FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

F 2816

Andreas Gamper, Philipp Dietsch, Michael Merk

Gebäudeklima – Langzeitmessung zur Bestimmung der Auswirkungen auf Feuchtegradienten in Holzbauteilen

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

Fraunhofer IRB Verlag

F 2816

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

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

2013

ISBN 978-3-8167-8926-0

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

Fraunhofer IRB Verlag
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

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

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/bauforschung

Bitte beachten:

Fehlende Seiten sind **Leerseiten**,
die bei Erstellung
der PDF-Datei für den Download nicht
berücksichtigt wurden

Fraunhofer IRB Verlag

Schlussbericht für das Forschungsvorhaben:

Gebäudeklima - Langzeitmessung zur Bestimmung der Auswirkungen auf Feuchtegradienten in Holzbauteilen

Forschungsstelle:

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

Projektbearbeitung:

Andreas Gamper M.Sc.
Dipl.-Ing. Philipp Dietsch
Dipl.-Ing. Michael Merk

unterstützt durch:

Scanntronik Mugrauer GmbH, Parkstraße 38, 85604 Zorneding.

Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., Elfriede-Stremmel-Straße 69, 42369 Wuppertal.

bauart Konstruktions GmbH + Co. KG, Spessartstraße 13, 36341 Lauterbach.

Konstruktionsgruppe Bauen Kempten AG, Bahnhofplatz 1, 87435 Kempten.

gefördert von:

Forschungsinitiative Zukunft Bau
Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
Deichmanns Aue 31-37
52179 Bonn

Das Forschungsvorhaben wurde aus Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung gefördert.
(Aktenzeichen: SF-10.08.18.7- 10.1/ II 2-F20-09-1-259)
Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.

München. 26. Januar 2012

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 5

1.1 Anlass und Zielsetzung 5

1.2 Projektbeteiligte Expertengruppe 6

1.3 Termine 6

1.4 Danksagungen 6

2 Holz und das Verhalten gegenüber Feuchte 7

2.1 Grundlagen der Holzfeuchte 7

2.2 Feuchteaufnahme und -abgabe von Holz 10

2.2.1 Kapillarwirkung 10

2.2.2 Diffusion 10

2.2.3 Feuchtetransport durch Sorption 10

2.3 Formänderungen von Holz durch Feuchtigkeit 13

2.4 Feuchtegradienten und ihre Auswirkungen 14

2.4.1 Feuchtegradienten 14

2.4.2 Rissbildung durch Feuchtegradienten 16

2.4.3 Einfluss der Rissbildung auf die Beanspruchbarkeit von Holz 17

3 Feuchtebeanspruchung von Brettschichtholz 18

3.1 Allgemeines 18

3.2 Nutzungsklassen 19

3.3 Ausgleichsfeuchte 20

3.4 Bedeutung der Einteilung typischer Gebäudenutzungen in Nutzungsklassen 20

4 Darstellung der Nutzungskategorien und Gebäudeauswahl 22

4.1 Nutzungskategorien 22

4.1.1 Schwimmhallen 23
4.1.2 Eissporthallen 23
4.1.3 Reithallen 25
4.1.4 Sporthallen 25
4.1.5 Produktions- und Verkaufshallen 26
4.1.6 Landwirtschaftliche Hallen 27
4.1.7 Lagerhallen 27
4.1.8 Fazit 28
4.2 Vorstellung der gewählten Hallen 28
5 Langzeitmessung von Holzfeuchtegradienten und Umgebungsbedingungen im Forschungsprojekt „Gebäudeklima“ 31
5.1 Wahl des Messverfahrens 31
5.2 Beschreibung des gewählten Messverfahrens - Widerstandsmessverfahren 32
5.3 Beschreibung der Messvorrichtung 34
5.4 Kalibrierung der Messtechnik 37
5.5 Auswertung der Messwerte 39
6 Ergebnisse der Langzeitmessung 41
6.1 Allgemeines 41
6.2 Verlauf der Holzfeuchte und des Hallenklimas 41
6.3 Resultierende Querschnittsverläufe 42
6.4 Ergebnisse und Anmerkungen zu den untersuchten Nutzungsarten 45
7 Fazit und Ausblick 51
7.1 Fazit 51
7.2 Ausblick 53

Literaturverzeichnis 56

Abbildungsverzeichnis 62

Tabellenverzeichnis 64

1 Einleitung

1.1 Anlass und Zielsetzung

Die Auswertung von Schäden an weitgespannten Konstruktionen des Ingenieurholzbaus zeigt als überwiegend festgestelltes Schadensbild ausgeprägte Rissbildungen in den Klebfugen und Lamellen von Brettschichtholzbauteilen. Ein wesentlicher Anteil an der Entstehung dieser Schäden wird den jahreszeitlich und nutzungsbedingten, starken klimatischen Schwankungen innerhalb von großvolumigen Gebäuden und den damit verbundenen Schwind- und Quellvorgängen in den Holzbauteilen zugesprochen. In der Fachwelt herrschen dabei noch unterschiedliche Auffassungen, welche Gebäudetypen und Nutzungsarten zu den höchsten klimatischen Beanspruchungen führen und damit das größte Gefährdungspotential für die Entstehung von Schäden durch Risse in Brettschichtholzbauteilen ergeben.

1.2 Projektbeteiligte Expertengruppe

Forschung:	Univ.-Prof. i.R. Dr.-Ing. Heinrich Kreuzinger; Extraordinarius des Fachgebiet Holzbau Technische Universität München
Industrie (Hersteller Messtechnik):	Dipl.-Ing. Thomas Mugrauer; Scanntronik Mugrauer GmbH
Praxis (Ingenieurbüro):	Dipl.-Ing. (Univ.) Norbert Nieder; Konstruktionsgruppe Bauen Kempten AG
Öffentliche Mittelgeber:	Dipl.-Ing. Dipl.-Kfm. Michael Simon, Dipl.-Ing. Andreas Windisch; Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB in Stuttgart im Auftrag vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung BBR in Bonn

1.3 Termine

Das erste Arbeitsgruppentreffen fand am 29.07.2010 im Seminarraum des Lehrstuhls für Holzbau und Baukonstruktion der Technischen Universität München statt. Das abschließende Arbeitsgruppentreffen fand am 06.12.2011 im Fakultätszimmer der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Technischen Universität München statt.

1.4 Danksagungen

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

Den wissenschaftlichen Hilfskräften Michael Kraus, Manuel Waidelich, Stephanie Riedler und Astrid Indefrey sei für ihre Hilfe bei der Installation der Messtechnik und ihre Zuarbeit beim Auslesen und Auswerten der Messdaten gedankt.

2 Holz und das Verhalten gegenüber Feuchte

2.1 Grundlagen der Holzfeuchte

Holz zeichnet sich durch seine hygroskopischen Eigenschaften aus. Aufgrund seines kapillarporösen Aufbaus und seinem hohen Porenanteil hat Holz eine sehr große innere Oberfläche. Dadurch bedingt kann Holz – wie alle porösen Stoffe – Wasser aus der Luft absorbieren und in den Zellwänden speichern. Darüber hinaus kann Holz flüssiges Wasser durch kapillare Transportprozesse direkt aufnehmen (Niemz, 2005).

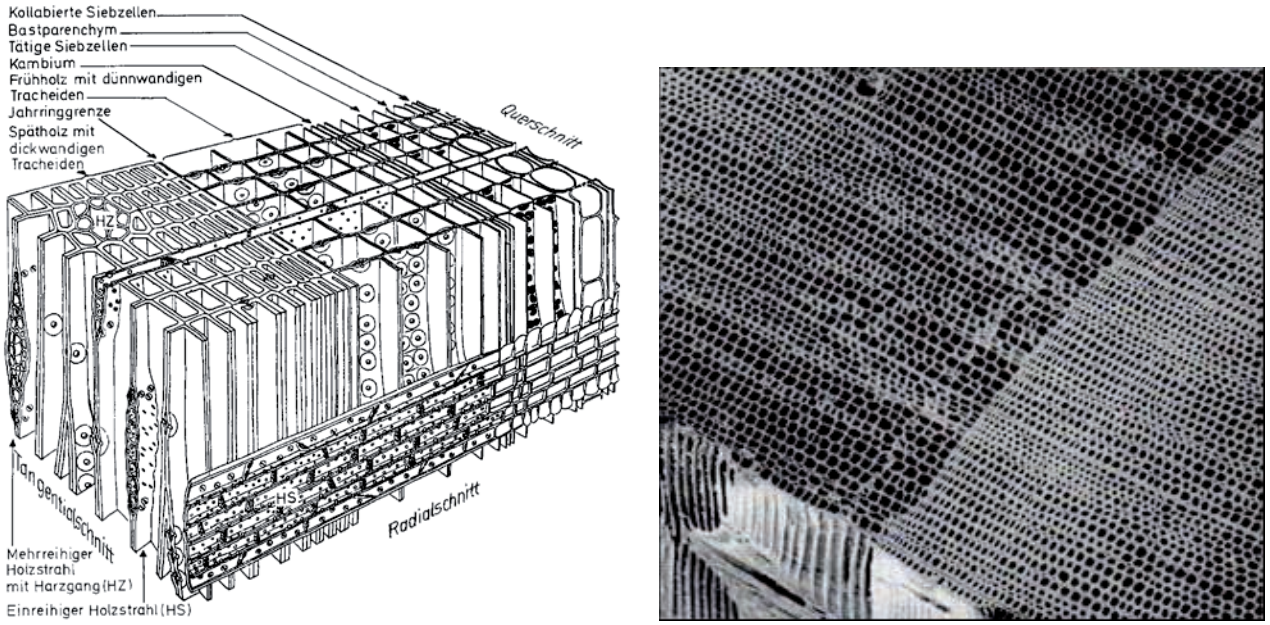


Abbildung 1: links: Aufbau von Nadelholz. Aus (Grosser, 1977); rechts: Übergang Früh- zu Spätholz bei Nadelholz. Aus (Lohmann, 2003)

In Abhängigkeit der klimatischen Umgebungsbedingungen beinhaltet Holz in seiner Zellstruktur 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.

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

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 2):

- 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 Fasern gesättigt bleiben und so keine Volumenänderung erfahren. Die Eigenschaften des Holzes sind weitestgehend unabhängig von der kapillaren Holzfeuchte.
  Holzfeuchte > 30%
- ③ Fasersättigungsbereich (Grenzzustand): die gesamten Zellwände des Holzes sind mit Wasser gefüllt, jedoch ist kein Wasser in den Zellhohlräumen vorhanden.
  Holzfeuchte ~ 30%
- ④ Hygroskopischer Bereich: Die Fasern sind nicht mehr gesättigt, es befindet sich nur noch gebundenes Wasser in den Zellwänden. Durch Änderung des Wassergehaltes in den Zellwänden bei Feuchteabgabe bzw. -aufnahme schwindet bzw. quillt das Holz. Die Eigenschaften des Holzes sind abhängig von der Holzfeuchte.
  Holzfeuchte < 30%
- ⑤ Darrtrockenes Holz (Grenzzustand): das Holz ist absolut trocken und es ist keinerlei Wasser vorhanden.
  Holzfeuchte = 0%

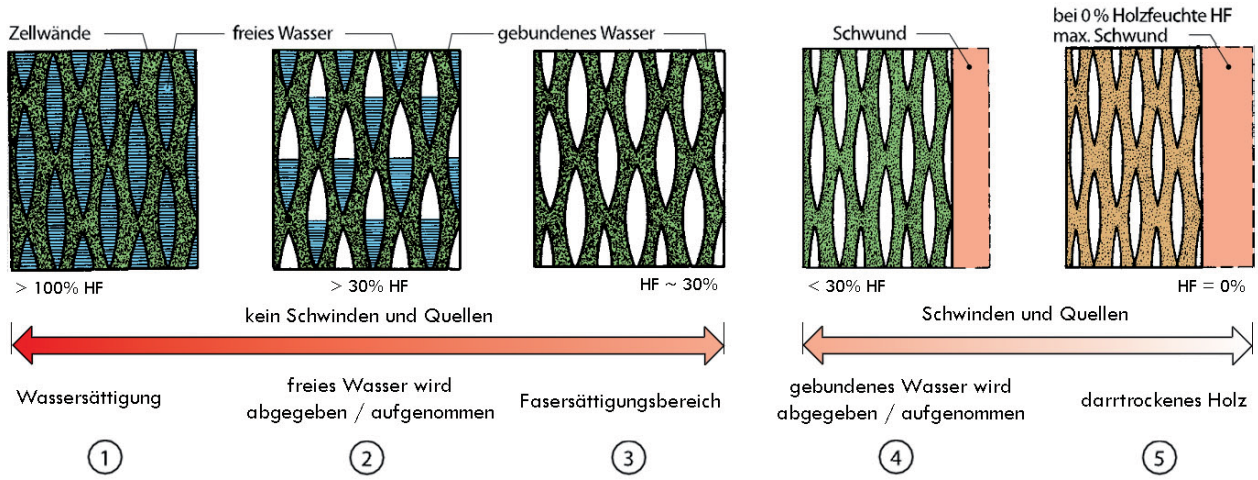


Abbildung 2: Wasserabgabe und -aufnahme des Holzes. Nach (Nutsch, 2007)

Im hygroskopischen Bereich unterhalb des Fasersättigungspunktes, der für die meisten Holzarten zwischen 25% und 35% liegt, treten bei Änderung der Holzfeuchte Form- und Volumenänderung des Querschnittes auf in Form von Schwinden und Quellen auf.

Der Fasersättigungspunkt ist zudem von Bedeutung, da unterhalb dieses Punktes bedeutende Änderungen nahezu aller physikalischen und mechanischen Eigenschaften des Holzes auftreten. Über dem Fasersättigungspunkt sind die meisten Eigenschaften annähernd konstant.

Der Zusammenhang zwischen Holzfeuchte und Holzeigenschaften begründet sich durch den strukturellen Aufbau des Holzes und macht sich wie folgt bemerkbar. Mit zunehmender Feuchtigkeit:

- sinkt die Festigkeit des Holzes
- steigt die Kriechverformung von Holz bei Langzeitbelastung
- steigt die Wärmeleitzahl des Holzes
- steigt die Anfälligkeit für Pilzbefall des Holzes, vor allem über 20% Holzfeuchte.

Der Grund für die Abnahme der Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte sind die Wasserstoffbindungen zwischen den Zellulosefasern im Holz, die mit steigendem Feuchtigkeitsgehalt gelockert werden (Hoffmeyer, 1995).

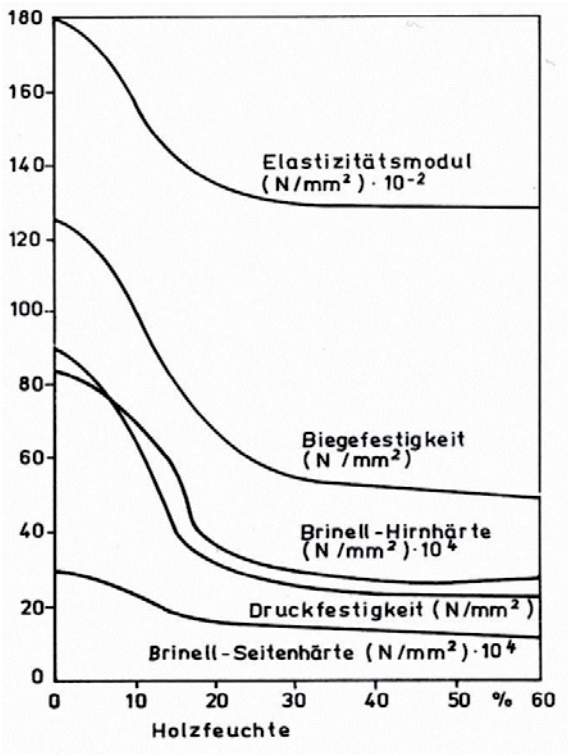


Abbildung 3: Einfluss der Holzfeuchte auf ausgewählte Eigenschaften des Holzes. Nach (Kollmann, 1951)

2.2 Feuchteaufnahme und -abgabe von Holz

2.2.1 Kapillarwirkung

Die Aufnahme von tropfbarem Wasser erfolgt über die Kapillaren im Makrosystem von Holz. Baupraktisch kann solch tropfbares Wasser immer dann auftreten, wenn Holzbauteile dem Schlagregen ausgesetzt sind oder wenn an Bauteilen in überdachten Gebäuden aufgrund von Temperaturen unterhalb des Taupunktes Kondensat an der Holzoberfläche ausfällt.

2.2.2 Diffusion

Unterhalb des Fasersättigungsbereiches ist die Diffusion der maßgebende Transportmechanismus für Feuchte. Im Holz ist für den Trocknungsvorgang hauptsächlich die Gas- bzw. Dampfdiffusion maßgebend. 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.

2.2.3 Feuchtetransport durch Sorption

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 Holzzellen ablagern. Diese Erscheinung wird Absorption genannt. Nimmt die relative Luftfeuchte geringere Werte an als die vorhandene Holzfeuchte im Material, so diffundieren die Wassermoleküle zurück in die Umgebungsluft, was auch als Desorption bezeichnet wird (vgl. Abbildung 4).

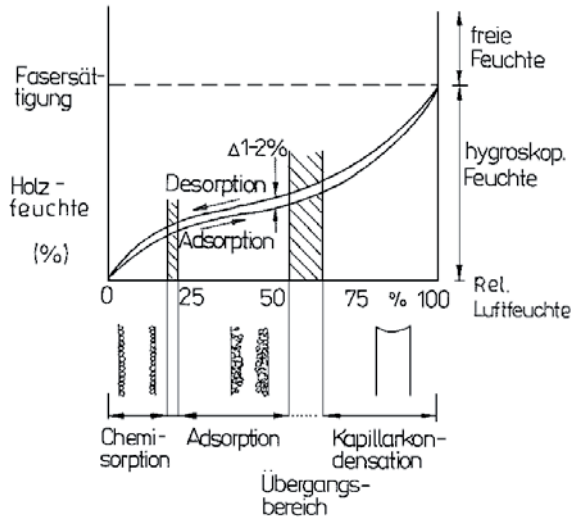


Abbildung 4: Sorptionsisothermen und Bindungsformen des Wassers. Nach (Niemz, 2005)

Da die Geschwindigkeit der Wasseraufnahme 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 4).

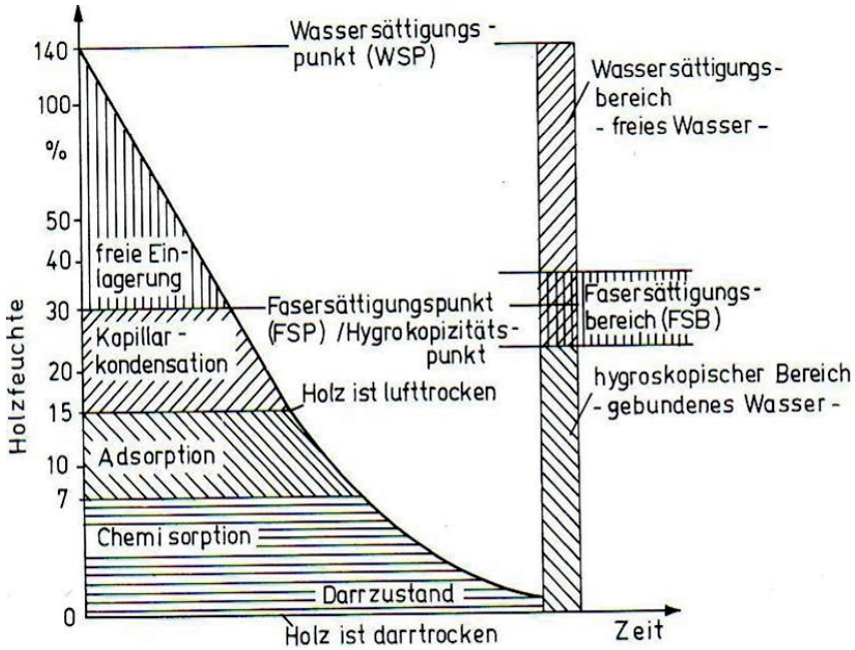


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Bindungsformen des Wassers in Holz. Aus (Niemz, 2005)

Bei der Sorption von Holz bzw. Holzwerkstoffen unterscheidet man drei Teilprozesse bzw. Phasen die sich teilweise überlagern und von der Holzfeuchte abhängen. Sie gliedern sich nach (Kollmann, 1951) wie folgt (vgl. Abbildung 4 und Abbildung 5):

- Chemisorption: u = 0 ... 6 %
- Adsorption: u = 6 ... 15 %
- Kapillarkondensation: u > 15 % bis Fasersättigungsbereich

Alle drei Phasen der Sorption treten jeweils in einem bestimmten Bereich der relativen Luftfeuchtigkeit auf, wobei zwischen den einzelnen Phasen ein Übergangsbereich liegt.

a) Chemisorption:

Feuchtegehalt 0 bis 6 %; relative Luftfeuchte ≤ 20 %)

Innerhalb dieser Phase findet eine Reaktion zwischen den im Holz vorhandenen langen, linearen Zelluloseketten und den Wassermolekülen statt, wodurch sich an den Grenzflächen chemische Verbindungen bilden. Die Wassermoleküle werden über Wasserstoffbrücken fest zwischen die benachbarten Zelluloseketten gebunden und eingelagert, wodurch eine monomolekulare Schicht ausgebildet wird (vgl. Abbildung 4 links).

b) Adsorption:

(Feuchtegehalt 6 bis 15 %; relative Luftfeuchte ≤ 60 %)

Bei der sogenannten Adsorption, lagern sich die Wassermoleküle aufgrund molekularer Anziehungskräfte in den Poren des Mikrosystems 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 4 Mitte).

c) Kapillarkondensation:

(Feuchtegehalt >15 % bis Fasersättigungsbereich; relative Luftfeuchte > 60 ... 100 %)

Zwischen einem Holzfeuchtegehalt von ca. 15 % und dem Fasersättigungsbereich findet die weitere Wasserdampfaufnahme durch Kapillarkondensation statt. Dabei kondensiert ein Teil des Wasserdampfes in den Kapillaren und schlägt sich als Flüssigkeit auf der Holzoberfläche des Zellwandsystems nieder. Das hierbei entstandene Kondensat lagert sich mit zunehmendem Feuchtegehalt immer mehr in die intermizellaren 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. Bei einer weiteren Feuchtebelastung über den Fasersättigungspunkt hinaus wird das Wasser als sogenanntes freies Wasser in den makroskopischen Hohlräumen eingelagert. Da die Zellwände zu diesem Zeitpunkt bereits maximal mit Wasser gesättigt und ausgedehnt sind, kommt es oberhalb des Fasersättigungspunktes zu keinem weiteren Quellen (Siau, 1983).

d) Sorptionsisothermen:

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 Zusammenhang zwischen diesen Faktoren und der Gleichgewichtsfeuchte von Holz wird in der Literatur sehr häufig über sogenannte Sorptionsisothermen dargestellt. Am Beispiel der Sitka-Fichte ist in Abbildung 6 der Einfluss von Temperatur und relativer Luftfeuchte auf den Feuchtegehalt dargestellt.

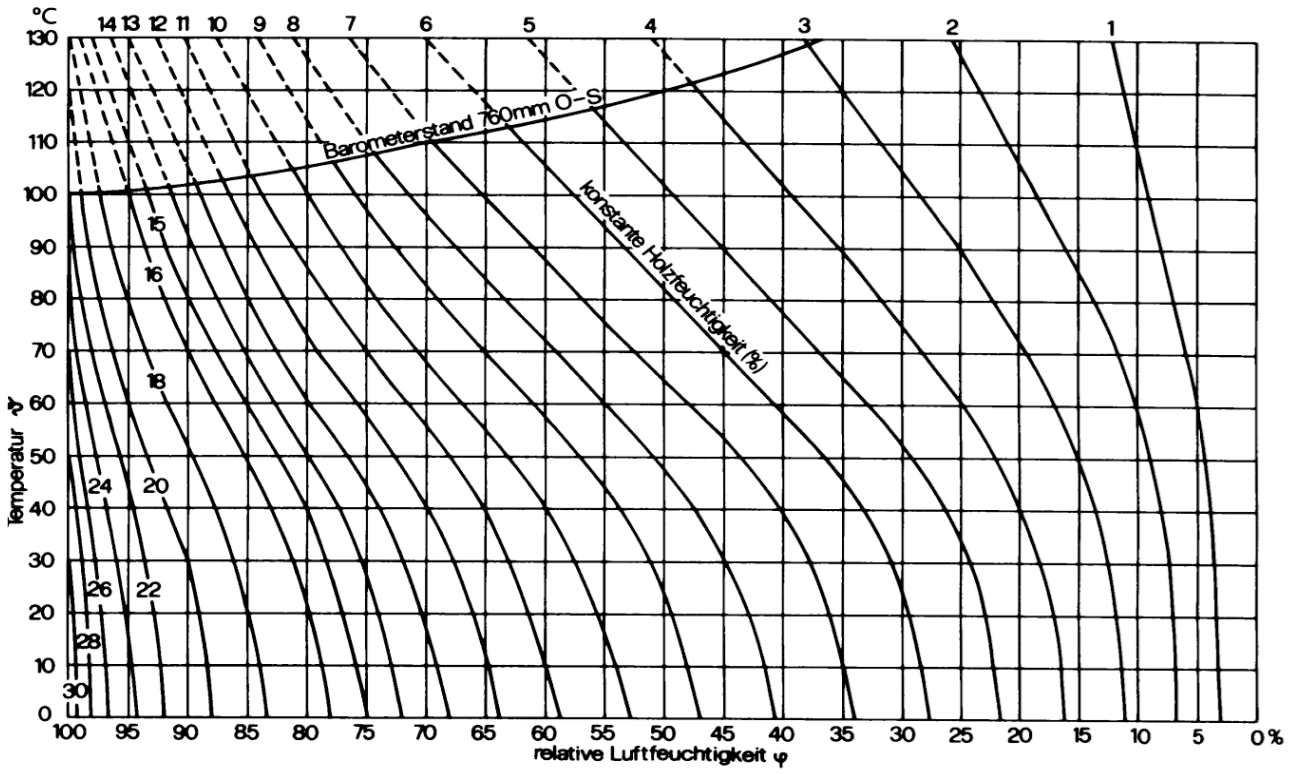


Abbildung 6: Hygroskopisches Gleichgewicht von Sitka-Fichte in Abhängigkeit von der Temperatur und relativer Luftfeuchte. Nach (Keylwerth R. , 1949).

