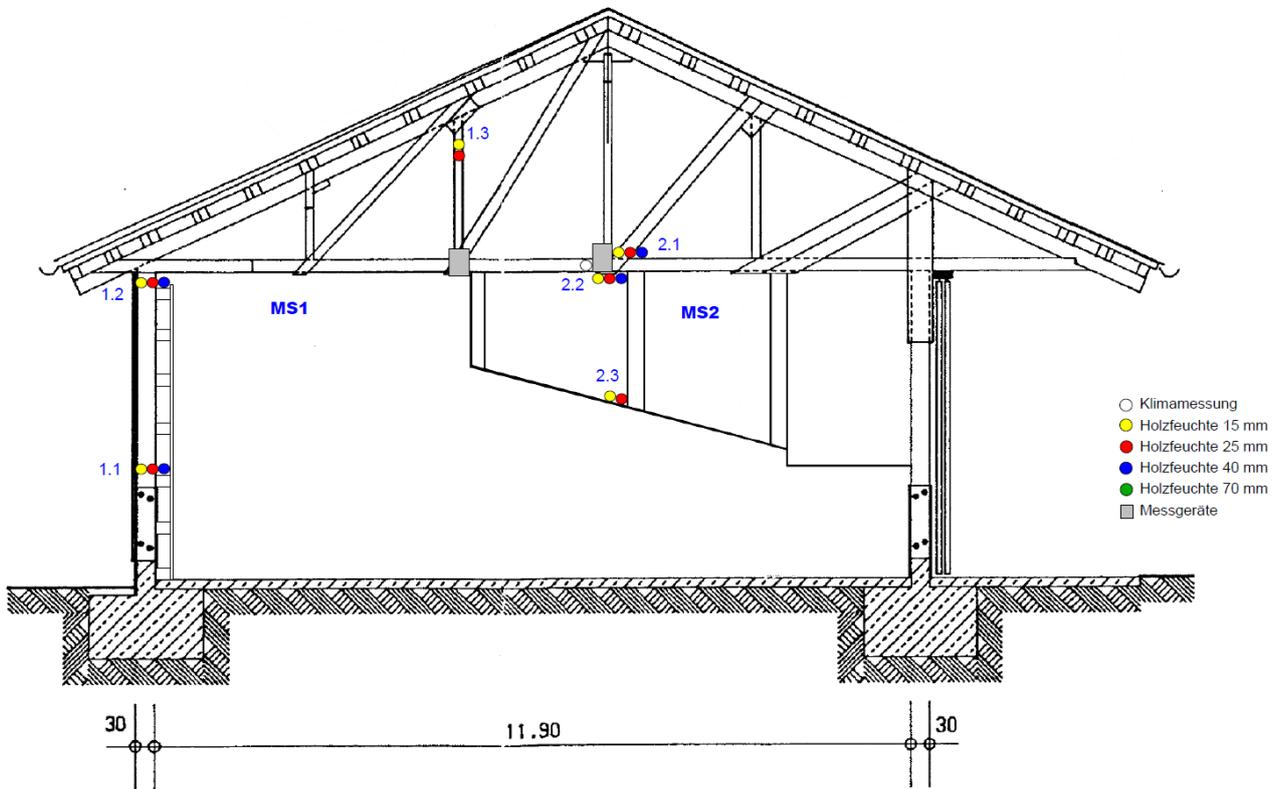
### Messsystem 1:

Messstelle 1.1:	Untere Querriegel hinter der OSB-Verkleidung	(15, 25, 40 mm)
Messstelle 1.2:	Obere Querriegel hinter der OSB-Verkleidung	(15, 25, 40 mm)
Messstelle 1.3:	Zweite Stütze des Dachstuhls	(15, 25 mm)

### Messsystem 2:

Messstelle 2.1:	Oberseite des Untergurtes	(15, 25, 40 mm)
Messstelle 2.2:	Unterseite des Untergurtes	(15, 25, 40 mm)
Messstelle 2.3:	Abtrennung der Lagerboxen	(15, 25 mm)

Skizze:



Bilder:



Abbildung 21: Ansicht der Halle im geöffneten Zustand



Abbildung 22: Ansicht der Halle im geschlossenen Zustand

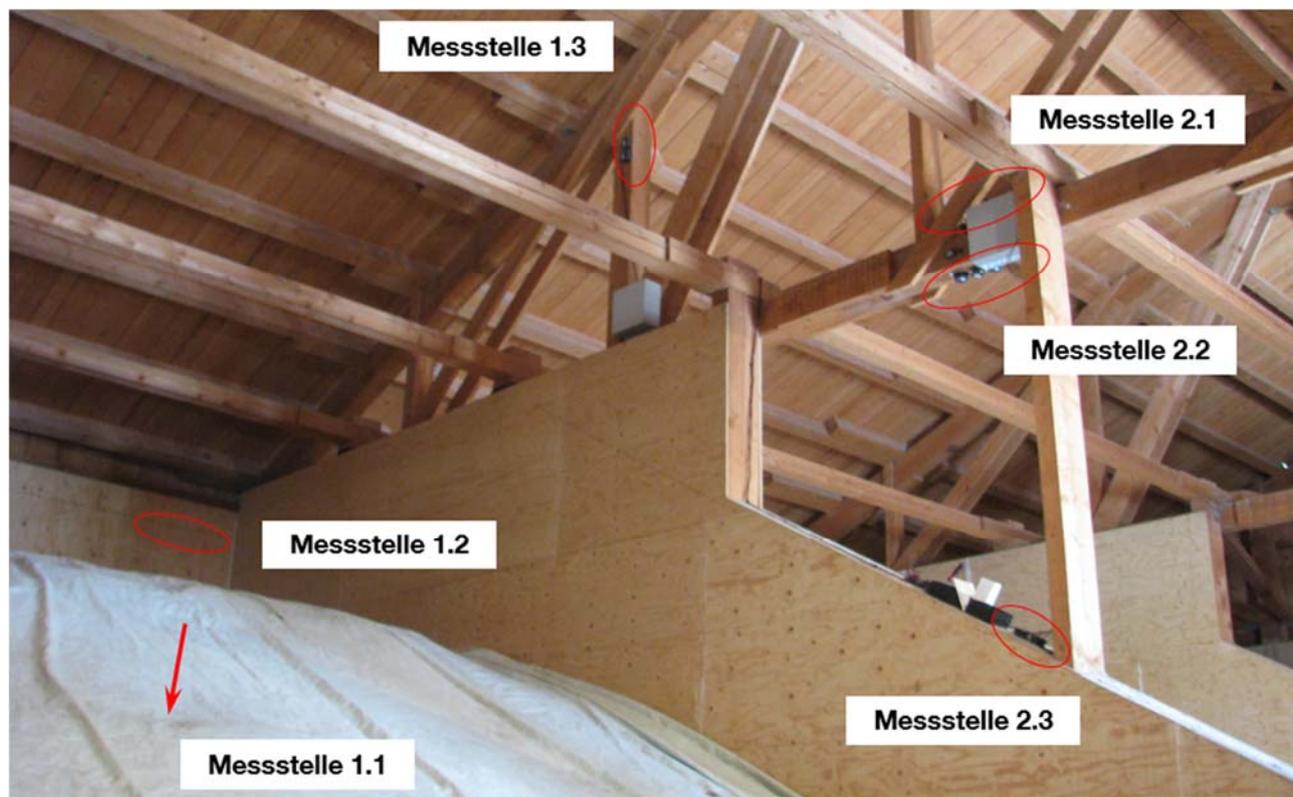
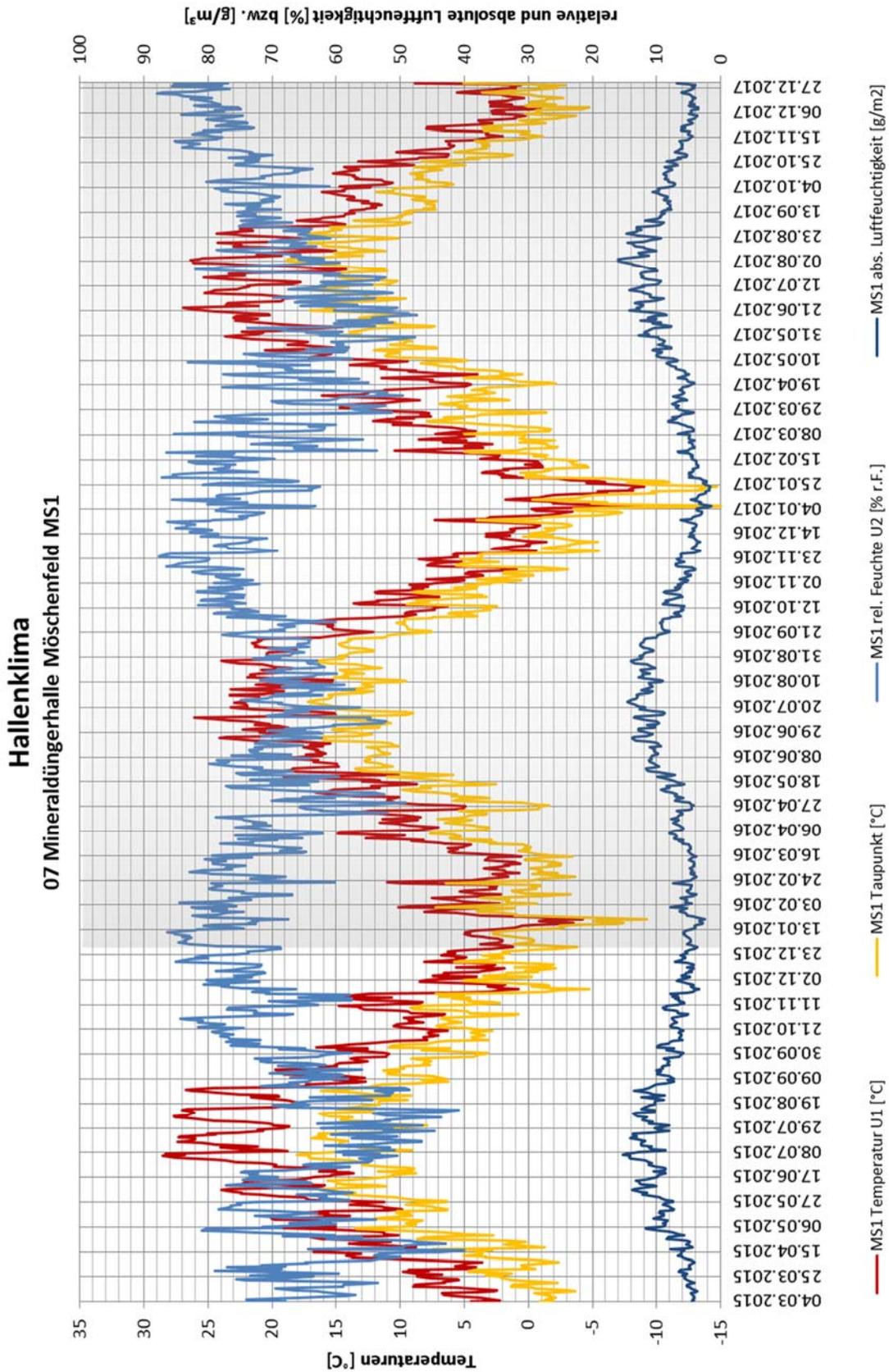