2.3 Formänderungen von Holz durch Feuchtigkeit

Änderungen des Feuchtegehalts 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 Feuchteaufnahme (Adsorption) wird Wasser in die Hohlräume der Zellwand eingelagert und 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. Diese richtungsabhängigen Verformungen des Holzes hängen vor allem von der Faserrichtung ab. So ist das Schwinden bzw. Quellen in radialer und tangentialer Richtung wesentlich ausgeprägter als in longitudinaler Richtung. Im Bereich zwischen 5 und 25% Holzfeuchte liegt das Verhältnis des Quellmaßes längs: radial: tangential für Fichtenholz bei ca. 0,01: 0,16: 0,32 prozentualer Längenänderung je 1% 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 7*).

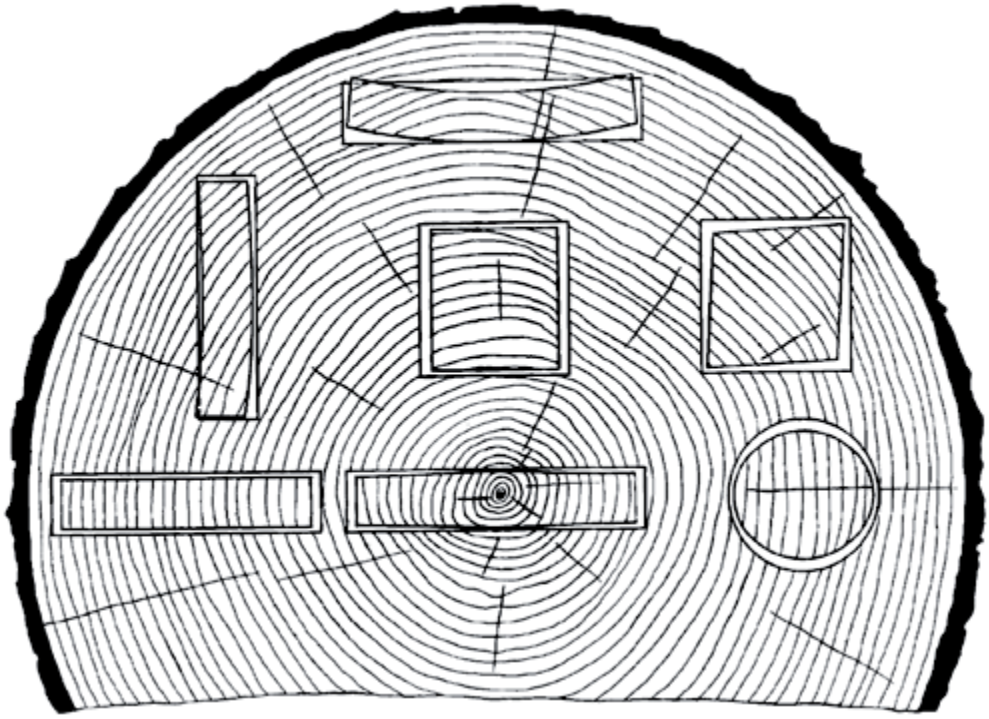


Abbildung 7: Verzerrung von Holz durch unterschiedliche Schwindung. Aus (Glass & Zelinka, 2010)

2.4 Feuchtegradienten und ihre Auswirkungen

2.4.1 Feuchtegradienten

Holztragwerke sind aufgrund ihrer weiten Einsetzbarkeit sehr unterschiedlichen, häufig schwankenden Klimabedingungen unterworfen die dazu führen, dass das Holz je nach relativer Luftfeuchte Feuchte aufnimmt bzw. abgibt. Da die Aufnahme und Abgabe von Feuchte im baupraktischen Holzfeuchtebereich zwischen 4 % und 28 % 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. Dieser Feuchtegradient hängt unter anderem von der Art der Klimabeanspruchung ab.

Abbildung 8 enthält eine Darstellung der Veränderung der Holzfeuchtegradienten in Querschnitten aus Brettschichtholz (BSH) bei sich ändernden Umgebungsbedingungen, die von (Möhler & Steck, 1980) unter Laborbedingungen untersucht wurden.

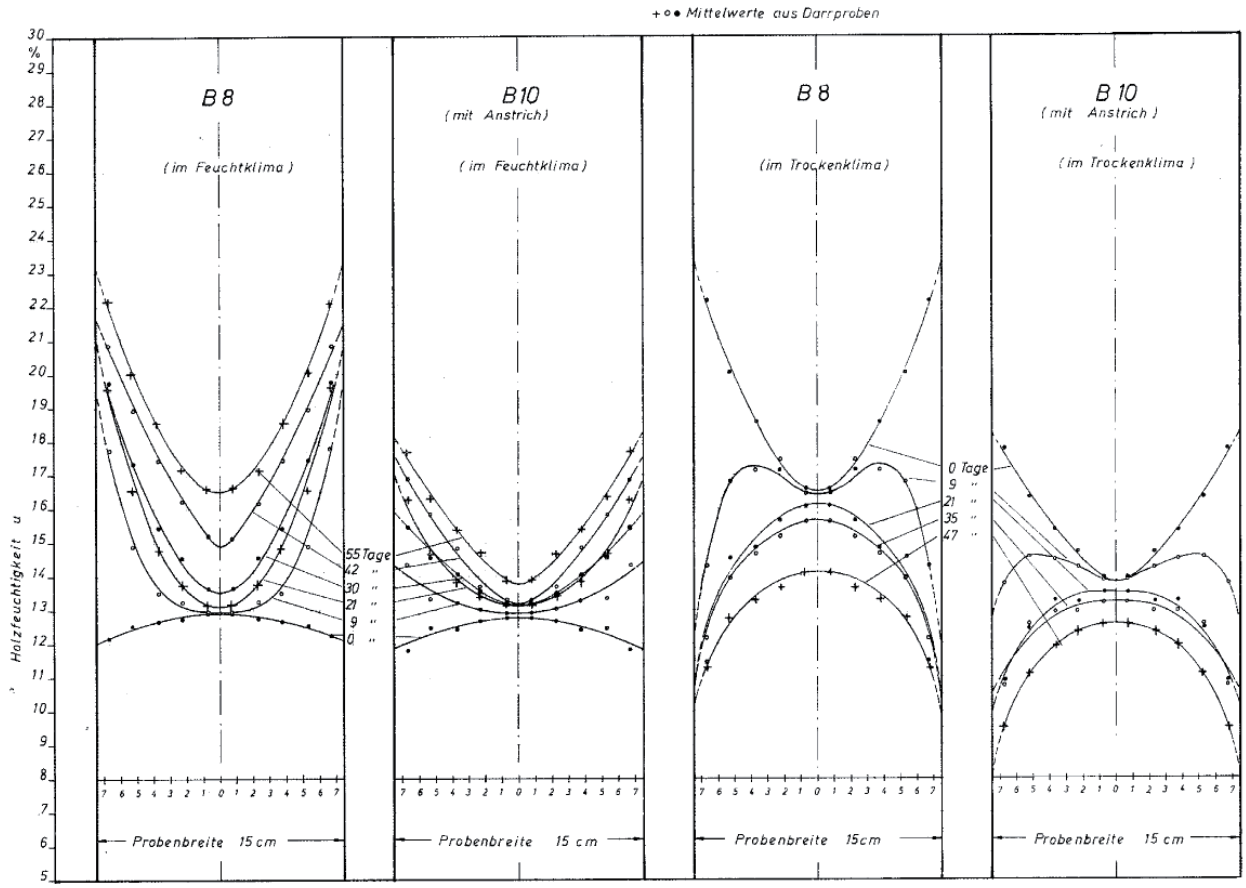


Abbildung 8: Beispielhafte Veränderung der Feuchtegradienten in BSH - Bauteilen. Aus (Möhler & Steck, 1980)

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, 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 Querschnittsinnerem noch zu keiner großen Volumenänderung kommt. Das Schwinden des Holzes am Querschnittsumfang wird dabei durch das Querschnittsinnere verhindert und es entstehen innere Spannungen im Holz. In den außenliegenden Bereichen unter Schwindbeanspruchung entsteht Querzug, im innenliegenden Bereich werden die Holzfasern durch Querdruck gestaucht. Die Spannungen werden zwar mit der Zeit durch Relaxation teilweise abgebaut, wenn aber die Querzugspannungen die Querzugfestigkeit 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.

2.4.2 Rissbildung durch Feuchtegradienten

Werden die Querzugspannungen in den Randbereichen des Bauteils durch Risse abgebaut, so führt dies bei frei verformbaren Querschnitten zur Umlagerung von Eigenspannungen, was bedeutet, dass das Gleichgewicht zwischen Druck- und Zugspannungen nicht mehr erfüllt ist. Durch den Rissbeginn wird die Querzugspannung reduziert und es herrscht ein Überschuss an Druckspannungen. Der Spannungsverlauf nach Erstrissbildung muss nach oben korrigiert werden um das Gleichgewicht wieder herzustellen. Dadurch überschreiten weitere Bereiche die Querzugfestigkeit und der Riss wächst weiter in das Querschnittsinnere vor (vgl. Abbildung 9). Dieser Effekt kann auch als Reißverschlusseffekt bezeichnet werden und endet erst, sobald bei neuerlicher Verschiebung kein Wert die lokal vorliegende Querzugfestigkeit überschreitet (Aondio, 2008).

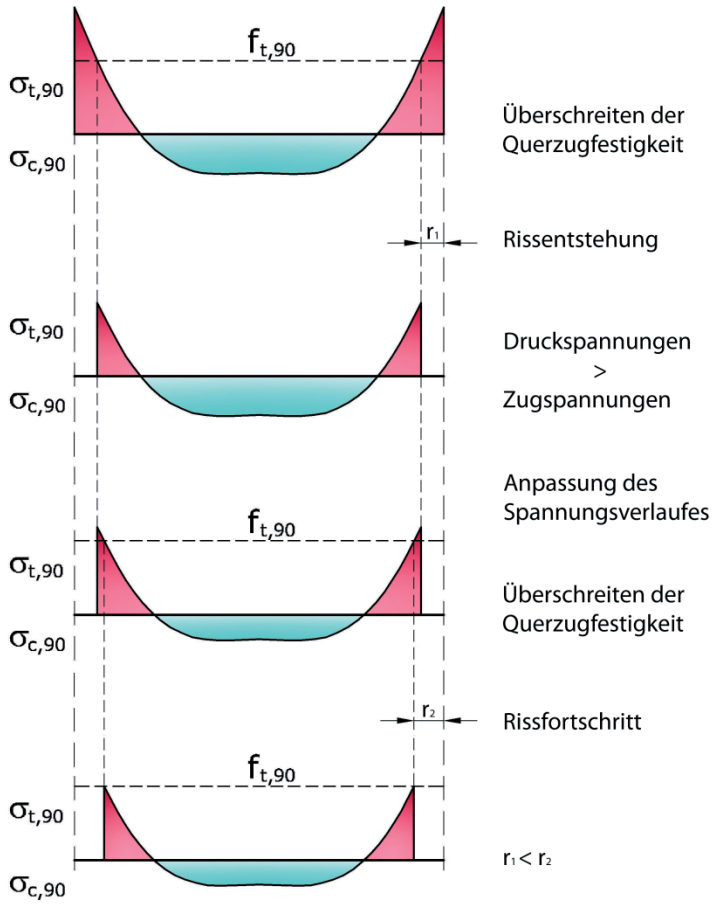


Abbildung 9: Ingenieurmäßiger Ansatz zur Rissentstehung bei freier Verformung des Querschnitts. Nach (Aondio, 2008)

2.4.3 Einfluss der Rissbildung auf die Beanspruchbarkeit von Holz

Durch die mögliche Rissbildung aufgrund von klimatischen Randbedingungen wird die zur Aufnahme der Schubspannung aus Querkraft notwendige Querschnittsbreite *b* des Holzbauteiles verringert. Da aber nicht garantiert werden kann, dass keine Risse auftreten, muss eine mögliche Querschnittsschwächung bereits in den statischen Nachweisen berücksichtigt werden.

Die maximal zulässigen Risstiefen von Vollholz sind in DIN 4074-1:2003-06 definiert. Bei Brettschichtholz (BSH) darf die Risstiefe bei Beanspruchung auf Biegung bzw. Schub erfahrungsgemäß ein Sechstel der Querschnittsbreite von jeder Seite (also insgesamt ein Drittel der Breite) ausmachen, ohne dass die rechnerische Tragfähigkeit abgemindert werden muss (Radovic & Wiegand, 2005).

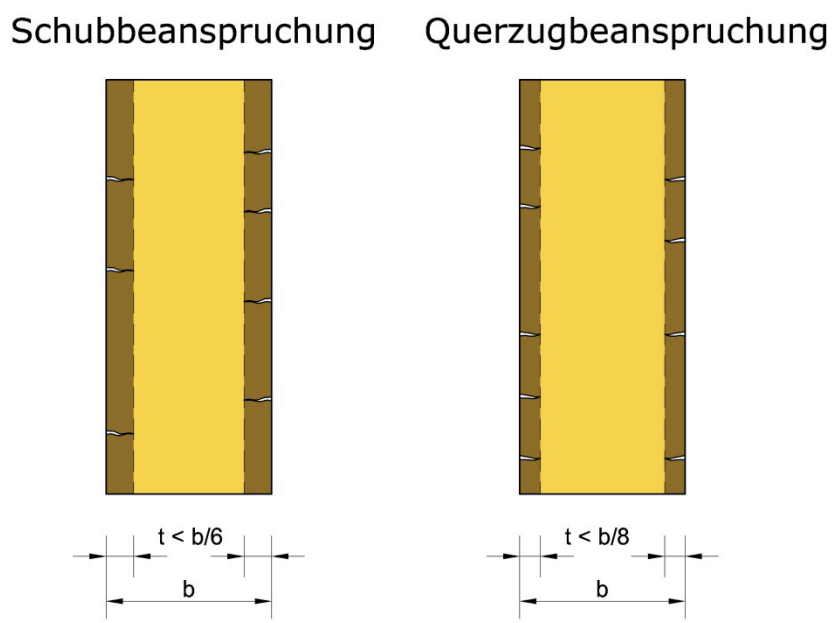


Abbildung 10: Zulässige Risstiefen in Brettschichtholz je nach Art der Beanspruchung. Nach (Kreuzinger, 2007)

Bei BSH-Bauteilen die planmäßig auf Querzug beansprucht werden, müssen Schwindrisse aufgrund der sehr geringen Festigkeitswerte für Querzug gesondert betrachtet werden. Es besteht die Gefahr, dass infolge der planmäßigen Querzugbeanspruchung in Kombination mit den klimatischen Beanspruchungen, ein Fortschreiten der Risstiefe eintritt. Erfahrungsgemäß darf die Risstiefe bei planmäßig auf Querzug beanspruchten Brettschichtholzteilen wie z.B. gekrümmten Trägern, ein Achtel der Querschnittsbreite von jeder Seite (also insgesamt ein Viertel der Breite) nicht überschreiten (Radovic & Wiegand, 2005).

3 Feuchtebeanspruchung von Brettschichtholz

3.1 Allgemeines

Um den Schwerpunkt der Betrachtungen dieses Forschungsvorhabens zu verdeutlichen, wird folgend die „Feuchtekette“ des Brettschichtholzes beschrieben. Diese veranschaulicht die Feuchtebeanspruchung und die sich einstellende Holzfeuchte eines Baumes über seine Verarbeitung zu Brettschichtholz und die anschließende Bauphase bis hin zum eingebauten Zustand in der Nutzungsphase. Letztgenannte Phase, also die Feuchtebeanspruchung von Brettschichtholz im eingebauten Zustand, soll im vorliegenden Forschungsvorhaben für verschiedene Nutzungen untersucht werden.

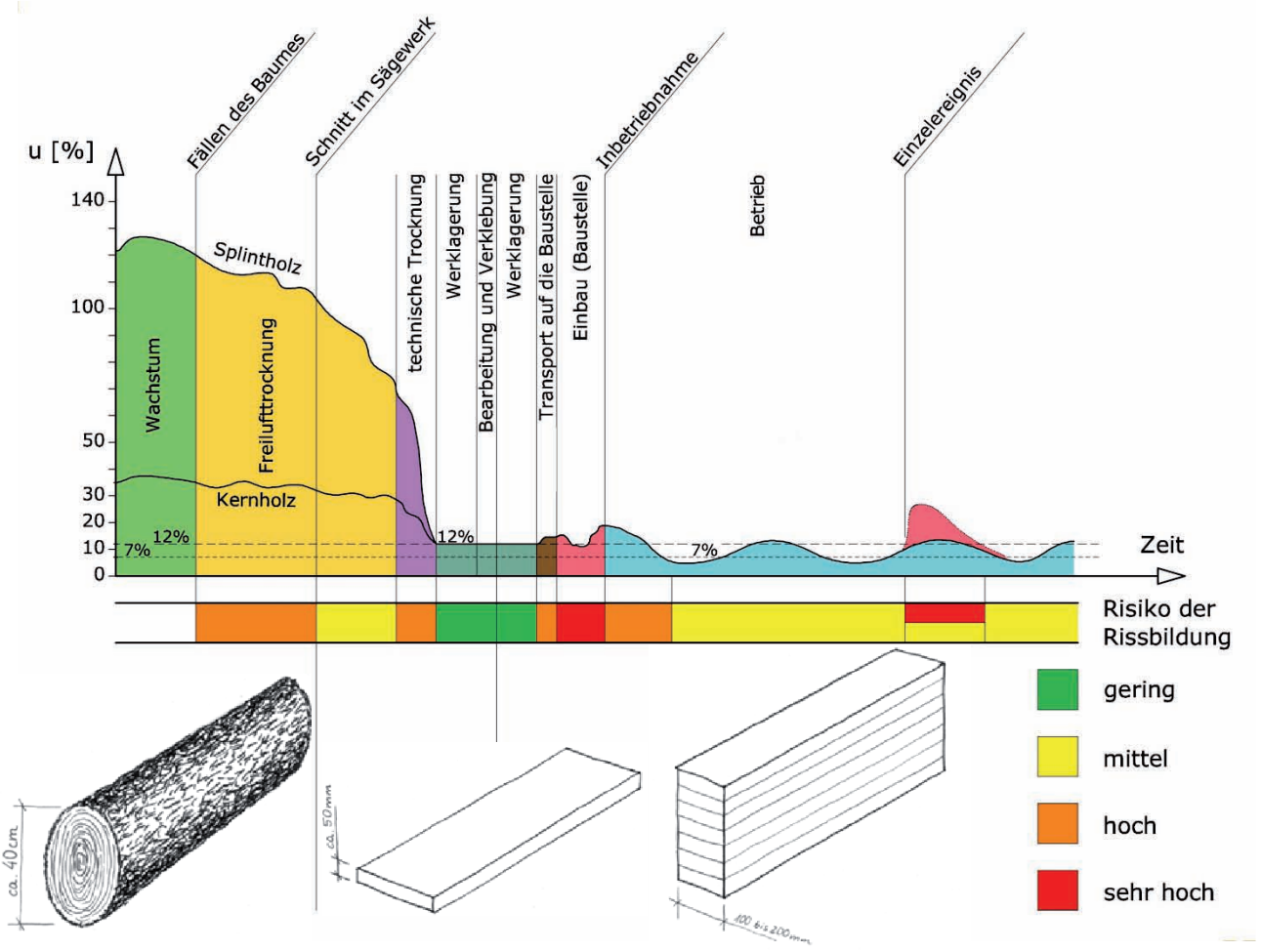


Abbildung 11: Skizze einer möglichen „Feuchtekette“, d.h. Feuchtebeanspruchung und Gefahr der Rissbildung vom Baum bis zum Brettschichtholz im Tragwerk. Es handelt sich sowohl um das unmittelbare Risiko der Rissbildung, als auch um das Risiko der zukünftigen Rissinduktion.

3.2 Nutzungsklassen

Wie bereits erläutert ist der natürliche Baustoff Holz ein komplizierter organischer Stoff, der aufgrund seiner spezifischen Eigenschaft der Hygroskopizität auf das von außen einwirkende Klima reagiert, wenn es unter den Fasersättigungspunkt getrocknet ist. Die Holzfeuchte passt sich der vorherrschenden relativen Luftfeuchtigkeit an, wodurch sich unter anderem die mechanischen Eigenschaften ändern.

Um die Einflüsse der Hygroskopizität zu berücksichtigen werden die Bauteile von Holzbauten nach DIN 1052:2008-12 entsprechend dem Umgebungsklima während ihrer vorgesehenen Nutzungsdauer in Nutzungsklassen (NKL) eingeordnet. Je nach Bewitterung und Luftfeuchtigkeit sind die Bauwerke in folgende drei Nutzungsklassen einzuteilen.

Nutzungsklasse 1

In die Nutzungsklasse 1 sind alle Bauteile einzustufen, die in einer dauerhaften, 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. Die Holzfeuchte liegt dann in einem Bereich zwischen 5 und 15% (vgl. Kap 3.3 Ausgleichsfeuchte). In den meisten Fällen wird die Ausgleichsfeuchte bei Nadelhölzern in der Nutzungsklasse 1 ca. 12% betragen.

Wenn nur für einige Wochen im Jahr Klimabedingungen herrschen, die auf lange Sicht zu einer deutlich höheren Holzfeuchte führen würden, dann steigt die Holzfeuchte eines Bauteils wegen der sehr langsamen Feuchtetransportvorgänge im Holz nur unbedeutend an. Diese Umstände führen somit nicht zu einer Einstufung in eine höhere Nutzungsklasse (Blaß, Ehlbeck, Kreuzinger & Steck, 2004).

Nutzungsklasse 2

Zur Nutzungsklasse 2 zählen in erster Linie alle Holzbauteile in offenen, aber überdeckten Bauwerken. Sind die Bauteile vor der unmittelbaren Bewitterung geschützt und überschreitet die relative Luftfeuchtigkeit nur für wenige Wochen im Jahr 85%, so sollte die mittlere Holzfeuchte bei Nadelhölzern nicht mehr als 20 % betragen. Es können aber auch geschlossene Bauten mit einer hohen relativen Luftfeuchte, wie z.B. Gewächshäuser, Treibhäuser, Wintergärten oder Tierhäuser in zoologischen Gärten in diese Nutzungsklasse einzuordnen sein. Auch Bauteile einer belüfteten Dachkonstruktion (Kaltdach) müssen der Nutzungsklasse 2 zugerechnet werden (Blaß, Ehlbeck, Kreuzinger & Steck, 2004).

Nutzungsklasse 3

In die Nutzungsklasse 3 müssen alle Bauteile eingestuft werden, die der Witterung ungeschützt ausgesetzt sind und somit die Bedingungen für eine Einstufung in die Nutzungsklassen 1 und 2 nicht garantiert werden können.

Typische Beispiele für Bauteile in der Nutzungsklasse 3 sind nicht überdachte Balkone und ungeschützte Bauteile in hölzernen Brückentragwerken. Wegen der hohen Gefahr der Kondenswasserbildung an den kalten Bauteiloberflächen von Dachkonstruktionen bei offenen Eissporthallen sollten auch diese der Nutzungsklasse 3 zugewiesen werden (Blaß, Ehlbeck, Kreuzinger & Steck, 2004).

3.3 Ausgleichsfeuchte

Die Ausgleichsfeuchte ist die Holzfeuchte, die sich nach dem Einbau des Holzes nach einer gewissen Zeit einstellen wird. Die benötigte Zeitspanne, damit sich im gesamten Querschnitt die Ausgleichsfeuchte einstellen kann, hängt dabei von der Einbaufeuchte und den Abmessungen der Bauteile ab. Um nachteilige Auswirkungen auf die Tragfähigkeit und das Verformungsverhalten zu vermeiden, sollte die Einbaufeuchte der Bauteile zum Zeitpunkt des Einbaus bereits der späteren Ausgleichsfeuchte entsprechen. Wenn die Bauteile bei Transport, Zwischenlagerung auf der Baustelle oder bei der Montage über eine längere Zeit einer Feuchteaufnahme ausgesetzt sind, wird empfohlen ein Nachtrocknen nach dem Einbau zu ermöglichen. Eine zu rasche Trocknung nach dem Einbau, beispielsweise durch schnelle Inbetriebnahme einer Heizung, kann allerdings zu erheblichen Schädigungen z.B. in Form von Schwindrissen führen. Deshalb sollte die Austrocknung der Baufeuchte entsprechend langsam geschehen (Blaß, Ehlbeck, Kreuzinger & Steck, 2004).

Die DIN 1052:2008-12 gibt mit den Nutzungsklassen eine Einteilung der Bauteile in definierte Umgebungsklimas mit zugehörigen relativen Luftfeuchten während ihrer vorgesehenen Nutzungsdauer an. Daraus ergeben sich übliche Bereiche der sich einstellenden Holzfeuchte nach Tabelle 1.

Tabelle 1: Ausgleichsfeuchten von Holzbaustoffen. Nach DIN 1052:2008-12

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

3.4 Bedeutung der Einteilung typischer Gebäudenutzungen in Nutzungsklassen

Obwohl in DIN 1052:2008-12 eine Einteilung in Nutzungsklassen gefordert wird, fehlen bis auf wenige in den Erläuterungen der DIN 1052 enthaltene Ausnahmen, genauere Aussagen hinsichtlich der Einteilung üblicher Gebäudenutzungen in Nutzungsklassen. Wenn man aber bei der Planung eines Projektes das Klima innerhalb des Gebäudes nicht genau kennt, ergibt sich das Problem der Zuteilung in eine Nutzungsklasse nach Norm. So fallen z.B. Nutzungen mit trockenem Klima wie Sporthallen oder einige Produktionshallen und Nutzungen mit feuchterem Klima wie ungeheizte Lagerhallen alle in die NKL 1, was für den Planer auf den ersten Blick nicht immer nachvollziehbar sein mag.

Die im Rahmen dieses Forschungsprojektes durchzuführenden Langzeitmessungen in verschiedenen Hallen mit Holztragwerken sollen Erkenntnisse liefern, anhand derer eine Überprüfung und Erweiterung der bisherigen Klassifizierung von Gebäuden in Nutzungsklassen ermöglicht wird. Daraus könnte eine klarere Einteilung und konkrete Zuordnung von verschiedenen Nutzungen in die Nutzungsklassen entstehen. Ebenso können damit Bereiche der sich einstellenden Ausgleichsfeuchte für die konkreten Nutzungen angegeben werden, wodurch ein Einbau des Holzes mit einer angepassten Holzfeuchte ermöglicht wird. Dies würde es unterstützen, unerwünschte Schwind- und Quellerscheinungen des Holzes, mit Rissbildungen oder Aufwölbungen, in größerem Umfang zu vermeiden. Bisher sieht die Norm für die Nutzungsklasse 1 im Normalfall eine Einbaufeuchte von 12% vor. Gleichzeitig gibt sie einen Bereich der Ausgleichsfeuchte mit einem unteren Grenzwert von 5% an, was vor allem für großvolumige Brettschichtholzbauteile zu kritischen Schwindbeanspruchungen führen kann. Eine genauere Kenntnis über die sich im späteren Einsatzbereich einstellende Holzfeuchte und der Einbau von Holz mit entsprechend angepasster Holzfeuchte, hat eine nicht zu unterschätzende Bedeutung. Dies wird durch den großen Anteil von Rissen aus Schwindvorgängen an der Gesamtzahl der Schäden in mehreren Untersuchungen (Blaß & Frese, 2010), (Frühwald, Serrano, Emilsson & Thelandersson, 2007) und (Dietsch & Winter, 2009)) bestätigt.

4 Darstellung der Nutzungskategorien und Gebäudeauswahl

4.1 Nutzungskategorien

Bei der Auswahl der Nutzungen und der zugehörigen Hallen die im Rahmen des Forschungsprojektes untersucht werden, wurde darauf geachtet eine möglichst große Vielfalt an holzbautypischen Nutzungen und Tragsystemen zusammenzustellen. Im Forschungsvorhaben sind für die Langzeitmessungen insgesamt sieben verschiedene Nutzungstypen entsprechend Tabelle 2 vorgesehen. Für eine eindeutige und schnelle Zuweisung der einzelnen Hallen wurde die in Tabelle 2 gegebene Nomenklatur für die verschiedenen Nutzungen vereinbart.

Tabelle 2: Nomenklatur der untersuchten Nutzungen und Anzahl der Hallen je Nutzung

Nutzung	**Kategorie**	**Anzahl der Hallen**
Schwimmhalle	A	3
Eishalle	B	4
Reithalle	C	3
Sporthalle	D	3
Produktions- und Verkaufshalle	E	2
Landwirtschaftliche Halle	F	3
Lagerhalle	G	3
Summe	**7**	**21**

Entsprechend des Forschungsantrages sollen zu den einzelnen Nutzungstypen je drei Objekte ausgewählt werden, was bei sieben Nutzungstypen zu insgesamt 21 Hallen führt (vgl. Tabelle 2). Die Messung in drei Gebäuden je Nutzung, soll eine ausreichende statistische Aussage ermöglichen. Nach Beratung mit der begleitenden Projektgruppe des Forschungsvorhabens wurde die Anzahl der Objekte in der Kategorie Eishalle auf vier erhöht, da dieser Hallentyp als besonders interessant für eine Untersuchung der Holzfeuchte erscheint. Um die maximale Anzahl von 21 Objekten nicht zu überschreiten wurde die Kategorie Produktions- und Verkaufshallen auf zwei Objekte beschränkt.

Da für die überwiegende Mehrheit aller weitgespannten Holztragwerke unbeschichtetes Brettschichtholz aus Nadelholz verwendet wird, sollen die zu untersuchenden Tragwerksbauteile der ausgewählten Hallen ebenfalls ausschließlich aus diesem Material bestehen.

In jeder Halle werden zwei Messstellen installiert, wobei die Messstellen für jede Halle individuell festgelegt werden müssen. Dabei ist darauf zu achten, auch über die Hallenfläche hinweg möglicherweise variierende Bedingungen zu erfassen. Dies sind z.B. Stellen mit außergewöhnlichen Klimabeanspruchungen durch z.B. Sonneneinstrahlung oder Wärmeabgabe von haustechnischen Anlagen.

4.1.1 Schwimmhallen

Um für die Badegäste ein angenehmes Raumklima zu schaffen, herrschen in Hallenbädern meist hohe Temperaturen um die 30°C bei gleichzeitig konstanter relativer Luftfeuchtigkeit von ca. 65%. Üblicherweise wird das Innenraumklima von Hallenbädern durch eine passende Heizung und Lüftung dauerhaft konstant gehalten, so dass es zu keinen großen jahreszeitlichen Schwankungen kommt. Die Holzfeuchte der Tragkonstruktion bei Hallenbädern sollte somit relativ konstant bleiben, kann aber z.B. bei Abkühlung und damit steigender Luftfeuchtigkeit auch höhere Werte annehmen.

Die Klimabeanspruchung der Konstruktion ist abhängig von der gewählten Wasser- und Lufttemperatur, der Wasserdampfverdunstungsmenge von der Beckenoberfläche, den Badegästen sowie der Art der Heizung und Lüftung.

Typische Feuchteschäden in Schwimmbädern entstehen meist im Deckenbereich, da die feuchte warme Luft aufsteigt und sich unter der Decke sammelt. Deshalb herrschen im Bereich der Decke höhere Temperaturen mit größeren Feuchtegehalten als im übrigen Bereich der Halle. Wird der Taupunkt nun zum Beispiel im Bereich von Wärmebrücken oder Schäden in der Dachabdichtung unterschritten, kann sich im Dachbereich Kondensat bilden. Der Wassergehalt im Holz erhöht sich dadurch, was über einen längeren Zeitraum hinweg letztendlich zu Schäden durch Pilzbefall und Fäulnis führen kann.

(Krabbe & Neuhaus, 1989) und (Paulsen & Trinkert, 2011) bestätigten in ihren Untersuchungen, dass in Hallenbädern nach Abschluss der Bauphase und dem ersten Jahr der Nutzung im Allgemeinen ein sehr konstantes und für Holzkonstruktionen unkritisches Klima herrschen.

4.1.2 Eissporthallen

Das sich einstellende Gebäudeklima bei Eissporthallen wird maßgeblich von der ausgeführten Bauweise beeinflusst. Die offene, teilweise offene und geschlossene Bauweise unterscheiden sich dabei wesentlich voneinander.

Bei einer offenen Eissporthalle gleichen sich die Temperaturen den Außentemperaturen an, so dass das Hallenklima dem Außenklima entspricht. Offene Eishallen sind nach (Blaß, Ehlbeck, Kreuzinger & Steck, 2004) nicht wie andere offene Gebäude in die Nutzungsklasse 2 einzuordnen, da die Träger der Dachkonstruktion durch den Strahlungsaustausch mit der kalten Eisoberfläche zusätzlich ausgekühlt werden, wodurch es sehr schnell zum Ausfall von großen Tauwassermengen kommen kann. Im Sommer dagegen trocknet das Tragwerk wieder aus was eine große jahreszeitliche Schwankung der Holzfeuchte bedingt.

Teilweise offene Hallen sind partiell mit den offenen Hallen vergleichbar, die Temperaturspitzen des Außenklimas werden hier jedoch nicht übertragen. Im Unterschied zu den offenen Eishallen führt die Bauweise der teilweise offenen Hallen jedoch zu einer Einschränkung des möglichen

Luftwechsels, was bei Einstreichen von warmer Luft und anschließender Abkühlung über der Eisfläche zu Nebelbildung und Tauwasserausfall führen kann. Untersuchungen zu teilweise offenen Hallen wurden von (Feldmeier, 2007) durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen bestätigen die hohe klimatische Beanspruchung des Holztragwerkes in teilweise offenen Eishallen, was vor allem an der erhöhten Gefahr der Tauwasserbildung an den Oberflächen der Brettschichtholzträger liegt. Das führt zur Erhöhung der Holzfeuchte und mitunter zur Bildung von Eispanzern (vgl. Abbildung 12 links).

Bei geschlossenen Hallen ist zwischen klimatisierten und nicht klimatisierten Eishallen zu unterscheiden. Das Klima in klimatisierten Eissporthallen ist relativ unabhängig von der Außenlufttemperatur, es wird jedoch von der Abstrahlung der Eisfläche beeinflusst.

Um eine Reifbildung an der Eisoberfläche zu verhindern, wird die Hallentemperatur in wärmeren Perioden durch die Klimatisierung abgesenkt. Hierbei soll auch die Bildung von Nebel verhindert werden, der bei der Vermischung von warmer Hallenluft und kalter Luft direkt über der Eisoberfläche entstehen kann. Die Gefahr von Nebelbildung ist vor allem im Sommer, wenn sich die Halle aufheizt, jedoch immer noch gegeben. Um den Zuschauer nicht den niedrigen Temperaturen auf der Eisfläche auszusetzen, wird im Tribünenbereich meist wärmere Luft zugeführt. Dies schafft angenehmere Temperaturen für die Zuschauer, ohne die Schichtung über dem Eis zu stören.

Dadurch ergeben sich in geschlossenen, klimatisierten Eissporthallen zwei Bereiche mit unterschiedlicher klimatischer Beanspruchung des Tragwerks. Ein relativ warmer Bereich bei den Zuschauerrängen und ein kalter Bereich über der Eisfläche. In diesem ist es nicht ausgeschlossen, dass sich an den kalten Trägerunterseiten Tauwasser niederschlagen kann (vgl. Abbildung 12 rechts).

Abbildung 12 links: Eisbildung am Untergurt oberhalb der Eisfläche. Aus (Winter, 2007). Rechts: Tropfenbildung auf Unterseite eines Binders. Aus (Güldenpfennig, Vogelsberg & Stamminger, 2010).

Von (Marquardt & Mainka, 2008) wurden Simulationen zur Beschreibung des Tauwasserausfalls in Eissporthallen in allen Bauweisen durchgeführt. In den Untersuchungen von (Güldenpfennig, Vogelsberg & Stamminger, 2010) wurden mögliche Verbesserungsvorschläge zur Feuchteproblematik in Eishallen ausgearbeitet.

Da im Falle der offenen und teiloffenen Eisporthallen schon Forschungsergebnisse in Form von Messwerten und Berechnungen vorliegen wurde entschieden, in diesem Projekt den Fokus auf die geschlossenen, klimatisierten und nicht klimatisierten Eishallen zu legen. Hiermit sollte eine Aussage ermöglicht werden ob und in welchem Ausmaß vergleichbare klimatische Bedingungen wie in den offenen und teiloffenen Eishallen vorliegen.

4.1.3 Reithallen

Reithallen können sowohl als offene als auch als geschlossene Räume ausgeführt werden. In Bezug auf das Hallenklima sind jedoch keine großen Unterschiede zu erwarten, da die geschlossenen ungedämmten Hallen aus Kostengründen und um die Gesundheit der Pferde nicht zu gefährden unbeheizt bleiben. Die großen oft offen stehenden Hallentore tragen zusätzlich dazu bei, dass sich der Temperaturverlauf in der Halle dem der Außentemperaturen annähert. Demzufolge kann es im Winter durchaus vorkommen, dass der Gefrierpunkt unterschritten wird. Ebenso können die Temperaturen in den Sommermonaten vor allem in den Bereichen der häufig vorhandenen Lichtbänder stark ansteigen.

Der Bodenbelag in Reithallen besteht aus Sand, Torf, Sägespänen und ähnlichen Materialien und muss regelmäßig bewässert werden, um größere Staubentwicklung zu vermeiden und optimale Bodenverhältnisse zu schaffen. Die Beregnung des Bodenbelags erfolgt meist über Sprinkleranlagen die im Dachbereich untergebracht sind. Im Gegensatz zu einer Bewässerung von Hand oder mit bodennahen Einrichtungen, bei der das Wasser sofort vom Boden aufgenommen wird, ist die Luftfeuchtigkeit vor allem bei einer Beregnung von oben sehr hoch, da das Wasser von der Decke auf den Boden regnet und so gut von der Luft aufgenommen werden kann. Zudem wird durch die hohe Anstrengung der Tiere beim Training eine nicht unerhebliche Menge Wasser freigesetzt. Dementsprechend hoch ist die Luftfeuchtigkeit in der Halle.

Lüftungen oder Heizungen werden in Reithallen aus Kostengründen normalerweise nicht oder nur in sehr geringem Umfang genutzt, auch da die Pferde bei trockener Heizungsluft besonders Anfällig gegen Asthma sind. Der Luftaustausch erfolgt somit meist nur über natürliche Lüftung.

Reithallen können daher im Hinblick auf die klimabedingten Belastungen der Holz-Tragkonstruktion eine kritische Nutzung darstellen (Schnitzer, 1973).

4.1.4 Sporthallen

Die in der Norm DIN 18032-1:2003-11 enthaltenen Grundsätze für die Planung von Sporthallen sehen eine Temperatur von 20°C vor. In DIN 4108-3:2001-07 sind vereinfachte Klimabedingungen

für Innenklimata enthalten, die ebenfalls eine Temperatur von 20°C und eine relative Luftfeuchte von 50% vorsehen. Um diese Temperatur auch in den Sommermonaten zu gewährleisten, kommt vermehrt eine natürliche Lüftung über Fenster oder eine automatische Lüftung über eine Lüftungsanlage zum Einsatz. Im Winter hingegen muss die Heizung in Sporthallen dauernd betriebsbereit sein, um ein schnelles Aufheizen zu ermöglichen, damit im Betrieb von Beginn an angenehme Temperaturen in der Halle herrschen.

Verschiedene Sportarten haben unterschiedliche Wohlfühltemperaturen, dementsprechend muss die Heizung in der Halle zum Beispiel für bewegungsintensive Sportarten wie Fußball oder Handball nur auf eine Temperatur von 15-16°C eingestellt werden, während für Gymnastik oder vergleichbare Sportarten über 20°C herrschen sollten.

Da der Betrieb von Sporthallen meist durch öffentliche Träger erfolgt, werden Heizung und Lüftung aus Kostengründen meist genau reguliert und laufen deshalb oft nur während der Betriebszeiten der Sporthalle, was vor allem im Winter zu starken Nachtabkühlungen führen kann. Auch durch die unregelmäßige Nutzung der Hallen wie z.B. bei Schulsporthallen, die in den Ferien und im Sommer nur in geringerem Umfang genutzt werden, kann es zu Schwankungen im Klima kommen, die eine besondere Beanspruchung für das Holztragwerk darstellen können.

Bei Sporthallen wird im Betrieb durch die Anstrengungen und Aktivität der Sportler Feuchtigkeit abgegeben, die durch die Lüftungsanlagen aber wieder abgeführt wird. Aus Gründen der Belichtung sind meist Lichtbänder vorhanden, wodurch direkte Sonneneinstrahlung auf das Tragwerk gelangt und dieses austrocknet. Die meist verwendeten Heizsysteme über Lüftungsanlagen mit hohen Luftwechselraten tragen auch dazu bei, dass in Sporthallen vor allem im Winter ein für das Tragwerk sehr trockenes Klima herrscht. Von (Machnicki, 2009) durchgeführte Simulationen zu sich einstellenden Klimawerten in Sporthallen mit Umluft-Heizungsanlagen bestätigen dies.

4.1.5 Produktions- und Verkaufshallen

Bei Produktionshallen ist das Hallenklima sehr stark von der Nutzungsart abhängig, da in der Industrie sehr unterschiedliche Anforderungen an das Gebäudeklima und die technische Gebäudeausrüstung wie Heizung, Kühlung und Lüftung gestellt werden.

In den meisten Branchen ist vor allem darauf zu achten, dass das Hallenklima innerhalb vorgeschriebener Grenzen bleibt, um keine Schäden am Produkt zu verursachen. So ist zum Beispiel bei einem stahlverarbeitenden Betrieb eine geringe Luftfeuchtigkeit gefordert, um das Korrodieren des Stahls zu verhindern. Die Anforderungen an Produktionsstätten mit hohem Automatisierungsgrad sind in der Regel nicht so hoch wie bei Räumen mit hoher Personenbesetzung. Jedoch können hoch automatisierte Anlagen erheblichen Einfluss auf das Hallenklima haben. So wird sich in einer Wäscherei eine sehr hohe, in einem Stahlwerk dagegen eine sehr niedrige Luftfeuchtigkeit bei gleichzeitig sehr hohen Temperaturen aufgrund des Wärmeeintrages der Maschinen einstellen.

In der Industrie gibt es zahlreiche andere Beispiele mit unterschiedlichen Anforderungen, woraus sich verschiedenste klimatische Beanspruchungen für das Tragwerk ergeben können. Somit sind diese objektspezifisch zu ermitteln.

4.1.6 Landwirtschaftliche Hallen

Landwirtschaftliche Hallen lassen sich nutzungstechnisch in die Bereiche Ställe, Lagerhallen für Heu, Stroh oder Getreide und Maschinenhallen unterteilen. Für alle gilt, dass sie als Kaltraum meist in offener Bauweise ausgeführt werden. In Stallungen herrscht meist eine hohe Dichte an Tieren, wodurch sehr viel Feuchte durch das Vieh eingetragen wird. Die Lagerhallen müssen aufgrund der verderblichen Güter eher trocken gehalten werden. Der Luftwechsel erfolgt dabei häufig nur über natürliche Lüftung durch öffenbare Lichtbänder und Seitenwände oder kleinere wenig leistungsfähige Be- und Entlüftungsanlagen. Erwartungsgemäß sollten daraus vor allem bei den feuchten Umgebungsbedingungen in Ställen höhere Holzfeuchten im Bereich von ca. 14 - 18% resultieren.

Landwirtschaftliche Hallen sind in ihrer Konstruktionsweise mit Reithallen vergleichbar, wobei die Luftfeuchtigkeit vermutlich nur in den Ställen ähnliche hohe Werte erreichen kann. Konkrete Untersuchungen zu landwirtschaftlichen Nutzungen sind den Verfassern nicht bekannt. Da solche Hallen jedoch bevorzugt in Holzbauweise ausgeführt werden, ist es von besonderem Interesse, die klimatischen Randbedingungen mittels Langzeitmessungen zu untersuchen.

4.1.7 Lagerhallen

Lagerhallen sind je nach Anforderung offen oder geschlossen. Spielt die Temperatur und relative Luftfeuchte für die gelagerten Güter eine Rolle, so werden sie geschlossen ausgeführt und falls erforderlich mit einer genau abgestimmten technischen Gebäudeausrüstung versehen, um die speziellen klimatischen Bedürfnisse des Lagergutes erfüllen zu können. Die technische Gebäudeausrüstung kann Lüftung, Heizung, Klimatisierung sowie Luftbefeuchtungsanlagen beinhalten.

Das gewünschte Klima in der Halle ist ebenso wie bei Produktionshallen von der Art der gelagerten Materialien abhängig. Vor allem bei empfindlichen Materialien wie Papier, Magnetbändern, Filmen oder ähnlichem ist die Einhaltung von bestimmten Werten für die Dauerhaftigkeit der Güter wichtig. Andere Güter wiederum stellen geringere Bedingungen an die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit und können in offenen, halb - offenen oder ungeheizten geschlossenen Hallen unter dem Außenklima vergleichbaren Randbedingungen gelagert werden. Letztgenannte Konstruktionstypen weisen meist höhere Holzfeuchten auf, da dort gerade im Herbst die Hallenluft abkühlt und die relative Luftfeuchte und somit auch die Holzfeuchte ansteigen. In offenen Hallen kann in einer solchen Situation die Feuchtigkeit durch den Luftaustausch entweichen.

Die Randbedingungen in Lagerhallen sind somit je nach gelagertem Material unterschiedlich und dementsprechend, wie auch im Fall von Produktionshallen, objektspezifisch zu ermitteln.

4.1.8 Fazit

Wie anhand der Beschreibung der zu untersuchenden Nutzungsarten gezeigt wurde, können die Klimabeanspruchungen in weitgespannten Bauwerken wie Hallentragwerken sehr unterschiedlich ausfallen. Je nach Nutzungsart und Objekt können sehr spezifische und unterschiedliche Randbedingungen auftreten. Werden Randbedingungen wie extreme Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse oder starke jahreszeitliche Schwankungen nicht beachtet, können bei Hallen mit einem Tragwerk aus Holz für die Bauteile kritische Klimabedingungen entstehen.

Die Folgen solcher klimatischer Bedingungen sind z.B. Risse an den Seitenflächen der Brettschichtholzträger oder Schimmel- und Pilzbildung bei Tauwasserausfall. Bei sehr hohen Holzfeuchten sinken zudem die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften des Holzes. Dies führt mitunter zu Überschreitungen der zulässigen Spannungen im Querschnitt, was wiederum Risse oder ähnliche spannungsbedingte Schäden zur Folge haben kann.

Dass diese, auf den klimatischen Beanspruchungen beruhenden Schäden einen erheblichen Anteil an der Gesamtsumme der Schäden an Holztragwerken haben, kann aus den Untersuchungen des Lehrstuhls für Holzbau und Baukonstruktion der TU München abgelesen werden. In Rahmen der durchgeführten Untersuchungen wurden insgesamt über 245 auffällig gewordene Holztragwerke im süddeutschen und österreichischen Raum ausgewertet. Diese Auswertung zeigt als überwiegend festgestelltes Schadensbild eine ausgeprägte Rissbildung in den Klebfugen und Lamellen der Brettschichtholzbauteile (Anteil 50%). Größtenteils lassen sich diese Schäden direkt oder indirekt auf die Holzfeuchte und deren jahreszeitliche Schwankung zurückführen (Dietsch & Winter, 2009). Dies wird durch ähnliche Untersuchungen von (Blaß & Frese, 2010) und (Frühwald, Serrano, Emilsson & Thelandersson, 2007) bestätigt.

Daraus kann geschlossen werden, dass die klimatischen, nutzungsbedingten Beanspruchungen in Hallen mit Holztragwerken genauer erfasst und beschrieben werden sollten. Die klimatischen Beanspruchungen des Tragwerks werden in der DIN 1052:2008-12 mit einer Unterteilung in drei Nutzungsklassen relativ grob erfasst. Es sind zwar klimatische Randbedingungen, aber keine klare Zuordnung typischer Nutzungen gegeben, einige wenige Ausnahmen sind in den Erläuterungen zur DIN 1052 enthalten. Eine eindeutige Einordnung von Seiten der Tragwerksplanung wird somit, vor allem für den nicht täglich mit dem Holzbau befassten Ingenieur, erschwert.

4.2 Vorstellung der gewählten Hallen

Im Folgenden wird die Auswahl der einzelnen Objekte vorgestellt, die für die Langzeitmessung getroffen wurde. Die Objekte befinden sich alle in Bayern, da bei der Auswahl nähergelegene Hallen wegen der kürzeren Anfahrtswege bevorzugt wurden. Da für die Interpretation der

Umgebungsbedingungen und der Messwerte eine Vielzahl an Bauwerksinformationen notwendig ist wurde entschieden, diese in Form von Objektinformationsblättern im Anhang aufzuführen. Auf diesen sind für jedes Objekt die relevanten Informationen wie Gebäudehülle, Umgebungsbedingungen, Klimatisierung, Tragsystem, Bauteilabmessungen, Oberflächenbehandlung und Lage der Messstellen vermerkt. Zusätzlich sind dort jeweils ein Grundriss und Schnitt des Objektes sowie Fotos des Innenraumes und der Messstellen gegeben.