Abbildung 23: Anordnung der Messstellen

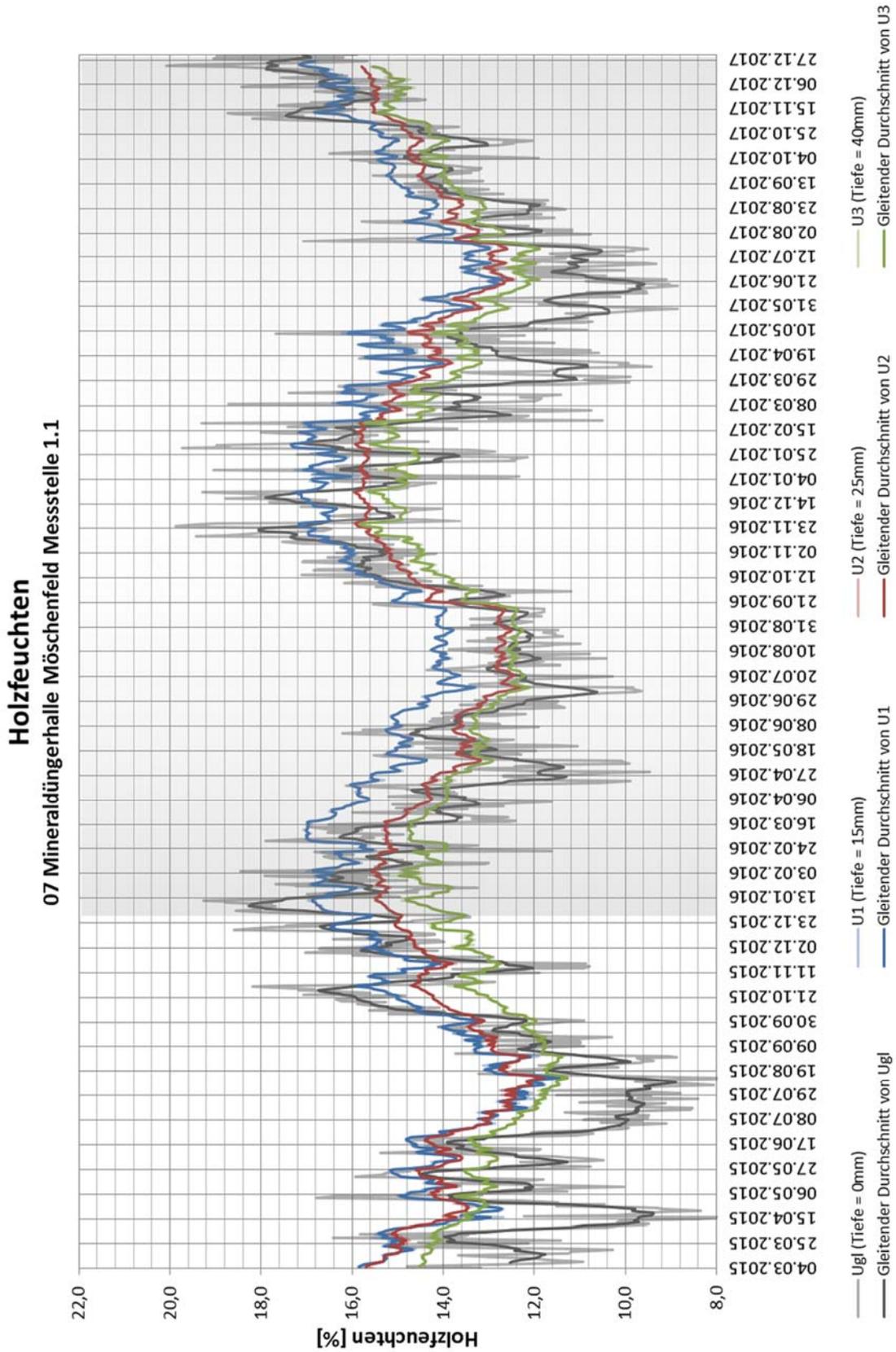




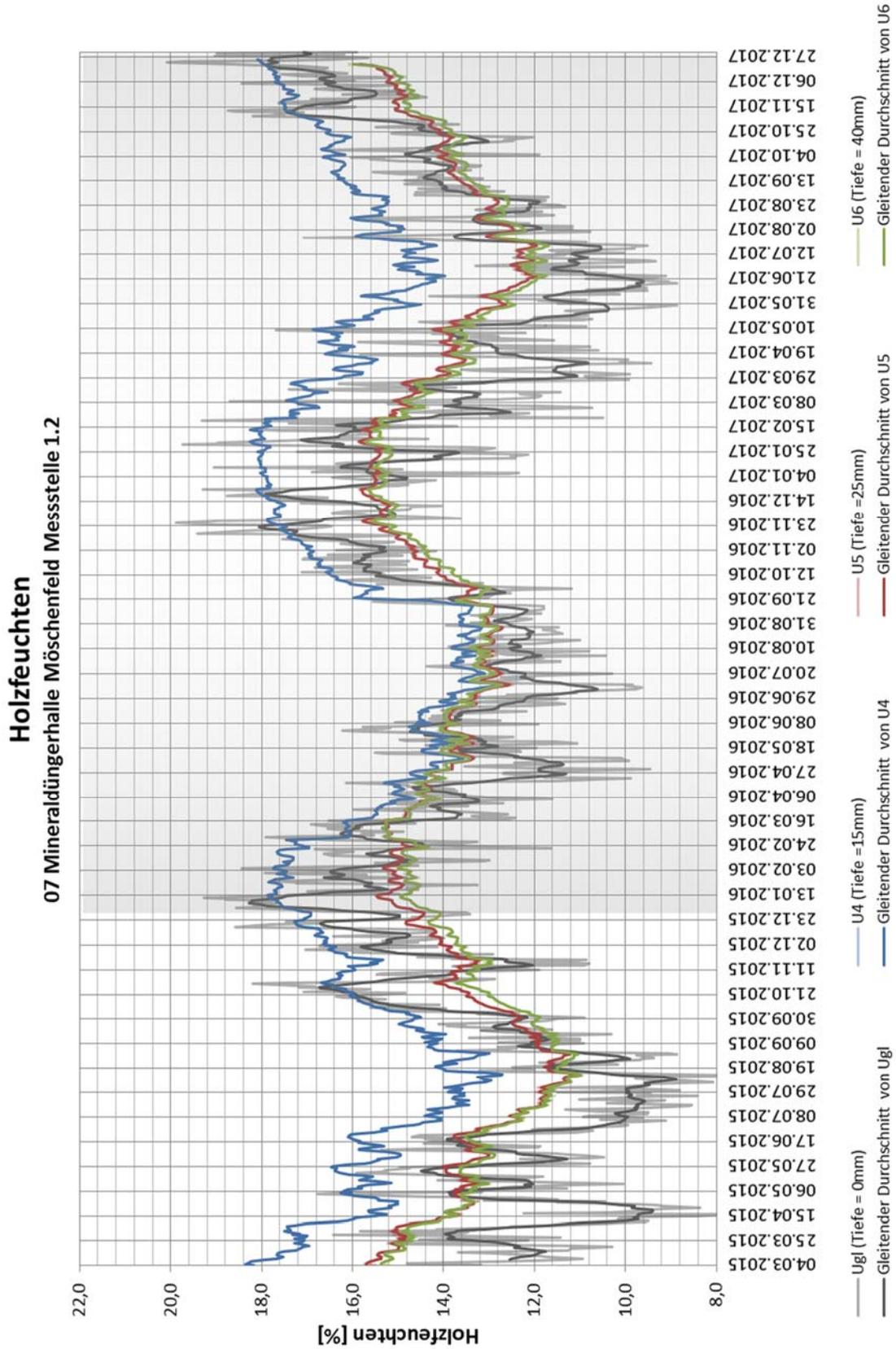
### Messsystem 1



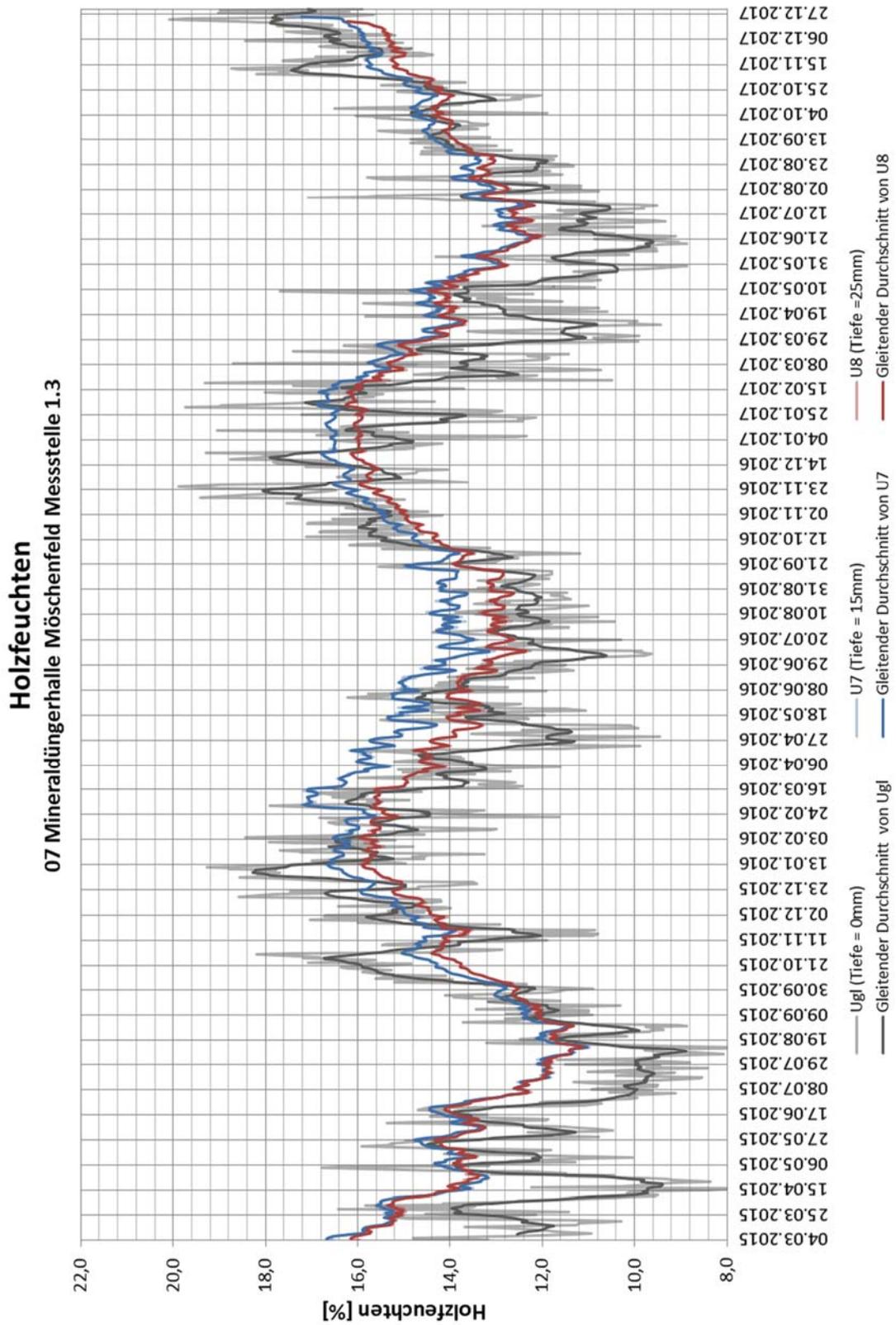
Messstelle 1.1



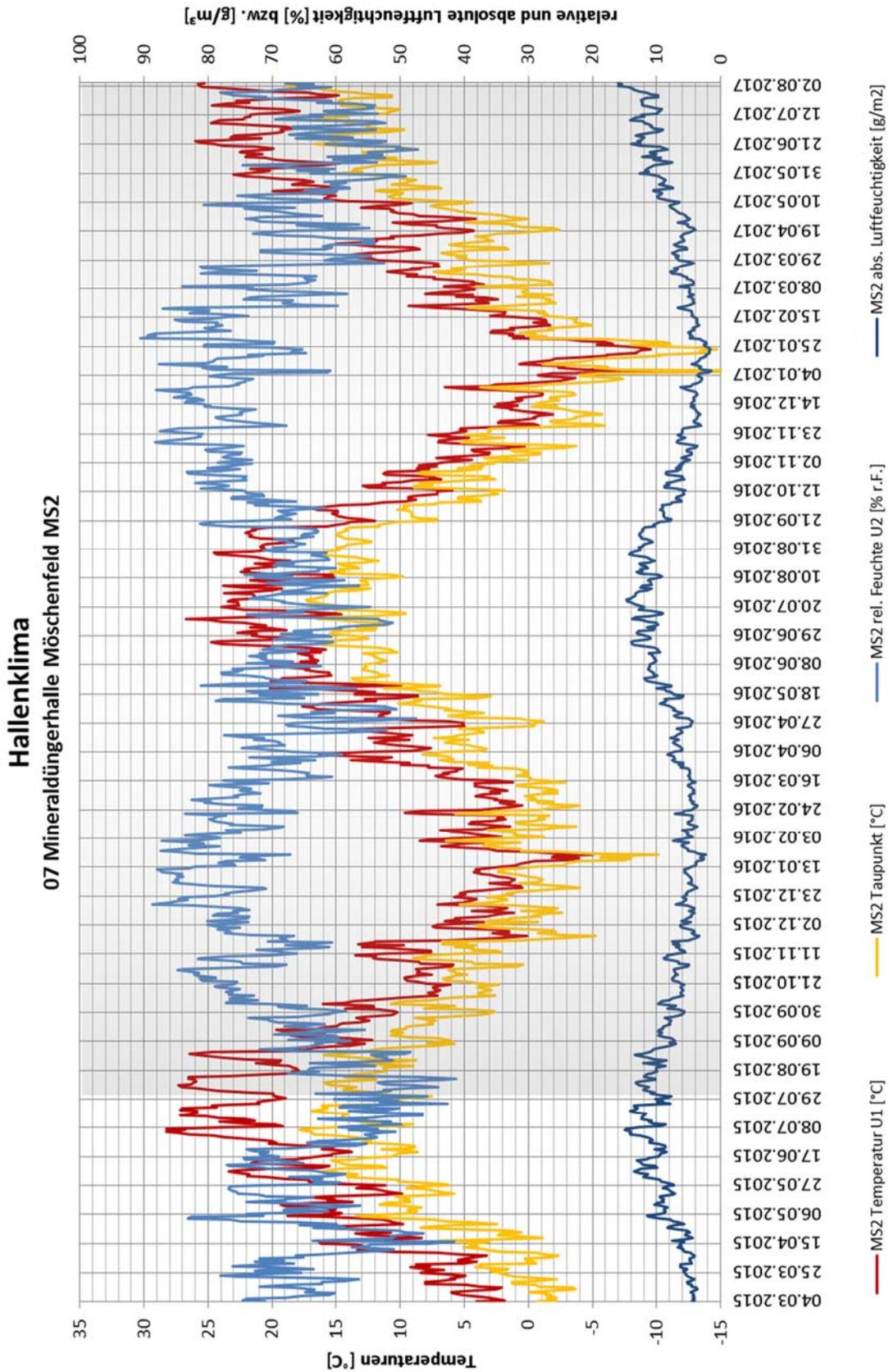
Messstelle 1.2



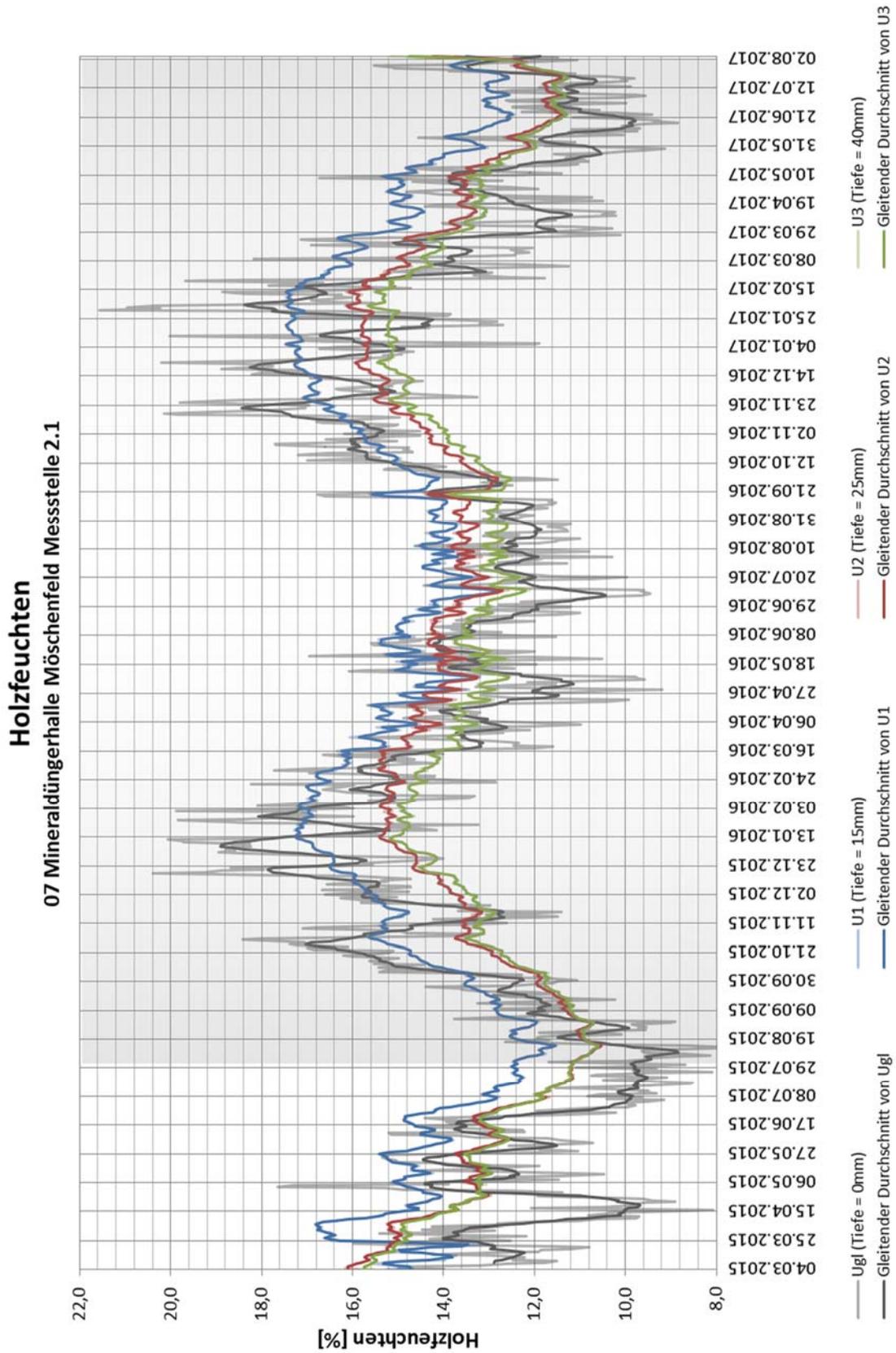
Messstelle 1.3



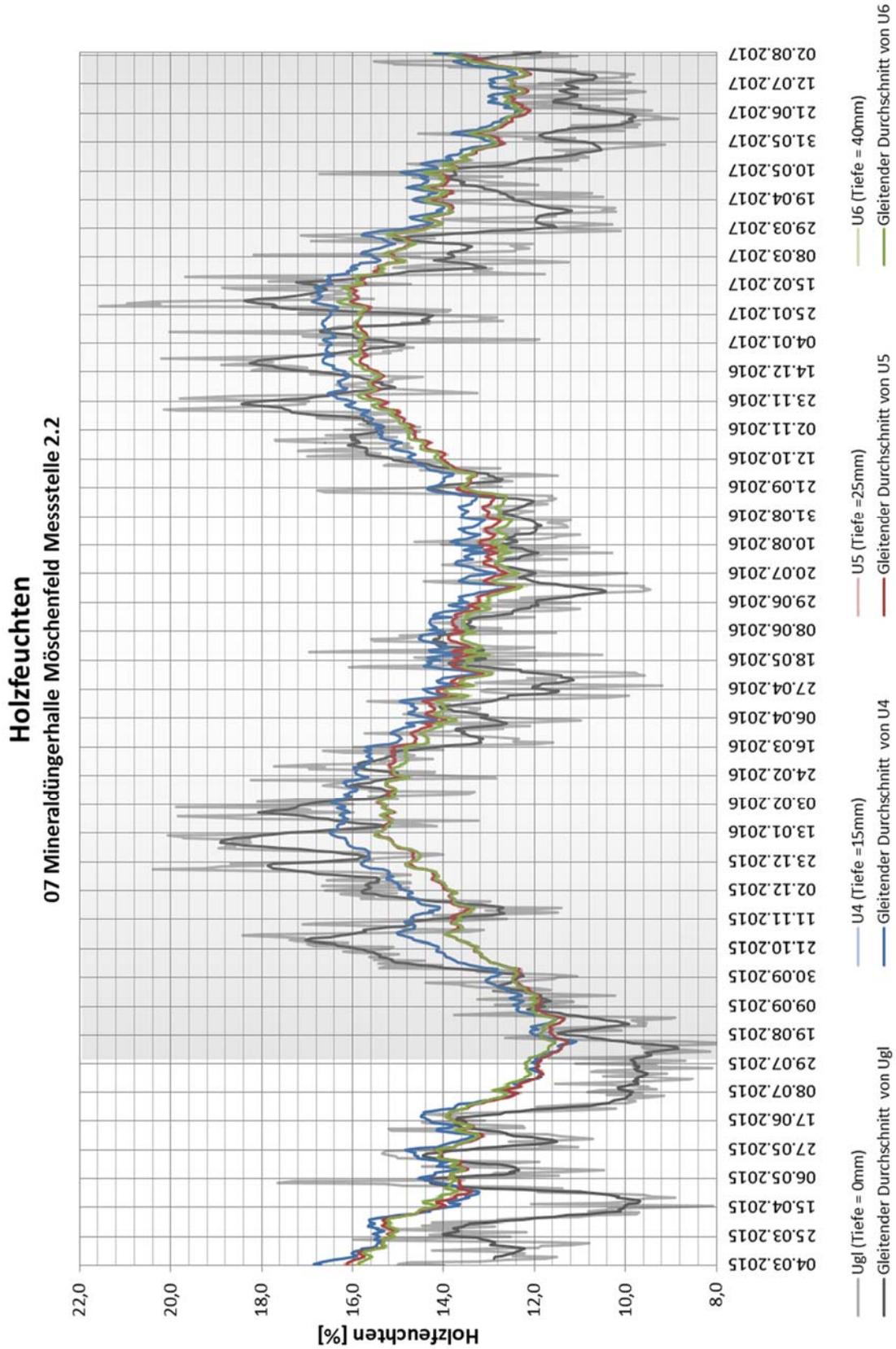
## Messsystem 2



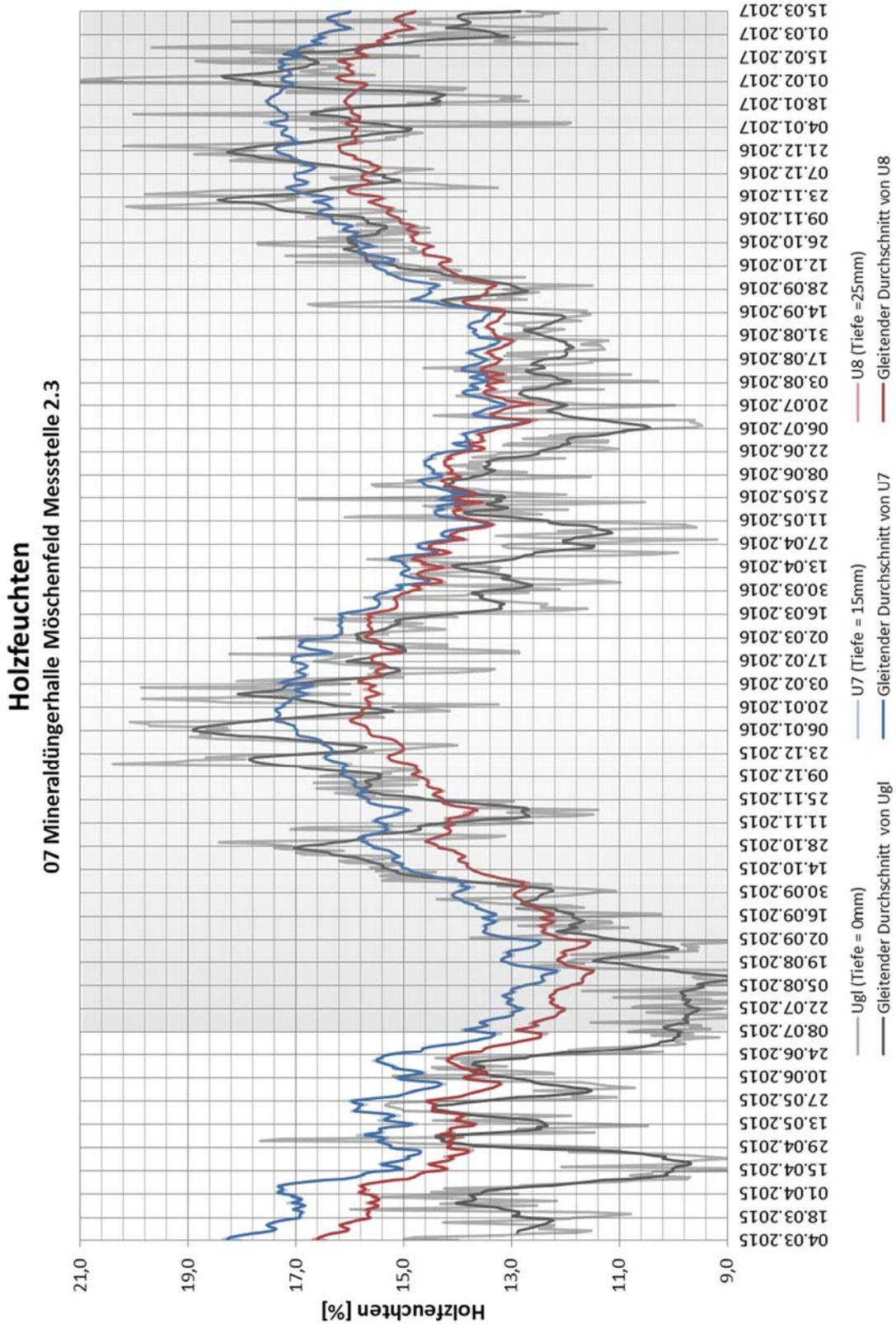
Messstelle 2.1



Messstelle 2.2



Messstelle 2.3





## Objekt 08: Kartoffellagerhalle Thalmassing

Anschrift:	LIHA Agrarprodukte GmbH Hauptstraße 16 93107 Thalmassing
Ansprechpartner:	Hans Lichtinger (vor Ort)
Anwesende vor Ort:	Andreas Gamper, Sebastian Rodemeier, Yuan Jiang, Maximilian Ernst, Jochen Simon (Auswahl, Besichtigung am 11.02.2015)
Installationsdatum:	24.06.2015, 11:00 – 17:00
Umgebungsbedingungen:	Lagerbereich durch Dämmung vom ungedämmten Firstbereich getrennt, Lagerraum durch Belüftungsanlage in den Monaten September bis März mittels kalter Nachtluft gekühlt und belüftet
Tragsystem:	Rahmenkonstruktion aus KVH-Fachwerkträger und Stahlstützen

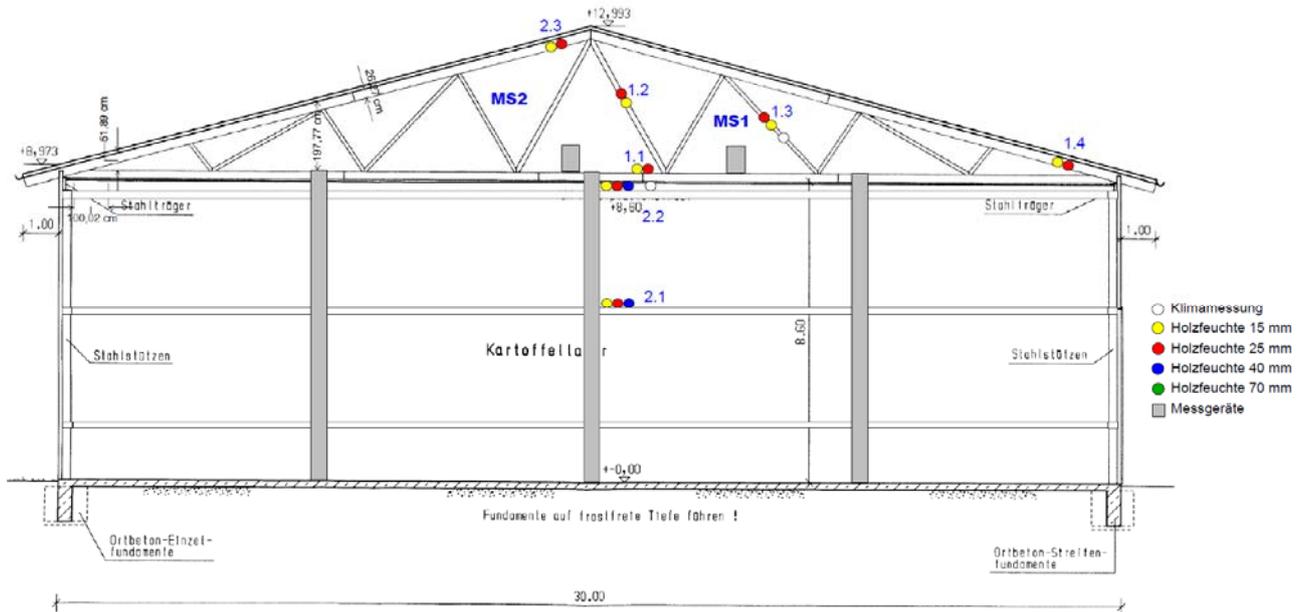
### Messsystem 1:

Messstelle 1.1:	Bodenstrebe unter dem First	(15, 25 mm)
Messstelle 1.2:	Größere Strebe unter dem First	(15, 25 mm)
Messstelle 1.3:	Kleinere Strebe außen	(15, 25 mm)
Messstelle 1.4:	Dachsparren traufseitig	(15, 25 mm)

### Messsystem 2:

Messstelle 2.1:	Mittlere Querbalken unten in der Halle	(15, 25, 40 mm)
Messstelle 2.2:	Oberste Querbalken unten in der Halle	(15, 25, 40 mm)
Messstelle 2.3:	Am First	(15, 25 mm)

Skizze:



Bilder:



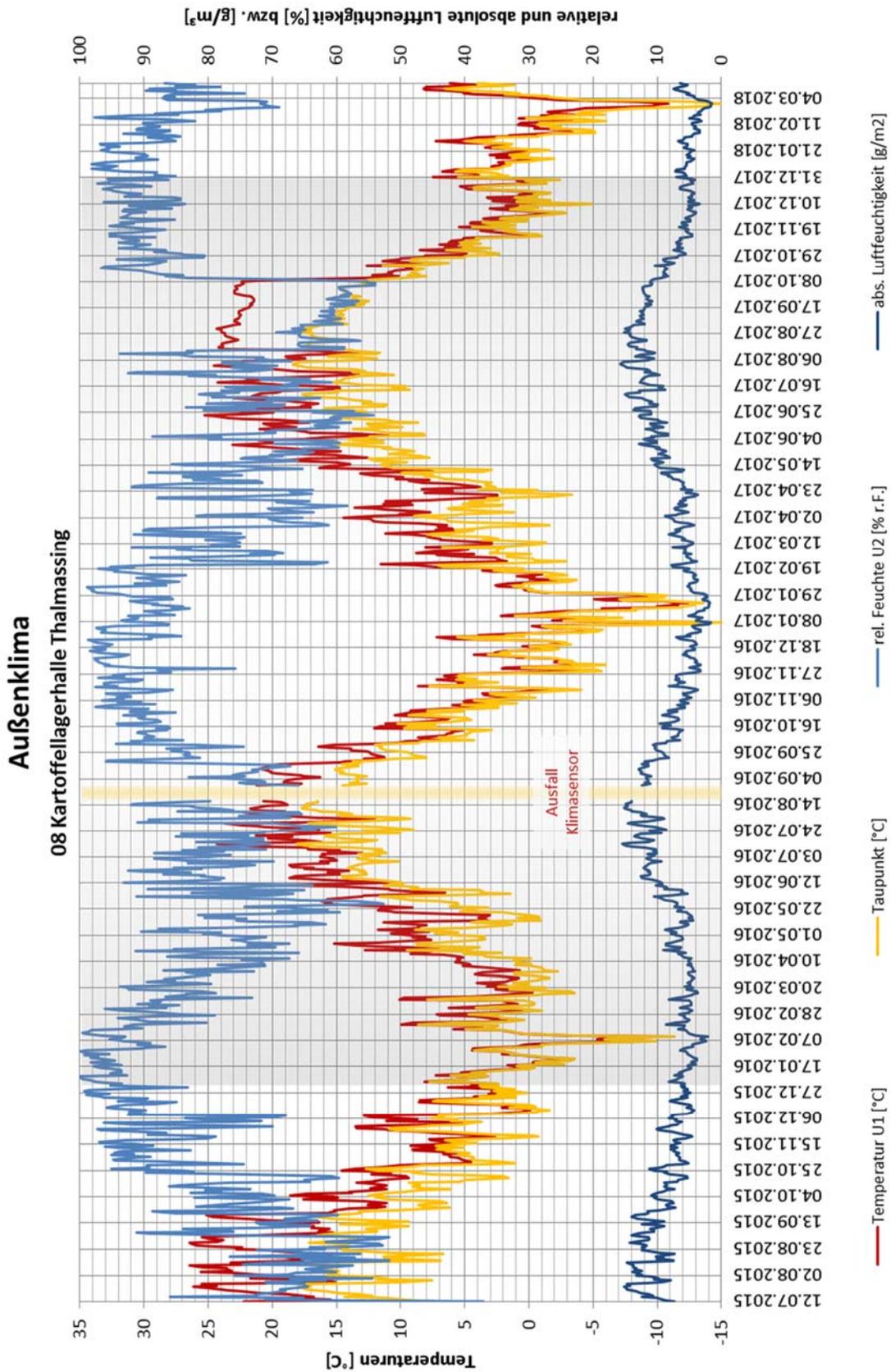
Abbildung 24: Ansicht des Lagerraums der Halle



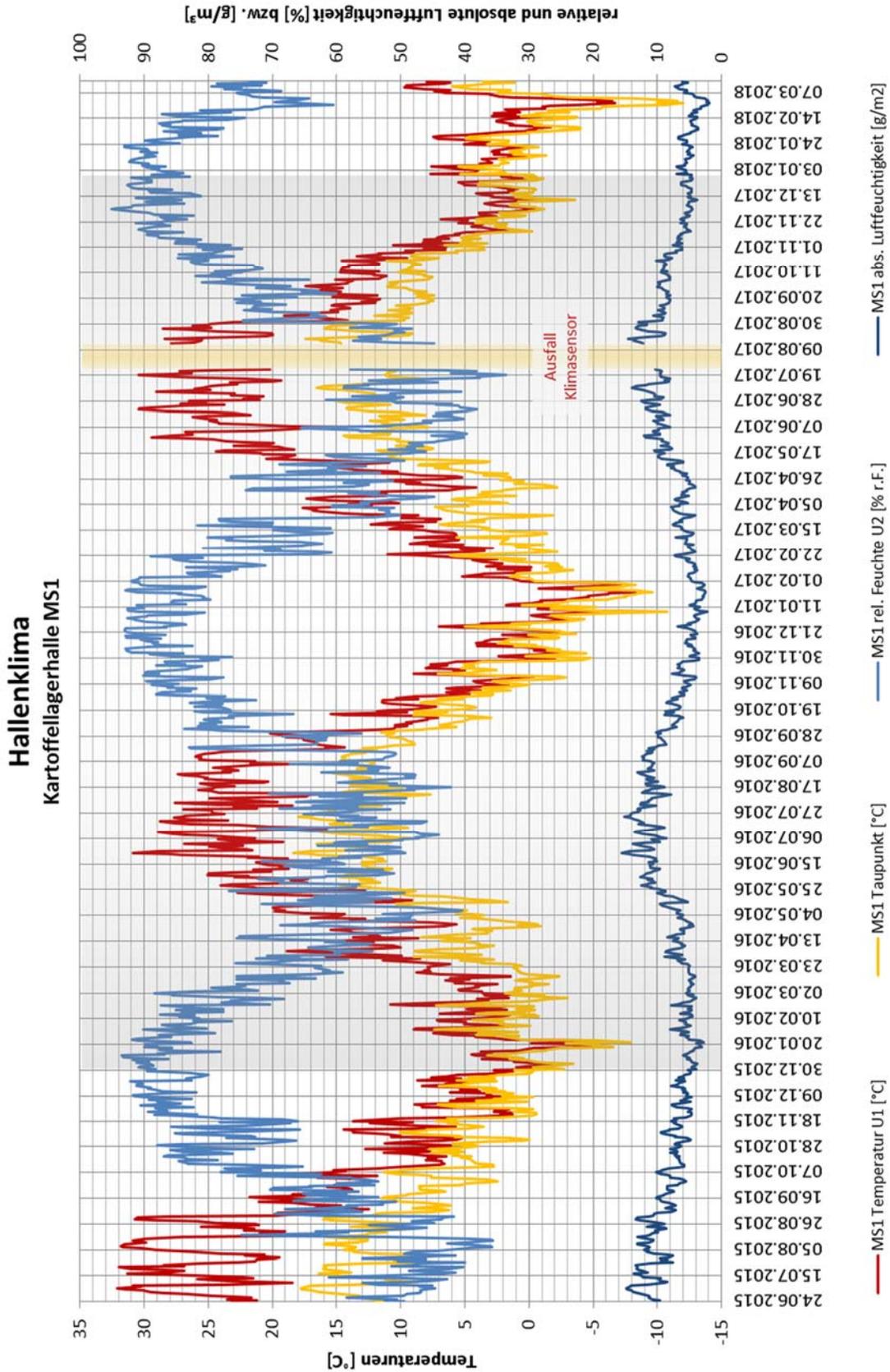
**Abbildung 25: Anordnung der Messstellen (links: Messstellen unten im Lagerraum; rechts: Messstellen in der Dachkonstruktion)**