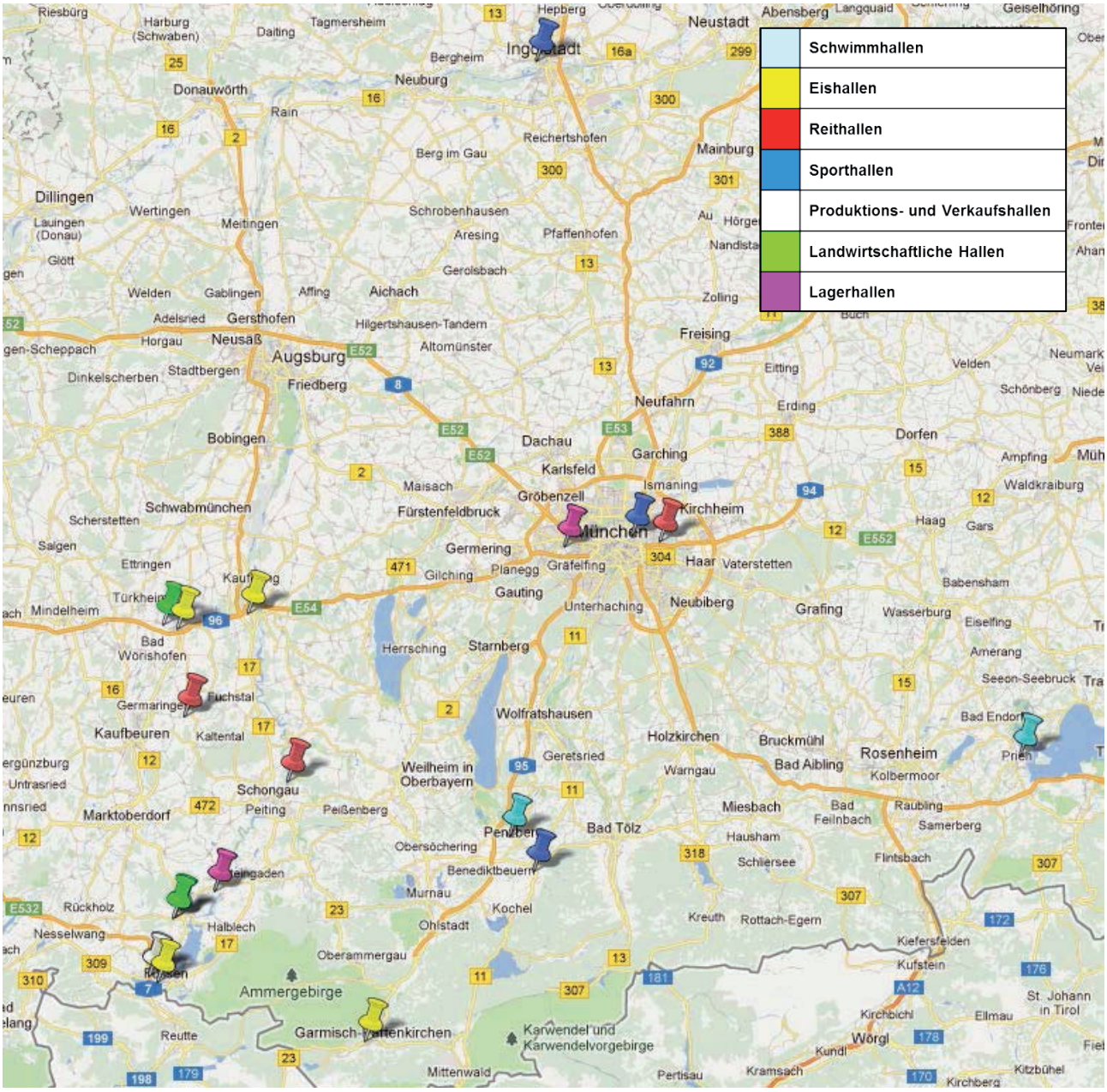


Abbildung 13 Darstellung der Gebäudestandorte für alle ausgewählten Hallen. Hellblau = Schwimmhallen, gelb = Eissporthallen, rot = Reithallen, dunkelblau = Sporthallen, weiß = Produktions- und Verkaufshallen, grün = landwirtschaftliche Hallen, pink = Lagerhallen. Aus (Google Maps).

Tabelle 3: Gewählte Hallen für die Langzeitmessung

Kategorie	**Hallentyp**
A	**Schwimmhallen**
A1	Wellenbad Penzberg – Hallenbereich
A2	Wellenbad Penzberg – Durchgang zum Außenbecken
A3	Schwimmhalle Prienavera Prien
B	**Eishallen**
B1	Eishalle Landsberg
B2	Eishalle Buchloe
B3	Olympia – Eissporthalle Garmisch- Partenkirchen
B4	Bundesleistungszentrum für Eishockey Füssen
C	**Reithallen**
C1	Olympia Reithalle München- Riem
C2	Gestüt Obere Mühle Blonhofen
C3	Sternstunden – Reithalle Herzogsägmühle
D	**Sporthallen**
D1	Paul Wegmann-Halle Ingolstadt
D2	Turnhalle der Volksschule Benediktbeuern
D3	Turnhalle Gebeleschule München
E	**Produktions- und Verkaufshallen**
E1	Verkaufshalle Sportmarkt Füssen
E2	Produktionshalle MW Racing Füssen
F	**Landwirtschaftliche Hallen**
F1	Landwirtschaftsbetrieb Greiß Roßhaupten
F2	Landwirtschaftsbetrieb Mair Roßhaupten
F3	Schmitz – Kälberzentrum Buchloe
G	**Lagerhallen**
G1	Pflanzenhalle Willibaldstraße München
G2	Lagerhalle Gebr. Heißerer Prem
G3	Zimmerei Hubert Schmid Marktoberdorf

5 Langzeitmessung von Holzfeuchtegradienten und Umgebungsbedingungen im Forschungsprojekt „Gebäudeklima“

5.1 Wahl des Messverfahrens

Grundsätzlich wird bei der Holzfeuchtebestimmung zwischen den direkten und den indirekten Verfahren unterschieden. Bei den direkten Messverfahren wird der Wasseranteil durch Darren oder Feuchteextraktion unmittelbar ermittelt. Bei den indirekten Messverfahren wird der Feuchtegehalt über korrelierende physikalische Eigenschaften des Holzes ermittelt, bei denen der Zusammenhang zwischen der Materialfeuchte und der gemessenen physikalischen Größe bekannt ist. Wegen der eindeutigen und genaueren Bestimmung der Holzfeuchte bei den direkten Verfahren sind diese gegenüber den indirekten vorzuziehen (Niemz, 2005).

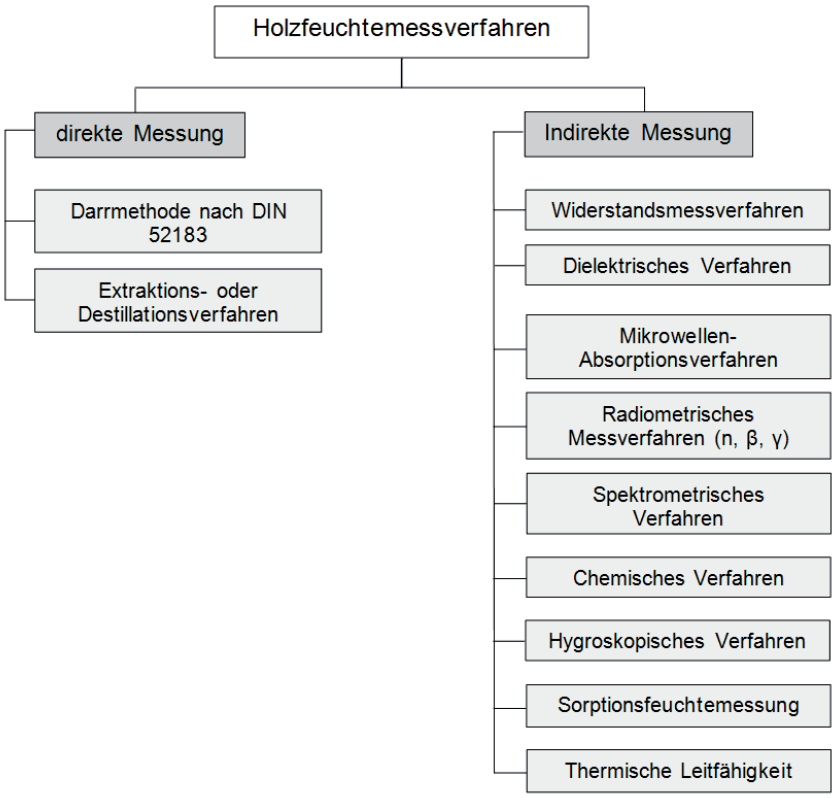


Abbildung 14: Übersicht über die Holzfeuchtemessverfahren. Aus (Herrmann, 2009).

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes sollen Langzeitmessungen an bestehenden Hallen in Holzbauweise durchgeführt werden um Aussagen über die Feuchteverteilung in Holzquerschnitten des Tragwerkes und dessen Abhängigkeit vom Hallenklima machen zu können.

Das verwendete Messverfahren muss eine Messvorrichtung aufweisen, die am Tragwerk montiert werden kann, nach Möglichkeit unabhängig Messungen durchführt und die dabei erhaltenen Ergebnisse speichert. Die Messung muss zerstörungsfrei sein, da die bestehende Tragstruktur nicht beschädigt und keine Proben entnommen werden dürfen. Entscheidend ist, dass mit dem

gewählten Messverfahren genaue Holzfeuchtemessungen in unterschiedlichen Messtiefen möglich sind, um eine Feuchtegradiente über den Querschnitt ableiten zu können.

Zu Langzeitmessungen der Holzfeuchte in Holzkonstruktionen gibt es mehrere Untersuchungen z.B. von (Brischke & Rapp, 2007) zur Holzfeuchtemessung mit dem Widerstandsverfahren und von (Evans, Kleppe & Dyken, 2006) zur Sorptionsfeuchtemessung. (Kießl & Steinbach, 2006) zeigen in ihrer Arbeit die Grenzen der Einsatzgebiete dieser beiden Messverfahren in Bezug auf vorbehandelte Holzbauteile auf.

Unter Beachtung dieser Aspekte wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens das Widerstandsmessverfahren ausgewählt. Die Gründe für diese Wahl liegen in den ausreichend genauen Messwerten (± 0,5%), die mit diesem Verfahren annähernd zerstörungsfrei gemessen werden können. Bei Verwendung von Tiefenelektroden verschiedener Länge ist eine Ermittlung der Feuchtegradiente über den Holzquerschnitt möglich. Zudem stellt dieses Verfahren eine bewährte und in Fachkreisen anerkannte Messmethode dar. Es ist das bis vor einigen Jahren fast ausschließlich und heute nach wie vor am häufigsten angewendete Verfahren zur Holzfeuchte-Bestimmung. Es stellt damit den momentan allgemein anerkannten Stand der Technik dar. Zudem ist möglich auf eine Vielzahl von auf dem Markt angebotenen elektrischen Messgeräten zurückzugreifen.

5.2 Beschreibung des gewählten Messverfahrens - Widerstandsmessverfahren

Das gewählte Messverfahren beruht auf der Messung des elektrischen Widerstandes bzw. der Leitfähigkeit von Holz. Da Wasser eine viel höhere elektrische Leitfähigkeit besitzt als Holz, sinkt der elektrische Widerstand mit zunehmender Holzfeuchte. Bei genauer Kenntnis dieser Gesetzmäßigkeit, kann somit auf die lokal vorhandene Holzfeuchte geschlossen werden.

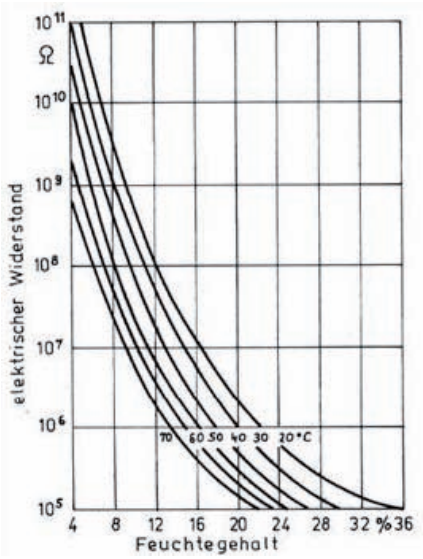


Abbildung 15: Einfluss von Feuchtegehalt und Temperatur auf den elektrischen Widerstand von Holz. Aus (Niemz, 2005) nach (Keylwerth & Noack, 1956)

Neben dem Feuchtegehalt ist der elektrische Wiederstand von Holz auch von der Temperatur abhängig. Somit gehört Holz zu den sogenannten Heißleitern, d.h. der elektrische Widerstand nimmt mit zunehmender Temperatur ab (vgl. Abbildung 15). Um bei der Holzfeuchtemessung zuverlässige Aussagen über den tatsächlichen Feuchtegehalt machen zu können, ist aufgrund des Einflusses die Holztemperatur mit zu erfassen.

In der Praxis werden bei der elektrischen Widerstandsmessung zwei Elektroden in einem definierten Abstand von ca. 30 mm in das Holz geschlagen oder an der Oberfläche befestigt. Über diese wird eine vom Messgerät erzeugte Spannung angelegt um den feuchteabhängigen Spannungsabfall zu ermitteln.

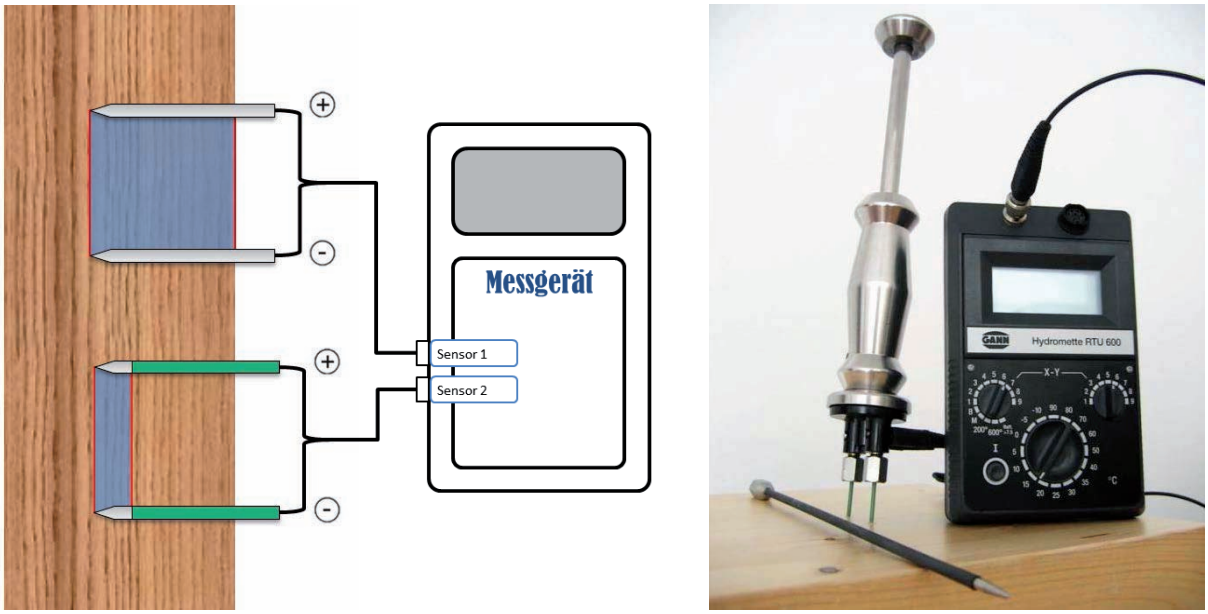


Abbildung 16: Links: Schematische Darstellung des Widerstandsmessverfahrens und des Messbereiches bei isolierten und nicht isolierten Messelektroden. Rechts: Verwendetes Referenz-Holzfeuchtemessgerät (Hydromette RTU 600) der Firma GANN.

Um die Holzfeuchten in verschiedenen Tiefen messen zu können sind unterschiedliche Elektrodentypen verfügbar. Es gibt nicht isolierte Oberflächenelektroden und teflonisolierte Elektroden, die eine Feuchtemessung in genau definierten Schichten des Bauteils zulassen. Mit letzteren kann bei Anordnung mehrerer Elektrodenpaare in unterschiedlichen Tiefen die Feuchteverteilung über den Querschnitt und somit ein eventuell vorliegender Feuchtegradient ermittelt werden (vgl. Abbildung 16 links).

5.3 Beschreibung der Messvorrichtung

Um den Anforderungen des Forschungsprojektes zu entsprechen muss die Messtechnik zwei Messstellen mit jeweils mehreren unterschiedlich langen Tiefenelektrodenpaaren umfassen. Die Holzfeuchte soll stündlich gemessen und gespeichert werden. Parallel dazu sollen die Klimadaten der Hallen, wie relative Luftfeuchtigkeit, Raumtemperatur und Oberflächentemperatur der zwei Messstellen aufgenommen und gespeichert werden. Dementsprechend werden Datenlogger benötigt, die diese Datenmengen aufnehmen können.

In Zusammenarbeit mit der Firma Scanntronik Mugrauer GmbH wurde ein geeignetes Messsystem gewählt und konfiguriert. Bei diesem Projektpartner handelt es sich um einen Hersteller von Messtechnik, der Datenlogger zur Messdatenerfassung von Luftfeuchte, Temperatur, Materialfeuchtigkeit, Rissbewegung, Spannung, Strom, u.v.m. entwickelt. Ein Grund für die Wahl dieses Industriepartners war, dass die Firma bis zum Beginn des Forschungsvorhabens ein neues Messsystem entwickelt hatte, das den oben genannten Anforderungen an ein Messsystem für Langzeitmessungen entspricht.

Bei diesem Messsystem handelt es sich um ein Modul, mit dem auf bis zu acht Kanälen Materialfeuchten nach dem Widerstandsmessverfahren bestimmt werden können. Da dieses Modul zum Zeitpunkt der Wahl des Messsystems noch weiterentwickelt wurde, konnte es an die Bedürfnisse des Forschungsvorhabens angepasst werden. In Verbindung mit einem Datenlogger, Messkabeln und geeigneten Messelektroden stellt diese Messtechnik ein Messsystem für Holzfeuchte dar, das den gestellten Anforderungen entspricht.

Damit an den zwei Messstellen die Holzfeuchte jeweils in vier unterschiedlichen, genau definierten Tiefen gemessen werden kann, sind isolierte Messelektroden mit entsprechender Länge erforderlich. Hierbei wurde auf Messelektroden zurückgegriffen, die in Holztrocknungsanlagen verwendet werden. Diese werden unter anderen von der Firma GANN hergestellt und sind in diesem Fall in fünf verschiedenen Längen von 10 bis 70 mm erhältlich. Für dieses Forschungsvorhaben wurden die Längen 15, 25, 40 und 70 mm ausgewählt, um den Verlauf der Holzfeuchte über den Querschnitt erfassen zu können (vgl. Abbildung 17 links).

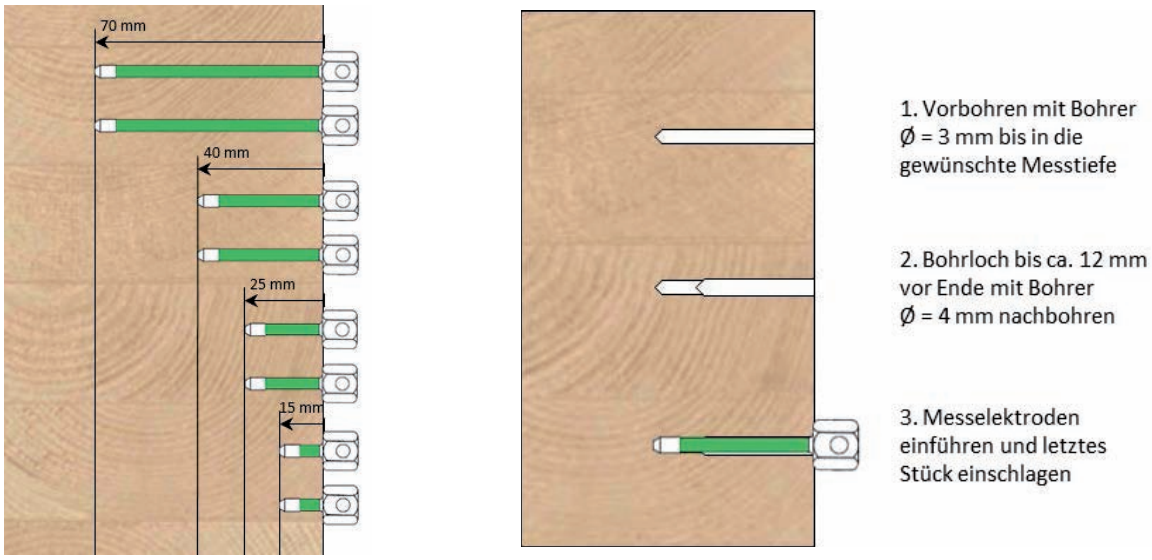


Abbildung 17: Links: Schematische Darstellung der verwendeten Messelektroden. (Hinweis: die dargestellte Lage der Elektroden entspricht nicht dem eingebauten Zustand, dort wurden sie in einer Lamelle angebracht). Rechts: Richtiges Setzen der Messelektroden im Brettschichtholzquerschnitt.

Die Messelektroden sollten in einer Lamelle und möglichst senkrecht zur Faser angeordnet werden. Um dies wie auch die geforderte Abstände und Tiefen der Bohrungen bei der Montage ohne Nachmessen einhalten zu können wurde eine Montagehilfe entwickelt, mit deren Hilfe die Messelektroden schnell, einfach und genau installiert werden können. Es handelt sich dabei um je eine Aluminium- Bohrführung für jede Länge der Messelektroden und eine Bohrschablone aus einer Furnierschichtholzplatte (vgl. Abbildung 18).

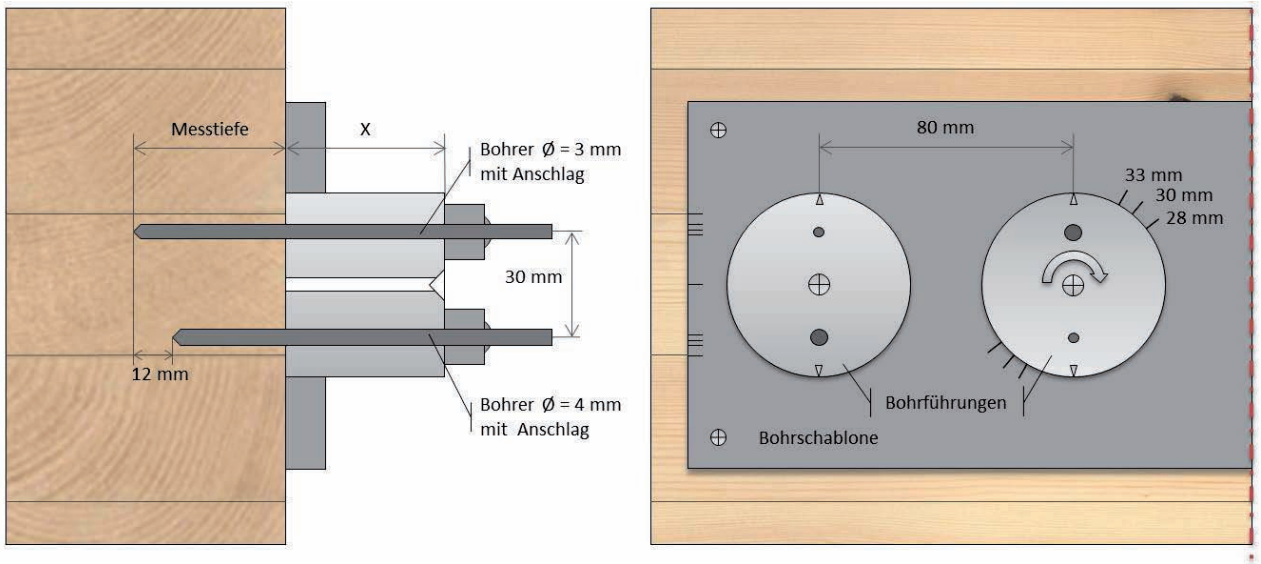


Abbildung 18: Montagehilfe in Form einer Bohrschablone und Bohrführungen als Hilfe bei der Installation der Messelektroden in BSH- Lamellen unterschiedlicher Stärke.

Über speziell angefertigte, abgeschirmte Koaxialkabel werden die Messelektroden an das zuvor beschriebenen Materialfeuchtemessgerät angeschlossen. In Verbindung mit einem Datenlogger können so an zwei Messstellen je vier Widerstände in unterschiedlicher Tiefe erfasst werden. Über einen zweiten Datenlogger in Kombination mit einer Sensoreinheit für relative Luftfeuchte und Lufttemperatur werden die Klimadaten aufgezeichnet. Durch zwei externe Sensoren werden zudem die Oberflächentemperaturen an den beiden Messstellen erfasst um eine Referenztemperatur für die Temperaturkompensation der Holzfeuchtemesswerte zu erhalten (vgl. Abbildung 19).

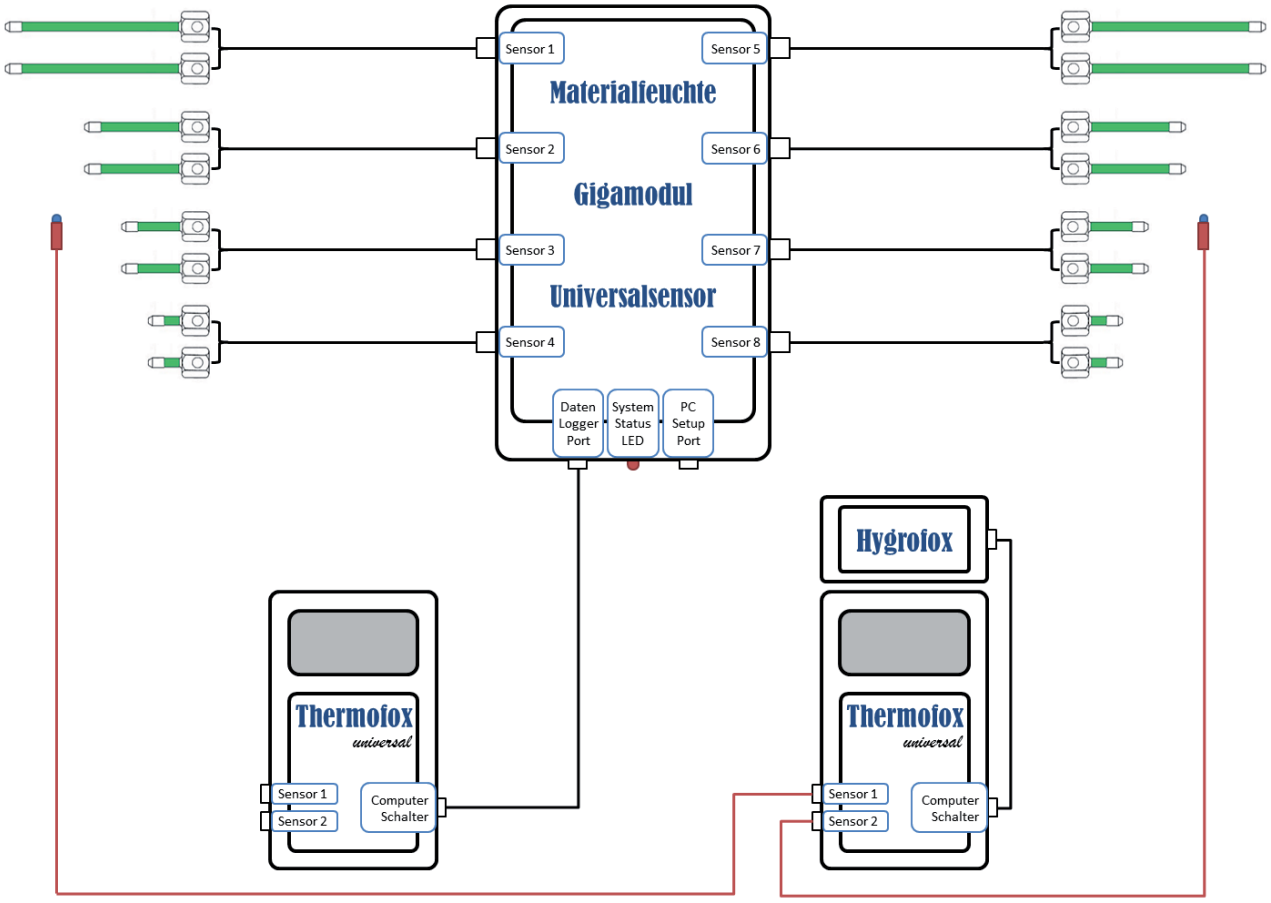


Abbildung 19: Systematische Darstellung der Messtechnik.

5.4 Kalibrierung der Messtechnik

Bevor die Messtechnik in den Hallen installiert werden konnte wurde sie anhand verschiedener Laborversuche getestet. Das System wurde an Probekörpern aus Brettschichtholz installiert und in den Klimakammern der Prüfstelle Holzbau der TU München unterschiedlichen Randbedingungen ausgesetzt. Es wurden sehr trockene, sehr feuchte und stark schwankende Klimabedingungen erfasst. Die Holzfeuchte der Probekörper unter diesen verschiedenen Umgebungsbedingungen wurde hierbei mit dem ausgewählten Messsystem kontinuierlich gemessen, wobei eine ständige Verifizierung durch Vergleichsmessungen mit einem kalibrierten Referenz- Holzfeuchtemessgerät der Firma GANN durchgeführt wurde. Dabei konnte kein wesentlicher Unterschied in den Messergebnissen der beiden Systeme festgestellt werden.

Um einen eventuellen Einfluss der Elektroden auf die Holzfeuchtemessung festzustellen wurde zusätzlich ein Vergleich der unterschiedlichen Messelektroden durchgeführt. Untersucht wurden Einschlagelektroden mit und ohne isoliertem Schaft und Messelektroden aus Trocknungsanlagen, jeweils hergestellt von der Firma GANN. Mit diesen Elektroden und der vorliegenden Messtechnik wurde die Holzfeuchte über einen längeren Zeitraum an einem sehr homogenen Probekörper gemessen. Gleichzeitig wurde der Probekörper in gleichmäßigen Abständen mit dem Referenz-Holzfeuchtemessgerät (Hydromette RTU 600) der Firma GANN nachgemessen und die erhaltenen Werte verglichen. Es konnte kein wesentlicher Unterschied zwischen den verwendeten Messelektroden beobachtet werden. Deshalb blieb die Elektrodenform bei der Auswertung unberücksichtigt.

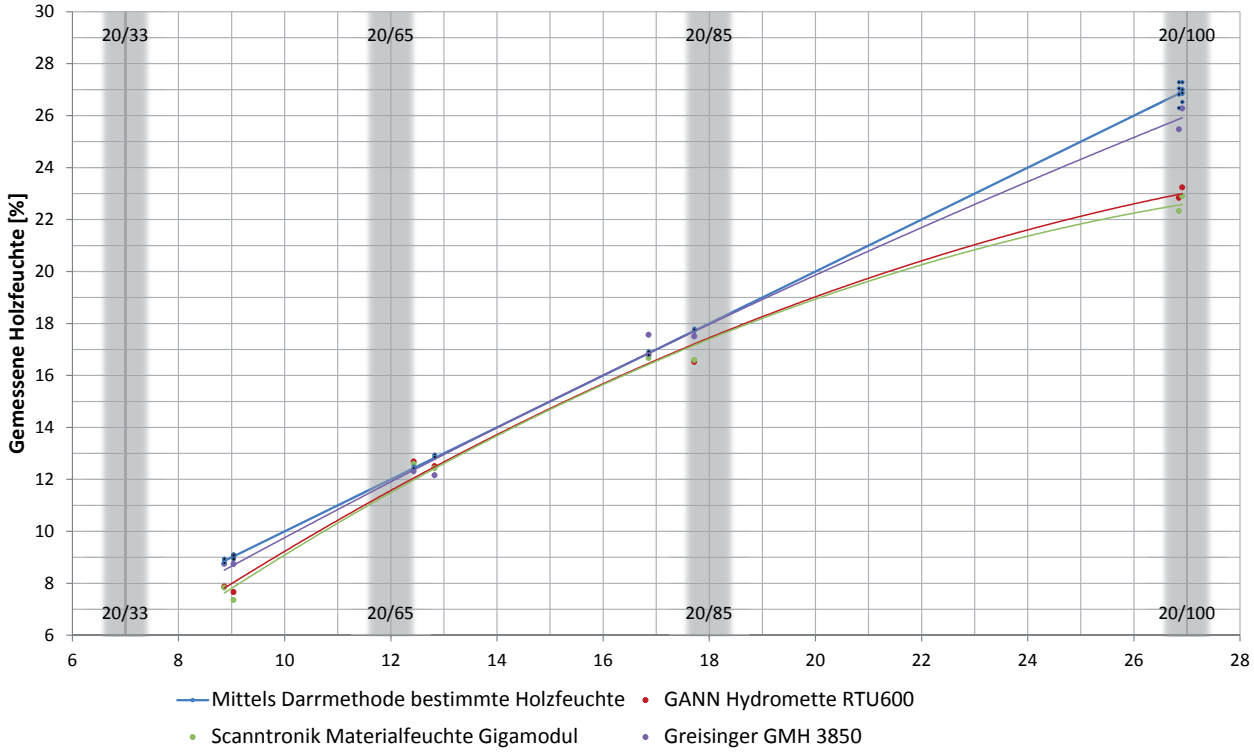
Zur weiteren Kalibrierung des Messgerätes wurden Vergleichsmessungen an Darrproben durchgeführt. Hierzu wurden zwei voneinander unabhängige Serien von Prüfkörpern hergestellt und hintereinander geprüft. Jede Serie bestand aus 4 x 6 Probekörpern mit den Abmessungen *L* x *B* x *H* = 85 x 60 x 30 mm, welche unter vier verschiedenen kontrollierten klimatischen Umgebungsbedingungen bis zur Gewichtskonstanz gelagert wurden. Die Umgebungsbedingungen (20°C / 33%rF; 20°C / 65%rF; 20°C / 85%rF und 20°C / 100%rF) wurden in mehreren Behältern mittels verschiedener gesättigter Salzlösungen realisiert. Die Holzfeuchte dieser Probekörper wurde anschließend mit der für das Forschungsprojekt ausgewählten Messtechnik und zwei Referenz - Holzfeuchtemessgeräten der Firma GANN (Hydromette RTU 600) sowie der Firma Greisinger (GMH 3850) bestimmt. Nach Ermittlung des Gewichtes der Probekörper bei Ausgleichsfeuchte wurden die Probekörper im Darrofen getrocknet und anschließend der tatsächliche Feuchtegehalt durch folgende Gleichung ermittelt:

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

mit

u = Holzfeuchte [%]
m_{u} = Masse des feuchten Holzes [g]
m_{dtr} = Masse des darrtrockenen Holzes [g]

Der Vergleich der durch die Messgeräte erhaltenen Werte mit den mittels der Darrmethode ermittelten Holzfeuchten, ist für beide Serien in Abbildung 20 dargestellt.



		20/33	20/65	20/85	20/100	
Versuchs-reihe 1	Mittels Darrmethode bestimmte Holzfeuchte	9,04	12,83	17,72	26,91	[%]
	GANN Hydromette RTU600	7,65	12,50	16,51	23,23	[%]
	Scanntronik Materialfeuchte Gigamodul	7,35	12,42	16,59	22,89	[%]
	Greisinger GMH 3850	8,73	12,15	17,49	26,27	[%]
Versuchs-reihe 2	Mittels Darrmethode bestimmte Holzfeuchte	8,86	12,43	16,86	26,85	[%]
	GANN Hydromette RTU600	7,87	12,68	16,79	22,83	[%]
	Scanntronik Materialfeuchte Gigamodul	7,82	12,58	16,66	22,32	[%]
	Greisinger GMH 3850	8,74	12,30	17,55	25,46	[%]

Abbildung 20: Ergebnisse der Laborversuche zur Kalibrierung der Messtechnik.

Aus dem Diagramm wie auch der zugehörigen Datentabelle ist erkennbar, dass die Ergebnisse der verwendeten Messtechnik der Firma Scanntronik mit denen der Referenz- Messtechnik der Firma GANN gute Übereinstimmung zeigen, was bereits bei den vorangegangenen Untersuchungen festgestellt werden konnte. Es zeigt sich jedoch auch, dass mit zunehmender Holzfeuchte die Abweichungen zwischen den mit beiden Geräten sowie der über die Darrmethode ermittelten Holzfeuchte zunehmen. Im Bereich der in diesem Forschungsprojekt ermittelten Holzfeuchten ($u \leq 18\%$) ergeben sich maximale Abweichungen von 1,3% im Bereich der trockenen Probekörper, wobei die für das Forschungsprojekt ausgewählte Messtechnik die Holzfeuchten tendenziell unterschätzt. Messungen mit dem Gerät der Firma Greisinger ergaben

geringere Abweichungen, die im Rahmen der Messungenauigkeit von ±0,5% Holzfeuchte lagen. Die Tatsache, dass die Probekörper im Behälter mit den Klimabedingungen 20°C und 33%rF nicht die erwarteten ca. 7% Holzfeuchte erreichten, ist vermutlich auf die verwendete Industriequalität der Salze und mögliche Undichtigkeiten der Behälter zurückzuführen. Die sich im Versuch im Mittel einstellende Luftfeuchte betrug 45%.

5.5 Auswertung der Messwerte

Die in den Datenloggern gespeicherten Messdaten wurden über den Messzeitraum hinweg je Objekt dreimal vor Ort mit Hilfe eines Messkabels ausgelesen. Dabei wurde gleichzeitig eine Referenzmessung mit einem anderen Messgerät vorgenommen. Für das verwendete Messsystem sind zwar Möglichkeiten der Datenfernübertragung erhältlich, in diesem Forschungsprojekt wurde jedoch die händische Auslesung bevorzugt, da mit ihr gleichzeitig eine Funktionskontrolle wie auch eine Kontrolle der Messstellen selbst realisiert werden konnte.

Um die Messdaten auszuwerten, müssen diese auf einen PC übertragen werden. Das erfolgt über ein geeignetes USB- Auslesekabel und der Software „SoftFox“ des Herstellers der Messtechnik. Mit dieser Software können die Messwerte veranschaulicht und in geringem Umfang bearbeitet werden. Das reicht für eine erste Kontrolle der Messwerte aus. Um die Daten entsprechend den Anforderungen des Forschungsvorhabens auszuwerten, sind jedoch zusätzliche Funktionen erforderlich. Daher wurde ein eigenes Programm auf Excel - Basis erarbeitet, das zur Auswertung der erhaltenen Werte aus den Messungen dienen soll. Dieses ermöglichte es, die große Datenmenge (über 2,2 Millionen Messwerte) am Ende der geplanten Messdauer des Forschungsprojekts in angemessenem Zeitaufwand auszuwerten.

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 Holzfeuchtewerte sowie die Kompensation des Temperatureinflusses.

Bei der ersten Auswertung der Messergebnisse wurden bei drei Objekten mit starken klimatischen Schwankungen partiell ungewöhnliche Sprünge und Abweichungen in den Verläufen beobachtet. Der Grund für diese Abweichungen wird in der Temperaturkompensation der Messwerte vermutet, da diese auf der gemessenen Oberflächentemperatur basierte und folglich teilweise zu hohe Korrekturwerte lieferte (z.B. bei direkter Sonneneinstrahlung). Um eine realistischere Temperaturkompensation der Messdaten im Rahmen der Auswertung zu erreichen, wurde für jeden Auswertezeitpunkt aus der gemessenen Oberflächentemperatur ein Temperaturverlauf über den Querschnitt der jeweiligen Messstelle errechnet. Hierfür wurde das explizite Verfahren nach (Euler, 1755) (vgl. auch Fortuin, 2003) mit nach (Kollmann, 1951) berechneten Werten für die

Temperaturleitfähigkeit von Holz verwendet und im Auswerteprogramm implementiert. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass für die Kompensation der gemessenen Holzfeuchtewerte in den unterschiedlichen Tiefen stets realistische Temperaturen zugrunde lagen. Eine Anpassung hinsichtlich der in den Laborversuchen festgestellten Abweichungen zwischen der mit dem Messsystem und der über die Darrmethode ermittelten Holzfeuchte (max. Δu = 1 %) wurde nicht vorgenommen.

Die erhaltenen Messwerte lassen in Kombination mit dem erarbeiteten Programm vielfältigste Optionen der Auswertung zu. Für den vorliegenden Bericht wurden die Messwerte in mehreren Diagrammen wie folgt grafisch aufbereitet. Für die zwei in jedem Objekt installierten Messstellen werden die Werte der Holzfeuchte als Verläufe über die Zeit und über den Querschnitt angezeigt. Vereinzelt aufgetretene Messperioden mit fehlenden oder belegbar fehlerhaften Messungen wurden hierbei nicht berücksichtigt. Als Anhaltspunkt für die Anpassung der Holzfeuchte an das schwankende Umgebungsklima wurde in diese Diagramme zudem die Ausgleichsfeuchte von Holz nach dem theoretischen Sorptions- Modell von (Hailwood & Horrobin, 1946) eingefügt. Hierzu wurden die von (Simpson, 1973) für das Hailwood-Horrobin-Modell bestimmten Koeffizienten für Holz verwendet. Mehrere Untersuchungen, u.a. von (Fortuin, 2003) belegen, dass dieser Ansatz die genauesten Ergebnisse liefert. 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 (siehe Abschnitt 2.2.3), wurde für die Ausgleichsfeuchte ein gleitender Durchschnitt über zehn Tage berechnet. Der Einfluss filmbildender Anstriche (in zwei Eishallen vorhanden) wurde hierbei nicht berücksichtigt. In einem weiteren Diagramm werden die minimalen und maximalen Holzfeuchtewerte über den Querschnitt als Umhüllende zusammen mit den jeweiligen über den Messzeitraum ermittelten Mittelwerten dargestellt. In gleicher Form wird die Umhüllende der Holzfeuchtegradienten dargestellt. Der Verlauf des Hallenklimas ist in einem zusätzlichen Diagramm enthalten und kann dafür verwendet werden, die Korrelation zwischen Holzfeuchte und den klimatischen Randbedingungen nachzuvollziehen.

6 Ergebnisse der Langzeitmessung

6.1 Allgemeines

Für diesen Schlussbericht wurden alle zur Verfügung stehenden Messdaten bearbeitet. Ausgewertet wurden die Daten vom 01. Oktober 2010 bis einschließlich 30. September 2011. Das entspricht dem Zeitraum vom 4. Quartal 2010 zum 3. Quartal 2011 und somit der auszuwertenden Messdauer von einem Jahr.

6.2 Verlauf der Holzfeuchte und des Hallenklimas

Die Messwerte der Holzfeuchte in den vier Messtiefen sind in einem Diagramm je Messstelle über den betrachteten Zeitraum dargestellt. Aus diesem Verlauf können die Schwankungen der Holzfeuchte über den Messzeitraum abgelesen werden (vgl. Abbildung 21). Als Anhaltspunkt für die Holzfeuchteänderungen aufgrund des schwankenden Umgebungsklimas wurde in diese Diagramme zudem die Ausgleichsfeuchte eingefügt.

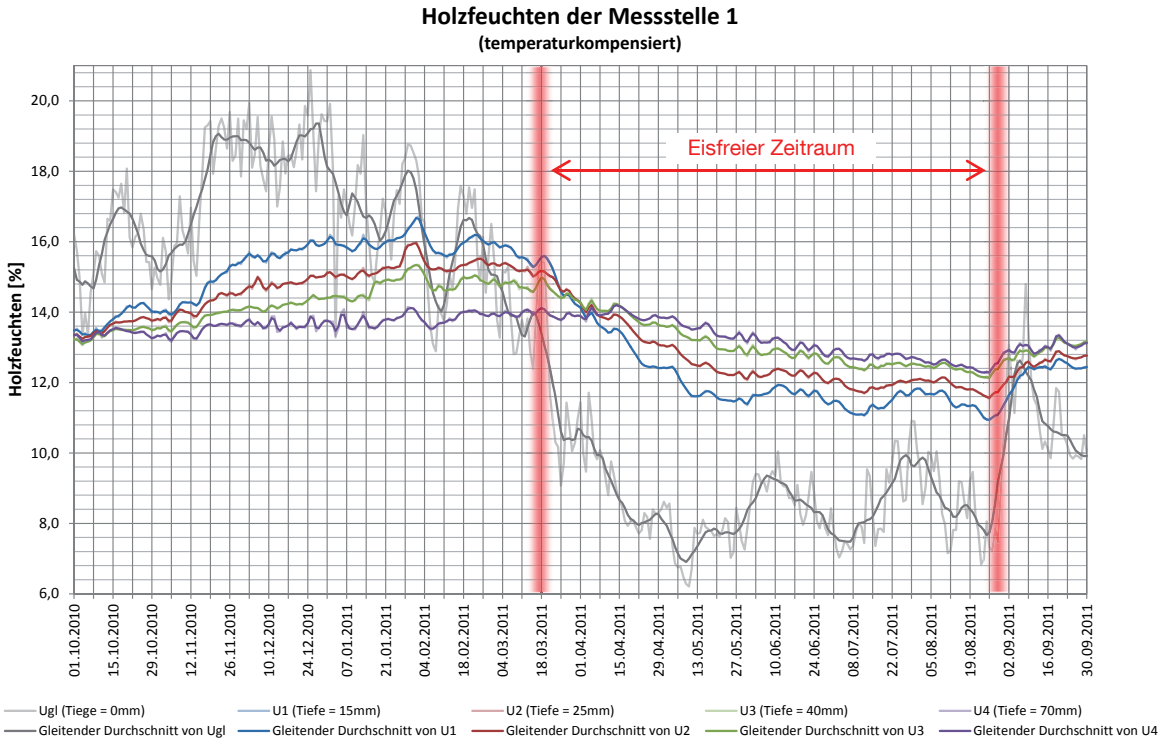


Abbildung 21: Verlauf der Holzfeuchte über den betrachteten Messzeitraum am Beispiel der Eissporthalle in Buchloe (die Messwerte und der gleitende Durchschnitt liegen teilweise übereinander).

Des Weiteren ist für alle Objekte ein Diagramm mit der relativen und absoluten Luftfeuchtigkeit sowie der Referenztemperatur an der jeweiligen Messstelle angefügt (vgl. Abbildung 22).

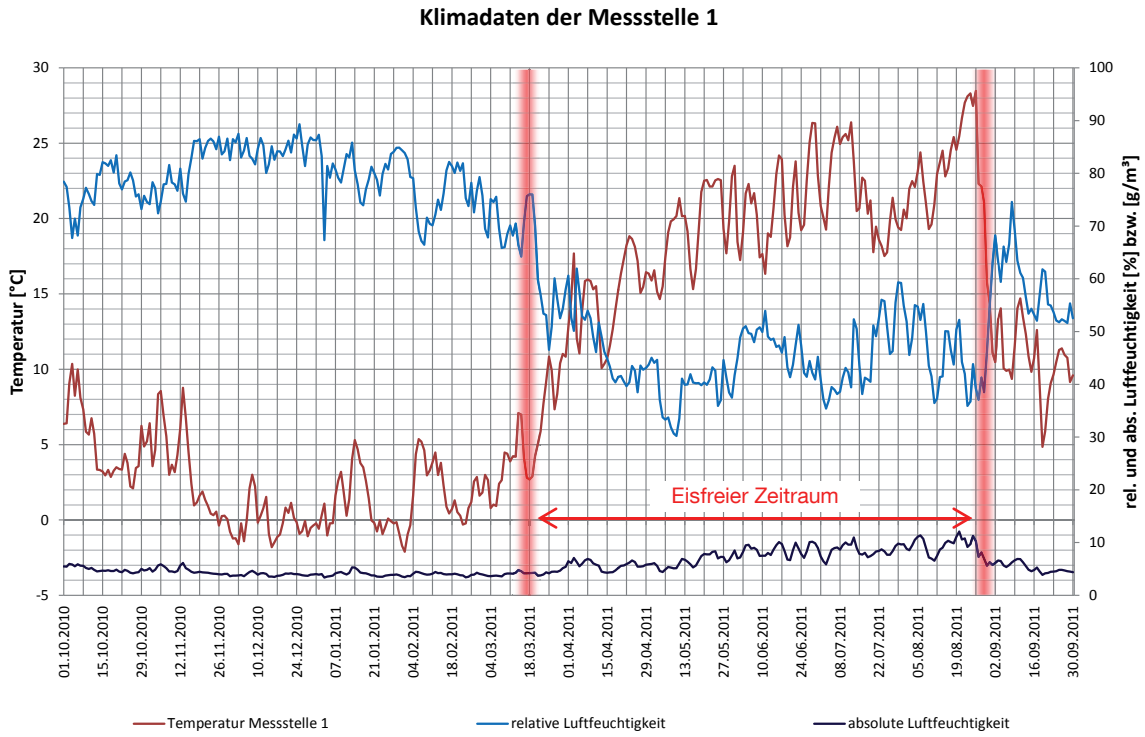


Abbildung 22: Verlauf der relativen und absoluten Luftfeuchtigkeit sowie der Referenztemperatur über den betrachteten Messzeitraum am Beispiel der Eissporthalle in Buchloe.

6.3 Resultierende Querschnittsverläufe

Bei genauer Betrachtung der vier Verläufe der Holzfeuchte aus den zuvor gezeigten Diagrammen ist eine Ableitung der Querschnittsverläufe bereits möglich. Um den Holzfeuchtegradienten genauer darzustellen und um die Auswirkungen des Hallenklimas auf die Holzfeuchteverteilung über den Querschnitt zu verdeutlichen, wurde bei der Auswertung der Ergebnisse ein weiteres Diagramm angefertigt, in dem Querschnittsverläufe zu verschiedenen Zeitpunkten miteinander verglichen werden können. Die Zeitpunkte der Auswertung wurden so gewählt, dass der Messzeitraum von einem Jahr in vier etwa gleich lange Abschnitte unterteilt wird. Obwohl die Holzfeuchtemessungen nur an einer Trägerseite durchgeführt wurden, werden die Ergebnisse in den Diagrammen zur Verdeutlichung der Verläufe an der Symmetrielinie des Trägers gespiegelt. Ein beispielhaftes Ergebnis dieser Auswertung ist in Abbildung 23 gegeben.

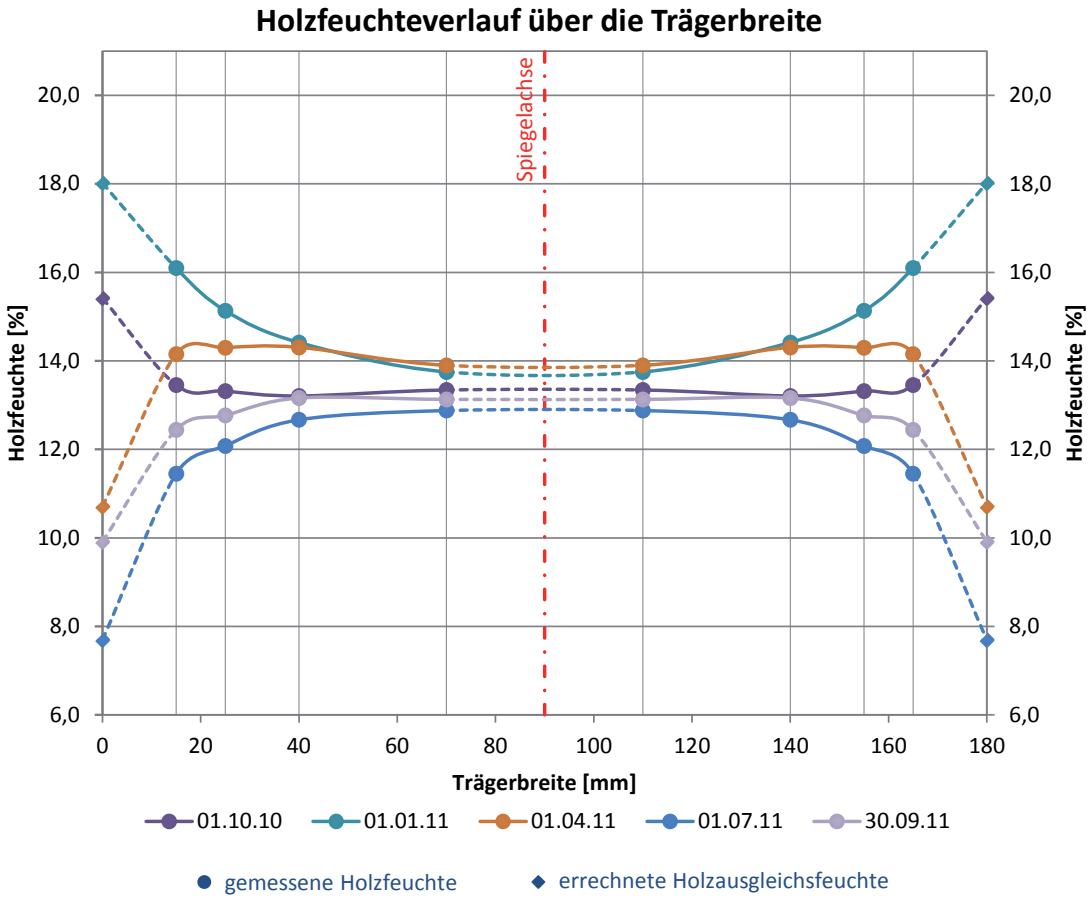


Abbildung 23: Verlauf der Holzfeuchte über den Querschnitt des Tragwerks am Beispiel der Eissporthalle in Buchloe.