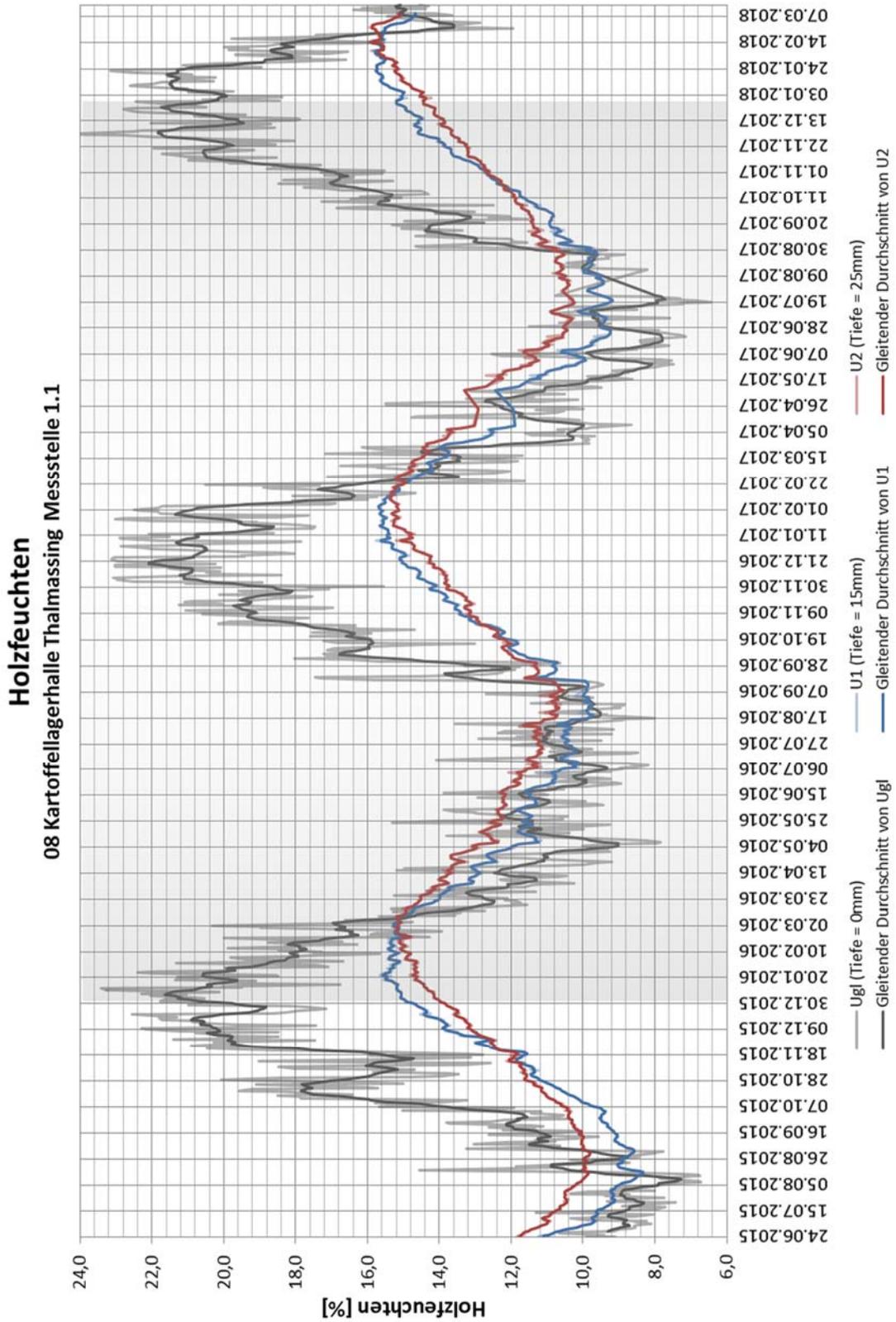
## Außenklima



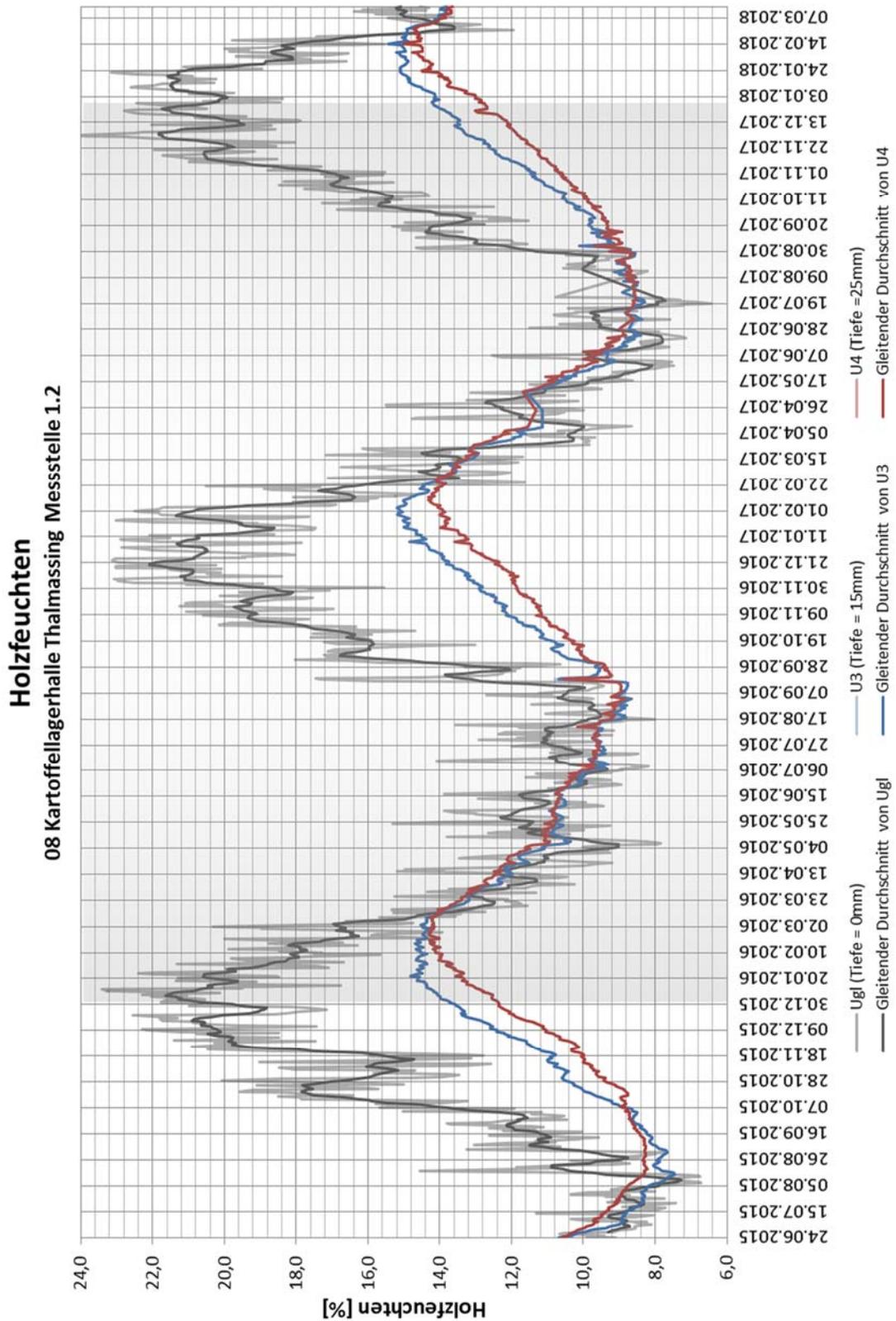
### Messsystem 1



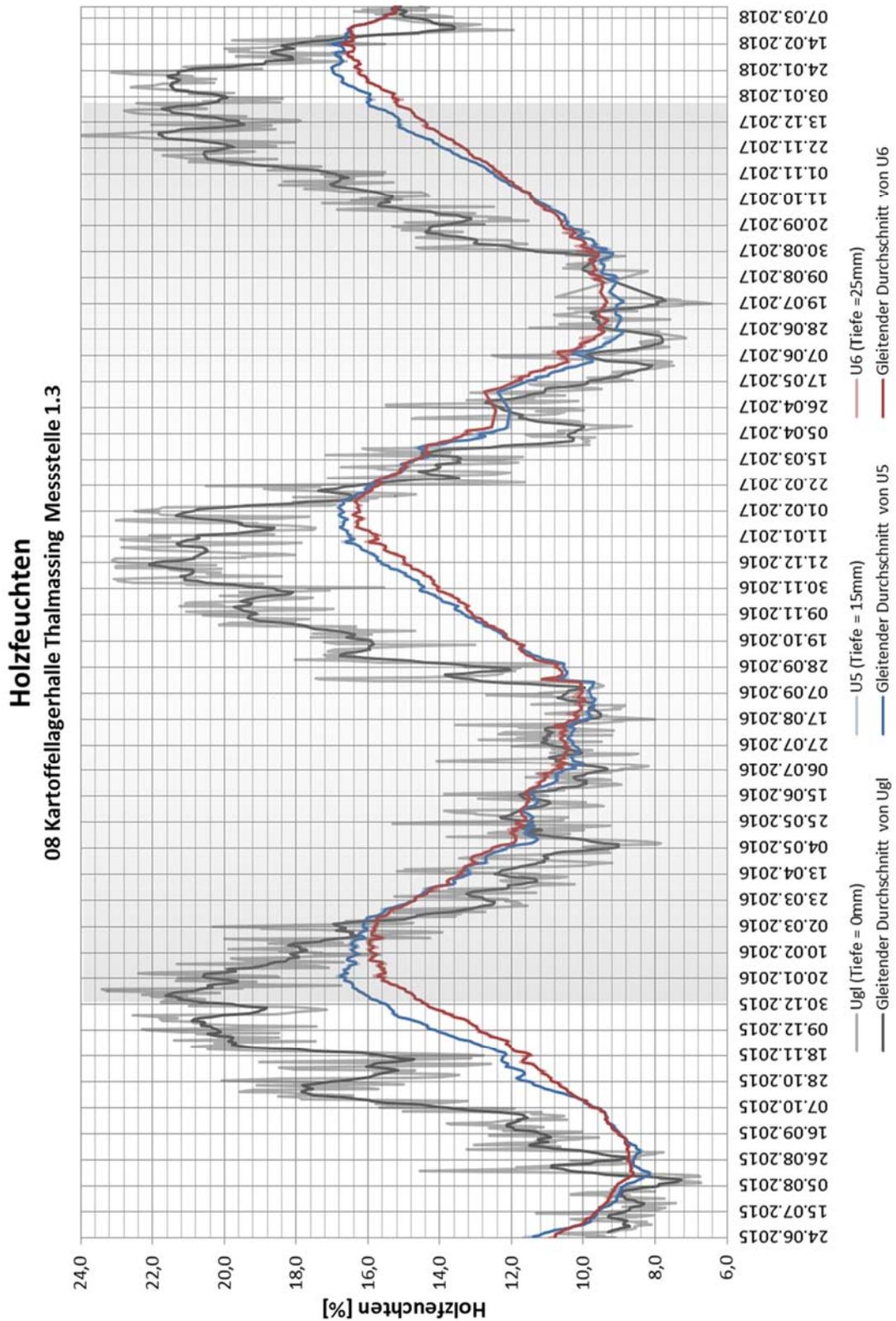
Messstelle 1.1



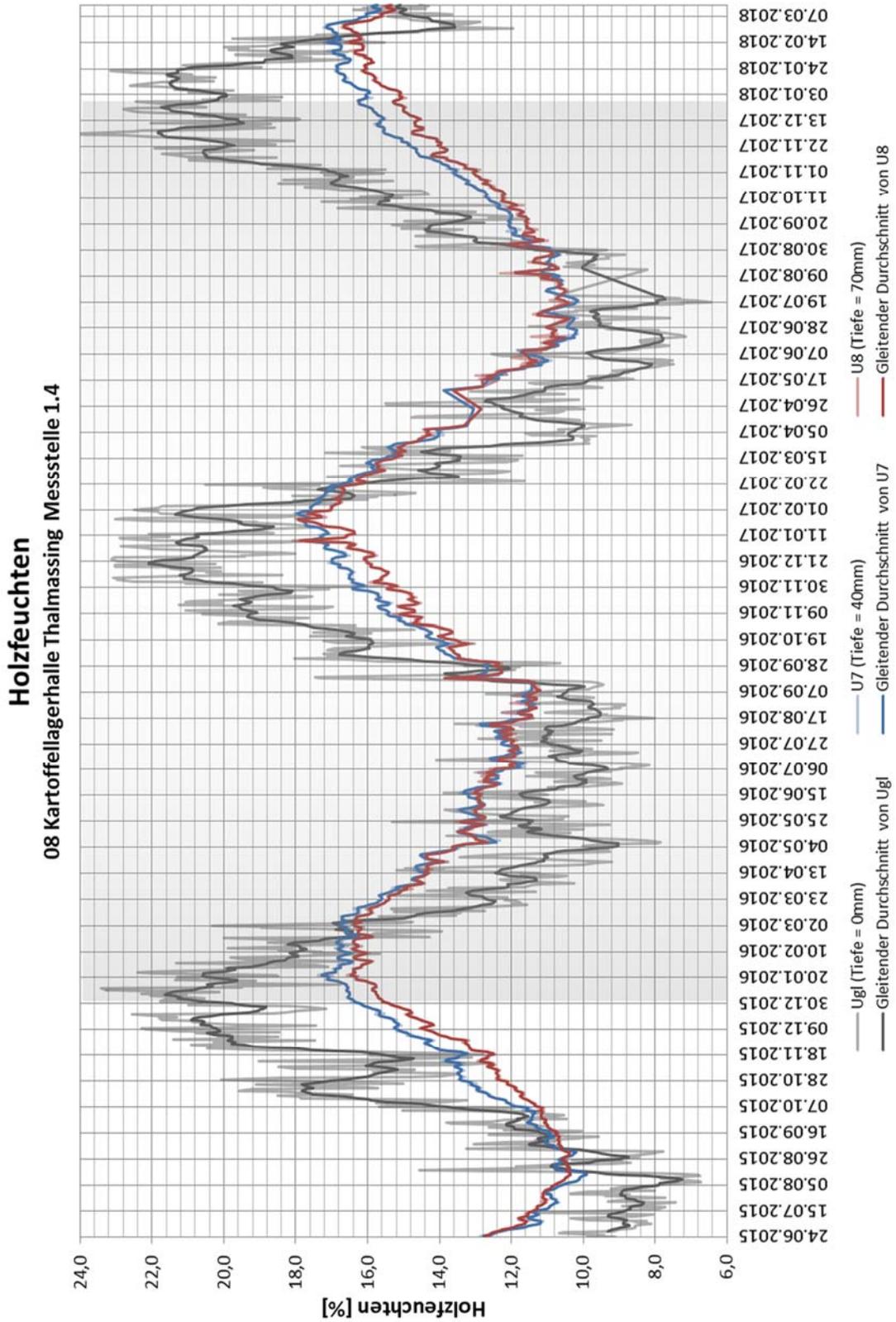
Messstelle 1.2



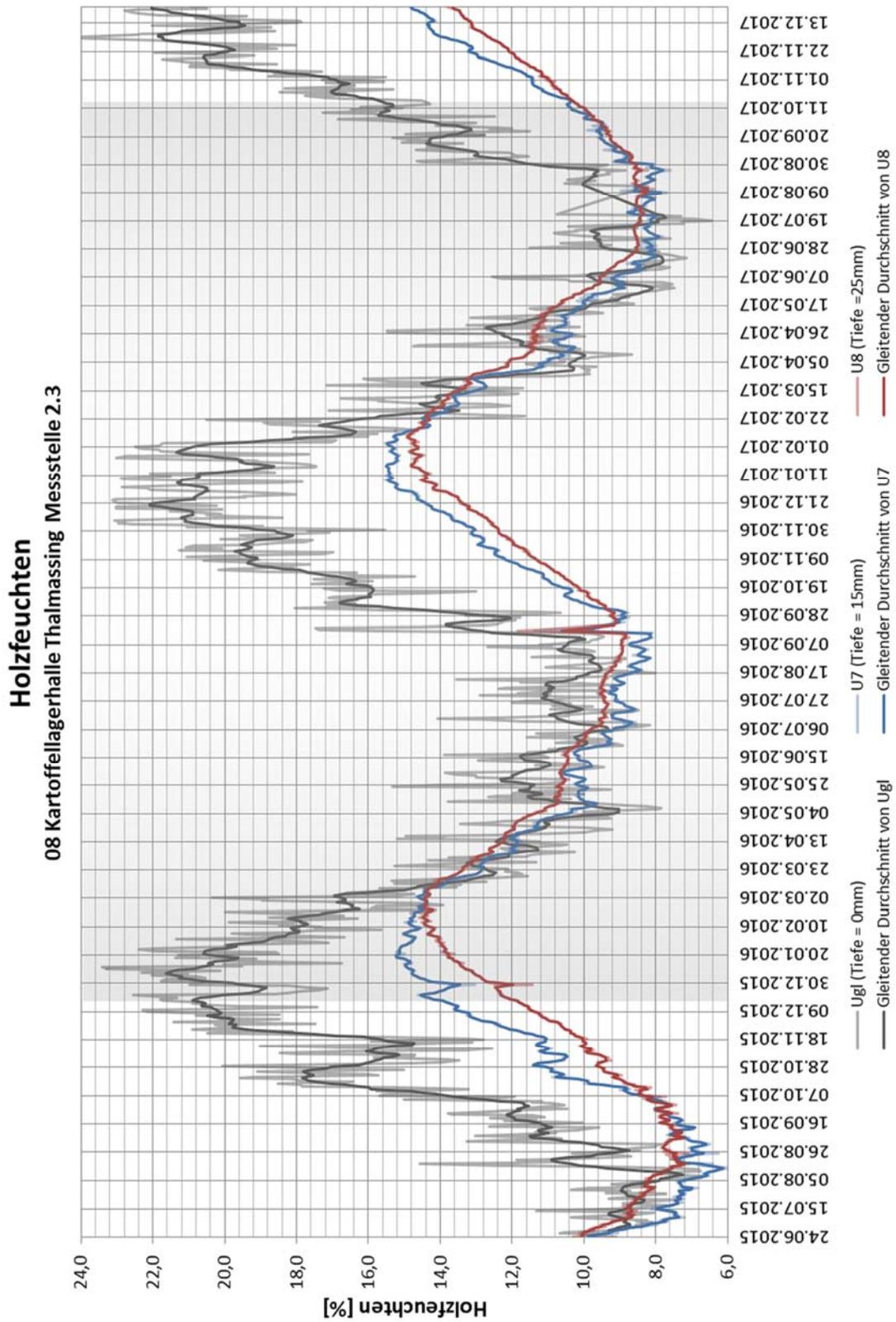
Messstelle 1.3



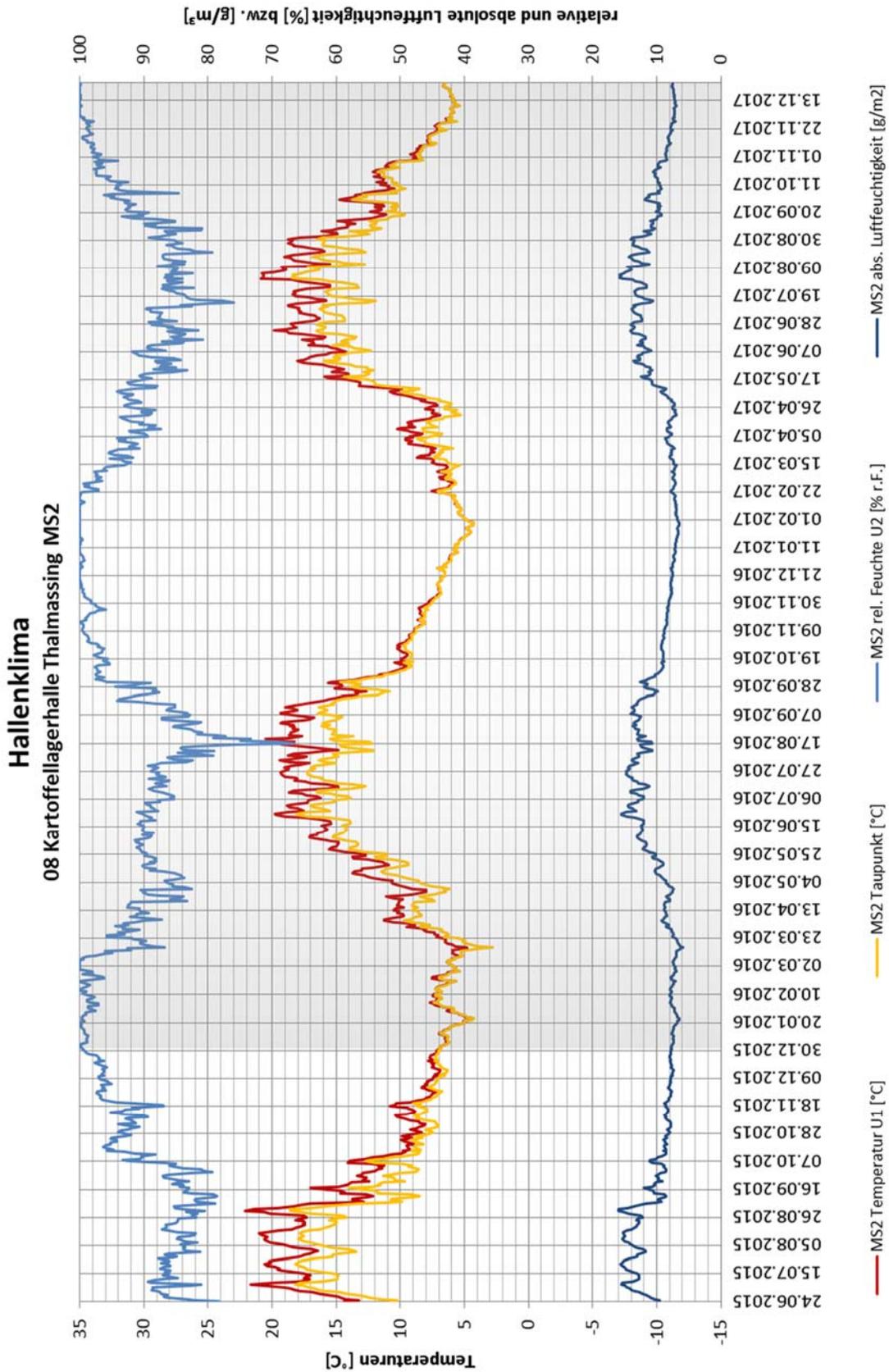
Messstelle 1.4



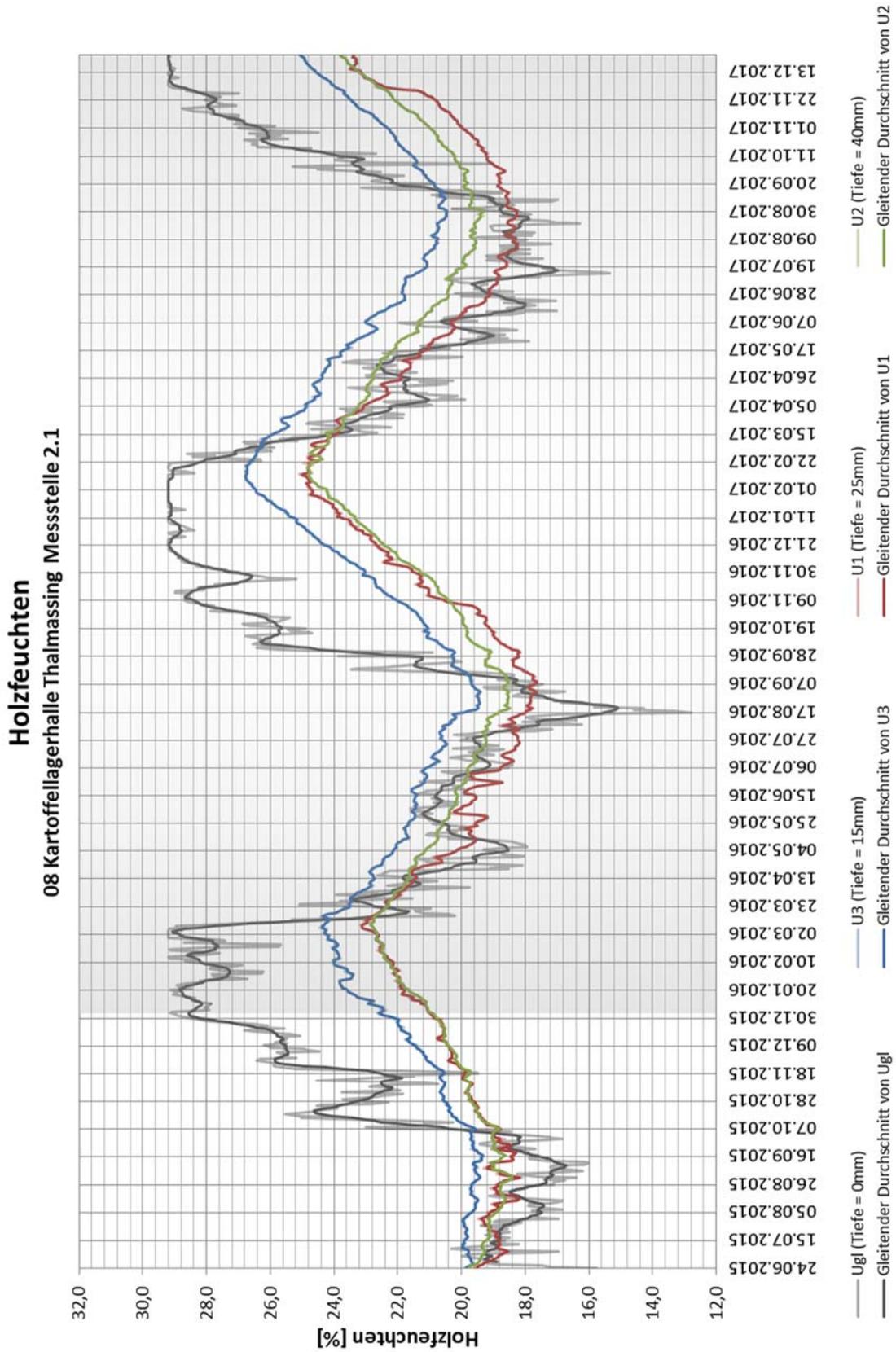
Messstelle 2.3



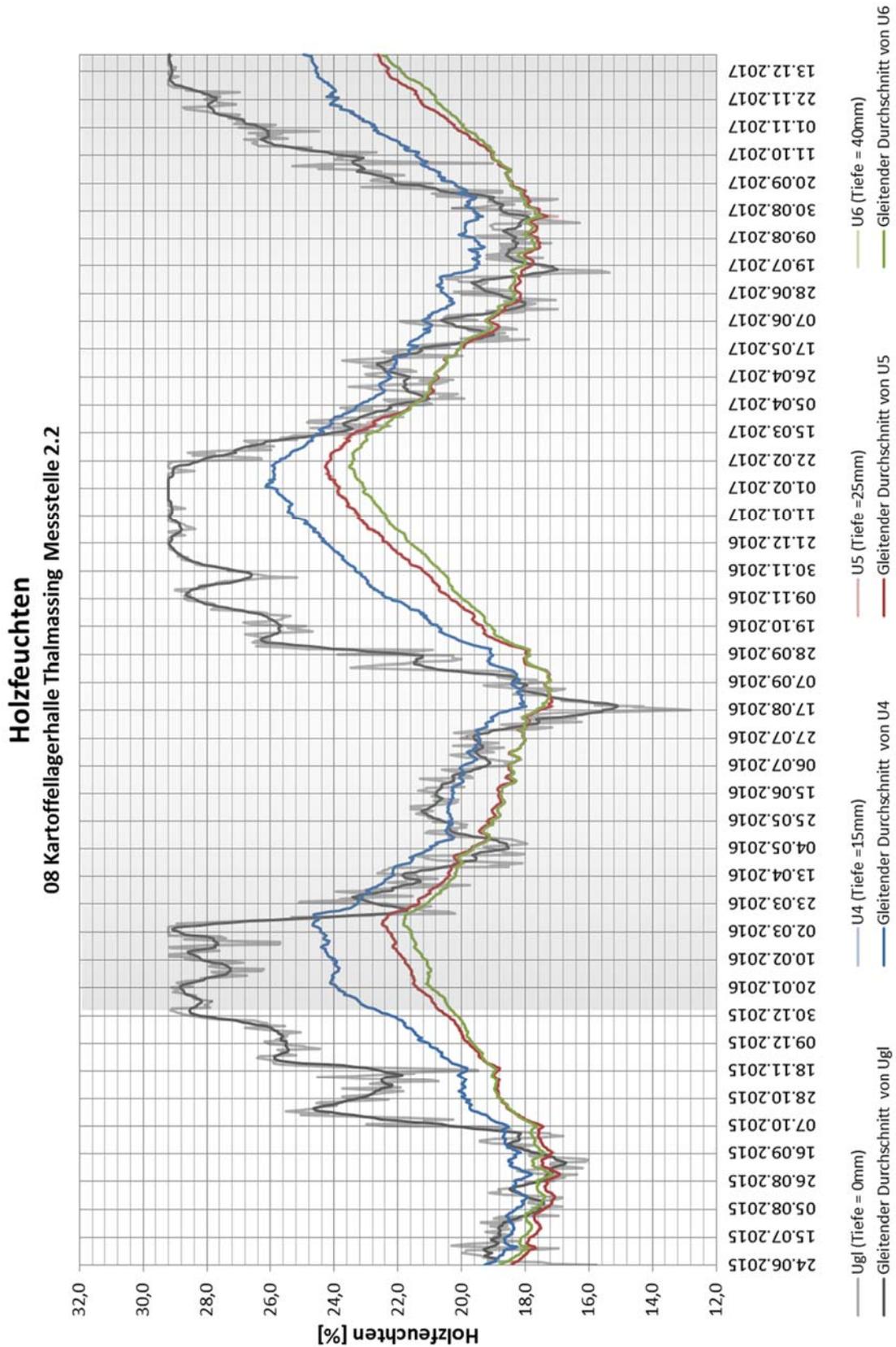
## Messsystem 2



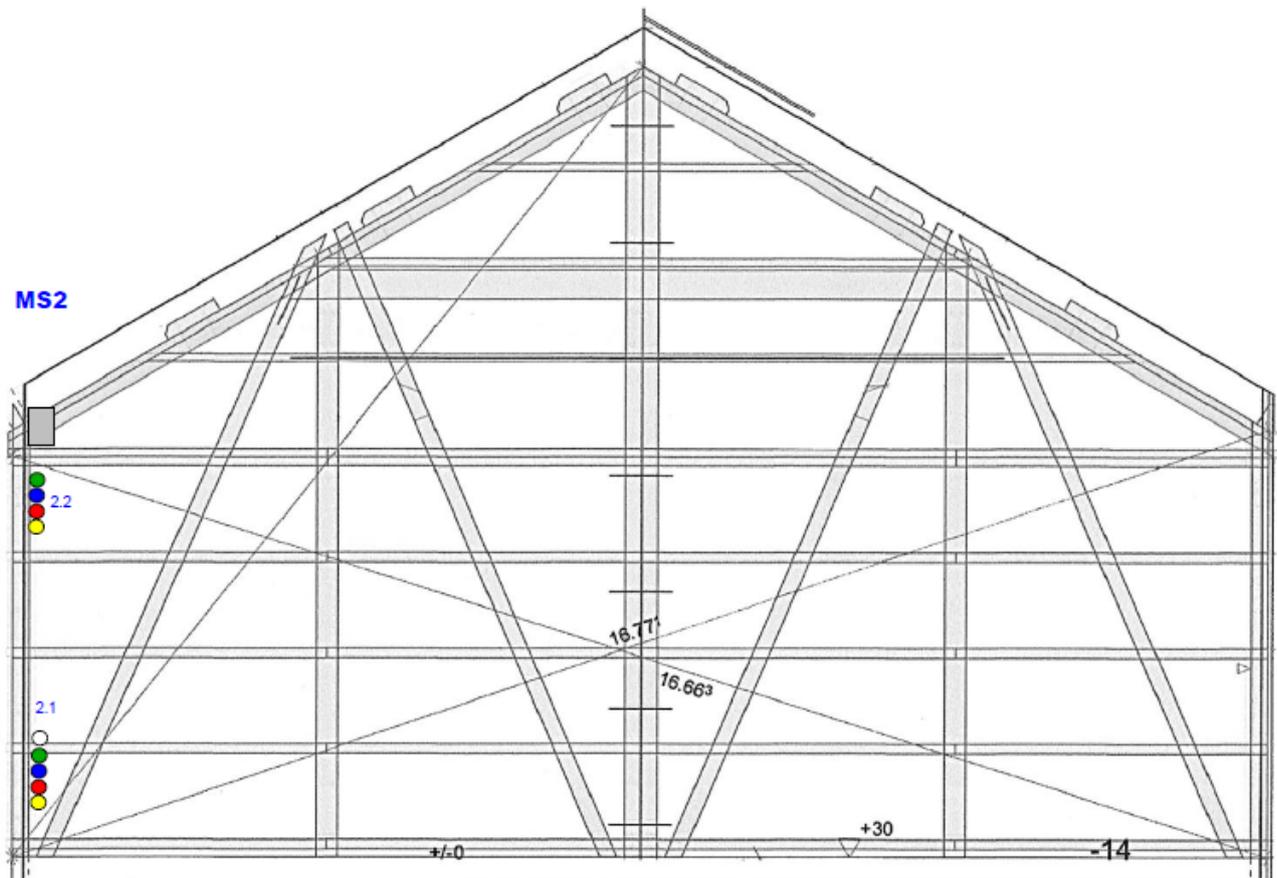
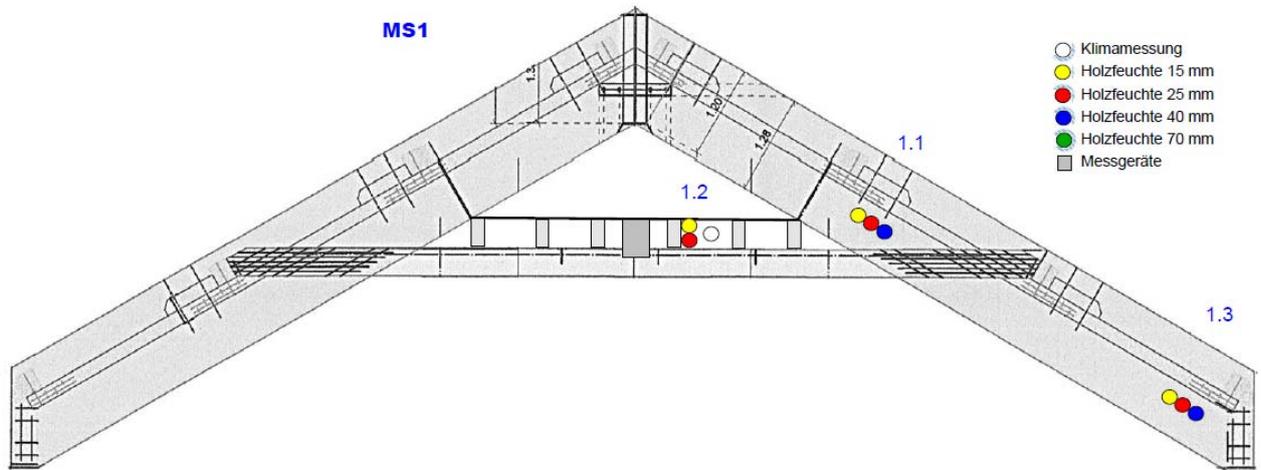
Messstelle 2.1



Messstelle 2.2







Bilder:



Abbildung 26: Gesamtansicht der Halle

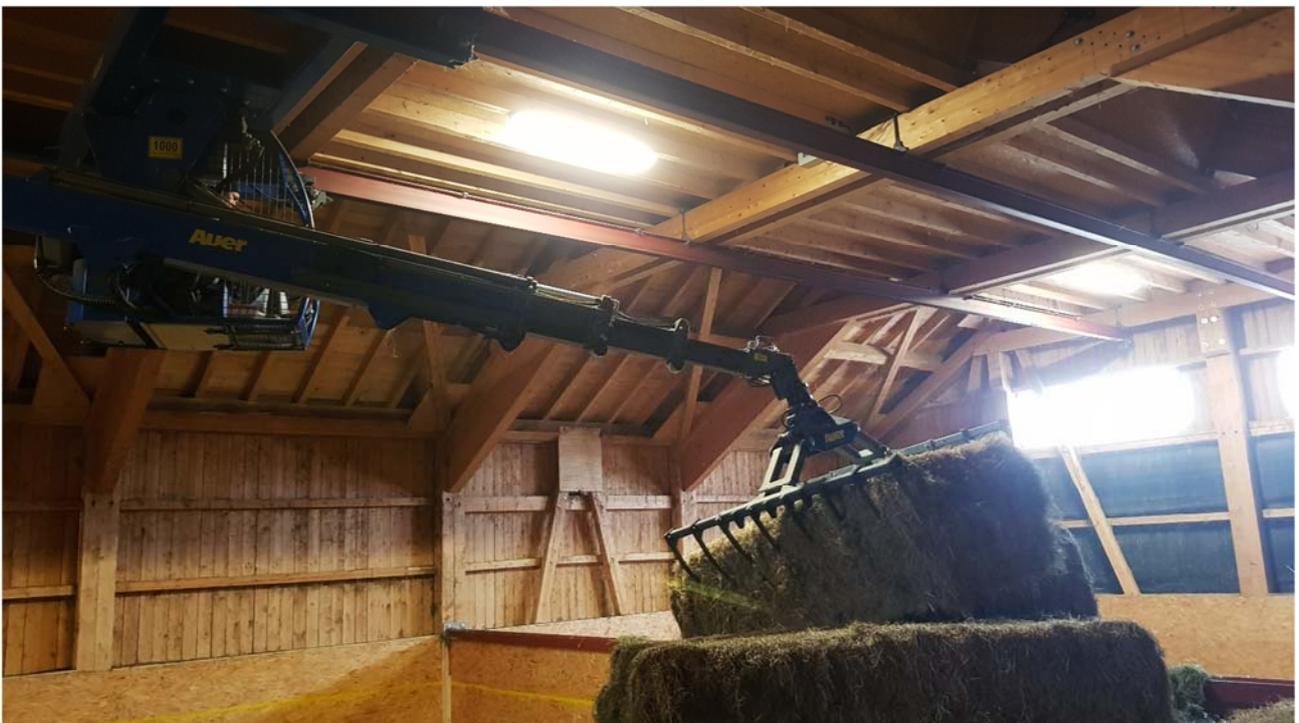


Abbildung 27: Innenansicht der Dachkonstruktion

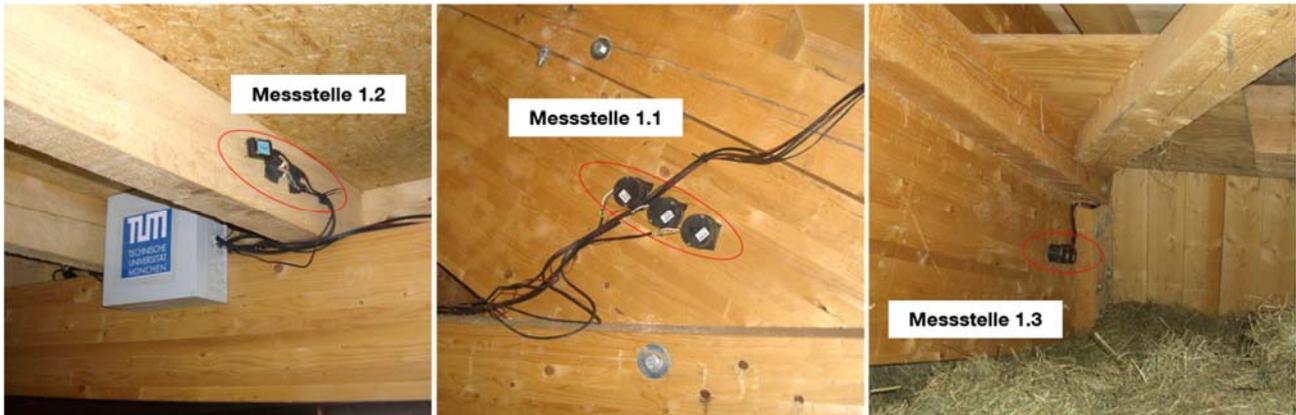
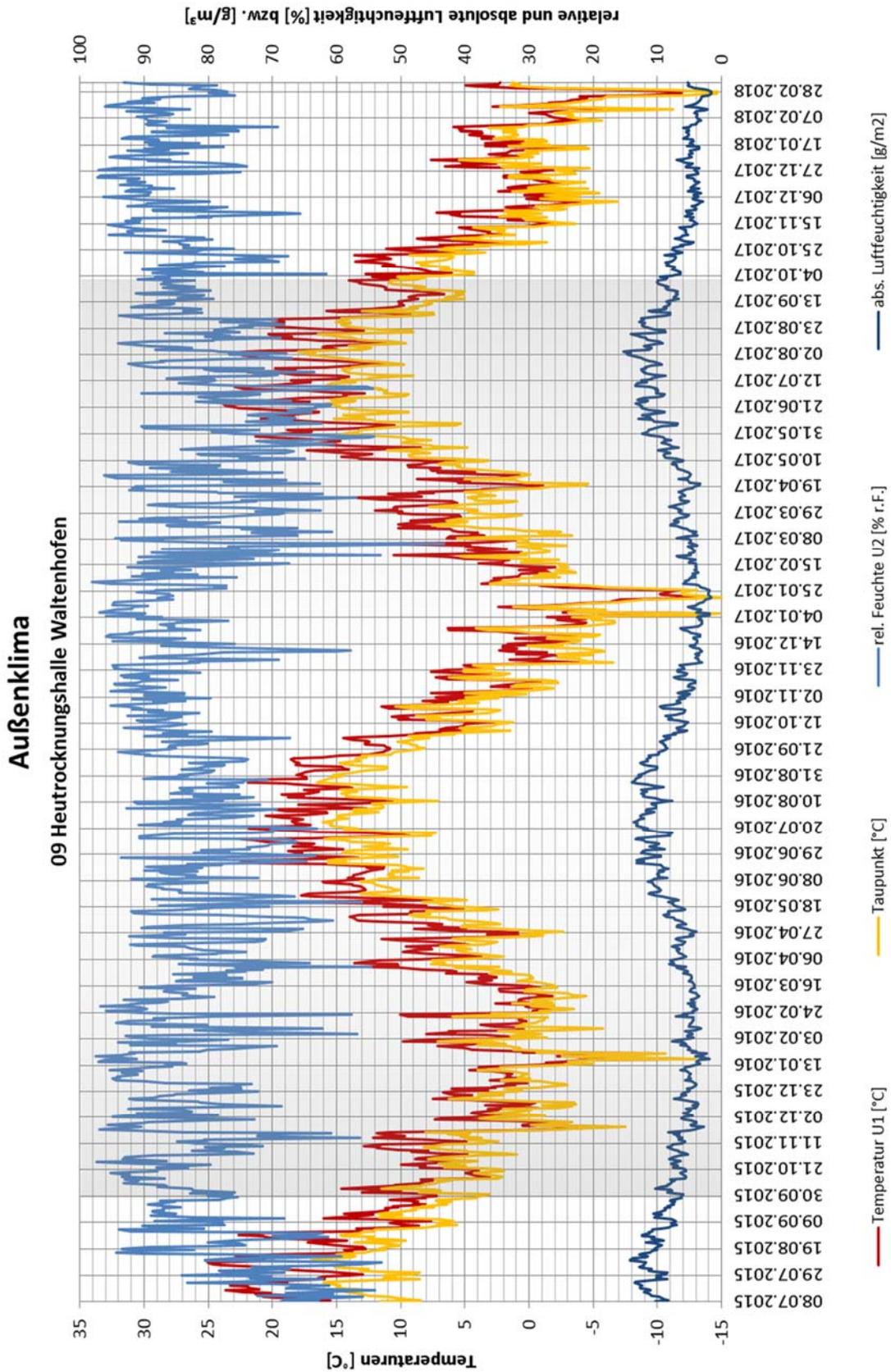