Die minimalen und maximalen Werte der über den betrachteten Auswertungszeitraum in den unterschiedlichen Tiefen gemessenen Holzfeuchten sowie der berechneten Ausgleichsfeuchten an der Trägeroberfläche sind als umhüllende Holzfeuchteverläufe in einem weiteren Diagramm dargestellt (vgl. Abbildung 24). In diesen Diagrammen kann man erkennen, dass sowohl der Schwankungsbereich der Holzfeuchte, als auch der zugehörige Mittelwert vom Abstand zur Oberfläche abhängt. Mit zunehmender Tiefe sinkt die Amplitude des Holzfeuchteverlaufes über die Zeit aufgrund der dämpfenden Wirkung der zwischen Messpunkt und Oberfläche liegenden Holzschicht. In gleicher Form ist die Umhüllende der Gradienten der Holzfeuchte grad(u) = du / dx, ausgewertet zwischen den einzelnen Tiefen der Holzfeuchtemessungen, in einem Diagramm dargestellt (vgl. Abbildung 25).

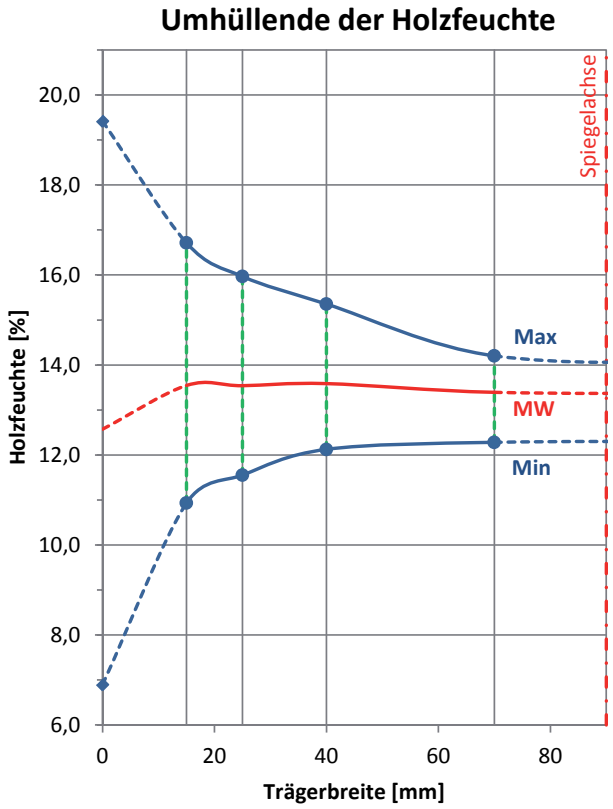


Abbildung 24: Umhüllende der Holzfeuchte über den Querschnitt des Tragwerks am Beispiel der Eissporthalle in Buchloe.

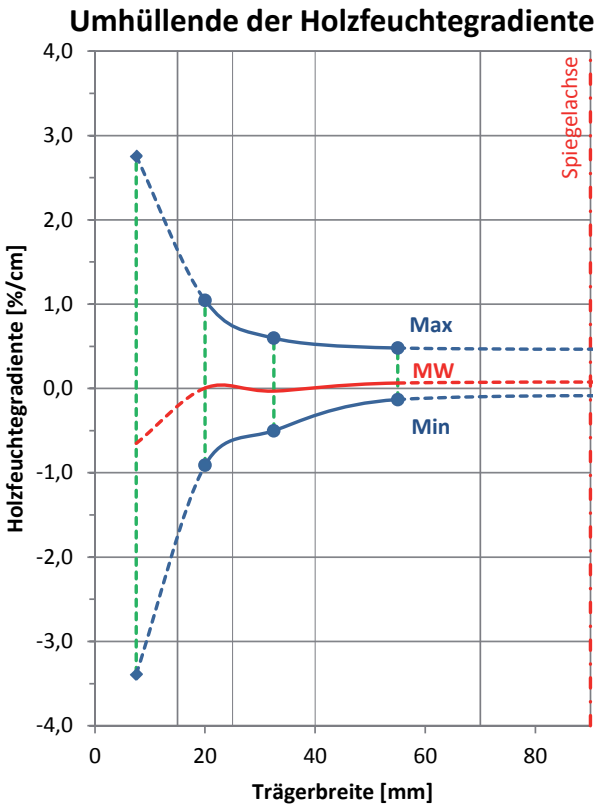


Abbildung 25: Umhüllende der Holzfeuchte-gradiente über den Querschnitt des Tragwerks am Beispiel der Eissporthalle in Buchloe.

6.4 Ergebnisse und Anmerkungen zu den untersuchten Nutzungsarten

Ein Vergleich der Ergebnisse zeigt viele Gemeinsamkeiten der einzelnen Objekte innerhalb einer Nutzungsart. Zwischen den Nutzungsarten sind oft markante Unterschiede feststellbar. Im Folgenden wird eine tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse aller Objekte, je Nutzungsart, aufgeführt. Diese Darstellungsweise wurde gewählt, da eine graphische Auswertung zwar unmittelbar verständlich ist, jedoch keinen schnellen und prägnanten Überblick über die Ergebnisse aller Objekte zulässt. Für die grafischen Auswertungen von Holzfeuchte, relativer Luftfeuchte, Temperatur und Holzfeuchtegradiente jedes Objektes wird auf den Anhang verwiesen. Die tabellarische Zusammenfassung enthält neben den für den Messzeitraum ermittelten Mittelwerten von Luftfeuchte, Temperatur (jeweils beruhend auf Tagesmittelwerten) und Holzfeuchte, für alle drei Parameter auch die maximale Amplitude, d.h. die Differenz zwischen größtem und niedrigstem über den Messzeitraum ermittelten Messwert. Für die Holzfeuchte ist zudem die maximale Gradiente der Holzfeuchte grad(u) = du/dx zwischen zwei benachbarten Messstellen sowie die maximale Holzfeuchtedifferenz zwischen innerster und äußerster Messstelle angegeben. Eine graphische Erläuterung der in den Tabellen aufgeführten Daten enthält Abbildung 26.

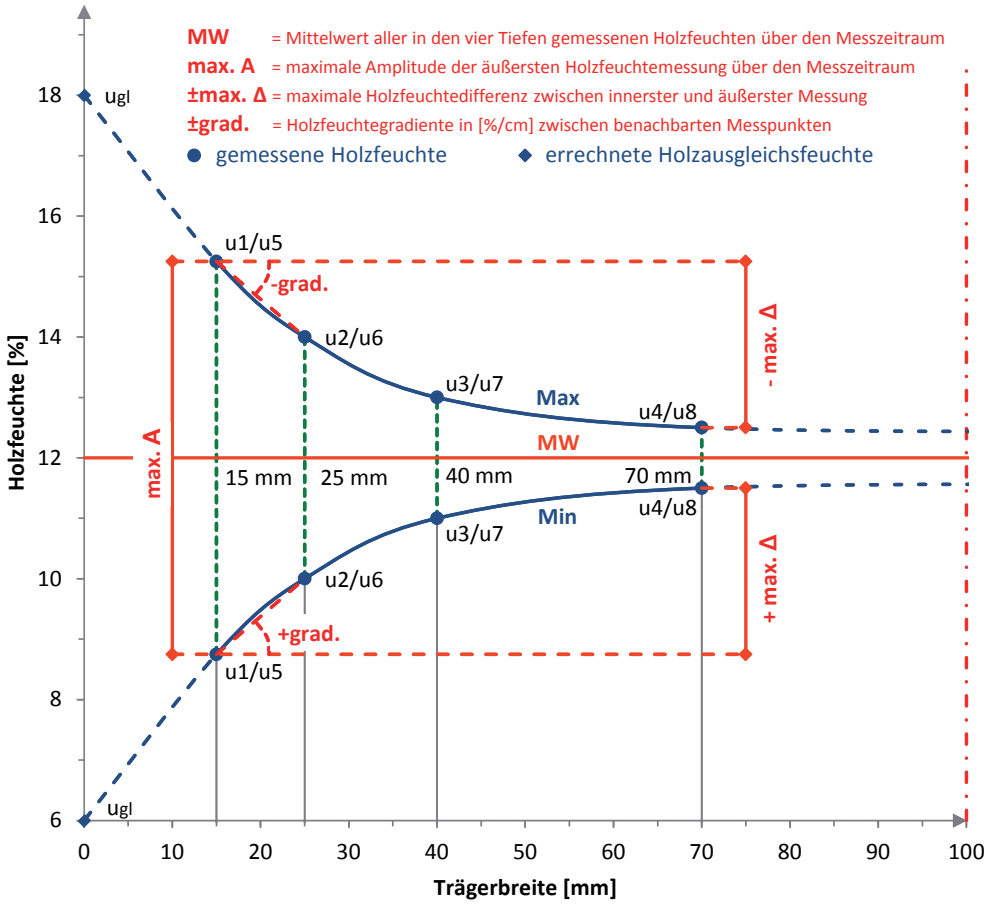


Abbildung 26: Schematische Darstellung des maximalen und minimalen umhüllenden Feuchteverlaufs im Holzquerschnitt mit Bezeichnung der ausgewerteten Größen.

Kategorie A – Schwimmhallen

Bei den untersuchten Schwimmhallen lässt sich ein sehr konstantes und warmes Hallenklima feststellen. Die durchschnittliche Lufttemperatur beträgt ca. 30°C und die relative Luftfeuchte um 50%. Es ist anzumerken, dass die Klimasensoren in den Schwimmhallen, vermutlich aufgrund der für die Messtechnik aggressiven, chlorhaltigen Luft, zeitweise ausfielen. Dementsprechend beruhen die in Tabelle 4 mit * gekennzeichneten Werte auf den Ergebnissen des regulär aufgezeichneten Messzeitraums. Durch die Klimatisierung ist das Klima in den untersuchten Schwimmhallen unabhängig vom Außenklima. Die Holzfeuchte verläuft konstant und weist nur geringe Schwankungen und kleine Gradienten auf. Eine Ausnahme stellt das Messobjekt A2 (Wellenbad Penzberg) dar, in welchem die Messtechnik in einem Übergangsbereich zu einem Außenbecken installiert war. Aufgrund der kälteren Außenluft, die durch die Öffnung nach innen gelangt, ist die relative Luftfeuchte und damit auch die Holzfeuchte hier stark erhöht und stärkeren Schwankungen unterworfen. In Objekt A3 (Schwimmhalle Prienavera) wurden ab März 2011 (ca. sechs Monate nach Beginn der Messungen) umfangreiche Renovierungsarbeiten durchgeführt und das Objekt für den folgenden Zeitraum geschlossen. Auf diesen Umstand ist der starke Abfall der Holzfeuchte und das Ansteigen der Holzfeuchtegradiente in den Randbereichen des Holzquerschnittes sowie der Anstieg der Temperatur bei Messobjekt A3 zurückzuführen. Durch die Renovierungsarbeiten bedingt war in diesem Objekt die Messtechnik temporär zu deinstallieren, was die zum Ende der Messperiode hin fehlenden Messzeiträume in den im Anhang gegebenen Grafiken erklärt.

Tabelle 4: Mittelwerte der einzelnen Messwerte über den gemessenen Zeitraum von 01. Oktober 2010 bis 30. September 2011 für die Objekte der Kategorie A.

Objekt	Holzfeuchte Messstelle 1						Holzfeuchte Messstelle 2						Temperatur		rel. Luftfeuchte	
	MW [%]	max. A [%]	±max. Δ [%]		±max. Grad. [%/cm]		MW [%]	max. A [%]	±max. Δ [%]		±max. Grad. [%/cm]		MW [°C]	max. A [°C]	MW [%]	max. A [%]
A1	8,75	1,38	+1,01	-0,04	+0,11	-0,18	9,26	1,22	+0,37	-0,21	+0,49	+0,03	29,68	6,67	48,26*	6,75*
A2	16,06	1,76	+0,60	-0,48	+0,55	-0,36	14,96	2,60	+1,65	-0,60	+1,31	-0,27	28,72	6,04	88,60*	19,40*
A3	8,68	1,63	+4,82	+2,33	+1,41	+0,66	7,71	1,80	+1,69	+0,22	+1,04	+0,30	30,48	19,50	45,55*	28,95*

* Da es bei diesen Objekten zu einem zeitweisen Ausfall der Klimasensoren kam, beruhen die Werte auf den Ergebnissen des regulär aufgezeichneten Messzeitraums.

Kategorie B – Eissporthallen:

Das Umgebungsklima in geschlossenen, nicht klimatisierten Eishallen (Objekte B1 – Eishalle Landsberg und B2 – Eishalle Buchlohe) ist durch eine deutliche Änderung zwischen den Wintermonaten und den Sommermonaten (eisfreie Zeit) geprägt. Herrschen in den Wintermonaten durchschnittlich Temperaturen von 4° bei ca. 75% relativer Luftfeuchte, so ändert sich dies in den Sommermonaten auf Werte von ca. 15° und 60% relativer Luftfeuchte. Die dementsprechende Anpassung der Holzfeuchte innerhalb dieses Zeitraums wird durch die große jahreszeitliche Amplitude (Tabelle 5) belegt und ist auch in den im Anhang gegebenen Diagrammen gut zu erkennen. In den Objekten B3 (Olympia-Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen) und B4 (Bundesleistungszentrum Füssen) stellt sich bei Betrieb der dort vorhandenen Heizung über eine

Lüftungsanlage ein gemäßigteres Hallenklima mit geringeren jahreszeitlichen Schwankungen ein. Hierbei ist anzumerken, dass das Objekt B3 im Zeitraum Dez. 2010 – Anfang März 2011 als Pressezentrum für eine Sportveranstaltung genutzt wurde, was die hohen Temperaturen und geringen relativen Luftfeuchten innerhalb dieses Zeitraums erklärt. In den Objekten B1 (Eishalle Landsberg) und B4 (Bundesleistungszentrum Füssen) ist eine dämpfende Wirkung des filmbildenden Anstrichs auf die Holzfeuchteänderungen und die Größe der Holzfeuchtegradiente festzustellen. Im Objekt B1 (Eishalle Landsberg) wurden im Mai 2011 Renovierungsarbeiten durchgeführt. Diese resultierten jedoch in keiner nennenswerten Änderung der Umgebungsbedingungen. Bei geschlossenen, nicht klimatisierten Eishallen wird das Hallenklima in abgeschwächter Form vom Außenklima beeinflusst. In allen Objekten stellt die Eisfläche einen zweiten, nicht zu vernachlässigenden Einflussfaktor dar. Das zeigt sich in den Holzfeuchten, die über den Eisflächen (B1 MST1, B2 MST2, B3 MST1, B4 MST2) im Mittel um 1.5 % höher sind als in den Randbereichen der Halle (siehe Tabelle 5). Es wird darauf hingewiesen, dass die Messung der Holzfeuchte an den Trägerseitenflächen und nicht an der der Eisfläche gegenüberliegenden und damit feuchteren Trägerunterseite durchgeführt wurde. In den Sommermonaten ist das Klima in den Hallen stärkeren Schwankungen unterworfen, was auf den fehlenden Einfluss der Eisfläche bei gleichzeitigem Fehlen einer Dachdämmung zurückgeführt werden kann.

Tabelle 5: Mittelwerte der einzelnen Messwerte über den gemessenen Zeitraum von 01. Oktober 2010 bis 30. September 2011 für die Objekte der Kategorie B.

Objekt	Holzfeuchte Messstelle 1						Holzfeuchte Messstelle 2						Temperatur		rel. Luftfeuchte	
	MW [%]	max. A [%]	±max. Δ [%]		±max. Grad. [%/cm]		MW [%]	max. A [%]	±max. Δ [%]		±max. Grad. [%/cm]		MW [°C]	max. A [°C]	MW [%]	max. A [%]
B1	15,55	3,28	+1,73	-1,00	+0,89	-0,54	14,19	2,46	+0,45	-1,86	+0,68	-0,27	9,42	26,15	68,98	43,96
B2	13,54	5,78	+1,94	-2,76	+0,91	-1,05	15,24	6,55	+1,85	-3,87	+1,23	-0,77	9,86	29,90	62,20	59,06
B3	10,82	5,05	+3,77	-1,59	+1,54	-1,05	9,58	4,00	+2,13	-1,67	+1,28	-0,40	19,91	14,13	40,21	57,00
B4	13,32	1,92	+0,93	-0,61	+0,73	+0,16	14,91	2,82	-0,35	-2,08	-0,05	-0,69	9,16	18,82	68,31	44,67

Kategorie C – Reithallen

Mit einer durchschnittlichen relativen Luftfeuchte von fast 80% ist in den untersuchten Reithallen ein sehr feuchtes Klima anzutreffen, welches im Winter tendenziell höhere Luftfeuchten aufweist als im Sommer. Begründet werden kann dies durch die ungedämmte Bauweise der Reithallen sowie der fehlenden Beheizung, wodurch in den Wintermonaten teils sehr niedrige Temperaturen zu beobachten sind. Durch den Betrieb der Sprinkleranlagen kommt es dabei zu sehr hohen Luftfeuchten bis hin zum Tauwasserausfall. Die Holzfeuchten sind erwartungsgemäß hoch und betragen im Mittel fast 16%, siehe Tabelle 6. Wie bei anderen vom Aussenklima beeinflussten Nutzungen sind die Holzfeuchten zudem starken Schwankungen unterworfen. Auch die Holzfeuchtegradienten sind merklichen Änderungen unterworfen. Extremwerte wurden jedoch nicht verzeichnet, da die Anpassung der Holzfeuchte zu einem großen Teil auf der jahreszeitlichen Anpassung des Aussenklimas beruht.

Tabelle 6: Mittelwerte der einzelnen Messwerte über den gemessenen Zeitraum von 01. Oktober 2010 bis 30. September 2011 für die Objekte der Kategorie C.

Objekt	Holzfeuchte Messstelle 1						Holzfeuchte Messstelle 2						Temperatur		rel. Luftfeuchte	
	MW	max. A	±max. Δ		±max. Grad.		MW	max. A	±max. Δ		±max. Grad.		MW	max. A	MW	max. A
	[%]	[%]	[%]		[%/cm]		[%]	[%]	[%]		[%/cm]		[°C]	[°C]	[%]	[%]
C1	17,12	3,25	+1,28	-1,01	+0,65	-0,54	16,39	3,37	-0,02	-2,80	-0,23	-1,25	13,28	22,51	79,71	52,63
C2	15,48	5,06	+0,09	-2,96	-0,14	-2,77	15,83	3,78	+1,15	-1,38	+0,78	-0,70	10,53	28,63	77,79	48,57
C3	14,42	4,95	+2,69	-1,46	+0,71	-1,13	15,48	4,52	+1,75	-1,59	+0,78	-0,49	9,76	30,48	77,85	52,29

Kategorie D – Sporthallen

In den Sporthallen ist ein sehr konstantes Klima zu beobachten, das mit einer Luftfeuchte von ca. 40 bis 50% eher trocken ist. Die Durchschnittstemperaturen betragen ca. 20 °C und sind durch die Belüftung und Beheizung der Hallen weitgehend unabhängig vom Außenklima. Daraus ergeben sich Holzfeuchten im Bereich von 8 bis 10% die sich über das Jahr hinweg nur wenig verändern (siehe Tabelle 7). Hierbei stellt das Messobjekt D1 (Paul-Wegmann-Halle Ingolstadt) eine Ausnahme dar, da sich das Tragwerk in einer Lichtkuppel befindet. Hier wurden, abweichend von den anderen Sporthallen und bedingt durch die direkte Sonneneinstrahlung, höhere Temperaturen und deutlich geringere durchschnittliche Luftfeuchten (MW 27%) gemessen. Mit durchschnittlich gemessenen Holzfeuchten von 4 bzw. 6% sind die Querschnitte dieses Tragwerkes sehr trocken. Es ist anzumerken, dass die verwendete Messtechnik die Holzfeuchte trockener Bauteile tendenziell unterschätzt (siehe Abschnitt 5.4). Für alle Objekte gilt, dass die während des Betriebes ermittelten Holzfeuchtegradienten sehr gering sind.

Tabelle 7: Mittelwerte der einzelnen Messwerte über den gemessenen Zeitraum von 01. Oktober 2010 bis 30. September 2011 für die Objekte der Kategorie D.

Objekt	Holzfeuchte Messstelle 1						Holzfeuchte Messstelle 2						Temperatur		rel. Luftfeuchte	
	MW	max. A	±max. Δ		±max. Grad.		MW	max. A	±max. Δ		±max. Grad.		MW	max. A	MW	max. A
	[%]	[%]	[%]		[%/cm]		[%]	[%]	[%]		[%/cm]		[°C]	[°C]	[%]	[%]
D1	4,37	2,10	+0,58	-0,28	+0,26	-0,16	5,95	1,22	+1,05	+0,02	+0,73	+0,16	27,38	26,68	27,66	29,65
D2	7,98	2,02	+0,71	-0,94	+0,18	-0,26	8,10	2,06	+1,12	-0,64	+0,65	-0,18	20,58	16,72	42,77	42,01
D3	10,21	2,16	+1,33	-0,52	+0,76	-0,10	10,02	2,15	+1,67	-0,17	+0,67	-0,12	20,84	7,90	51,21	33,95

Kategorie E – Produktions- und Verkaufshallen

Das Klima in den beiden untersuchten Hallen ist aufgrund der sehr unterschiedlichen Nutzung nur partiell miteinander vergleichbar. Beide Hallen werden teilweise vom Außenklima beeinflusst, aufgrund der Beheizung sind die Schwankungen der Luftfeuchte- und Temperatur jedoch gedämpft, siehe Tabelle 8. Auch der Verlauf der Holzfeuchte und der Holzfeuchtegradiente während des Betriebes ist dementsprechend sehr konstant. Das Messobjekt E2 (Produktionshalle Füssen) repräsentiert eine außergewöhnliche Nutzung. Durch Schmiedearbeiten herrschen in dieser Halle mit teilweise über 30°C sehr hohe Temperaturen bei einer gleichzeitig extrem geringen Luftfeuchte, die über lange Zeit unter 20% lag. Daraus ergibt sich eine durchschnittlich gemessene Holzfeuchte unter 5%. Anfang August 2011 wurde die Produktion in der Halle

eingestellt und der Schmiedeofen, der das Klima im der Halle maßgeblich beeinflusste, abgeschaltet. Die dadurch bewirkte plötzliche Änderung der klimatischen Umgebungsbedingungen kann zu schnellem Auffeuchten und dementsprechend zu erheblicher Rissbildung im Querschnittsinneren der gekrümmten Träger führen. Dies zeigt sich auch schon ansatzweise in der erhöhten Holzfeuchtegradiente der Messstelle 2. Bedingt durch den auszuwertenden Messzeitraum konnten jedoch nur die ersten zwei Monate der Anpassung der Holzfeuchte an das geänderte Umgebungsklima abgedeckt werden.

Tabelle 8: Mittelwerte der einzelnen Messwerte über den gemessenen Zeitraum von 01. Oktober 2010 bis 30. September 2011 für die Objekte der Kategorie E.

Objekt	Holzfeuchte Messstelle 1						Holzfeuchte Messstelle 2						Temperatur		rel. Luftfeuchte	
	MW	max. A	±max. Δ		±max. Grad.		MW	max. A	±max. Δ		±max. Grad.		MW	max. A	MW	max. A
	[%]	[%]	[%]		[%/cm]		[%]	[%]	[%]		[%/cm]		[°C]	[°C]	[%]	[%]
E1	7,70	1,84	+0,65	-1,17	+0,51	-0,11	7,77	1,55	+0,27	-1,28	+0,51	-0,13	18,35	17,50	40,86	38,59
E2	4,80	1,86	+0,53	-0,72	+0,66	-0,31	4,69	2,20	+0,92	-1,11	+0,54	-0,85	27,09	21,32	25,78	49,93

Kategorie F – Landwirtschaftliche Hallen

In den untersuchten landwirtschaftlichen Hallen mit Viehhaltung herrscht wegen der offenen und ungedämmten Bauweise und der starken Belüftung (Seitenflächen teilweisen ganzjährig offen, zusätzlich Dachentlüftung) praktisch Außenklima. Die relative Luftfeuchte ist aufgrund des Feuchteeintrags durch das Vieh leicht erhöht. Aus einer durchschnittlichen relativen Luftfeuchte von ca. 70% ergeben sich Holzfeuchten im Bereich von 15%, die zudem stark schwanken (siehe Tabelle 9). Landwirtschaftliche Hallen sind in ihren Klimarandbedingungen demnach gut mit Reithallen vergleichbar, bei etwas gedämpften Höchstwerten der relativen Luftfeuchte.