Abbildung 28: Anordnung der Messstellen des Messsystems 1

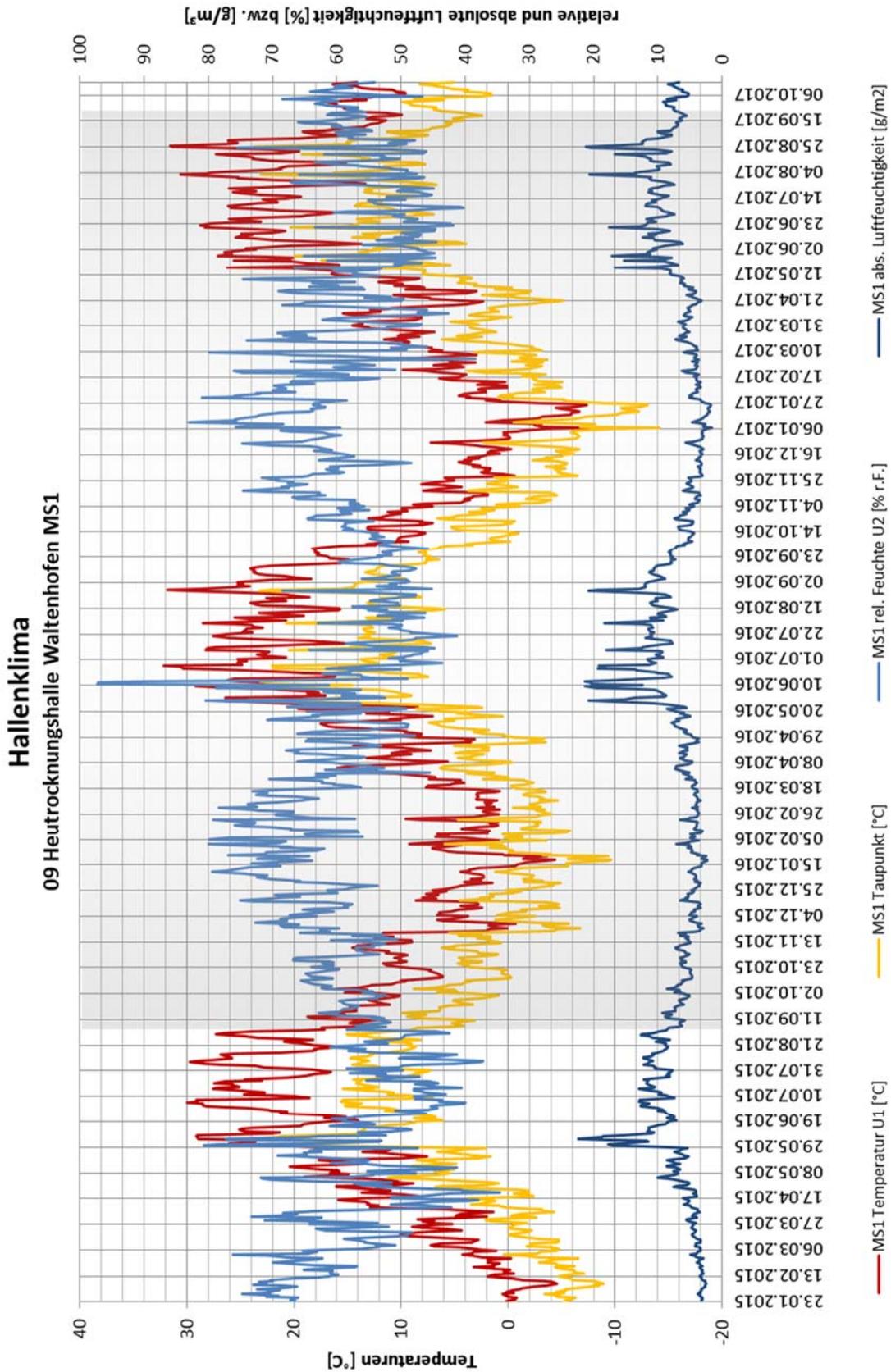


Abbildung 29: Anordnung der Messstellen des Messsystems 2

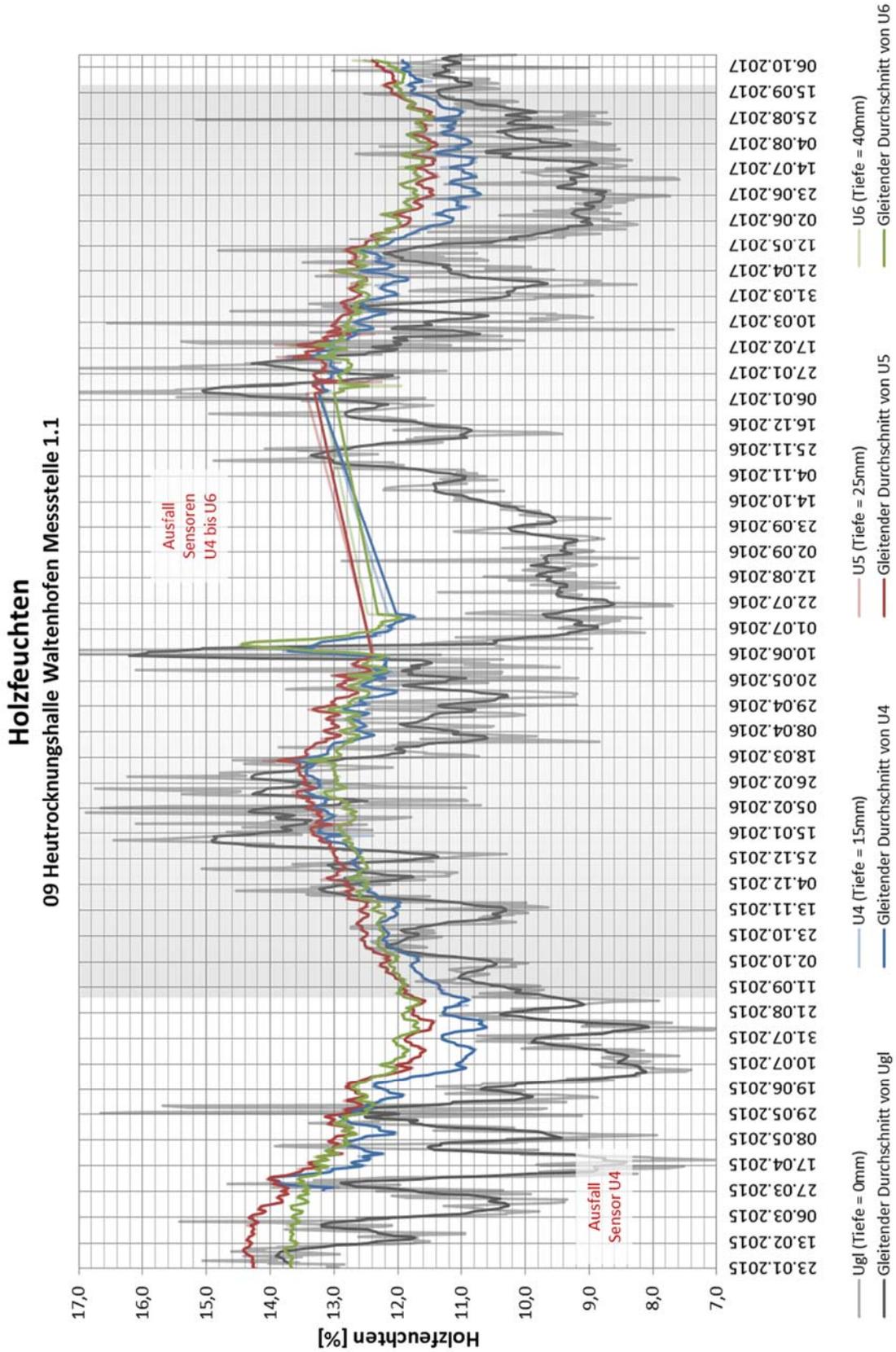
## Außenklima



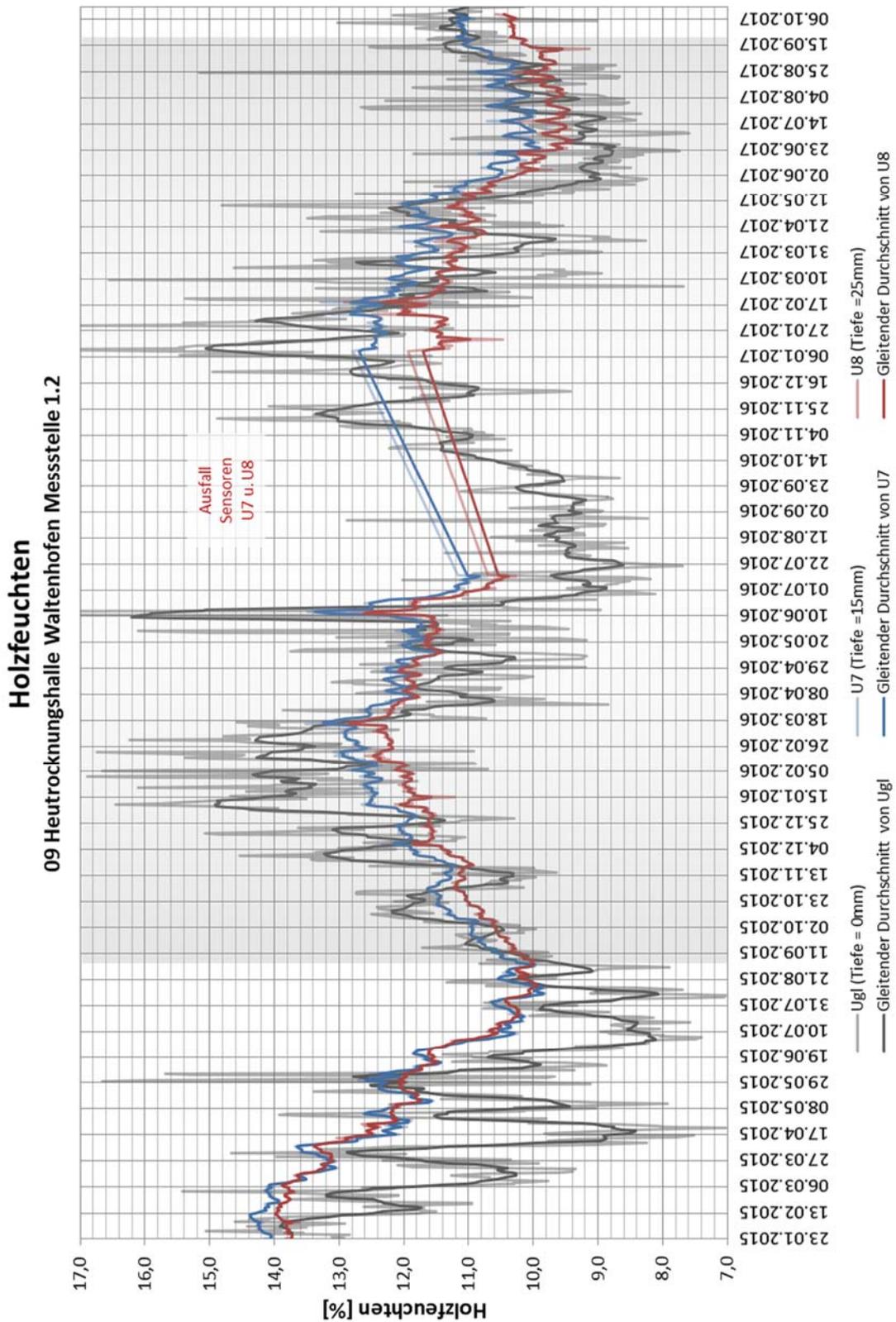
### Messsystem 1



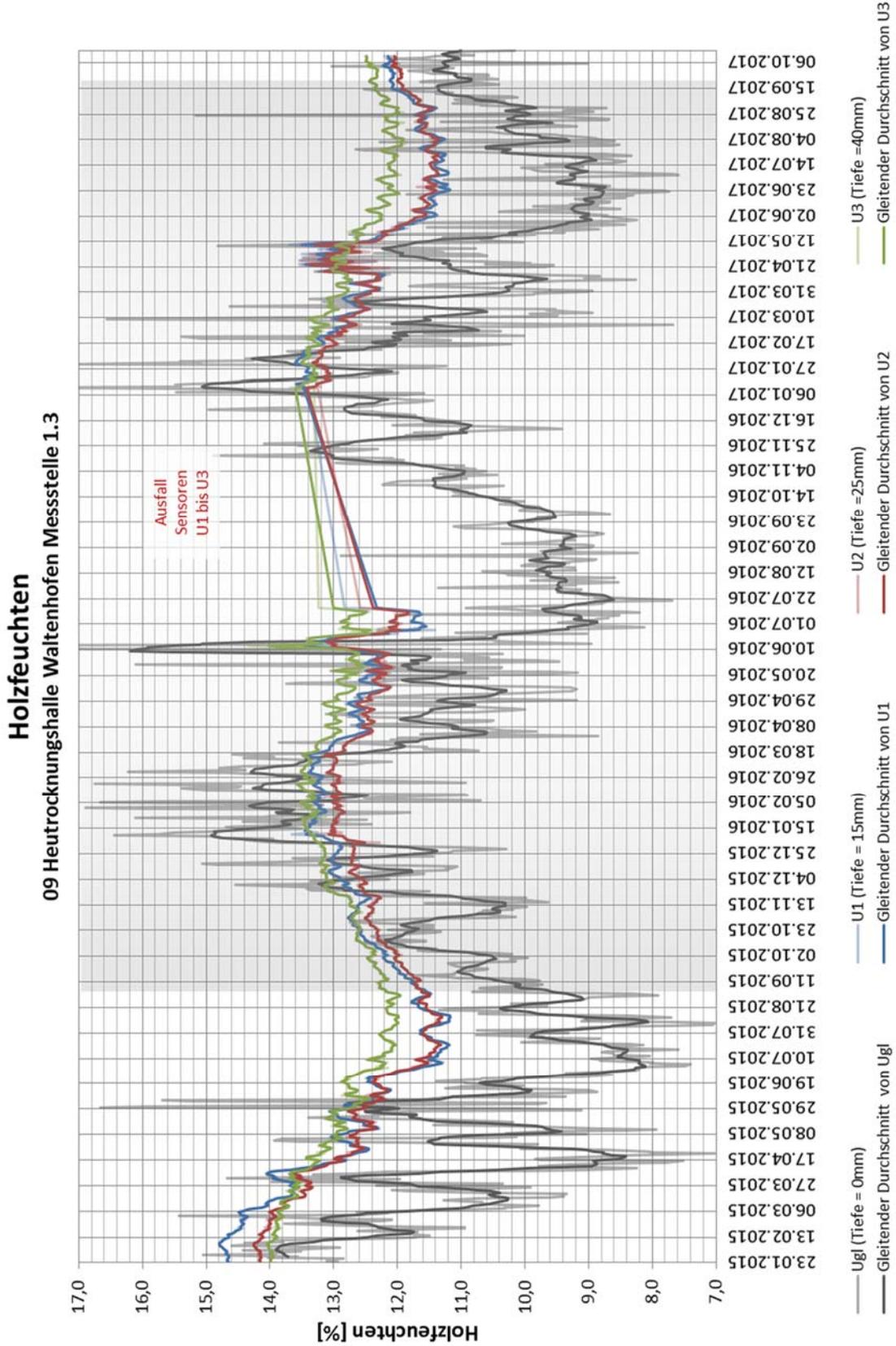
Messstelle 1.1



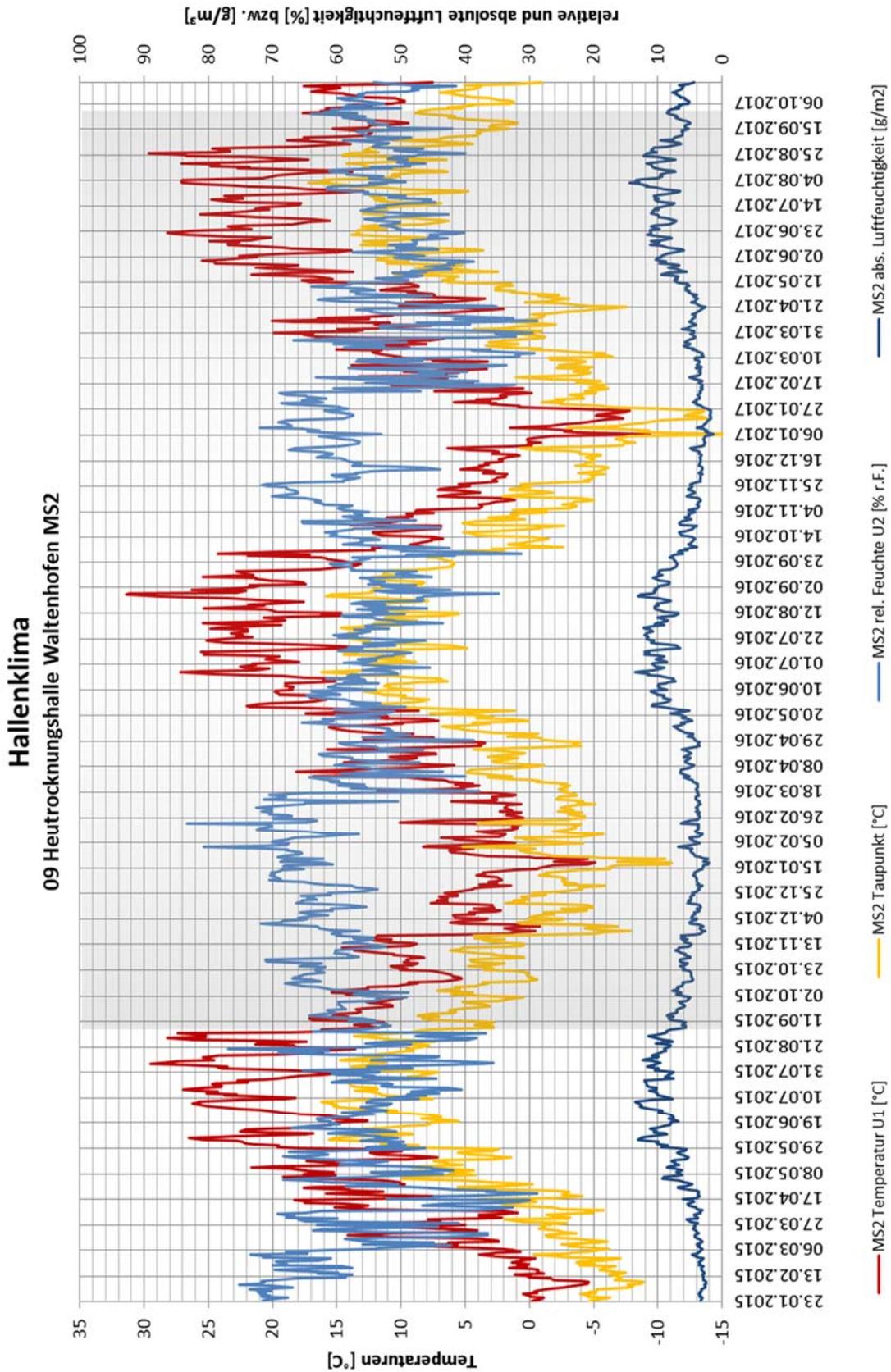
Messstelle 1.2



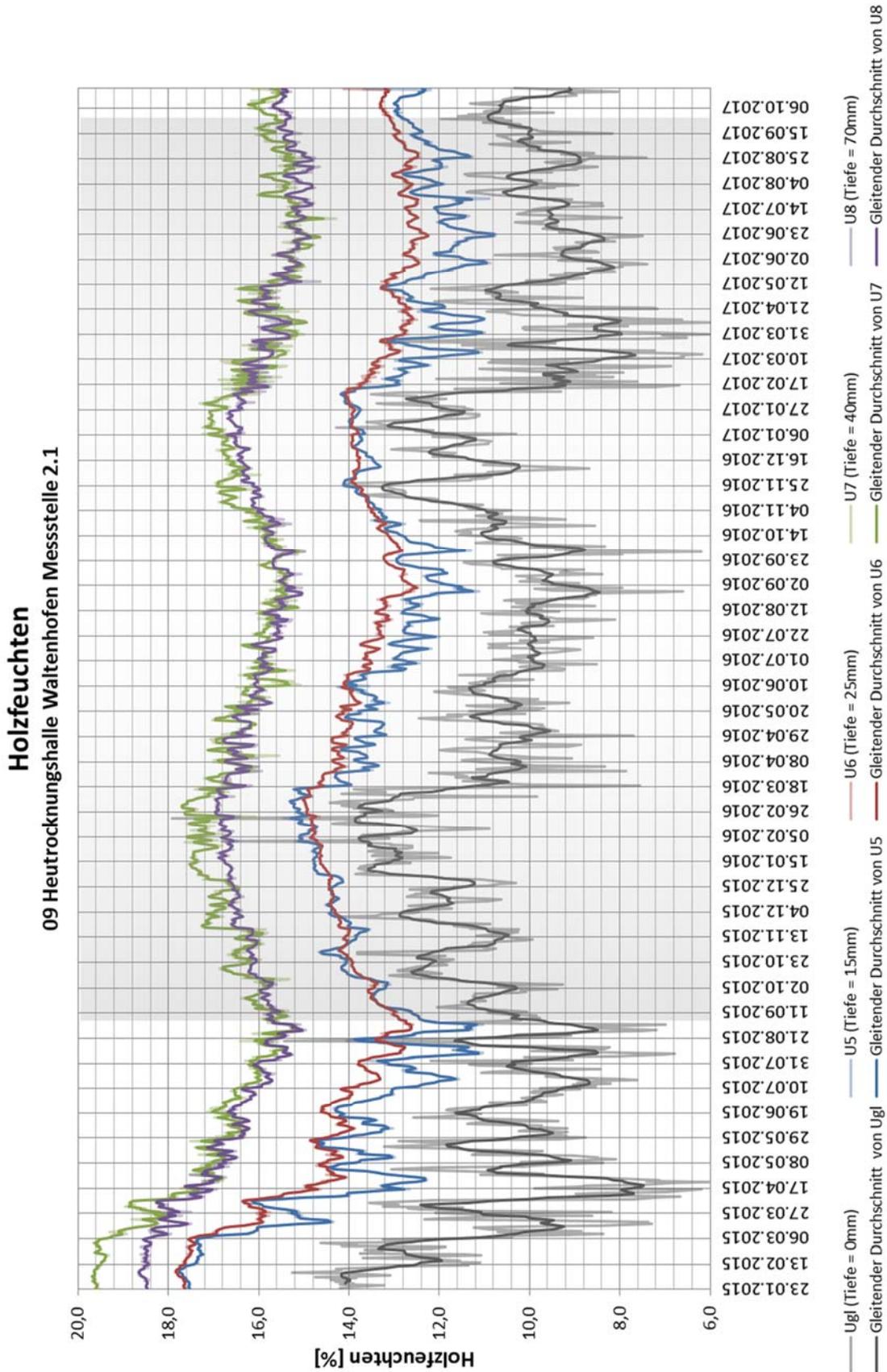
Messstelle 1.3



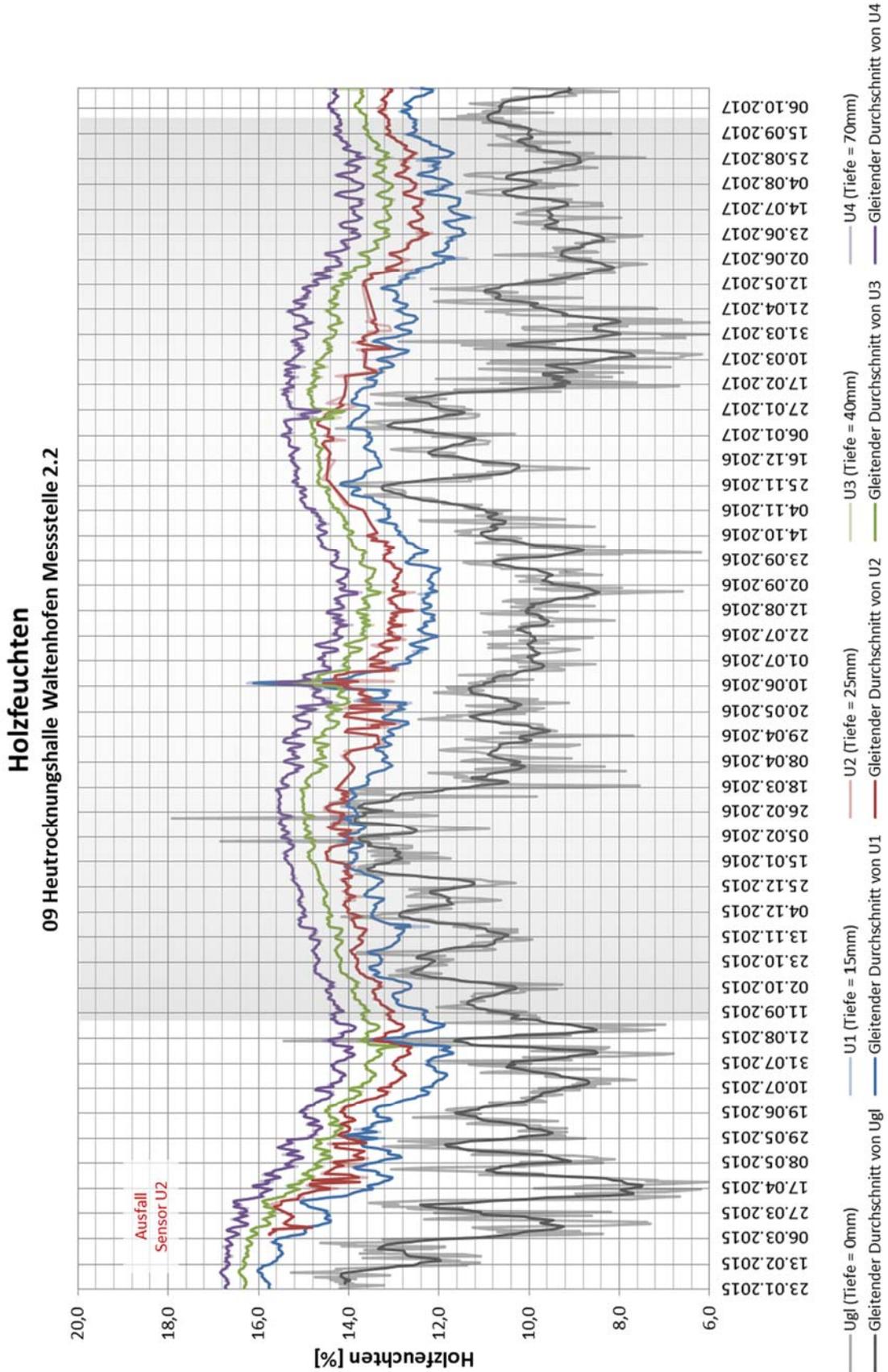
## Messsystem 2



Messstelle 2.1



Messstelle 2.2



## Objekt 10: Hackschnitzelhalle Langdorf

Anschrift:	Hauptstraße 37 94264 Langdorf
Ansprechpartner:	Michael Ellerbeck (vor Ort)
Anwesende vor Ort:	Andreas Gamper, Maximilian Ernst
Installationsdatum:	25.02.2015, 09:00 – 15:00
Umgebungsbedingungen:	offene Lagerhalle, ungedämmt
Tragsystem:	Pfettendachstuhl auf einer Kombination aus Hängewerk und Rahmenkonstruktion ausgesteift durch Kopfbänder, aufgrund von Beschädigungen am Tragwerk wurden in Feldmitte provisorisch Holzstützen eingebaut

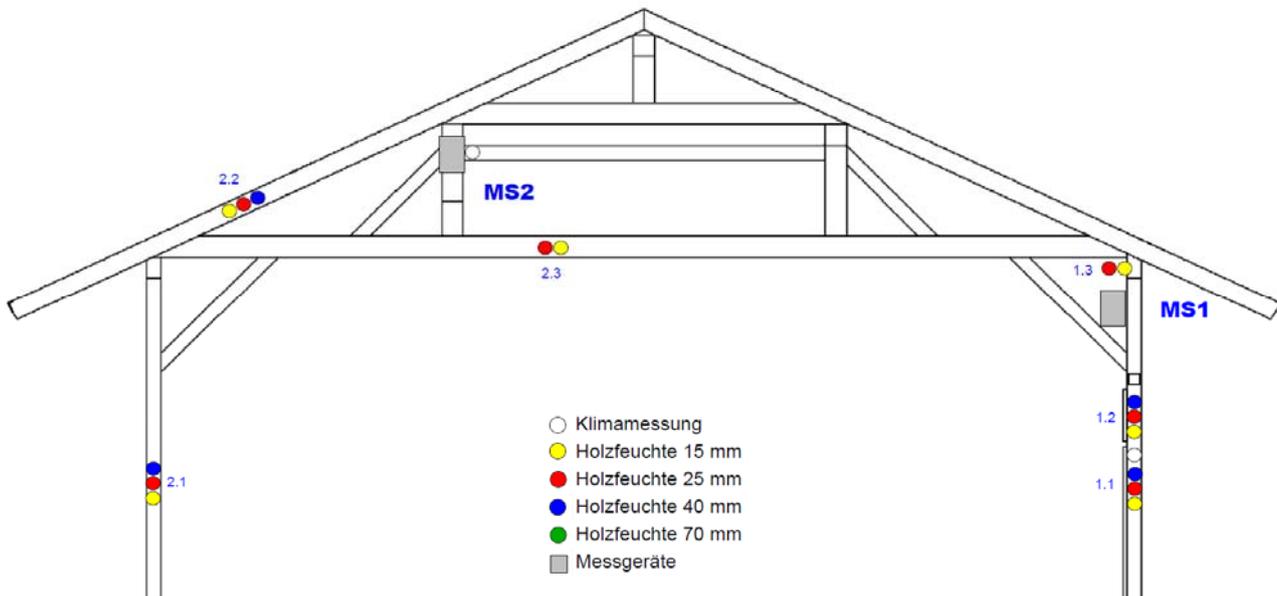
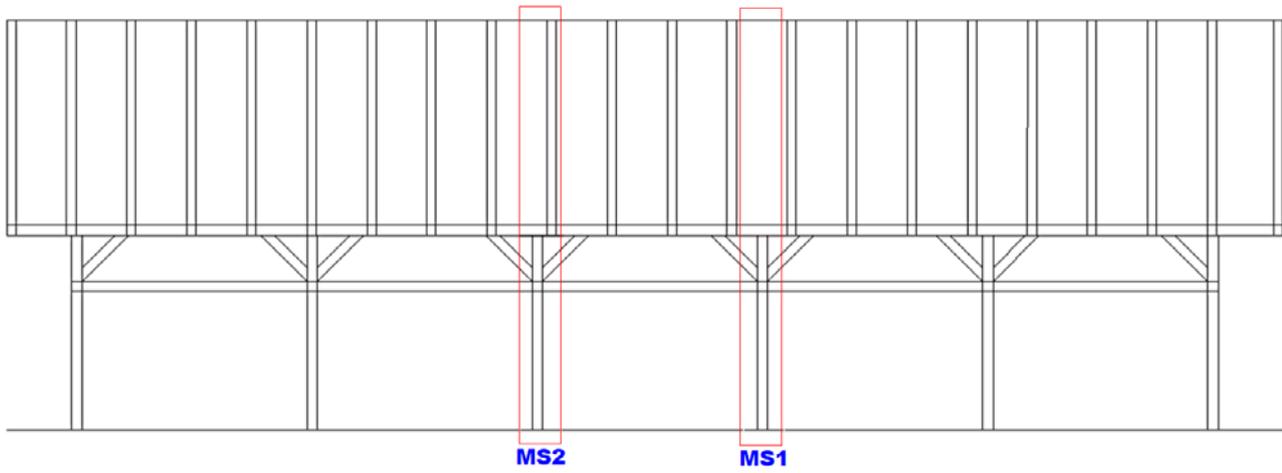
### Messsystem 1:

Messstelle 1.1:	Stützenfuß vorderer Seite hinter Brettabdeckung	(15, 25, 40 mm)
Messstelle 1.2:	Stützenmitte vorderer Seite hinter Brettabdeckung	(15, 25, 40 mm)
Messstelle 1.3:	Fußpfette	(15, 25 mm)

### Messsystem 2:

Messstelle 2.1:	Sparren traufseitig	(15, 25, 40 mm)
Messstelle 2.2:	Stütze hinterer Seite, freiliegend	(15, 25, 40 mm)
Messstelle 2.3:	Querriegel unter dem First	(15, 25 mm)

Skizze:



Bilder:



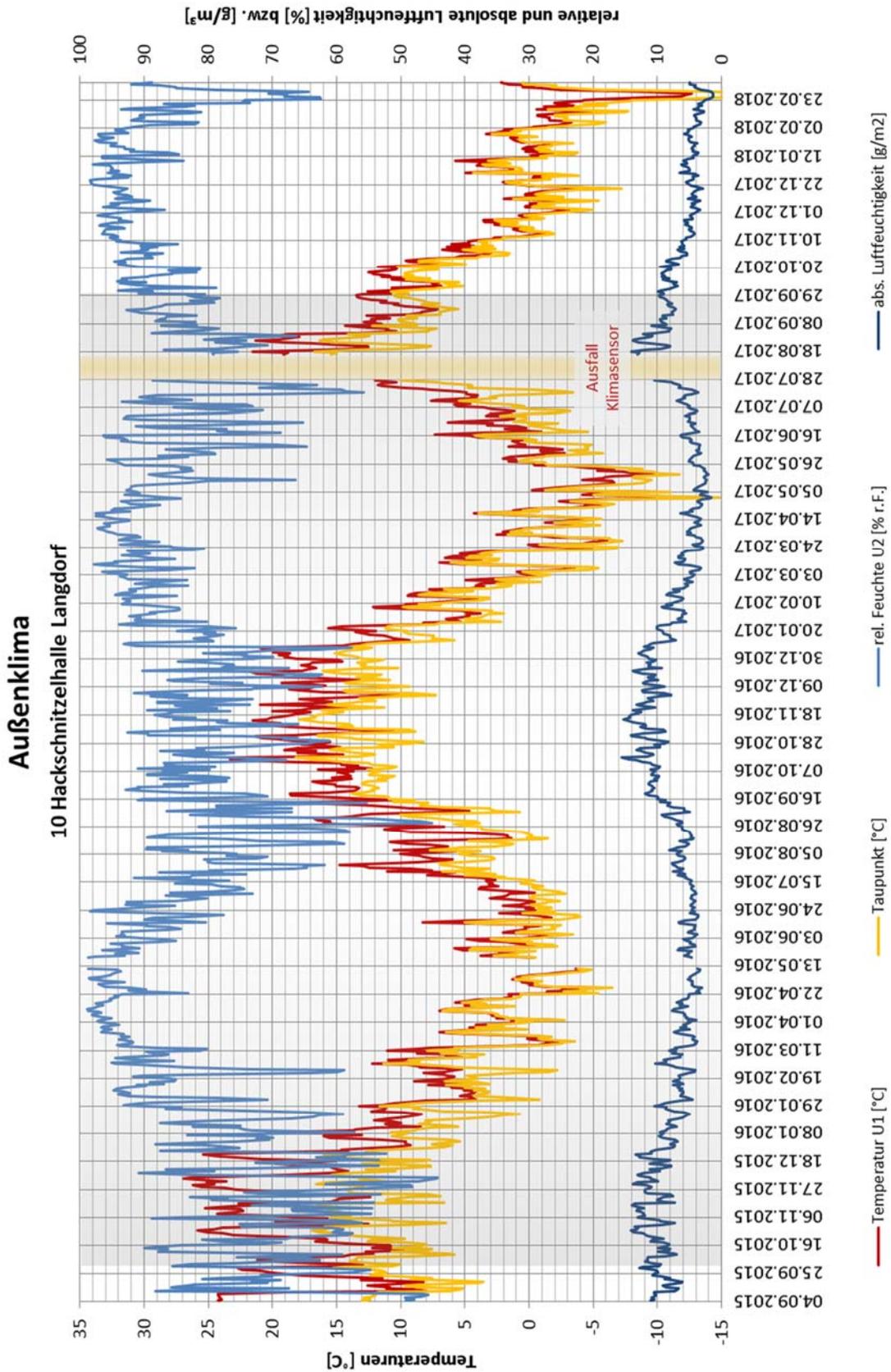
Abbildung 30: Gesamtansicht der Halle



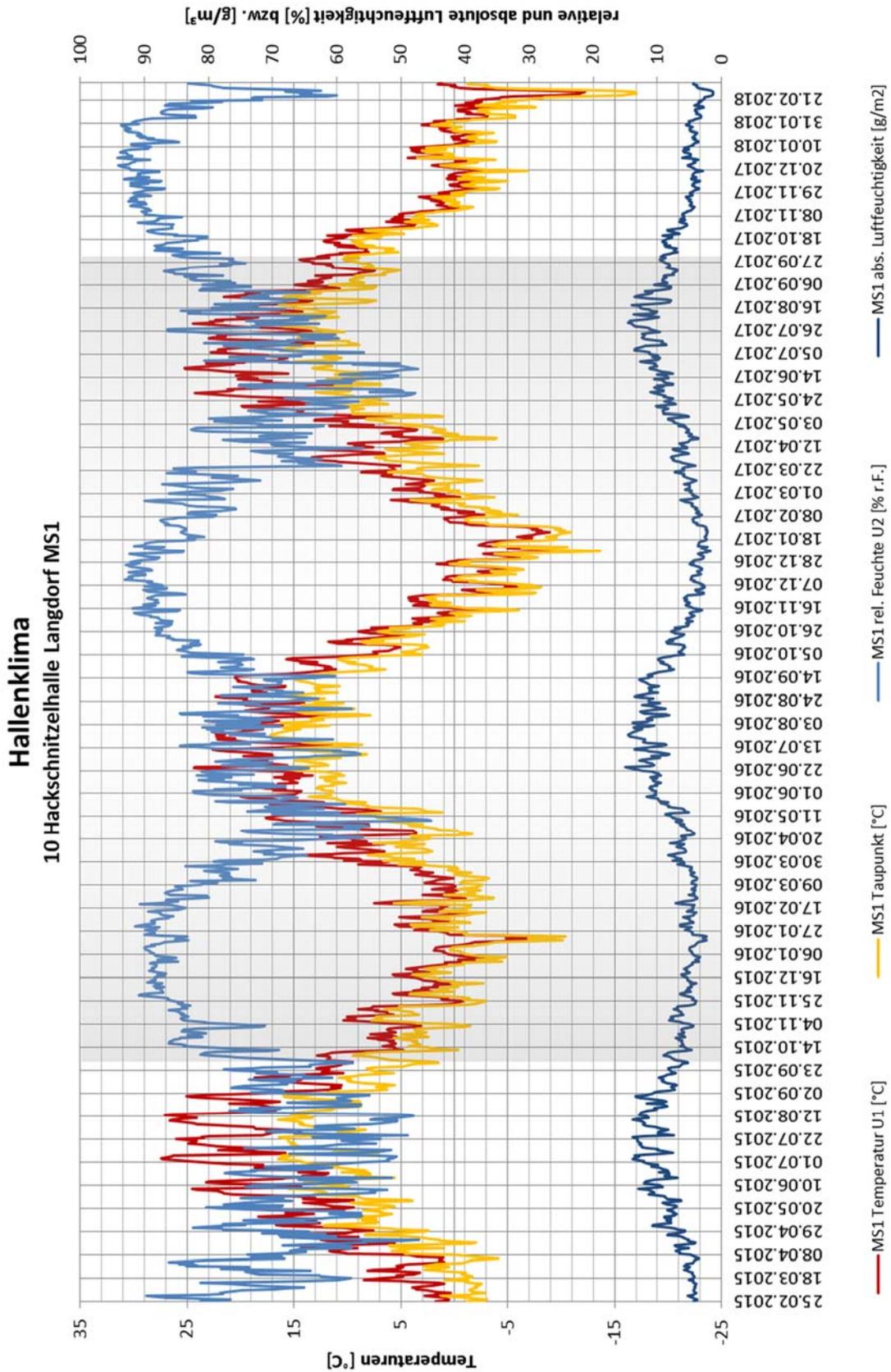
Abbildung 31: Anordnung der Messstellen der Messsysteme 1 (rechts) und 2 (links)



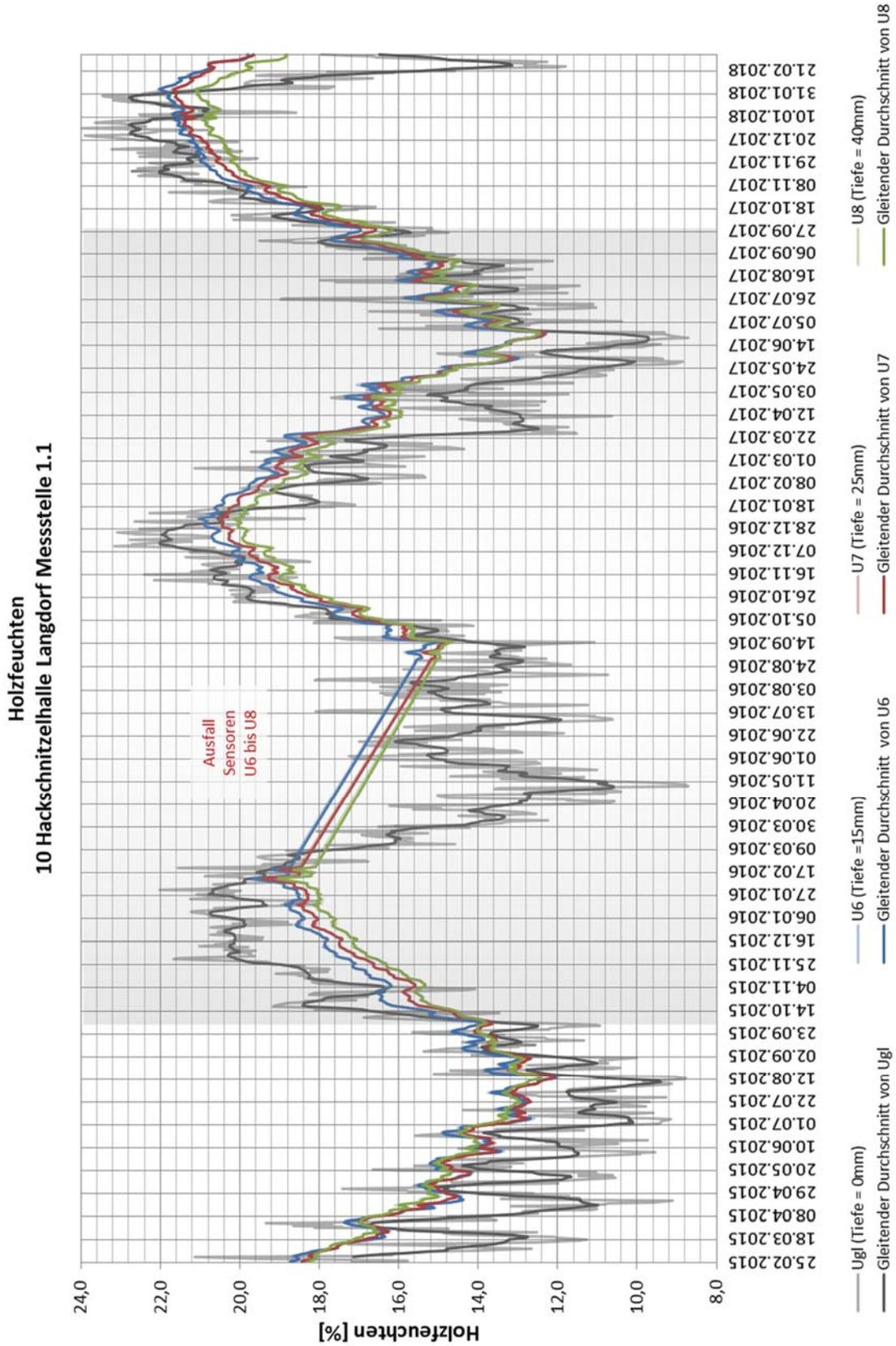
## Außenklima



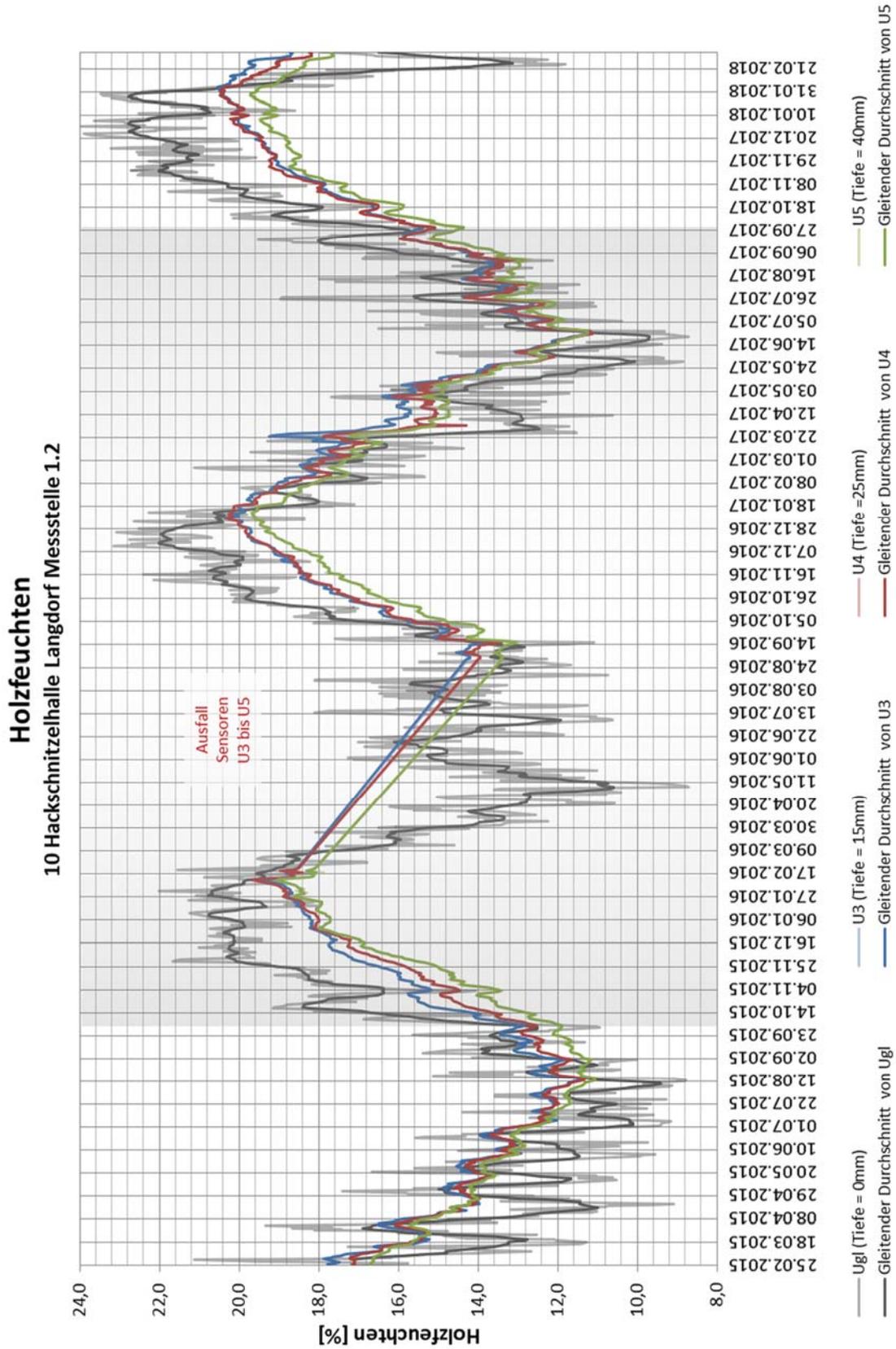
### Messsystem 1



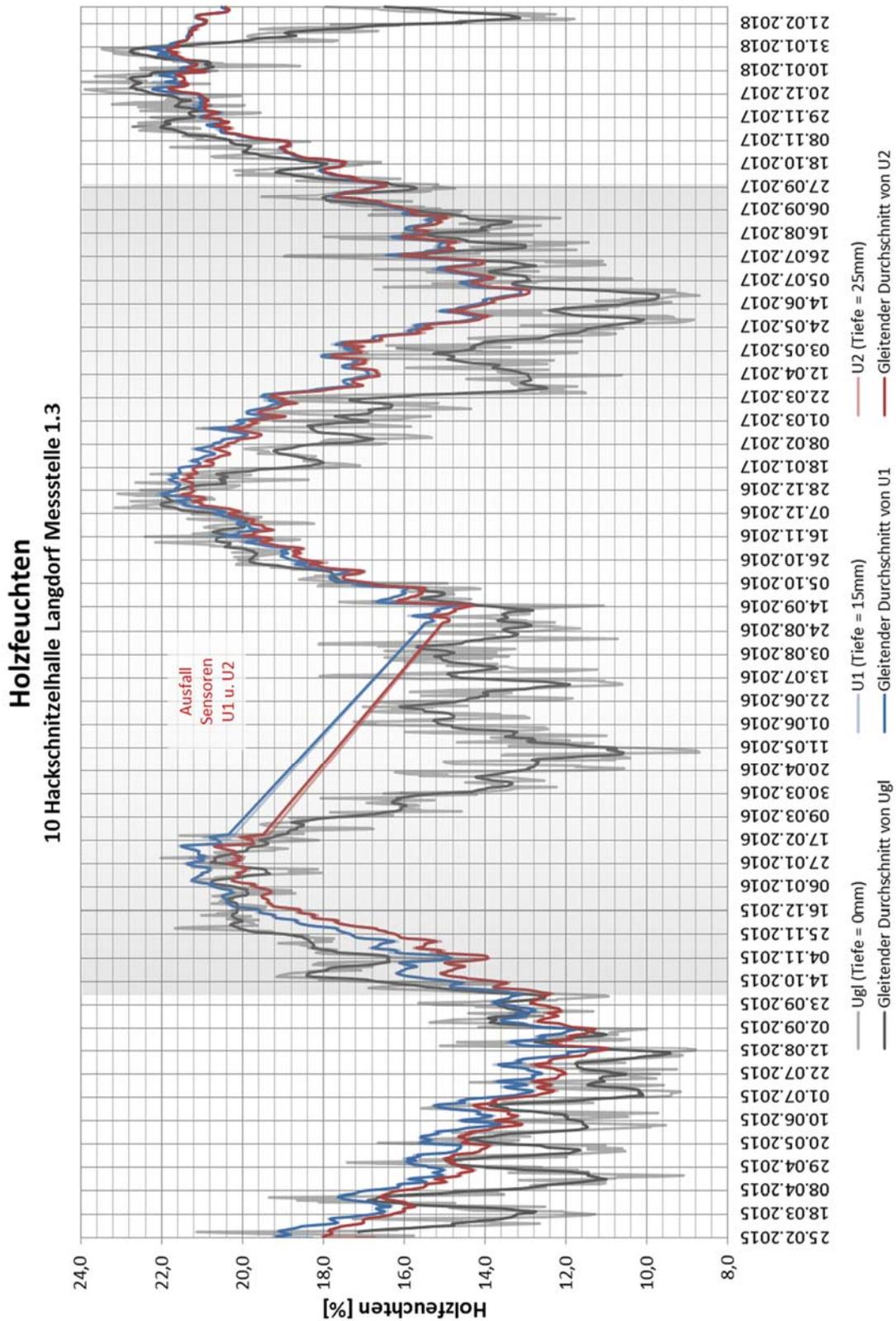
Messstelle 1.1



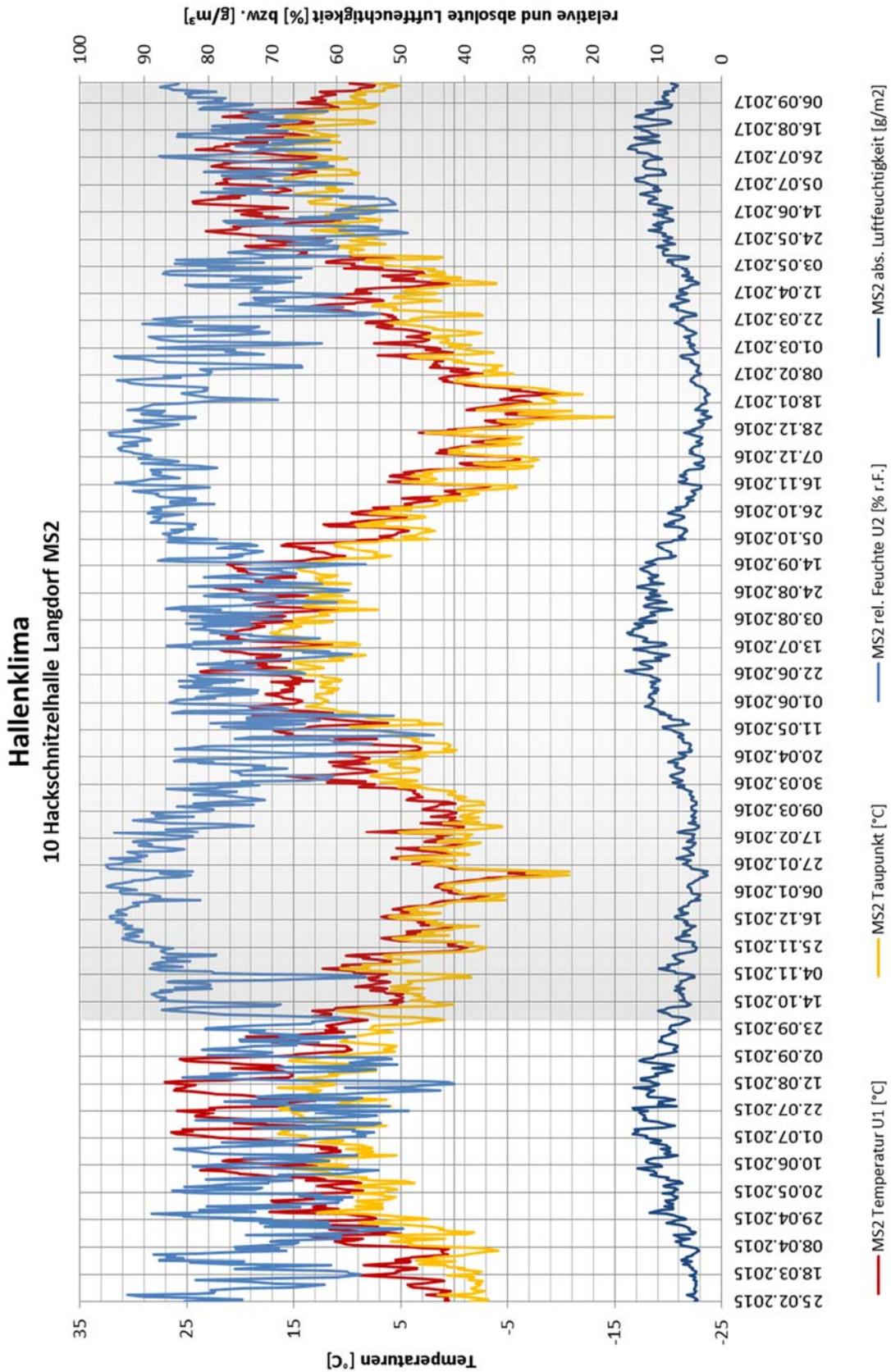
Messstelle 1.2



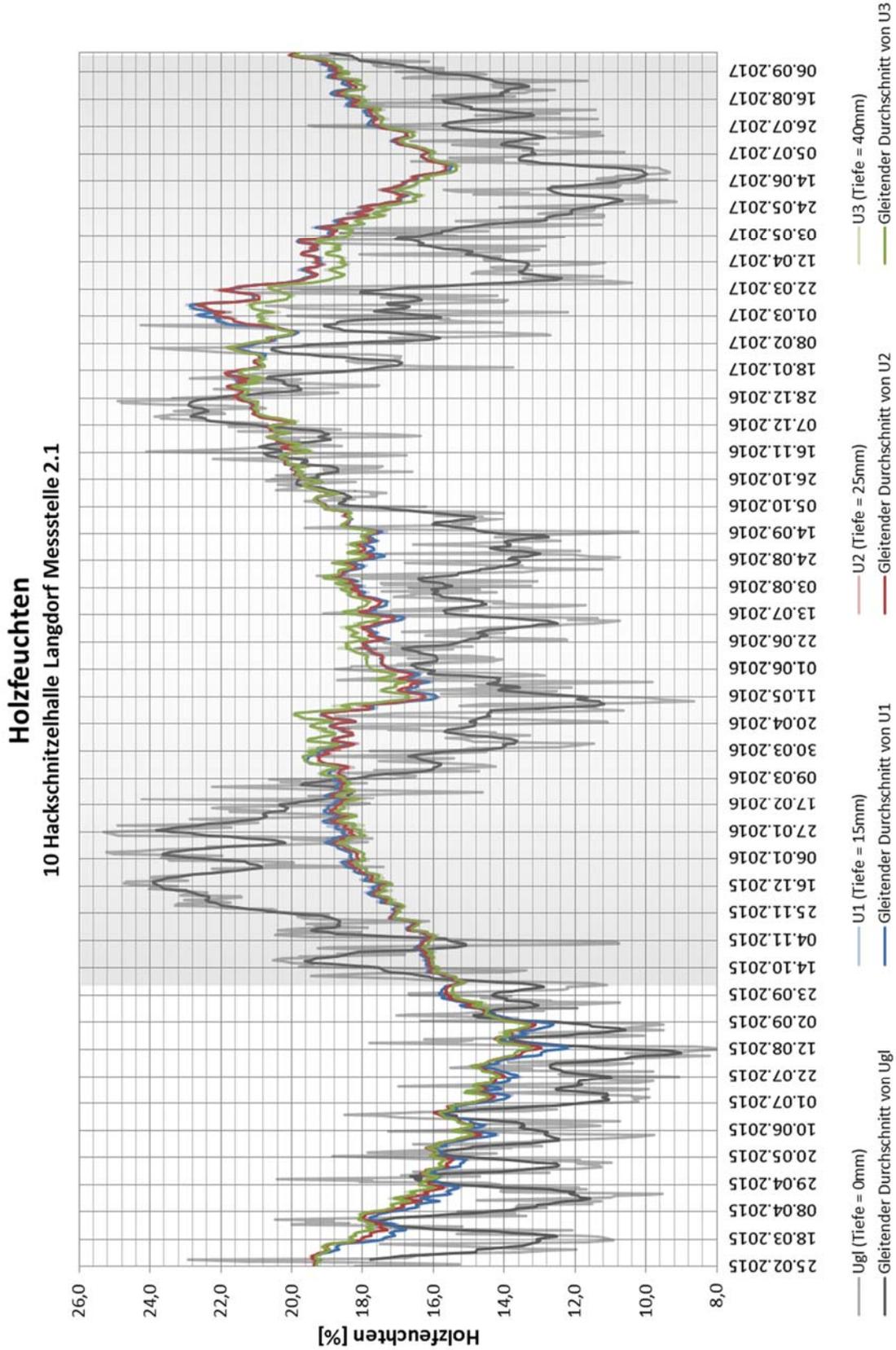
Messstelle 1.3



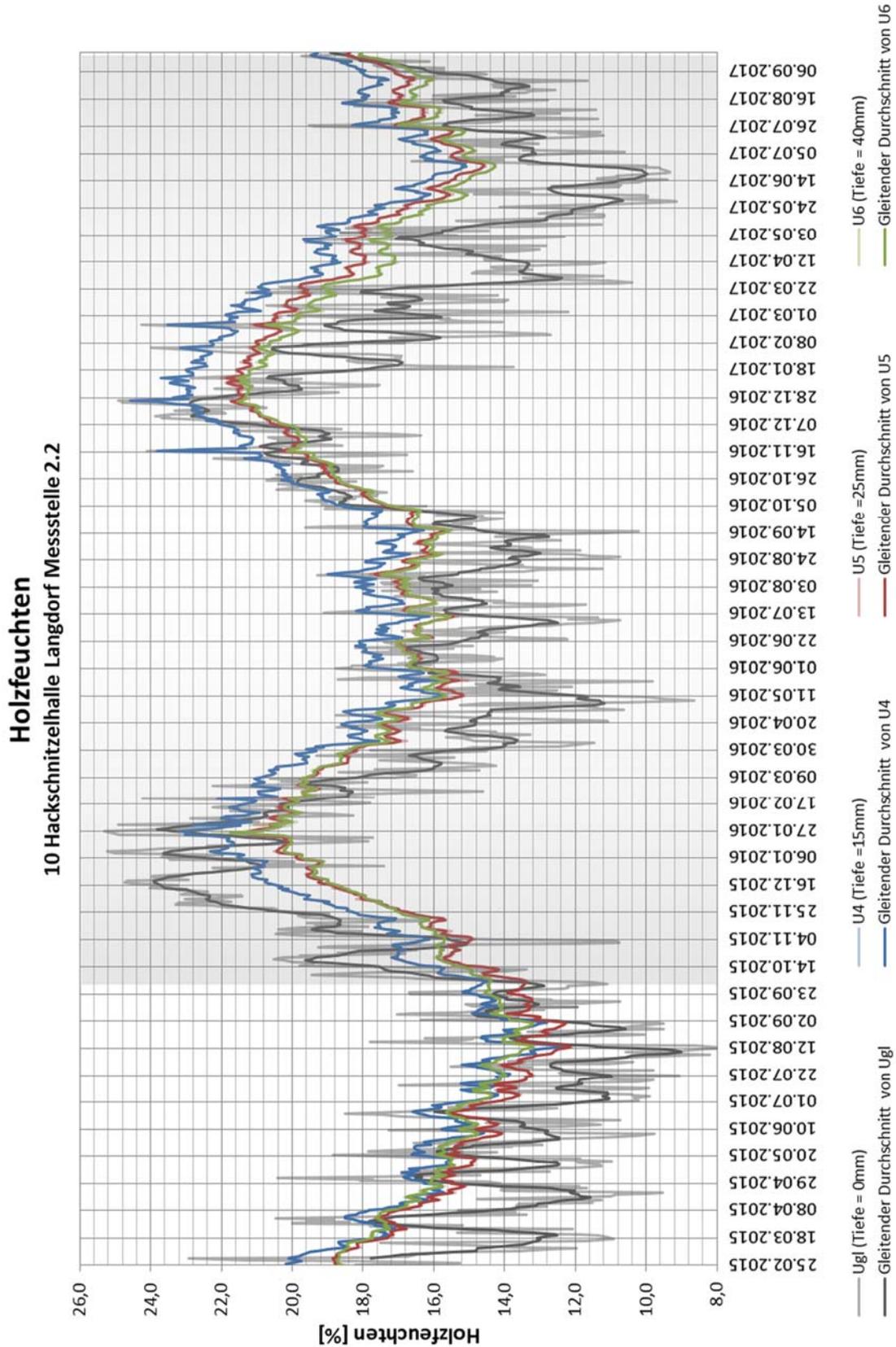
## Messsystem 2



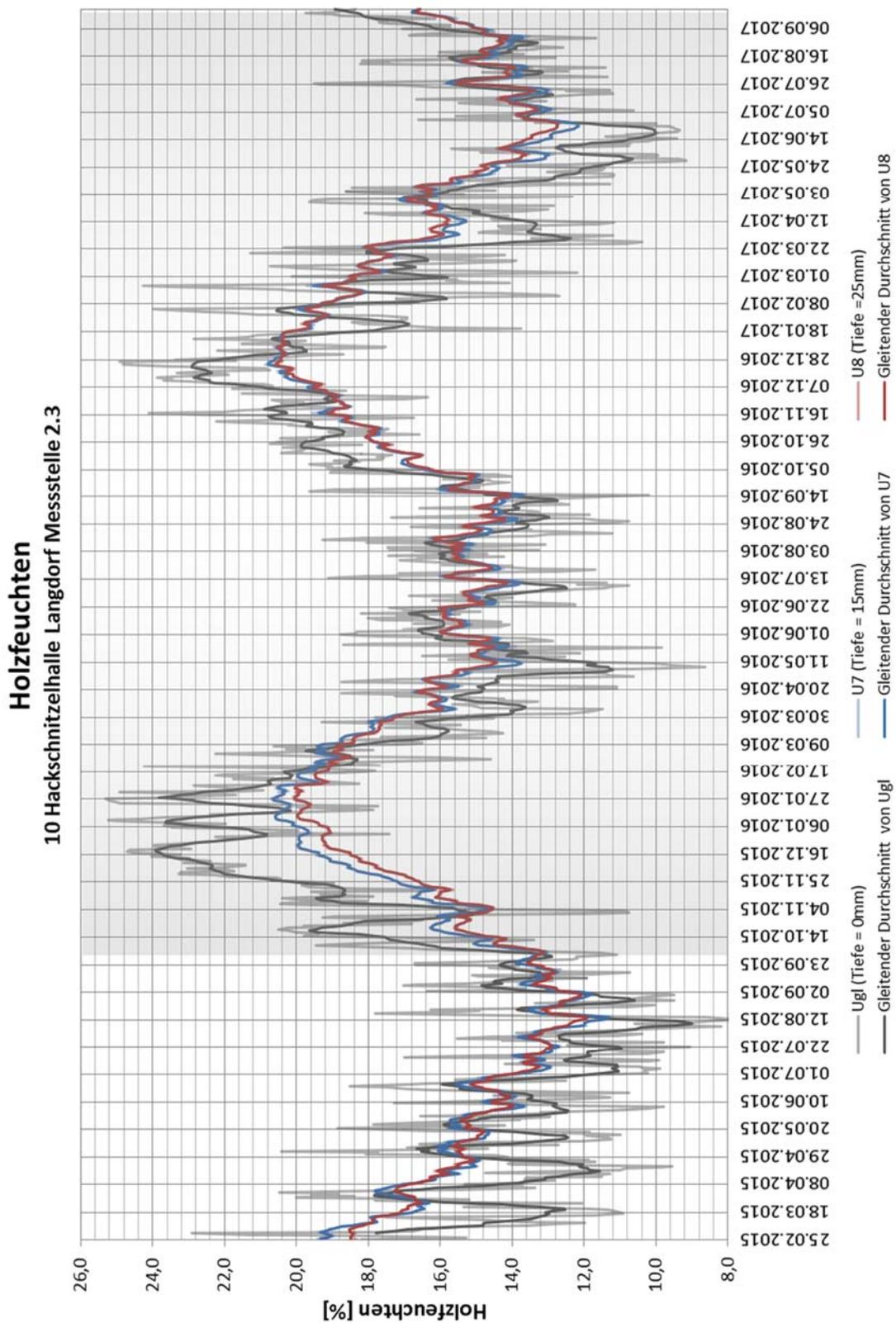
Messstelle 2.1



Messstelle 2.2



### Messstelle 2.3





## Objekt 11: Geflügelhalle Söhl

Anschrift:	Johann Kaltner Putenmast Söhl 3 83104 Tuntenhausen
Ansprechpartner:	Johann Kaltner (vor Ort)
Anwesende vor Ort:	Yuan Jiang, Jochen Simon (Auswahl, Besichtigung am 10.06.2015)
Installationsdatum:	17.06.2015, 08:00 – 17:00
Umgebungsbedingungen:	alter Stall (gebaut um 1985): offene Traufseiten, offener First, Giebelseiten geschlossen  neuer Stall (Inbetriebnahme im Juni 2015): offene Traufseiten, Entlüftung durch Kamine im First, Giebelseiten geschlossen
Tragsystem:	alter Stall: Rahmenkonstruktion aus KVH, 2-fach unterstützt  Neuer Stall: Rahmenkonstruktion aus BSH-Trägern und Stahlstützen, freitragend
Messsystem 1 (neuer Stall):	
Messstelle 1.1:	Sparren traufseitig (15, 25, 40 mm)
Messstelle 1.2:	Pfette auf halber Strecke zwischen Traufe und First (15, 25 mm)
Messstelle 1.3:	Sparren am First (15, 25, 40 mm)
Messsystem 2 (alter Stall):	
Messstelle 2.1:	Stütze traufseitig am Fenster (15, 25, 40, 70 mm)
Messstelle 2.2:	Stützenkopf traufseitig (15, 25 mm)
Messstelle 2.3:	Sparren auf halber Strecke zwischen Traufe und First (15, 25 mm)
Messsystem 3 (alter Stall):	
Messstelle 3.1:	Stütze Hallenmitte (15, 25, 40, 70 mm)
Messstelle 3.2:	Sparren am First (15, 25 mm)
Messstelle 3.3:	Sparren auf halber Strecke zwischen Traufe und First (15, 25 mm)

Skizze:

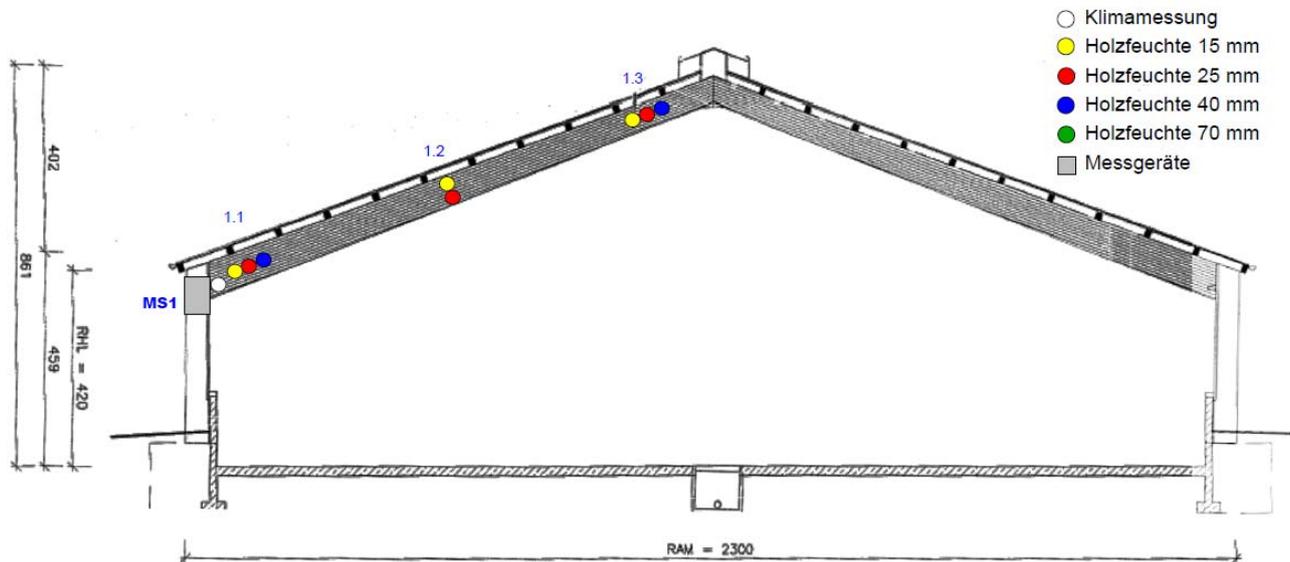


Abbildung 32: Anordnung der Messstellen des Messsystems 1 im neuen Stall

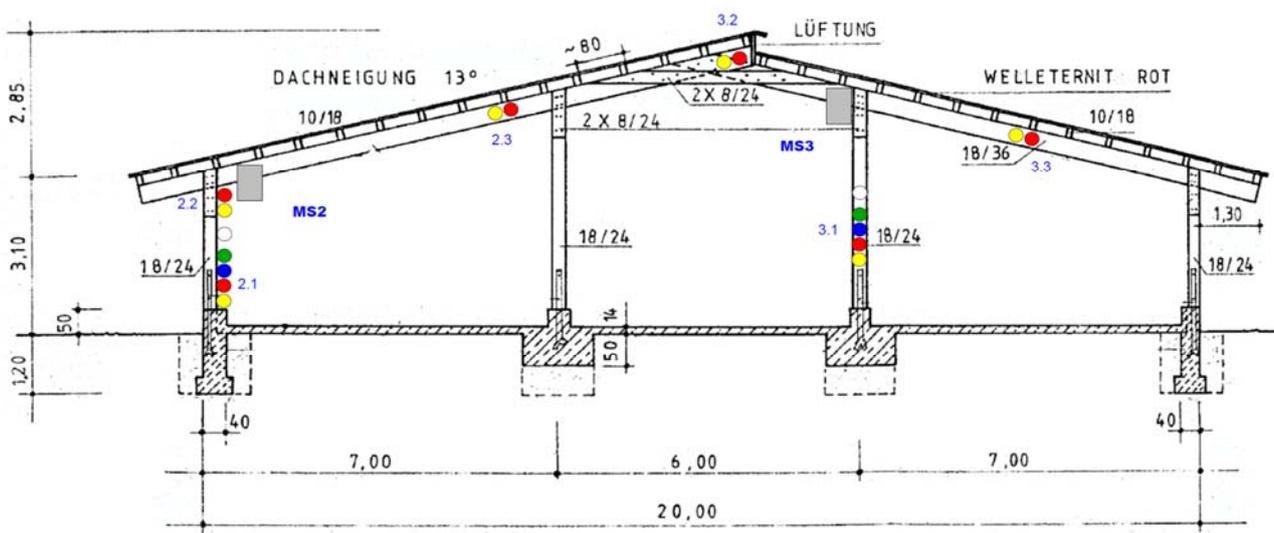


Abbildung 33: Anordnung der Messstellen der Messsysteme 2 und 3 im alten Stall

Bilder:



Abbildung 34: Ansicht des neuen Stalls



Abbildung 35: Anordnung der Messstellen des Messsystems 1

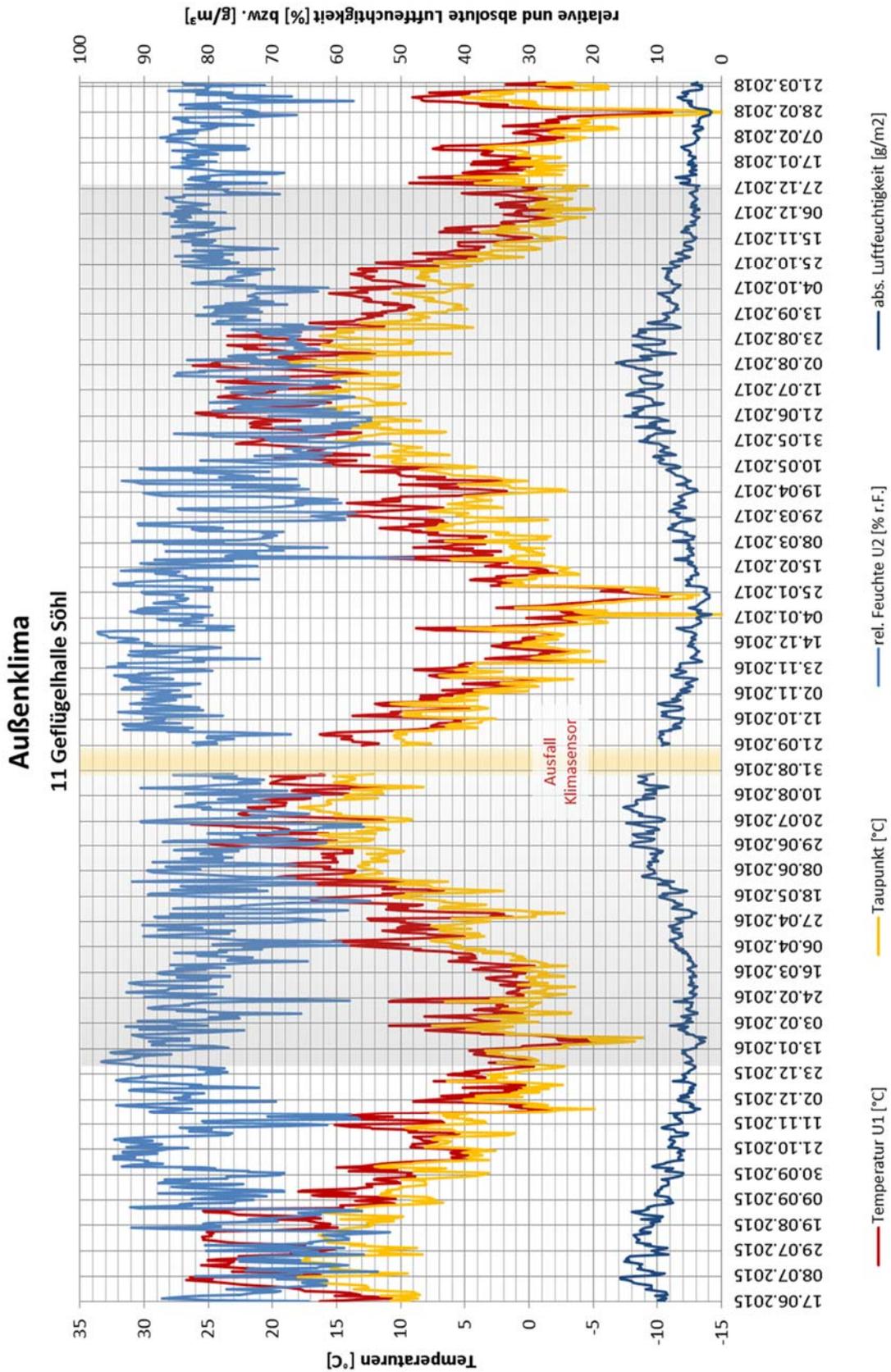


Abbildung 36: Ansicht des alten Stalls

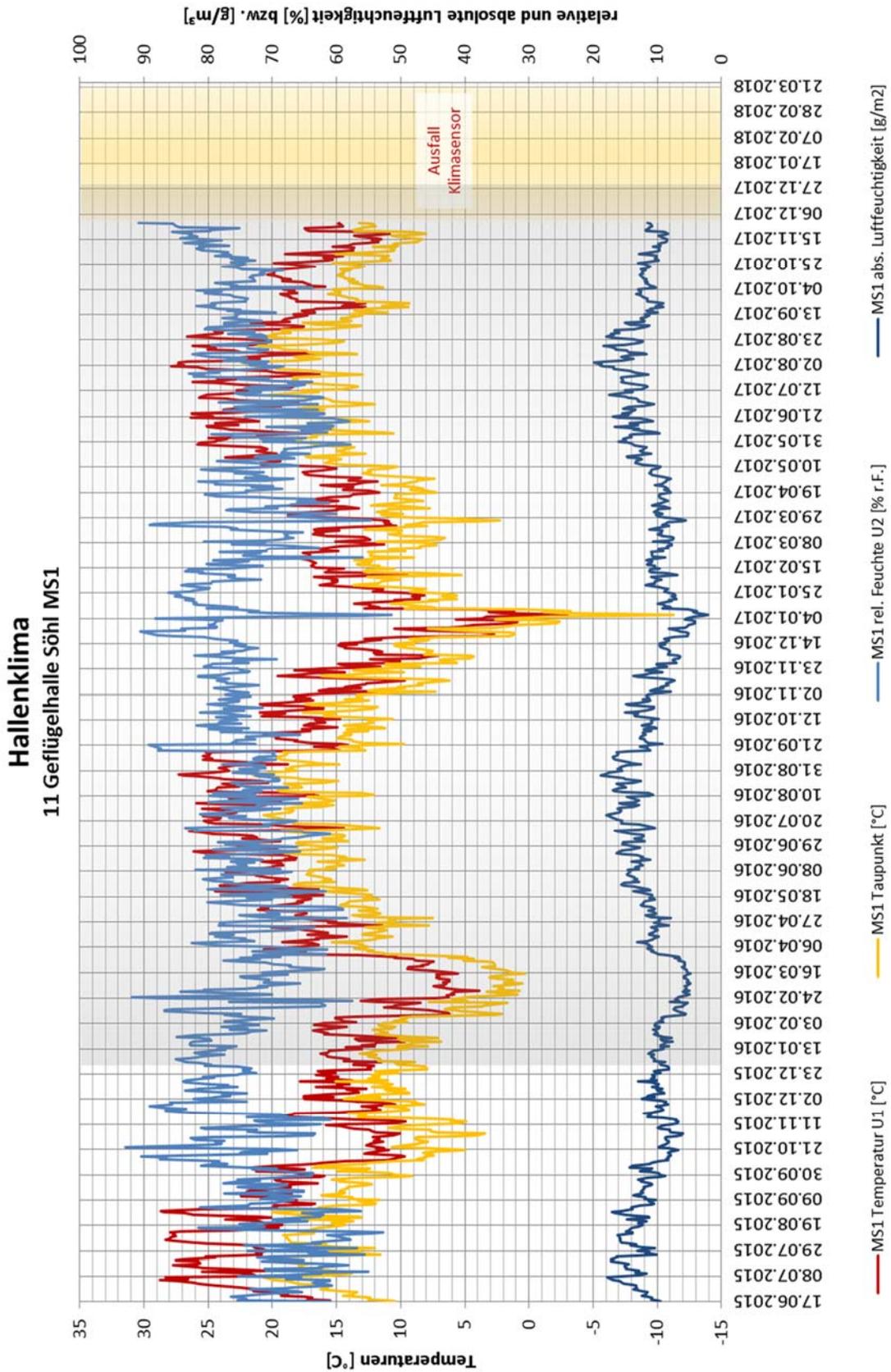


Abbildung 37: Anordnung der Messstellen der Messsysteme 2 (links) und 3 (rechts)