Tabelle 9: Mittelwerte der einzelnen Messwerte über den gemessenen Zeitraum von 01. Oktober 2010 bis 30. September 2011 für die Objekte der Kategorie F.

Objekt	Holzfeuchte Messstelle 1						Holzfeuchte Messstelle 2						Temperatur		rel. Luftfeuchte	
	MW	max. A	±max. Δ		±max. Grad.		MW	max. A	±max. Δ		±max. Grad.		MW	max. A	MW	max. A
	[%]	[%]	[%]		[%/cm]		[%]	[%]	[%]		[%/cm]		[°C]	[°C]	[%]	[%]
F1	16,35	3,69	-0,93	-3,65	-0,33	-1,16	15,64	2,95	-0,86	-2,66	-0,54	-1,86	11,59	21,58	74,67	45,60
F2	14,88	5,58	-0,07	-2,84	-0,70	-2,05	15,12	3,67	+0,18	-2,06	-0,10	-1,41	14,24	22,39	68,35	48,05
F3	14,44	4,74	-1,35	-5,55	-0,91	-2,77	15,24	4,49	-1,19	-5,09	-0,73	-2,58	12,60	28,17	69,22	54,08

Kategorie G – Lagerhallen

Da Lagerhallen meist offen sind, ist das Hallenklima stark vom Außenklima abhängig. Die Holzfeuchten stellen sich im Mittel bei ca. 12% ein, schwanken wegen des Einflusses des Außenklimas jedoch stärker als bei allen anderen untersuchten Nutzungsarten (Tabelle 10). In der Halle des Messobjekts G1 (Pflanzenhalle Willibaldstraße München) stellen sich aufgrund des hohen Feuchteeintrags durch die winterliche Lagerung von Pflanzen höhere Luftfeuchten ein als bei den anderen Messobjekten. Das führte zeitweise zu erheblicher Tauwasserbildung an den

Oberflächen des Holztragwerks der Lagerhalle was zur größten jahreszeitlichen Amplitude der Holzfeuchte wie auch den größten Holzfeuchtegradienten aller untersuchten Objekte resultierte.

Tabelle 10: Mittelwerte der einzelnen Messwerte über den gemessenen Zeitraum von 01. Oktober 2010 bis 30. September 2011 für die Objekte der Kategorie G.

Objekt	Holzfeuchte Messstelle 1						Holzfeuchte Messstelle 2						Temperatur		rel. Luftfeuchte	
	MW [%]	max. A [%]	±max. Δ [%]		±max. Grad. [%/cm]		MW [%]	max. A [%]	±max. Δ [%]		±max. Grad. [%/cm]		MW [°C]	max. A [°C]	MW [%]	max. A [%]
G1	10,49	8,67	+2,99	-5,20	+1,19	-3,22	13,94	5,41	+1,42	-2,56	+0,72	-2,15	10,12	32,64	74,32	62,49
G2	13,27	6,10	+1,21	-4,41	+1,16	-1,38	12,69	3,59	+0,67	-2,47	+0,48	-1,00	9,67	32,46	67,13	54,01
G3	11,55	3,58	+1,71	-1,44	+1,12	-0,29	12,07	2,86	+0,70	-1,74	+0,65	-0,67	13,36	25,60	61,35	44,04

7 Fazit und Ausblick

7.1 Fazit

Ziel des Forschungsvorhabens war, mittels Langzeitmessserien unterschiedliche klimatische Beanspruchungsarten und das sich daraus ergebende Gefährdungspotential bezogen auf holzbautypische Gebäudetypen und -nutzungen zu ermitteln. Das dafür entwickelte Messsystem erwies sich als grundsätzlich geeignet, Langzeitmessungen der Holzfeuchte und des Klimas in Hallen in Holzbauweisen zu realisieren. In 21 untersuchten Objekten mit je zwei Messstellen waren nur in den Schwimmhallen Ausfälle von Klimasensoren und ein Ausleseproblem bei einem Datenlogger festzustellen. Die defekten Komponenten, an welchen Flugrostbildung festgestellt wurde, konnten ausgetauscht werden, fielen aber nach kurzer Zeit erneut aus. Es liegt die Vermutung nahe, dass die Defekte auf das für metallische Sensoren sehr aggressive, chlorhaltige Klima in den Schwimmbädern zurückzuführen sind. So korrodierten selbst die vernickelten Anschlüsse der Datenlogger und der Verbindungskabel, was in einem Fall zum kompletten Ausfall des Datenloggers führte.

Im betrachteten Auswertezeitraum vom 1. Oktober 2010 mit 30. September 2011 wurden insgesamt über 2,2 Millionen Messwerte erfasst und mit Hilfe eines eigens entwickelten Programmes ausgewertet. Für jedes Messobjekt wurden Diagramme zum Verlauf der Holzfeuchte und des Hallenklimas erstellt. Aus letzterem wurde die sich einstellende Ausgleichsfeuchte des Holzes errechnet und mit den gemessenen Holzfeuchteverläufen überlagert. Die Verwendung von unterschiedlich langen Messelektroden ermöglichte klare Aussagen über den Verlauf der Holzfeuchte in den Querschnitten. Aus diesen Verläufen lässt sich mit zunehmender Messtiefe im Holzquerschnitt sowohl eine gedämpfte als auch eine zeitliche Verzögerung der Anpassung der Holzfeuchte an die Umgebungsbedingungen erkennen. Daraus ergeben sich über die Trägerbreite unterschiedliche Holzfeuchten welche aufgrund der zugehörigen Schwind- und Quellverformungen zu Spannungen im Holzquerschnitt führen. Um die Auswirkungen der klimatischen Randbedingungen auf die Holzfeuchteverteilung im Querschnitt besser darstellen zu können, wurde zudem für jede Messstelle ein Querschnittsverlauf der Holzfeuchte erstellt. Aus diesen Diagrammen kann die Größe der vorliegenden Feuchtegradiente abgelesen sowie die Differenz der Holzfeuchte zwischen Bauteiloberfläche und Querschnittsinneren ermittelt werden. Beide Parameter bilden die Grundlage, um Rückschlüsse auf die Größe der feuchteinduzierten Spannung und damit potentieller Rissentstehung zu ziehen. Um belastbare Anhaltswerte für kritische Zustände der Holzfeuchteverteilung und Holzfeuchtegradienten hinsichtlich potentieller Rissentstehung geben zu können, sind noch umfangreiche Forschungstätigkeiten in Form von Modellbildungen und Sensitivitätsstudien, gepaart mit Laborversuchen notwendig. Die in diesem Forschungsprojekt gewonnenen Messdaten bilden die Grundlage zur Beantwortung der Fragestellung hinsichtlich in der Praxis auftretender Zustände.

Ein Vergleich der Ergebnisse der einzelnen Nutzungen bestätigt die große Bandbreite der möglichen klimatischen Bedingungen in Bauwerken mit Holztragwerken. Diese resultiert, über alle

Nutzungen hinweg betrachtet, in mittleren Holzfeuchten zwischen 4.4 % und 17.1 %. Die Holzfeuchtegradienten fallen in gedämmten und klimatisierten Bauwerken geringer aus als in Bauwerken mit stärkerem Einfluss des jahreszeitlich schwankenden Aussenklimas.

Für Schwimmhallen wurden sehr konstante, hinsichtlich der Ausgleichsfeuchte der Holzbauteile unkritische Randbedingungen festgestellt. Ausnahme bilden Übergangsbereiche zum Aussenklima, in denen aufgrund des Absinkens der Temperatur, sehr hohe Luftfeuchten auftreten können, die zudem stärkeren Schwankungen unterworfen sind.

Das Klima in Eishallen ist starken jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Die Holzfeuchte in Eissporthallen ist generell hoch und schwankt stark. Durch eine Klimatisierung der Eishallen kann dieser Effekt deutlich gedämpft werden, wobei die Größe der Dämpfung davon abhängt in welchem Ausmaß die Klimageräte eingesetzt werden. Die stärkste Änderung der klimatischen Bedingungen, resultierend in größeren Holzfeuchtegradienten, ergab sich zum Zeitpunkt der Eisherstellung nach der Sommerpause.

Vergleichbare jahreszeitliche Schwankungen ergeben sich in Reithallen. In den Wintermonaten führt das Zusammenspiel von kalter Luft und der von den Sprinkleranlagen eingebrachten Feuchte häufig zu Tauwasserausfall. Um diese Folgeerscheinung zu reduzieren sollten die Sprinkleranlagen in der kalten Jahreszeit nur eingesetzt werden, wenn dies für den Reitbetrieb unbedingt erforderlich ist. Wie in anderen vom Aussenklima beeinflussten Nutzungen ergeben sich starke Schwankungen der Holzfeuchte, die aufgrund des jahreszeitlichen Charakters der Schwankungen in merklichen, nicht jedoch in außergewöhnlich hohen Holzfeuchtegradienten resultieren.

In Sporthallen wurde durchgängig ein konstantes aber trockenes Klima festgestellt. Verstärkt zeigte sich letztgenannter Effekt in Bereichen direkter Sonneneinstrahlung z.B. im Bereich von Lichtbändern. Dies bedingt, dass schon bei Herstellung, Transport und Einbau darauf geachtet werden sollte, dass die Holzfeuchte der Bauteile nicht zu sehr von der späteren Ausgleichsfeuchte abweichen sollte ($u \leq 12\%$). Der hinsichtlich des Gefährdungspotentials für die Entstehung von Schwindrissen kritischste Zeitraum wird in den meisten Fällen der erste Winter nach Erstellung des Bauwerkes sein. In diesem Zeitraum sollte beim Einsatz der Heizanlagen darauf geachtet werden, die relative Luftfeuchte nicht zu schnell und zu stark abzusenken. Eine künstliche Luftbefeuchtung, z.B. in Form von Verdunstungsbecken wäre eine weitere Möglichkeit, die Geschwindigkeit der Austrocknung der Holzquerschnitte zu dämpfen. Eine Alternative stellt eine Oberflächenbehandlung der Holzquerschnitte, z.B. in Form von Feuchteschutzmitteln dar, welche die Feuchteaufnahme und –abgabe für die ersten Jahre nach der Erstellung des Bauwerkes dämpft.

Produktions- und Verkaufshallen können, in Abhängigkeit der speziellen Nutzung, unterschiedliche klimatische Bedingungen aufweisen. Die Klimarandbedingungen sind dementsprechend objektspezifisch zu ermitteln. Meist werden diese jedoch einem konstanten

und trockenen Klima zuzurechnen sein. Vor allem für Verkaufshallen treffen die für Sporthallen gemachten Anmerkungen auch zu.

Für landwirtschaftliche Hallen wurden starke jahreszeitliche Schwankungen des Umgebungsklimas ermittelt. Viehbetrieb bedingt einen zusätzlichen Feuchteeintrag und damit eine erhöhte Luftfeuchte. Wie bei den Reithallen führt in den Wintermonaten das Zusammenspiel der kalten, von außen einstreichenden Luft und der erhöhten Luftfeuchte im Bauwerk zu hohen Holzfeuchten und teilweise zu Tauwasserausfall.

Die in den Lagerhallen im Mittel festgestellten Holzfeuchten liegen in einem für Holzbauteile günstigen Bereich von 10% - 14%. Auf der anderen Seite wurden für die Lagerhallen die stärksten jahreszeitlichen Schwankungen der Umgebungsbedingungen in diesem Forschungsprojekt ermittelt. In den generell feuchteren Wintermonaten sollte darauf geachtet werden, dass durch die gelagerten Güter keine hohe, zusätzliche Feuchte eingebracht wird. Holzbauteilen in Bereichen direkter Sonneneinstrahlung (z.B. in Lichtbändern) sollte hinsichtlich potentieller Rissentstehung aufgrund eines zu schnellen Austrocknens nach einer Feuchteperiode erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Neben den vorab beschriebenen, nutzungsbedingten Klimabedingungen und dessen Beanspruchungspotential für die Holzbauteile, verdeutlichen die Ergebnisse des Forschungsprojektes einen weiteren wichtigen Aspekt. Temporäre Eingriffe, wie Renovierungsarbeiten oder Nutzungsänderungen (temporär oder dauerhaft) können zu stark veränderten klimatischen Bedingungen führen, die sich in ausgeprägten Holzfeuchteänderungen niederschlagen. So wurden im Rahmen dieses Forschungsprojektes sowohl ein starkes Austrocknen von Holzbauteilen (temporäre Umnutzung einer Eishalle sowie Renovierung eines Hallenbades) wie auch das starke Auffeuchten von sehr trockenen Holzbauteilen (Umnutzung eines ehemals metallverarbeitenden Betriebes) festgestellt. Das sich dabei ergebende Gefährdungspotential für die Entstehung von Schäden durch Risse in Brettschichtholzbauteilen ist entsprechend hoch. Dementsprechend sollte bei derartigen Eingriffen auf eine schonende Änderung des Klimas geachtet werden, und die Verwendung von Hilfsmaßnahmen (z.B. Verdunstungsbecken, Oberflächenbehandlung) für eine zeitlich kontrollierte Änderung des Raumklimas in Betracht gezogen werden. Idealerweise sollten solche Eingriffe von einem im Holzbau kundigen Fachplaner begleitet werden.

7.2 Ausblick

Bei der Auswertung der gewonnenen Messergebnisse konnten verschiedene Beeinflussungen der Messtechnik durch äußere Umstände beobachtet werden. So können Starkstromleitungen, die nahe an der Messtechnik verlaufen, zu Verfälschungen der Messdaten führen. Tauwasserbildung oder starke Verschmutzungen an der Trägeroberfläche können zu einem Kurzschluss zwischen den nicht isolierten Steckverbindungen zweier Messelektroden und damit zu falschen Messdaten führen. Zudem wurde eine nicht zu vernachlässigende Abhängigkeit der Messung der Holzfeuchte von der Temperaturverteilung innerhalb des Querschnittes beobachtet. Der Ansatz, die

Temperatur im Holzquerschnitt aus der gemessenen Oberflächentemperatur abzuleiten, führte in den meisten Fällen zu plausiblen Werten mit annehmbarer Genauigkeit. Bei Messobjekten mit stark schwankenden klimatischen Bedingungen konnte diese Genauigkeit über den vorgenannten theoretischen Ansatz nicht erreicht werden. Hier wäre eine Fortführung der Langzeitmessungen mit einer angepassten Messtechnik und einer genauen Erfassung der Temperatur in den Holzquerschnitten geeignet, die bisher erhaltenen Ergebnisse der entsprechenden Messobjekte validieren zu können. Eine weitere Messperiode von einem Jahr liefert zudem Aussagen, inwiefern aus den erfassten Messzeiträumen auf das Langzeitverhalten der Holzfeuchteverteilung über mehrere Jahre geschlossen werden kann.

Bei der Fortführung der Langzeitmessungen wird die bereits vorhandene Messtechnik gewartet und an die bisher gewonnenen Erkenntnisse angepasst. Durch eine zusätzliche Erhöhung der Anzahl der Temperatursensoren werden die klimatischen Randbedingungen an den Messstellen präziser erfasst und die Temperaturkompensation der Holzfeuchte kann auf Grundlage von Messwerten anstelle von theoretisch errechneten Werten erfolgen. Durch Messung der klimatischen Randbedingungen an der Trägeroberfläche im direkten Umfeld der Holzfeuchtemessung kann die theoretische Ausgleichsfeuchte für beide Messstellen ebenfalls genauer abgeleitet werden. Eine Zusammenstellung der Verbesserungsvorschläge für die verwendende Messtechnik ist in Abbildung 27 gegeben.

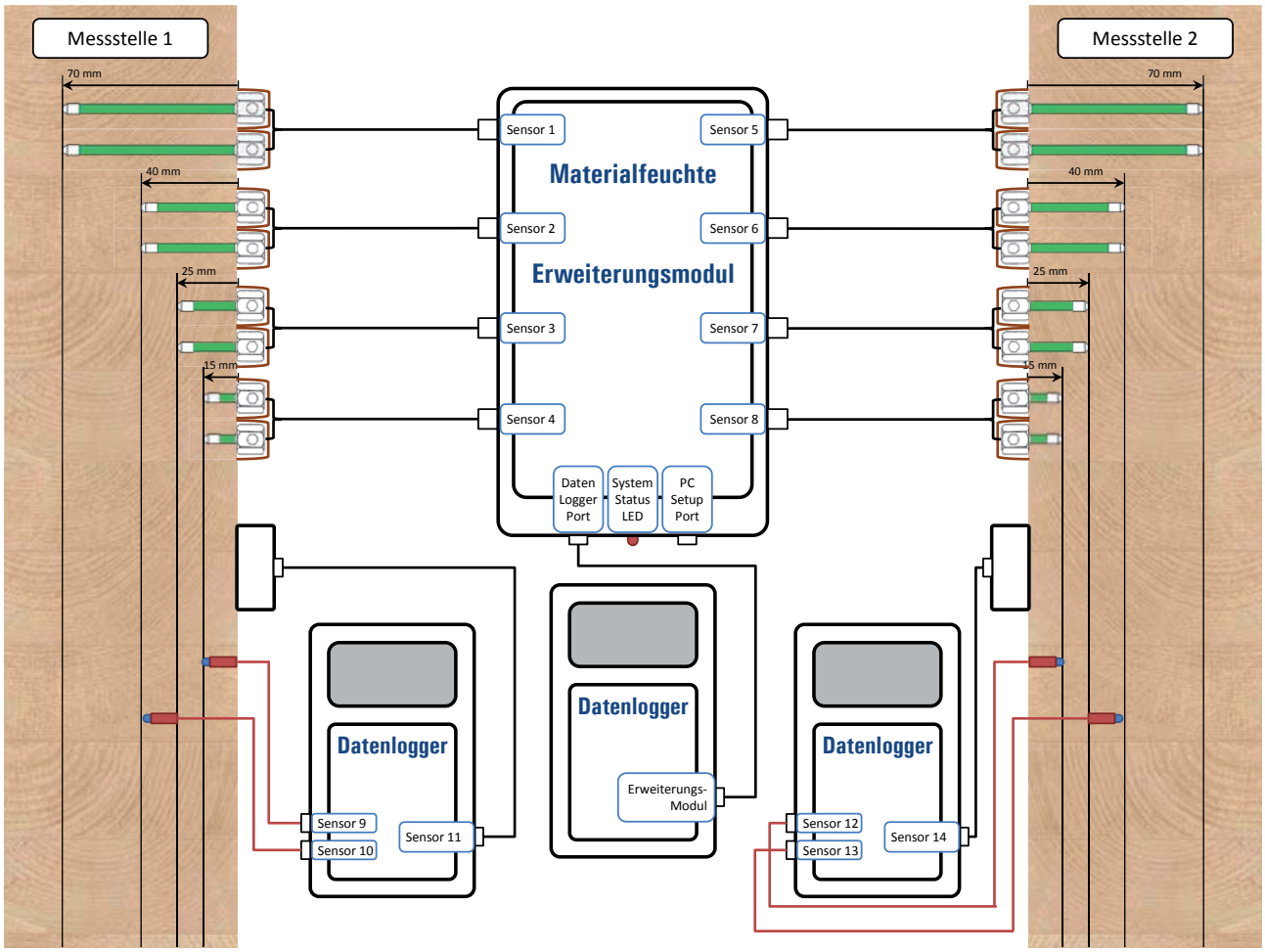


Abbildung 27: Schematische Darstellung einiger Verbesserungsvorschläge für die verwendete Messtechnik.

Durch eine Isolierung der Verbindung der Elektroden mit den Messkabeln kann ein Kurzschluss der Messkanäle verhindert werden (Sensoren 1-8). Werden die Messgeräte zudem in einem Elektro-Installationskasten mit Silicagel- Beuteln untergebracht, sind diese besser vor klimatischen Schwankungen abgeschirmt und vor Verschmutzung geschützt. Durch in den Träger in unterschiedlichen Tiefen eingebrachte Temperatursensoren kann der Temperaturverlauf über den Holzquerschnitt erfasst werden (Sensoren 9-10 und 12-13). Die Klimasensoren an der Oberfläche der Trägerquerschnitte erfassen die Temperatur und die relative Luftfeuchte der umgebenden Luft.

Durch die beschriebenen Maßnahmen wird bei einer Fortführung der Langzeitmessungen eine Steigerung der Qualität der Messergebnisse erwartet die wiederum genauere Aussagen über klimatische Beanspruchungen und daraus resultierende Holzfeuchtegradienten an den ausgewählten Messobjekten ermöglicht.

Literaturverzeichnis

Aondio, P. (2008). *Auswirkungen klimatischer Umgebungsbedingungen auf sanierte BSH-Bauteile.* Diplomarbeit am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der TU München.

Bariska, M., Rotach, P. E., & Hunziker, S. H. (2001). *Holzkunde II - Teil 2 Holzchemie.* Zürich: Eidgenössische Technische Hochschule.

Baum, S., Pöhler, E., Seubert, H. H., Weber, P., Kupferschmid, A., & Andrea, D. (2010). *Holzkunde II.* ETH, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich: Department Forstwissenschaften, Professur Holzwisenschaften.

Becker, G. (2007). *Holzkundliche Grundlagen - Stoffliche und molekulare Zusammensetzung. anatomische Grundlagen, Aufbau der Gehölze.* Albert- Ludwigs- Universität Freiburg: Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft.

BES BOLLMANN - Drying & Control Systems. (kein Datum). *Hinweise zum richtigen Setzen der Holzfeuchte- Messelektroden.* Gottmadingen.

BINE. (2001). Energetisch optimierte Produktionshalle. (Fachinformationszentrum Karlsruhe, Hrsg.) *Projektinfo*(6/2001).

Blaß, H. J. (2004). *Skriptum zur Vorlesung, Holz und Holzwerkstoffe, Wintersemester 2004/05.* Universität Karlsruhe: Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen.

Blaß, H. J., & Frese, M. (2010). *Schadensanalyse von Hallentragwerken aus Holz, Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau,* (Bd. 16). Karlsruhe: KIT Scientific Publishing.

Blaß, H. J., Ehlbeck, J., Kreuzinger, H., & Steck, G. (2004). *Erläuterungen zu DIN 1052: 2004-08.* München: DGfH Innovations- und Service GmbH.

Blaß, H. J., Ehlbeck, J., Kreuzinger, H., & Steck, G. (2004). *Erläuterungen zu DIN 1052: 2004-08.* München: DGfH Innovations- und Service GmbH.

Brischke, C. (2007). *Untersuchung abbaubestimmender Faktoren zur Vorhersage der Gebrauchsdauer feuchtebeanspruchter Holzbauteile.* Hamburg: Dissertation am Department für Biologie der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften.

Brischke, C., & Rapp, A. O. (2007). *Untersuchung des langfristigen Holzfeuchteverlaufs an ausgewählten Bauteilen der Fußgängerbrücke in Essing.* Hamburg: Arbeitsbericht Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft.

Dietsch, P., & Winter, S. (2009). *Typische Tragwerksmängel im Ingenieurholzbau und Empfehlungen für Planung, Ausführung und Instandhaltung.* Österreich: 8. Grazer Holzbau-Fachtagung, TU Graz.

DIN 1052. (2008-12). Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau. Berlin: Beuth Verlag.

DIN 1052:2008-12. (2008). Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau. Berlin: Beuth Verlag.

DIN 18032.1. (2003). *Sporthallen – Hallen und Räume für Sport und Mehrzwecknutzung. Grundsätze für die Planung.* Berlin: Beuth Verlag.

DIN 18032-1:2003-09. (2003). *Sporthallen – Hallen und Räume für Sport und Mehrzwecknutzung. Grundsätze für die Planung.* Berlin: Beuth Verlag.

DIN 4074-1. (2003-06). *Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 1: Nadelschnittholz.* Berlin: Beuth Verlag.

DIN 4074-1:2003-06. (2003-06). *Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 1: Nadelschnittholz.* Berlin: Beuth Verlag.

DIN 4108-3:2001-07. (2003). *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung.* Berlin: Beuth Verlag.

DIN 52182. (1976-09). *Prüfung von Holz - Bestimmung der Rohdichte.* Berlin: Beuth Verlag.

DIN 52183. (1977-11). *Prüfung von Holz - Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes.* Berlin: Beuth Verlag.

DIN 52184. (1979-05). *Prüfung von Holz - Bestimmung der Quellung und Schwindung.* Berlin: Beuth Verlag.

Du, Q. P., Geissen, A., & Noack, D. (1991). Die Genauigkeit der elektrischen Holzfeuchtemessung nach dem Widerstandsprinzip. *Holz als Roh- und Werkstoff, 49*, S. 1-6.

Du, Q. P., Geissen, A., & Noack, D. (1991). Widerstandskennlinien einiger Handelshölzer und ihre Messbarkeit bei der elektrischen Holzfeuchtemessung. *Holz als Roh- und Werkstoff, 49*, S. 305-311.

Euler, L. (1755). *Institutiones Calculi differentialis.*

Evans, F., Kleppe, O., & Dyken, T. (2006). *Monitoring of Timber Bridges in Norway - Results December 2005.* Norwegen: Report des Norsk Treteknisk Institutt Oslo.

Feldmeier, F. (2007). Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus den Feldntersuchung einer Eissporthalle. *Ingenieurholzbau; Karlsruher Tage 2007*, S. 98-104.

Fiedler, E. (2009). Klimatisierung von Eissporthallen – Schichtlüftungssysteme sorgen für bessere Nutzungsbedingungen und höhere Gebäudesicherheit. *Fachjournal Klima/Kälte*, S. 1-6.