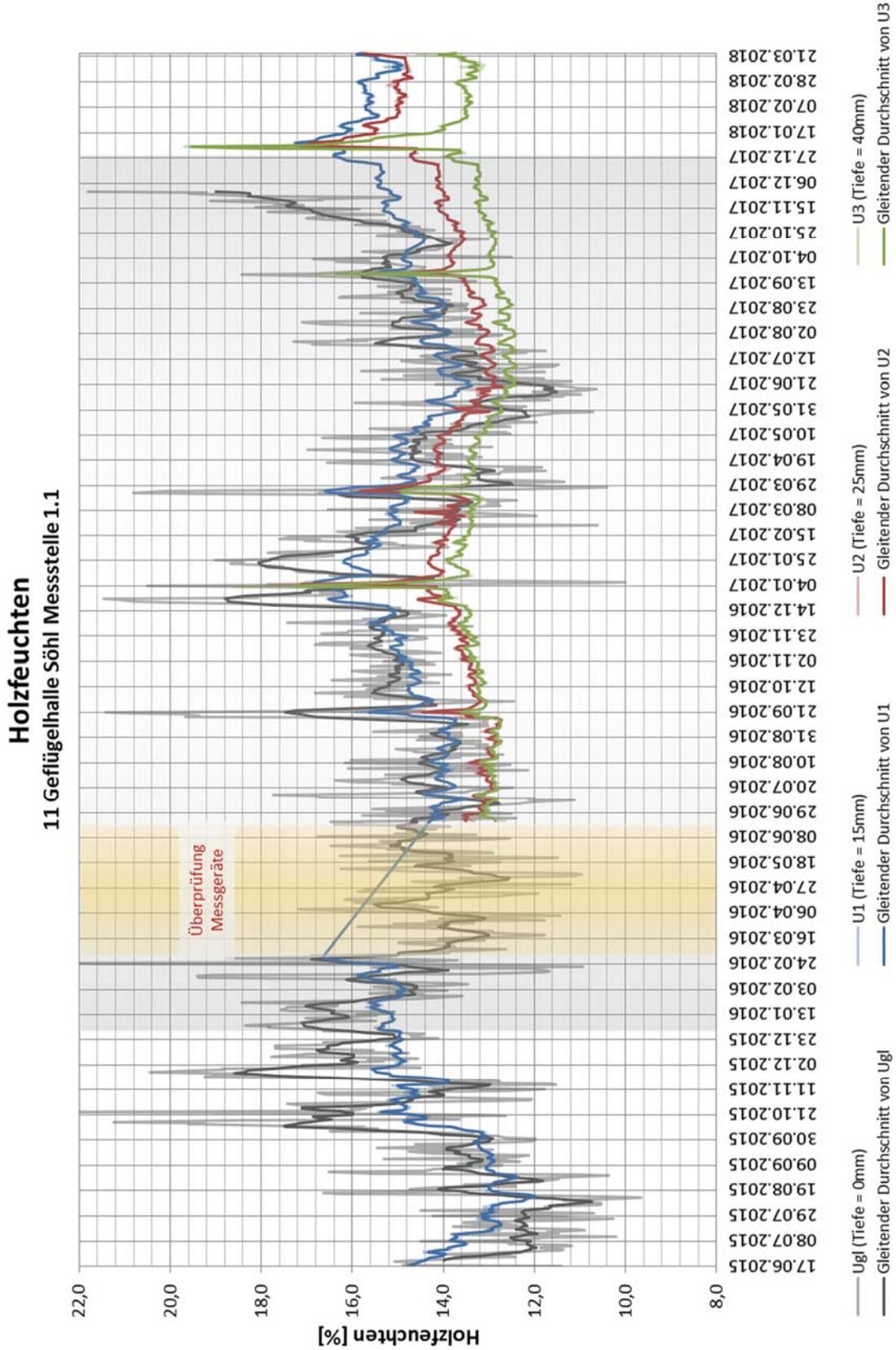
## Außenklima



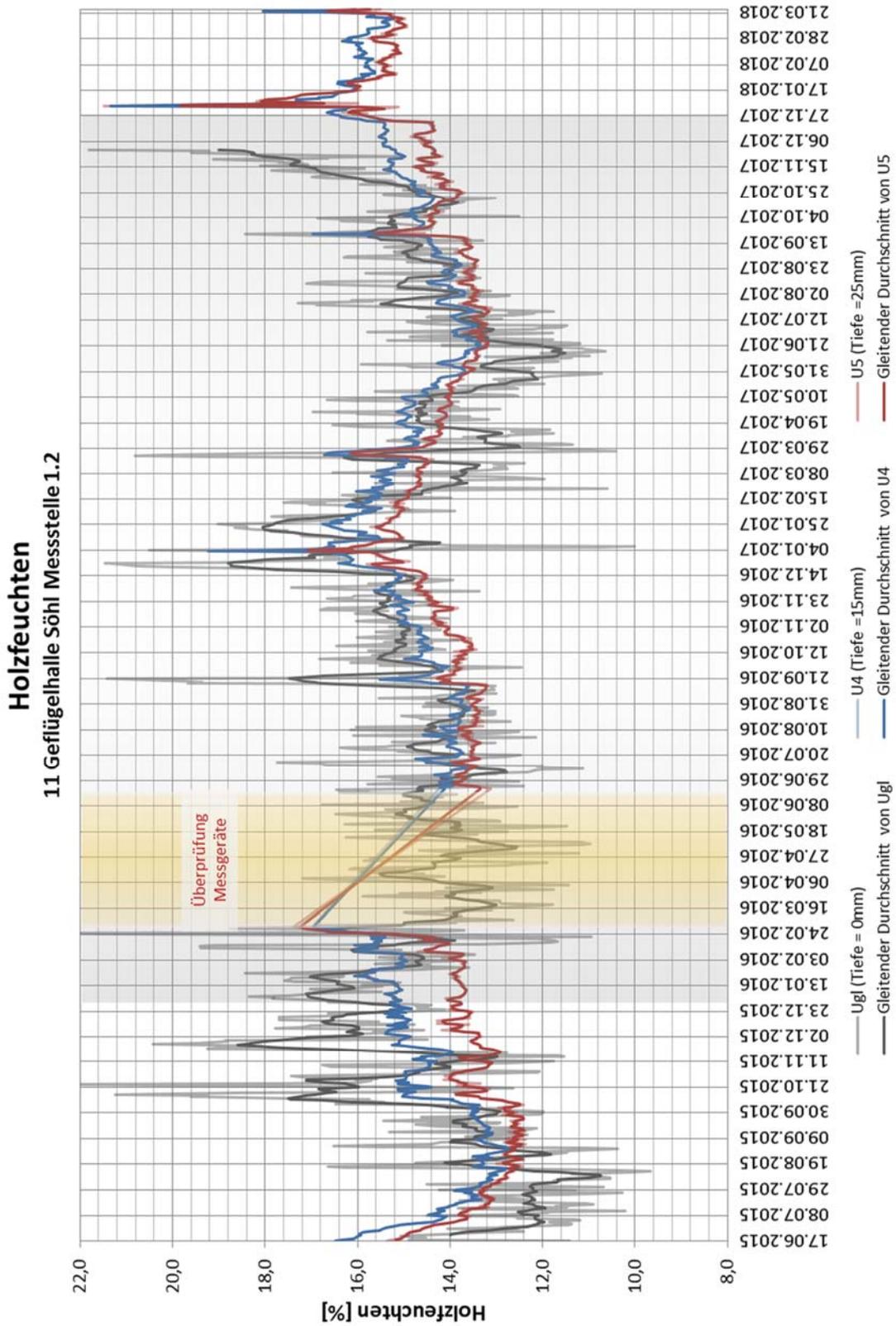
### Messsystem 1



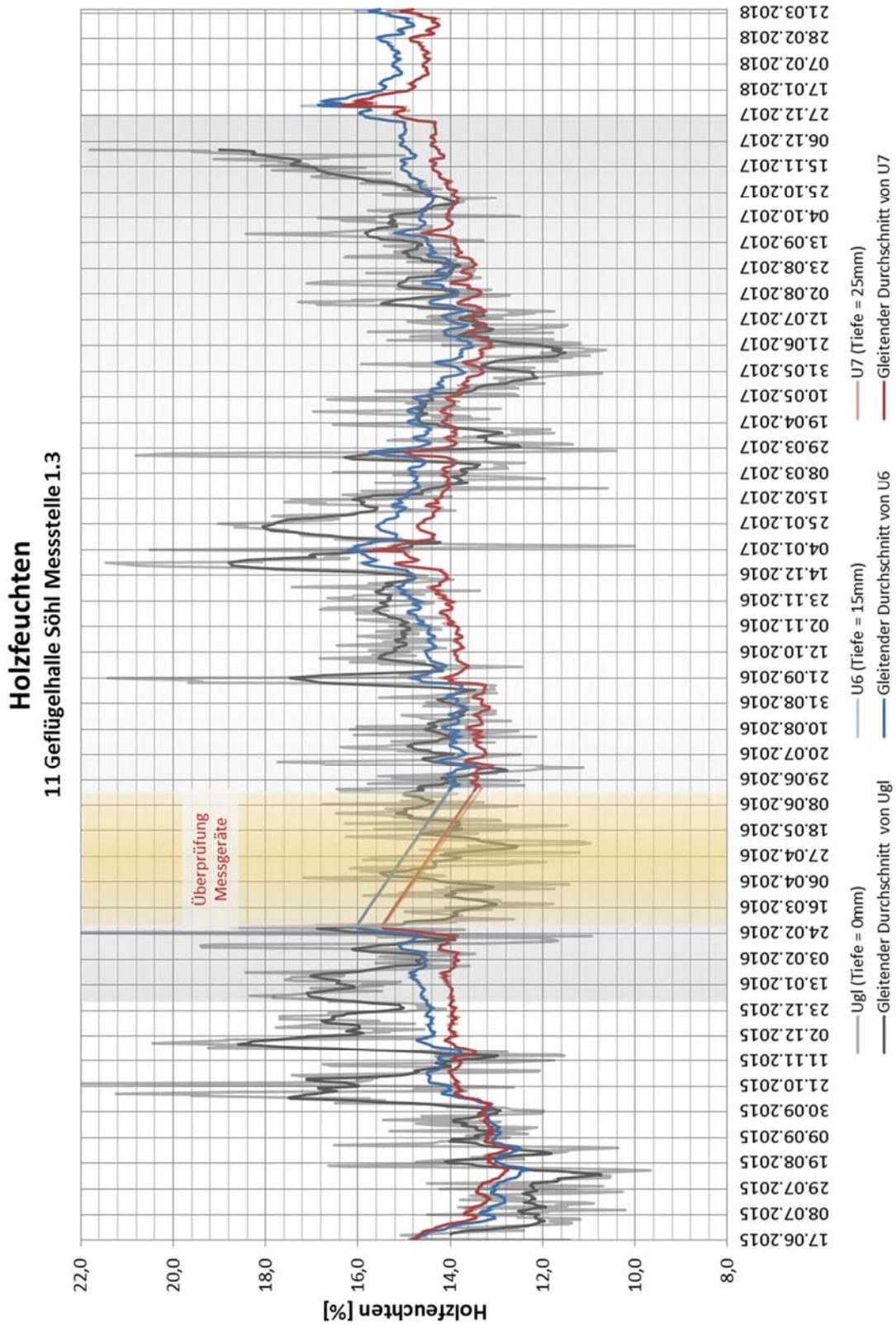
Messstelle 1.1



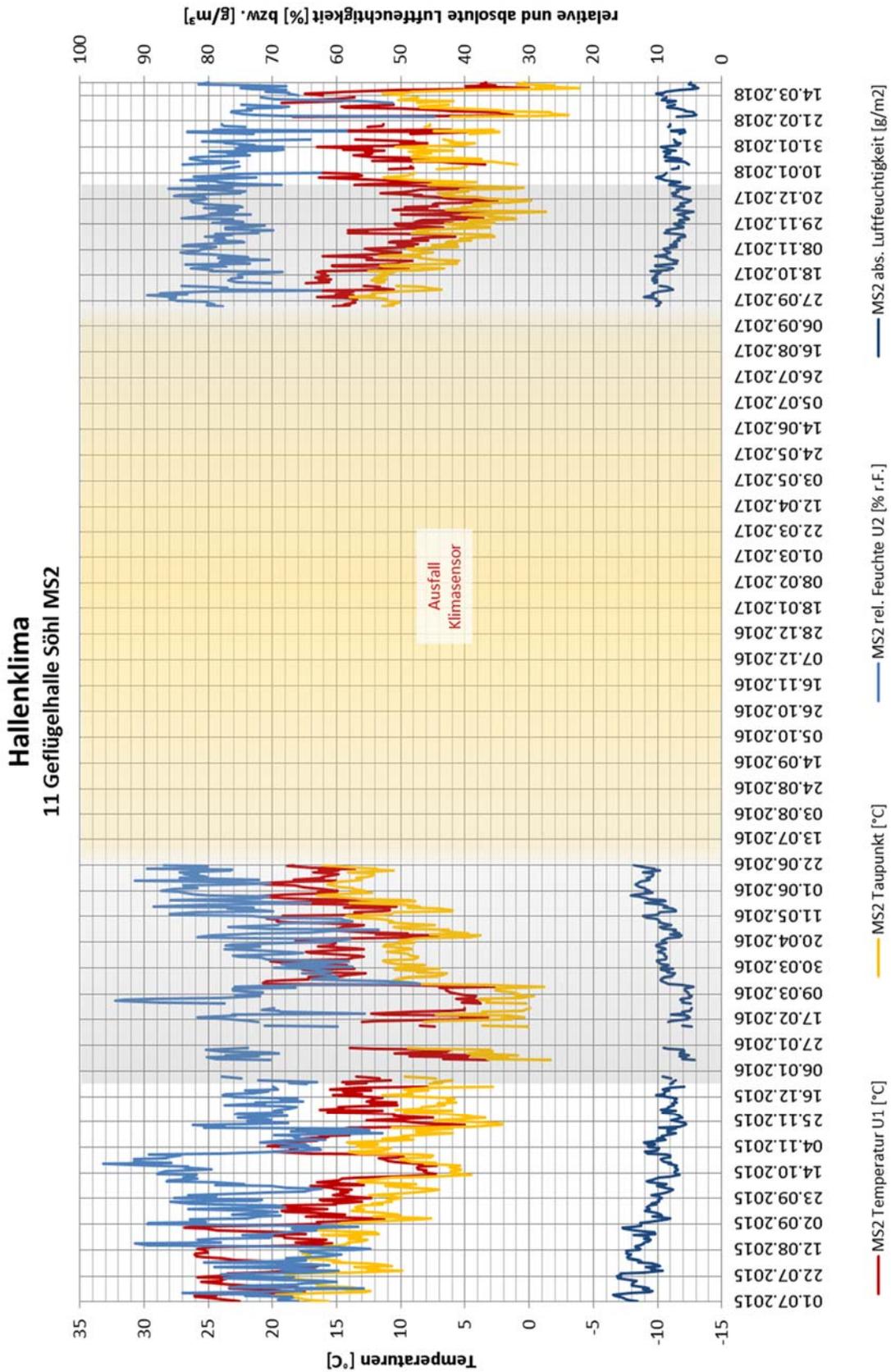
Messstelle 1.2



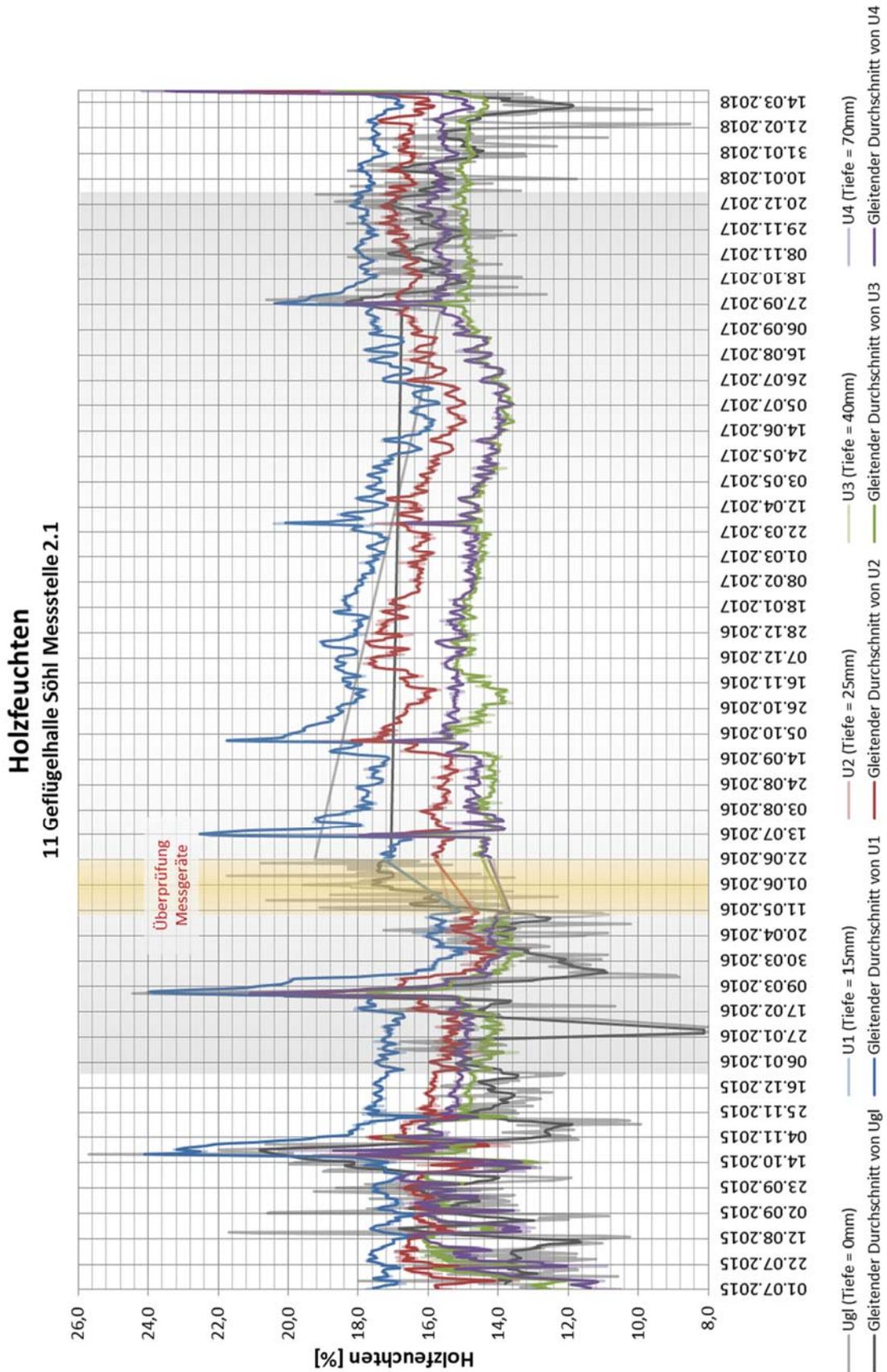
Messstelle 1.3



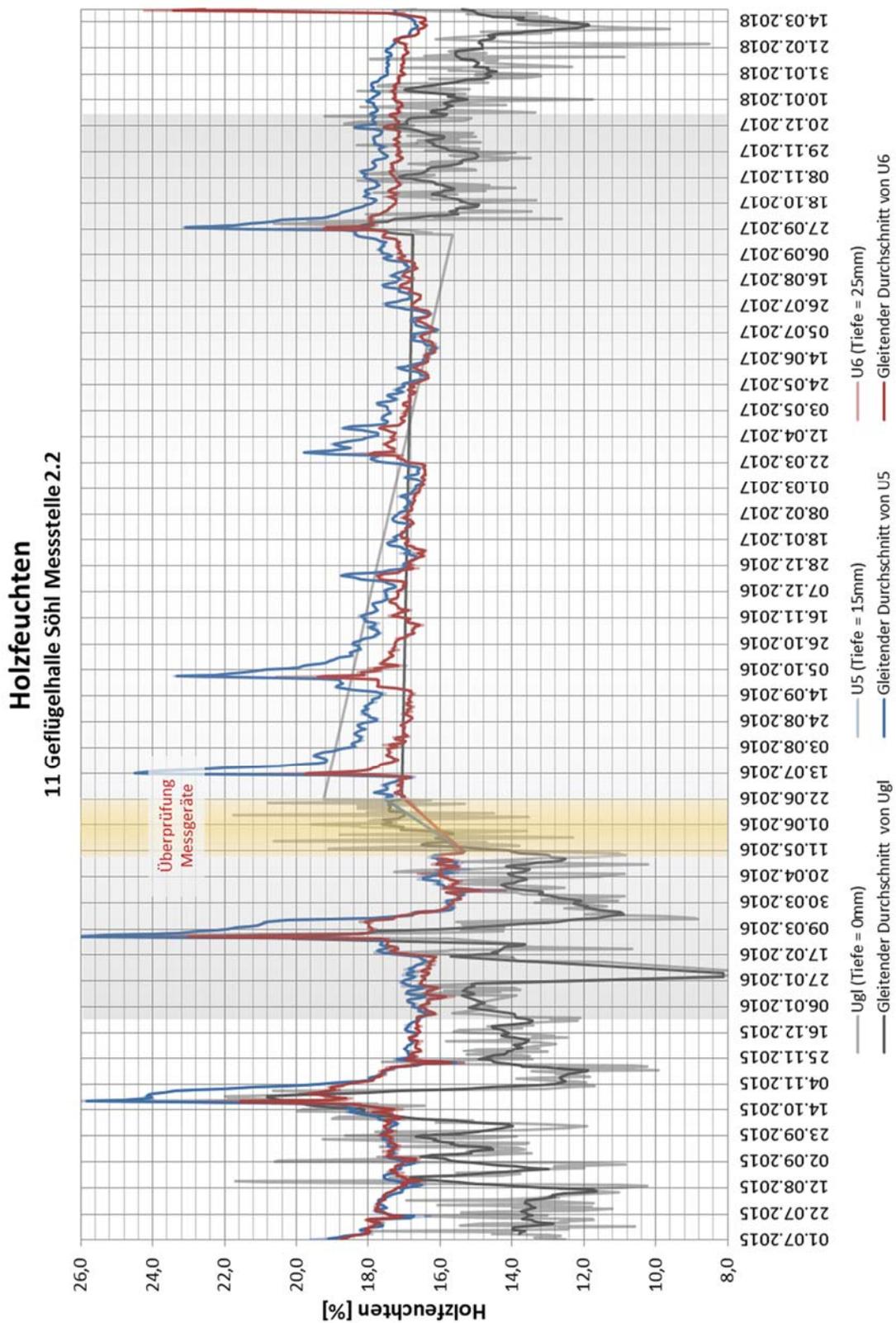
## Messsystem 2



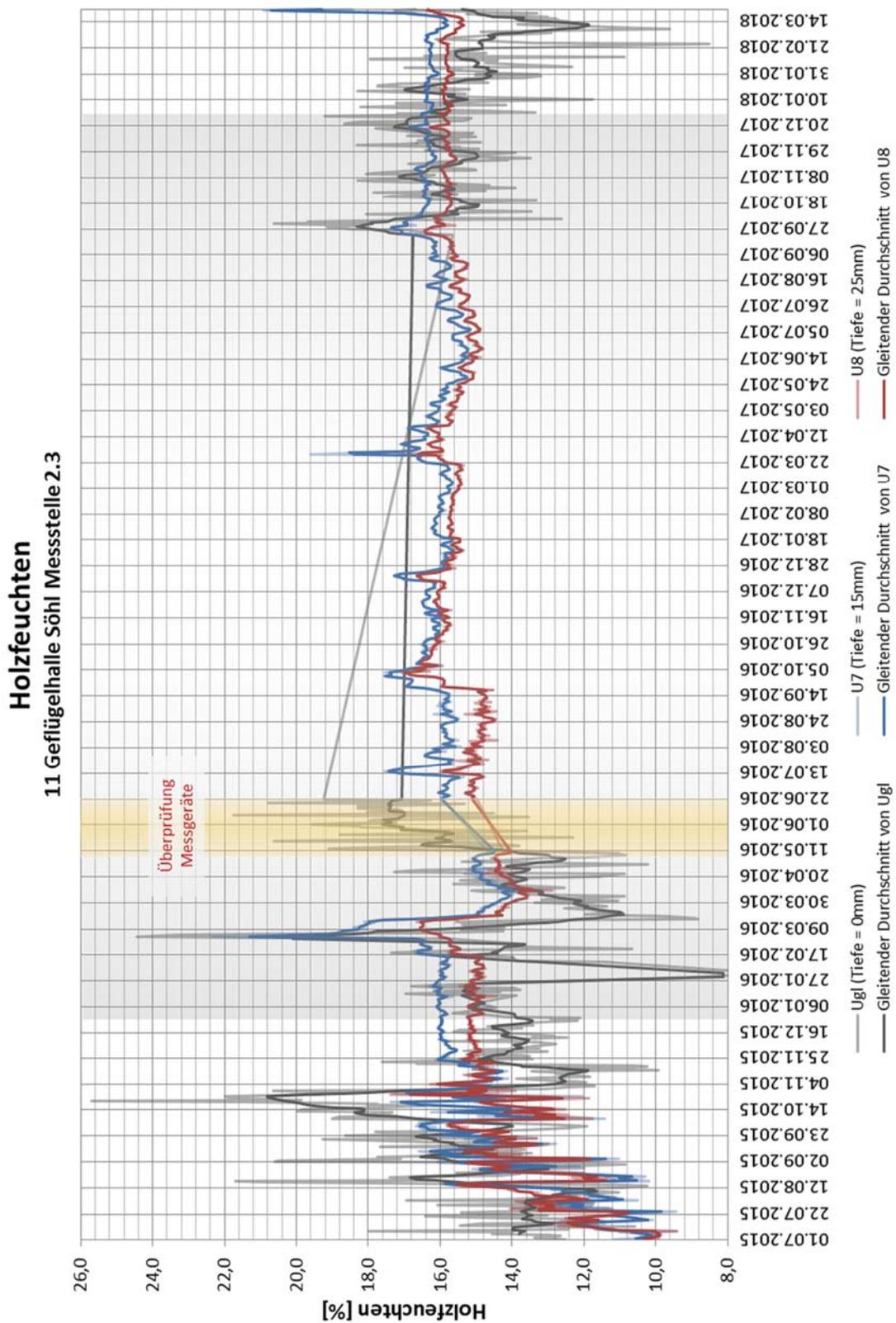
Messstelle 2.1



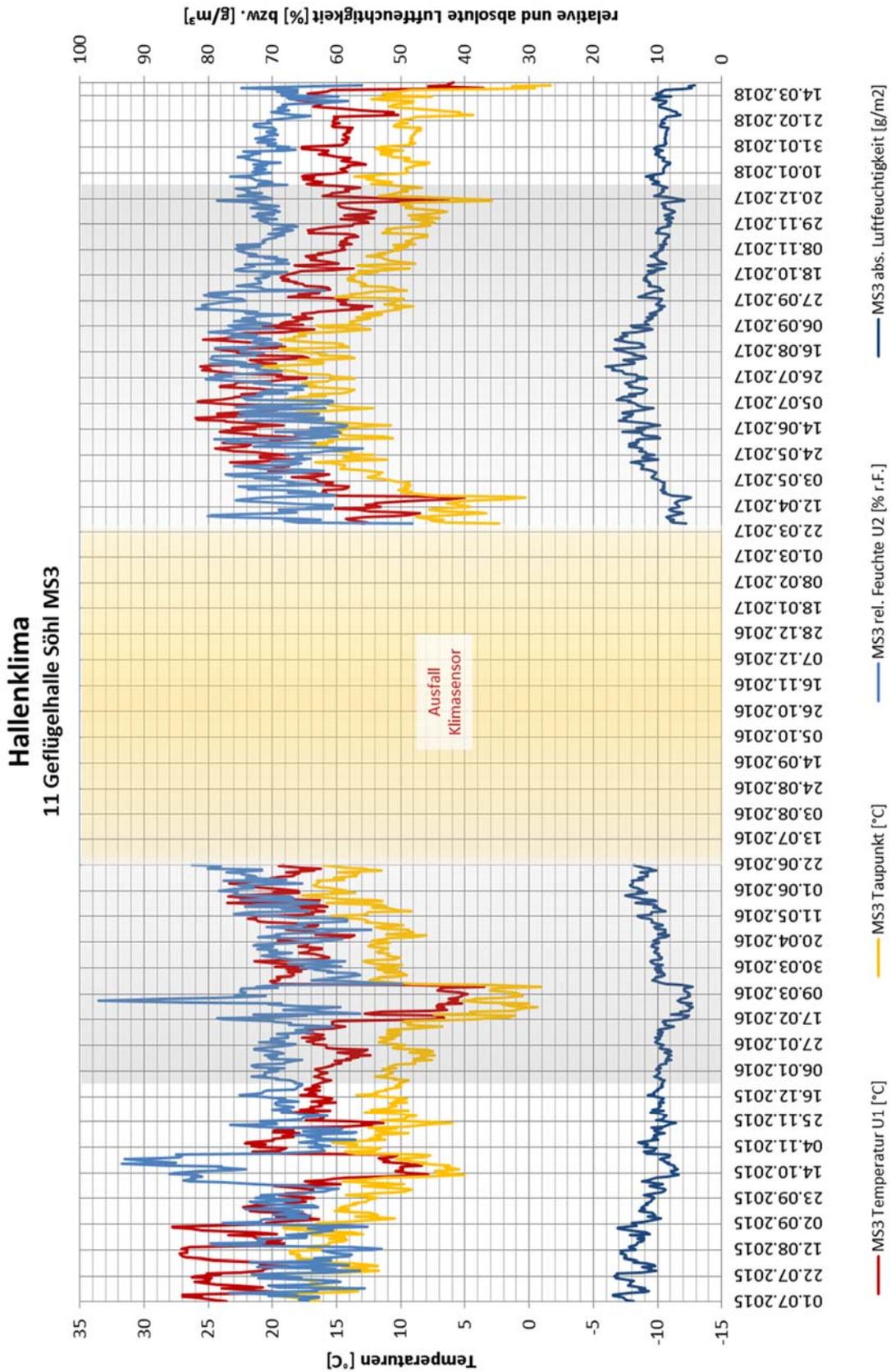
Messstelle 2.2



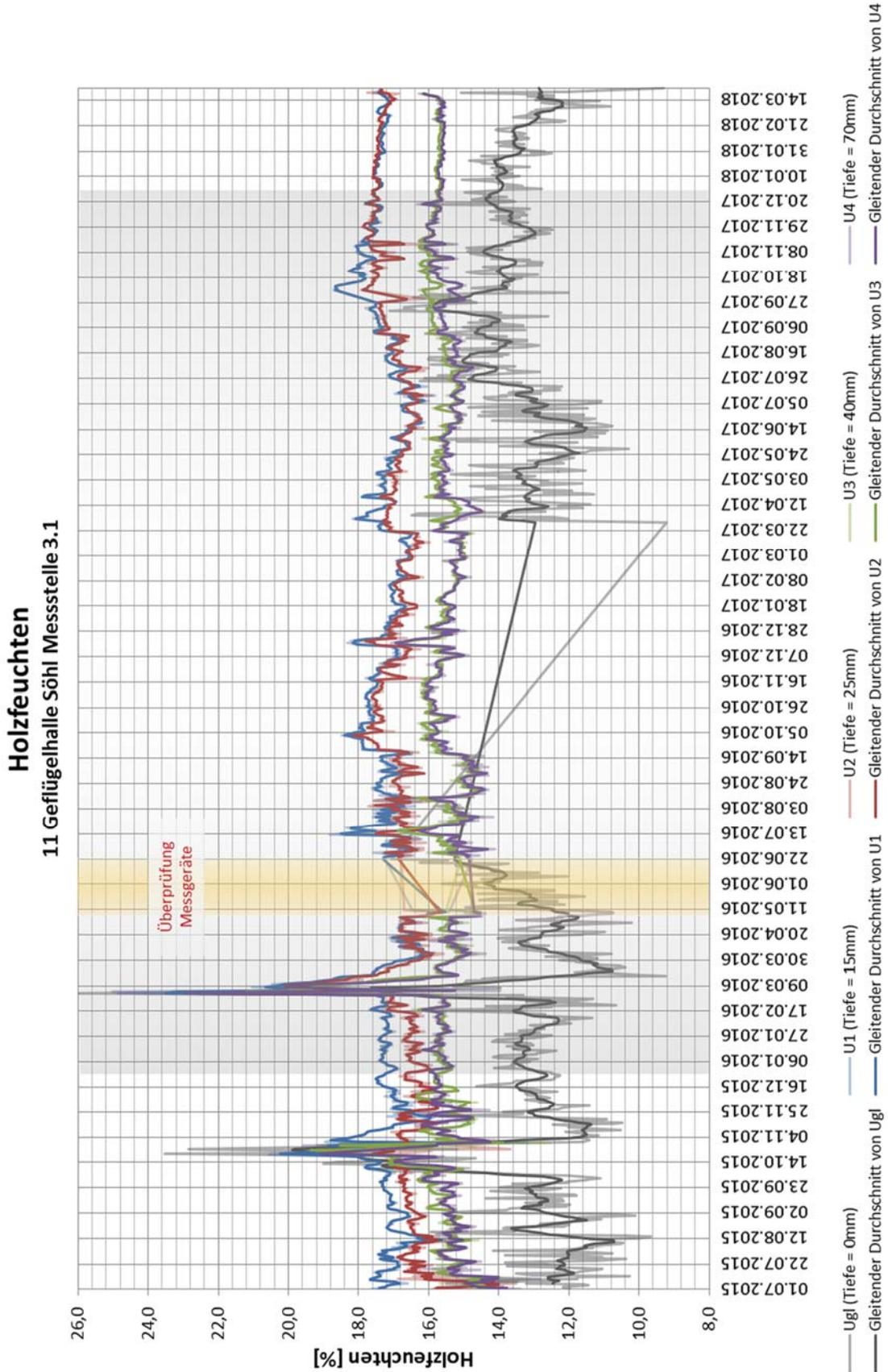
Messstelle 2.3



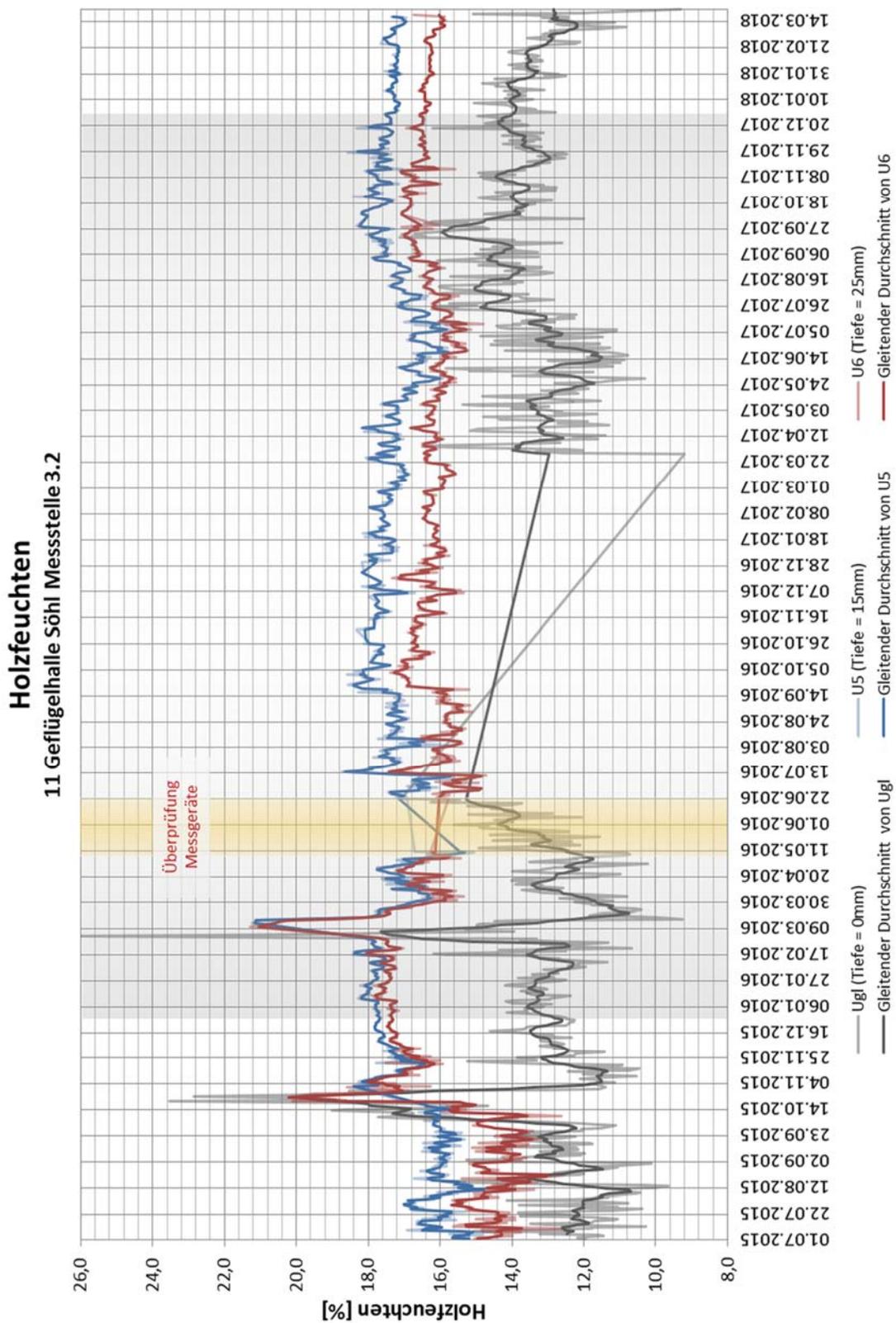
### Messsystem 3



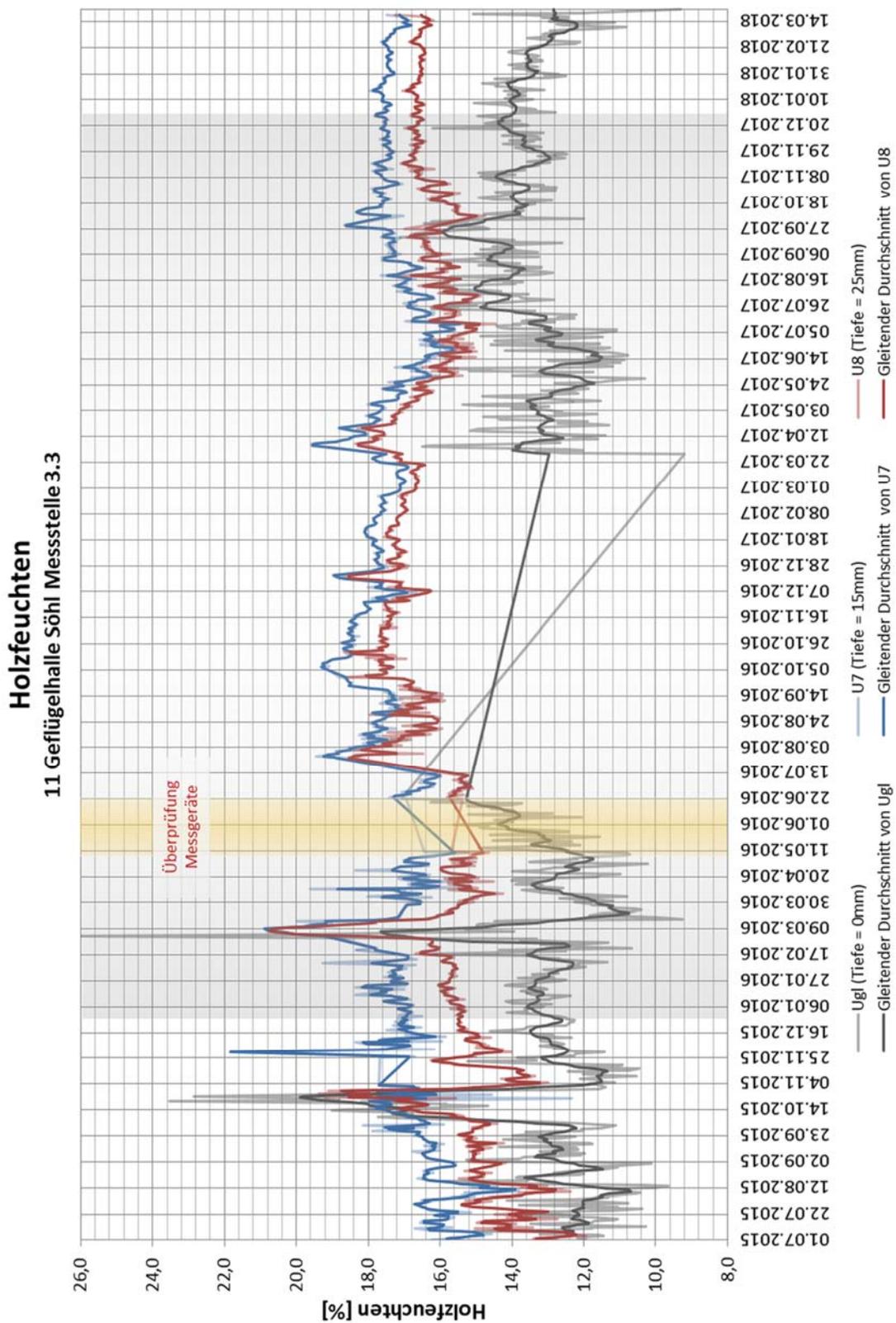
Messstelle 3.1



Messstelle 3.2



Messstelle 3.3





## Objekt 12: Milchviehstall Bad Aibling

**Anschrift:** Johann Kreuzmeir Landwirtschaft  
Wilhelm-Leibl-Straße 3  
83043 Bad Aibling – Berbling

**Ansprechpartner:** Johann Kreuzmeir (vor Ort)

**Anwesende vor Ort:** Yuan Jiang, Sebastian Rodemeier, Jochen Simon (Auswahl,  
Besichtigung am 27.10.2015)

**Installationsdatum:** 27.10.2015, 08:00 – 12:00

**Umgebungsbedingungen:** Anbindehaltung, Geschlossene Bauweise mit Fenstern an Traufseite  
und Toren an Giebelseiten

**Tragsystem:** Balkendecke auf Pfetten gelagert

### Messsystem 1:

Messstelle 1.1: Pfette Hallenmitte (15, 25, 40, 70 mm)

Messstelle 1.2: Sparre in der Zwischendecke (15, 25, 40, 70 mm)

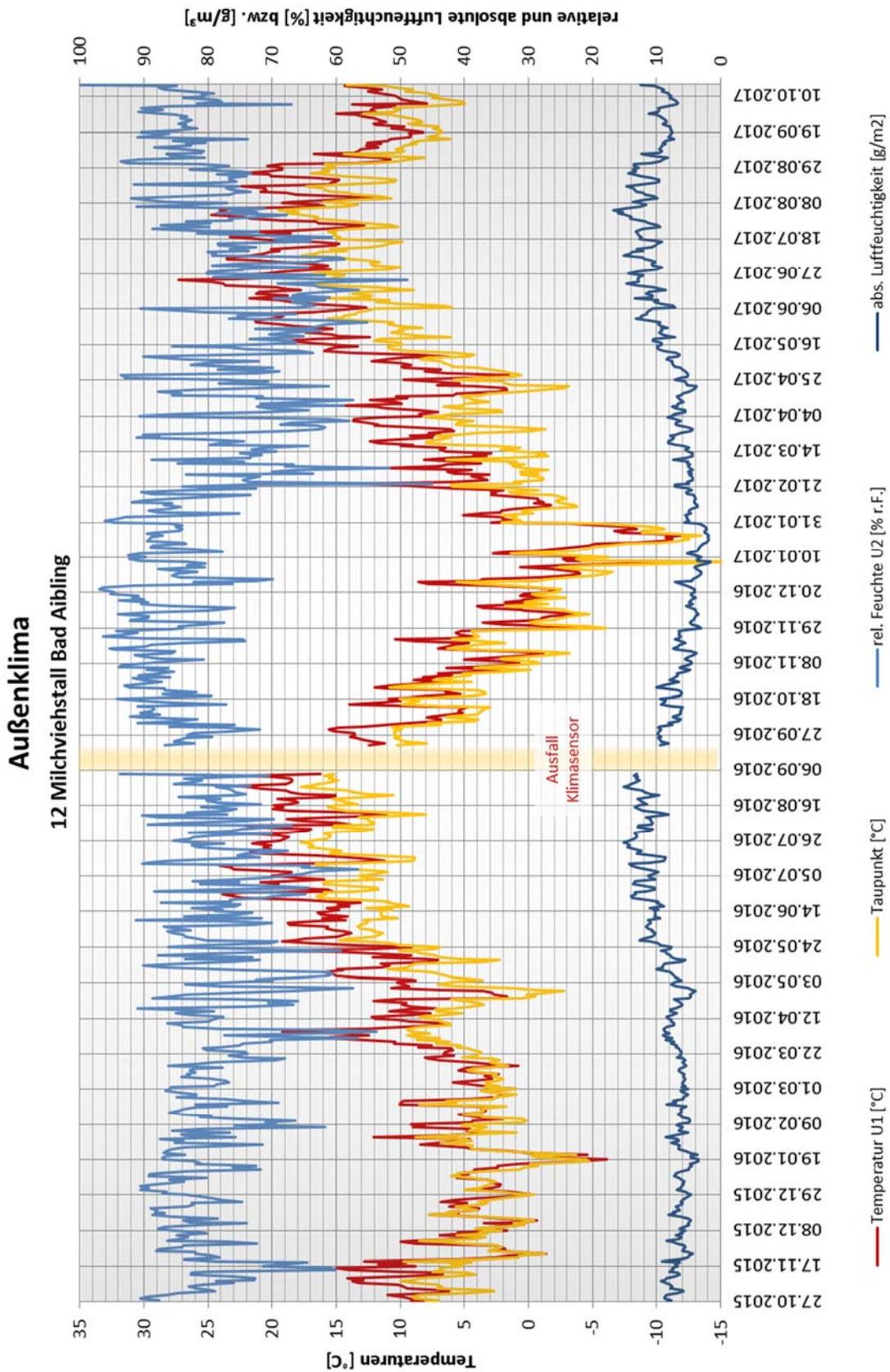
### Bilder:



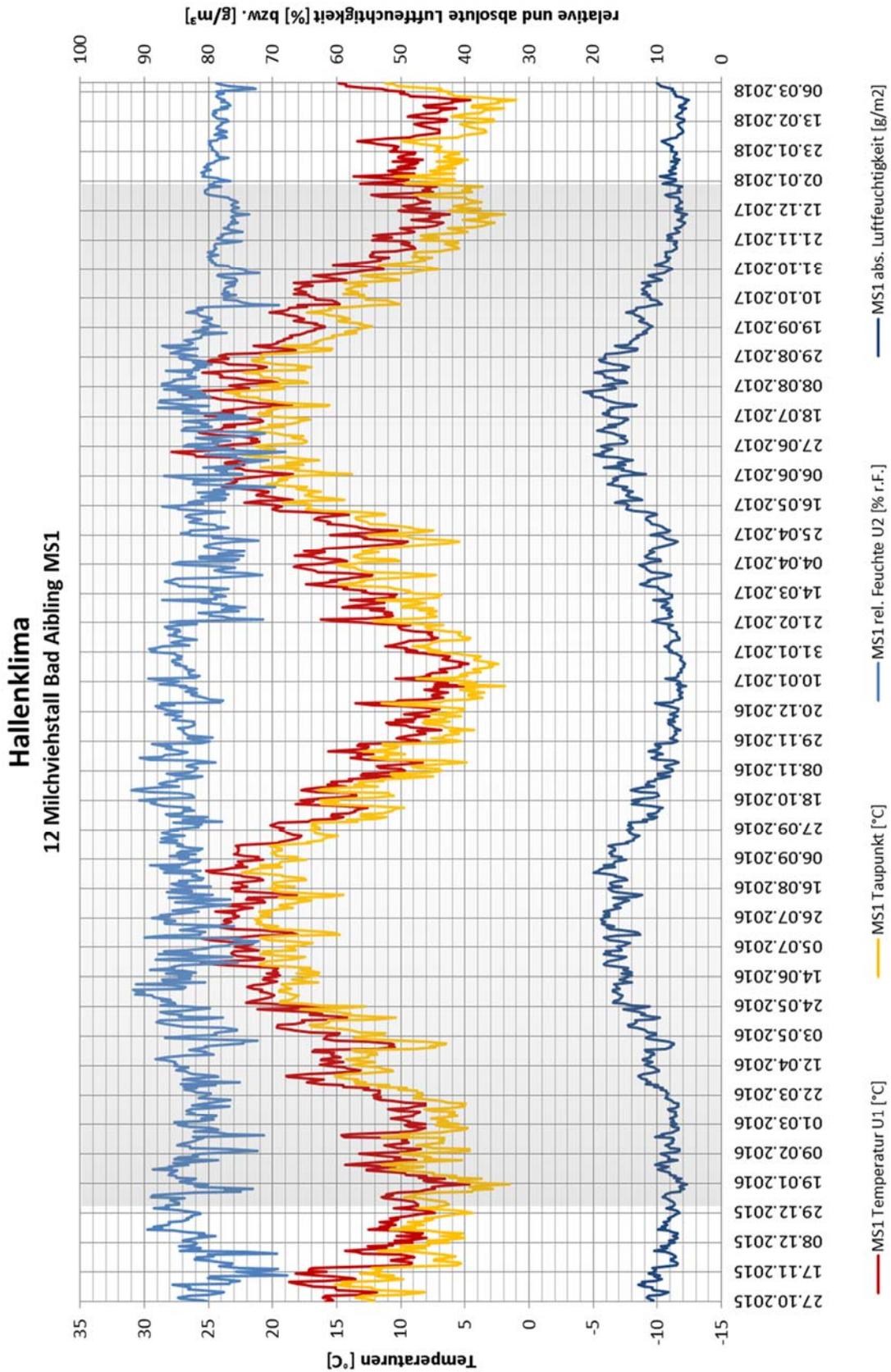
Abbildung 38: Anordnung der Messstellen des Messsystems



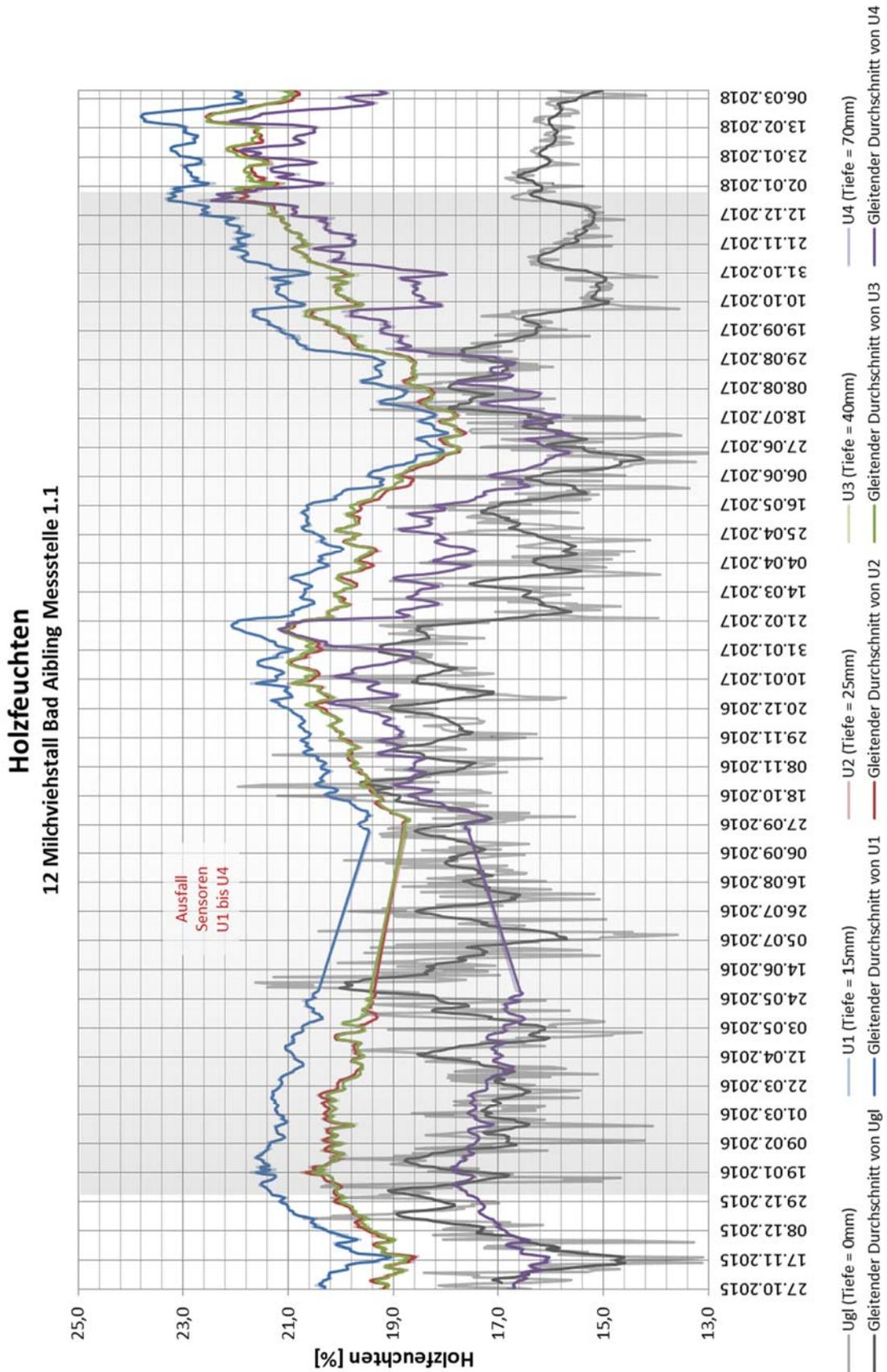
## Außenklima



### Messsystem 1



Messstelle 1.1



Messstelle 1.2