Forest Products Laboratory. (2010). *Wood handbook - Wood as an engineering material.* Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.

Fortuin, G. (2003). *Anwendung mathematischer Modelle zur Beschreibung der technischen Konvektionstrocknung von Schnittholz.* Dissertation an der Universität Hamburg.

Frühwald, E., Serrano, E., Emilsson, A., & Thelandersson, S. (2007). *Design of safe timber structures – How can we learn from structural failures in concrete, steel and timber?* Lund University: Div. of Struct. Eng.

Gamper, A. (2008). *Versagensmechanismen im Holzbau - Schub und Abscheren Veranschaulichung mittels Versuchen.* Bachelorarbeit am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der TU München.

GANN. (kein Datum). *Elektrische Holzfeuchte-Messgeräte.* Abgerufen am Januar 2011 von www.gann.de.

Glass, S. V., & Zelinka, S. L. (2010). Moisture Relations and Physical Properties of Wood. In U.S. Department of Agriculture, Forest Service, & Forest Products Laboratory, *Wood Handbook, Wood as an Engineering Material* (S. Chapter 04). Madison, WI.

Glauert, M. (2005). *Klimamessung und Klimaregulierung im Archivmagazin.* Potsdam: Veröffentlichungen der brandenburgischen Landesfachstelle für Archive und öffentliche Bibliotheken.

Grosser, D. (1977). *Die Hölzer Mitteleuropas. Ein mikrophotographischer Lehratlas.* Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag.

Grosser, D. (1977). *Die Hölzer Mitteleuropas. Ein mikrophotographischer Lehratlas.* Berlin Heidelberg New York: Springer Verlag.

Güldenpfennig, J., Vogelsberg, A., & Stamminger, P. (März 2010). Zur Feuchteproblematik in Eissporthallen. *Bautechnik*(87), S. 133-138.

Hailwood, A. J., & Horrobin, S. (1946). Absorption of water by polymers: analysis in terms of a simple model. *Transactions of the Faraday Society, Vol. 42B*, p. 84-92.

Herrmann, M. (2009). *Innovationen der Holzfeuchtemessung.* Diplomarbeit am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der TU München.

Hoadley, R. B. (1990). *Holz als Werkstoff.* Ravensburg: Otto Meier Verlag.

Hoffmeyer, P. (1995). STEP A4: Holz als Baustoff. In J. Blaß, R. Görlacher, & G. Steck, *Informationsdienst Holz; Holzbauwerke STEP 1: Bemessung und Baustoffe nach Eurocode 5.* Düsseldorf: Fachverlag Holz.

Jönsson, J. (2005). *Moisture Induced Stresses in Timber Structures.* Lund, Sweden: Doktorarbeit an der Lund University, Division of Structural Engineering.

Keylwerth, R. (1949). Einfache Kontrollmessung bei der Holztrocknung. *Holz- Zentralblatt* (75), S. 307-309.

Keylwerth, R., & Noack, D. (1956). Über den Einfluss höherer Temperaturen auf die elektrische Holzfeuchtigkeitsmessung nach dem Widerstandsprinzip. *Holz als Roh- und Werkstoff, 14*, S. 162-172.

Keylwerth, R., & Noack, D. (1956). Über den Einfluss höherer Temperaturen auf die elektrische Holzfeuchtigkeitsmessung nach dem Widerstandsprinzip. *Holz als Roh- und Werkstoff, 14*, S. 162-172.

Kießl, K., & Steinbach, S. (2006). Feuchteschutz - das immerwährende Thema der Bauphysik. In WTA Almanach 2006, *Bauinstandsetzen und Bauphysik* (S. 423-431). München.

Kollmann, F. (1951). *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe.* (Bd. 1). München: Springer Verlag.

Krabbe, E., & Neuhaus, H. (1989). Über Konstruktion, Klima und Holzfeuchtigkeit eines Hallenbades. *Bauen mit Holz* (1989/4), S. 214-217.

Kreuzinger, H. (2007). *Bauwerksüberwachung, Bauwerksüberprüfung.* Augsburg: 8. Holzbau-Praxistag Fachhochschule Augsburg.

Kühne, H., & Strässler, H. (1952). Über die Bestimmung der Holzfeuchtigkeit. *Schweizer Archiv Band 18,*(Heft 8), S. 264-275.

Lignatur AG. (06 2010). *Der Bademeister bringt die Bestätigung.* Abgerufen am 20. November 2010 von Lignatur Newsletter: http://www.lignatur.ch/infos/newsletter/newsletter-0610/

Lohmann, U. (2003). *Holz- Lexikon* (Bd. 4. Auflage). Drw Verlag Weinbrenner.

Machnicki, J. (2009). *Feuchtebeanspruchung von Brettschichtholzbauteilen – von der Herstellung bis zum fertigen Bauwerk.* Seminararbeit am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der TU München.

Marquardt, H., & Mainka, G.-W. (2008). Tauwasserausfall in Eissporthallen. *Bauphysik*(30), S. 91-101.

Meierhofer, U., & Sell, J. (1979). Physikalische Vorgänge in wetterbeanspruchten Holzbauteilen - Tragende Holzbauteile im Freien unter Dach. *Holz als Roh- und Werkstoff, 37*, S. 227-234.

Möhler, K., & Steck, G. (1980). Untersuchungen über die Rissbildung in BSH infolge Klimabeanspruchung. *Bauen mit Holz*(4/80), S. 194-200.

Niemz, P. (2005). *Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe* (Bd. 3). ETH, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich: Institut für Baustoffe IfB.

Niemz, P. (2006). *Skript zur Vorlesung Holzphysik.* ETH, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich: Institut für Baustoffe IfB, Holzphysik.

Nutsch, W. (2007). *Fachkunde Holztechnik* (21. Ausg.). Europa Lehrmittel.

Paulsen, D., & Trinkert, A. (11 2011). Schwimmen unter Holz. *Bauen mit Holz*, S. 34-35.

Planungs- und Baureferat der Stadt Regensburg. (2006). *Einfachturnhalle – Licht- und wärmetechnische Untersuchung.*

Radovic, R., & Wiegand, T. (2005). Oberflächenqualität von Brettschichtholz. *Bauen mit Holz* (7), S. 33-38.

Rijsdijk, J. F. (1969). Die Genauigkeit von Holzfeuchtemessungen mit elektrischen Feuchtigkeitsmessgeräten. *Holz Roh- Werkstoff, 27*, S. 17-23.

Ruis, P. (2008). *Weitgespannte Holztragwerke – Einfluss wechselnder Umgebungsbedingungen auf die Holzfeuchte.* Bachelorarbeit am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der TU München.

Scanntronik Mugrauer GmbH. (2011). *Produktkatalog Ausgabe 2011.* Zorneding.

Schnitzer, U. (1973). Reitanlagen aus Holz. *Bauen mit Holz* (4), S. 167 f.

Schnitzer, U. (kein Datum). Reitanlagen aus Holz. *Bauen mit Holz*(4/167).

Schröder, H.-W. (2007). *Verarbeitung nachwachsender Rohstoffe.* Vorlesungsmaterialien SS 08. Lehrstuhl für Thermische und Umweltverfahrenstechnik: Technische Universität Bergakademie Freiberg.

Siau, J. F. (1983). *Transport Processes in Wood.* Berlin, Heidelberg, New York, Tokio: Springer Verlag.

Simpson, W. T. (1973). Prediction equilibrium moisture content of wood by mathematical models. *Wood and Fiber, Vol. 5*, p.41-48.

Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. (2010). *BS-Holz-Merkblatt.* Wuppertal.

Tichelmann, K., & Grimminger, U. (2007). *Manuskript zur Vorlesung: Methodische Instandsetzung von Bauwerken - Untersuchungsverfahren.* Technische Universität Darmstadt: Versuchsanstalt Holz- und Trockenbau.

Trendelenburg, R. (1955). *Holz als Rohstoff.* München: Hanser.

Uhlendorf, K. (2001). *Soziologisches Gutachten – im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprojekts „Messprogramm und Evaluation einer neuen Produktionshalle der Firma Hübner in Kassel“.* Universität Hannover: Institut für Bautechnik und Entwerfen, Abt. Technischer Ausbau und Ressourcensparendes Bauen.

Wagenführ, R. (1966). *Anatomie des Holzes.* Leipzig: Fachbuchverlag.

Winter, S. (2007). *Aktuelle Schäden an Holzkonstruktionen - Bestandsaufnahme.* Augsburg: 8. Holzbau- Praxistag Fachhochschule Augsburg.

Wittchen, B., Josten, E., & Reiche, T. (2009). *Holzfachkunde: Ein Lehr-, Lern- und Arbeitsbuch für Tischler/Schreiner, Holzmechaniker und Fachkräfte - für Möbel-, Küchen- und Umzugsservice* (Bd. 5). Wiesbaden: Vieweg+Teubner.

Zillig, W. (2009). *Moisture transport in wood using a multiscale approach.* Belgien: Katholieke Universiteit Leuven - Faculteit Ingenieurswetenschappen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: links: Aufbau von Nadelholz. Aus (Grosser, 1977); rechts: Übergang Früh- zu Spätholz bei Nadelholz. Aus (Lohmann, 2003) 7

Abbildung 2: Wasserabgabe und -aufnahme des Holzes. Nach (Nutsch, 2007) 8

Abbildung 3: Einfluss der Holzfeuchte auf ausgewählte Eigenschaften des Holzes. Nach (Kollmann, 1951) 9

Abbildung 4: Sorptionsisothermen und Bindungsformen des Wassers. Nach (Niemz, 2005) 10

Abbildung 5: Schematische Darstellung der Bindungsformen des Wassers in Holz. Aus (Niemz, 2005) 11

Abbildung 6: Hygroskopisches Gleichgewicht von Sitka-Fichte in Abhängigkeit von der Temperatur und relativer Luftfeuchte. Nach (Keylwerth R. , 1949). 13

Abbildung 7: Verzerrung von Holz durch unterschiedliche Schwindung. Aus (Glass & Zelinka, 2010) 14

Abbildung 8: Beispielhafte Veränderung der Feuchtegradienten in BSH - Bauteilen. Aus (Möhler & Steck, 1980) 15

Abbildung 9: Ingenieurmäßiger Ansatz zur Rissentstehung bei freier Verformung des Querschnitts. Nach (Aondio, 2008) 16

Abbildung 10: Zulässige Risstiefen in Brettschichtholz je nach Art der Beanspruchung. Nach (Kreuzinger, 2007) 17

Abbildung 11: Skizze einer möglichen „Feuchtekette“, d.h. Feuchtebeanspruchung und Gefahr der Rissbildung vom Baum bis zum Brettschichtholz im Tragwerk. Es handelt sich sowohl um das unmittelbare Risiko der Rissbildung, als auch um das Risiko der zukünftigen Rissinduktion. 18

Abbildung 12 links: Eisbildung am Untergurt oberhalb der Eisfläche. Aus (Winter, 2007). Rechts: Tropfenbildung auf Unterseite eines Binders. Aus (Güldenpfennig, Vogelsberg & Stamminger, 2010) 24

Abbildung 13 Darstellung der Gebäudestandorte für alle ausgewählten Hallen. Hellblau = Schwimmhallen, gelb = Eissporthallen, rot = Reithallen, dunkelblau = Sporthallen, weiß = Produktions- und Verkaufshallen, grün = landwirtschaftliche Hallen, pink = Lagerhallen. Aus (Google Maps). 29

Abbildung 14: Übersicht über die Holzfeuchtemessverfahren. Aus (Herrmann, 2009). 31

Abbildung 15: Einfluss von Feuchtegehalt und Temperatur auf den elektrischen Widerstand von Holz. Aus (Niemz, 2005) nach (Keylwerth & Noack, 1956)..... 32

Abbildung 16: Links: Schematische Darstellung des Widerstandsmessverfahrens und des Messbereiches bei isolierten und nicht isolierten Messelektroden. Rechts: Verwendetes Referenz- Holzfeuchtemessgerät (Hydromette RTU 600) der Firma GANN. 33

Abbildung 17: Links: Schematische Darstellung der verwendeten Messelektroden. (Hinweis: die dargestellte Lage der Elektroden entspricht nicht dem eingebauten Zustand, dort wurden sie in einer Lamelle angebracht). Rechts: Richtiges Setzen der Messelektroden im Brettschichtholzquerschnitt. 35

Abbildung 18: Montagehilfe in Form einer Bohrschablone und Bohrführungen als Hilfe bei der Installation der Messelektroden in BSH- Lamellen unterschiedlicher Stärke..... 35

Abbildung 19: Systematische Darstellung der Messtechnik..... 36

Abbildung 20: Ergebnisse der Laborversuche zur Kalibrierung der Messtechnik..... 38

Abbildung 21: Verlauf der Holzfeuchte über den betrachteten Messzeitraum am Beispiel der Eissporthalle in Buchloe (die Messwerte und der gleitende Durchschnitt liegen teilweise übereinander)..... 41

Abbildung 22: Verlauf der der relativen und absoluten Luftfeuchtigkeit sowie der Referenztemperatur über den betrachteten Messzeitraum am Beispiel der Eissporthalle in Buchloe. 42

Abbildung 23: Verlauf der Holzfeuchte über den Querschnitt des Tragwerks am Beispiel der Eissporthalle in Buchloe..... 43

Abbildung 24: Umhüllende der Holzfeuchte über den Querschnitt des Tragwerks am Beispiel der Eissporthalle in Buchloe..... 44

Abbildung 25: Umhüllende der Holzfeuchte-gradiente über den Querschnitt des Tragwerks am Beispiel der Eissporthalle in Buchloe. 44

Abbildung 26: Schematische Darstellung des maximalen und minimalen umhüllenden Feuchteverlaufs im Holzquerschnitt mit Bezeichnung der ausgewerteten Größen..... 45

Abbildung 27: Schematische Darstellung einiger Verbesserungsvorschläge für die verwendete Messtechnik. 55

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ausgleichsfeuchten von Holzbaustoffen. Nach DIN 1052:2008-12 20

Tabelle 2: Nomenklatur der untersuchten Nutzungen und Anzahl der Hallen je Nutzung 22

Tabelle 3: Gewählte Hallen für die Langzeitmessung 30

Tabelle 4: Mittelwerte der einzelnen Messwerte über den gemessenen Zeitraum von 01. Oktober 2010 bis 30. September 2011 für die Objekte der Kategorie A. 46

Tabelle 5: Mittelwerte der einzelnen Messwerte über den gemessenen Zeitraum von 01. Oktober 2010 bis 30. September 2011 für die Objekte der Kategorie B. 47

Tabelle 6: Mittelwerte der einzelnen Messwerte über den gemessenen Zeitraum von 01. Oktober 2010 bis 30. September 2011 für die Objekte der Kategorie C. 48

Tabelle 7: Mittelwerte der einzelnen Messwerte über den gemessenen Zeitraum von 01. Oktober 2010 bis 30. September 2011 für die Objekte der Kategorie D. 48

Tabelle 8: Mittelwerte der einzelnen Messwerte über den gemessenen Zeitraum von 01. Oktober 2010 bis 30. September 2011 für die Objekte der Kategorie E. 49

Tabelle 9: Mittelwerte der einzelnen Messwerte über den gemessenen Zeitraum von 01. Oktober 2010 bis 30. September 2011 für die Objekte der Kategorie F. 49

Tabelle 10: Mittelwerte der einzelnen Messwerte über den gemessenen Zeitraum von 01. Oktober 2010 bis 30. September 2011 für die Objekte der Kategorie G. 50

Anhang

Inhaltsverzeichnis

A1 Wellenbad Penzberg – Hallenbereich A-3

A2 Wellenbad Penzberg – Durchgang zum Außenbecken A-13

A3 Schwimmhalle Prienavera Prien A-23

B1 Eishalle Landsberg A-33

B2 Eishalle Buchlohe A-43

B3 Olympia-Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen A-53

B4 Bundesleistungszentrum für Eishockey Füssen A-63

C1 Olympia-Reithalle München-Riem A-73

C2 Gestüt Obere Mühle Blonhofen A-83

C3 Sternstunden Reithalle Herzogsägmühle A-93

D1 Paul-Wegmann-Halle Ingolstadt A-103

D2 Turnhalle der Volksschule Benediktbeuern A-113

D3 Turnhalle Gebeleschule München A-123

E1 Verkaufshalle Sportmarkt Füssen A-133

E2 Produktionshalle MW Racing Füssen A-143

F1 Landwirtschaftsbetrieb Greis Roßhaupten A-153

F2 Landwirtschaftsbetrieb Mair Roßhaupten A-163

F3 Schmitz – Kälberzentrum Buchloe A-173

G1 Pflanzenhalle Willibaldstraße München A-183

G2 Lagerhalle Gebr. Heißerer Prem A-193

G3 Zimmerei Hubert Schmid Marktoberdorf A-203

Abbildungsverzeichnis A-213

A1 Wellenbad Penzberg – Hallenbereich

Anschrift: Seeshaupter Straße 24
82377 Penzberg

Ansprechpartner: Hr. Stephan (vor Ort)

Anwesende vor Ort: Philipp Dietsch, Andreas Gamper, stellv. Badleiter

Installationsdatum: 13.09.2010, 18:00 – 21:00
Letztes Auslesedatum: 12.10.2011, 07:00 – 08:00

Umgebungsbedingungen: Schwimmhalle, allseitig geschlossener, beheizter und energetisch gedämmter Raum

Temperatur: 28,7 °C; Luftfeuchte: 59,4 % (z.Zt. d. Installation)

Messstelle 1: Nahe Trägerauflager an der Fassade;
(Außerhalb des Einflussbereiches des Schwimmbeckens als Referenz zu Messstelle 2)

Messstelle 2: Über dem Nichtschwimmerbecken am Beckenrand;
(Möglichst weit über dem Schwimmbecken um den Einfluss der aufsteigenden Feuchte des Wassers zu erfassen)

Sensor	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte GANN [%]	Messwert Mugrauer [10lg(Ω)]	Einstellwerte GANN	
u1	15	8,6	98,7	x–y: 6–5; 30°	Messstelle 1
u2	25	8,6	98,8	gemessene	
u3	40	9,1	97,4	Temperatur	
u4	70	9,6	95,6	t_1: 29,6°C	
u5	15	9,4	96,4	x–y: 6–5; 30°	Messstelle 2
u6	25	9,7	95,3	gemessene	
u7	40	9,9	94,7	Temperatur	
u8	70	9,4	96,6	t_2: 29,1°C	

Tragsystem: Unterspannte 3- Gelenkträger, eingespannt von Doppelstützen, Spannweite ℓ = 15,70 m, temporär mit Hilfsstützen unterstützt

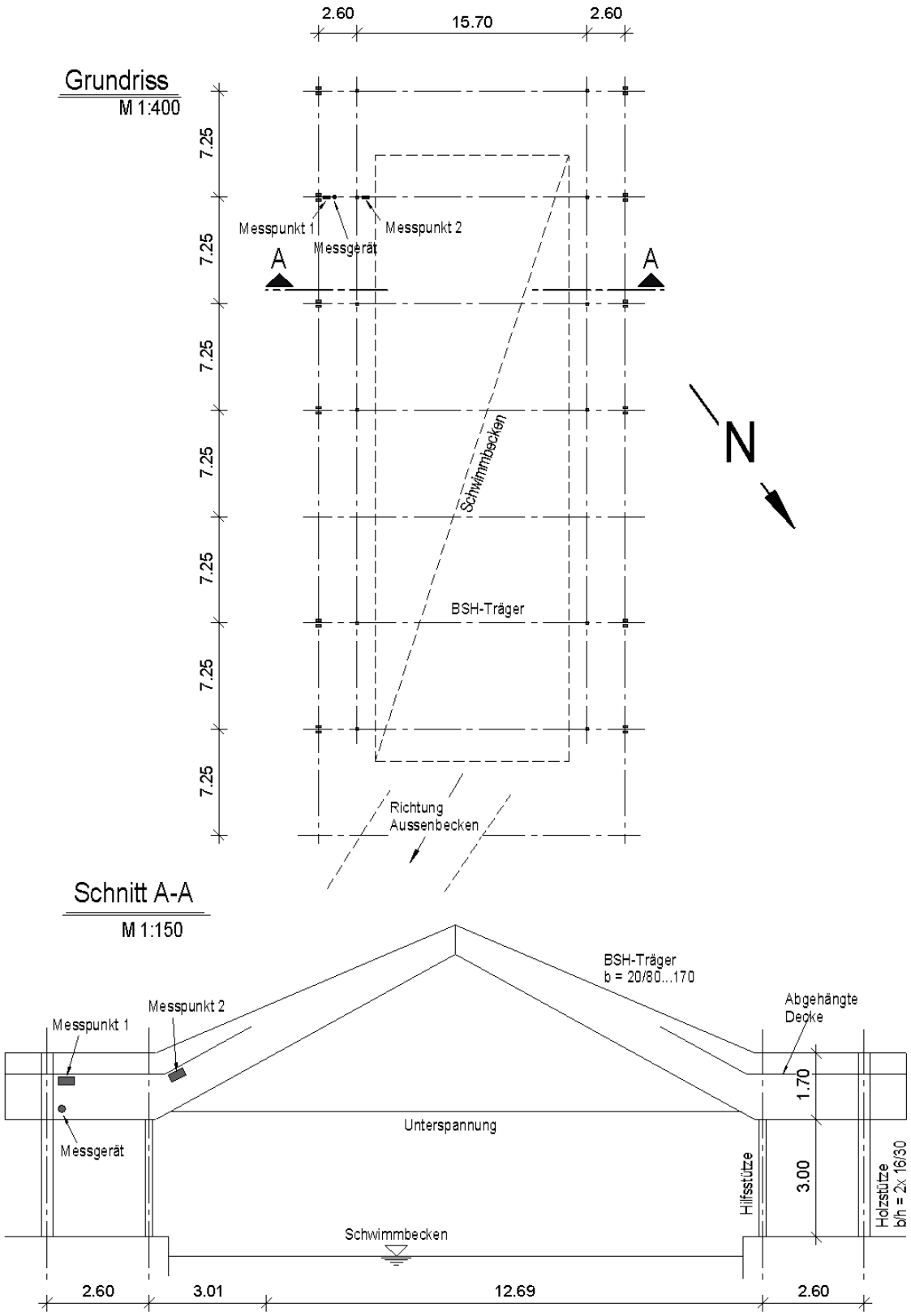
7 Achsen im Innenbeckenbereich, Achsabstand e = 7,23 m,

Trägerabmessungen b/h = 0,20/1,7 … 0.85 m

Lamellenstärke t = 30 mm

Offenporiger Anstrich

Skizzen:


Grundriss
M 1:400
2.60
15.70
2.60
7.25
7.25
7.25
7.25
7.25
7.25
Messpunkt 1
Messgerät
Messpunkt 2
A
A
Schwimmbecken
N
BSH-Träger
Richtung
Aussenbecken
Schnitt A-A
M 1:150
BSH-Träger
b = 20/80...170
Abgehängte
Decke
Messpunkt 1
Messpunkt 2
Messgerät
Unterspannung
1.70
3.00
Hilfsstütze
Holzstütze
b/h = 2x 16/30
Schwimmbecken
2.60
3.01
12.69
2.60

Bilder:

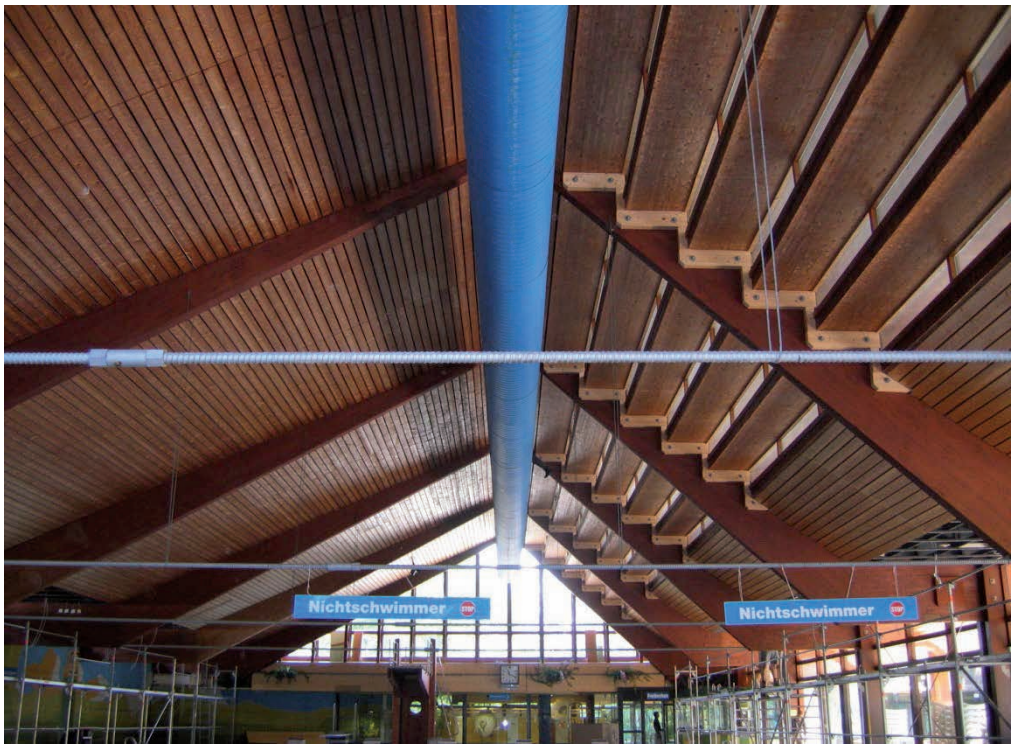


Abbildung A1-1: Ansicht Tragwerk

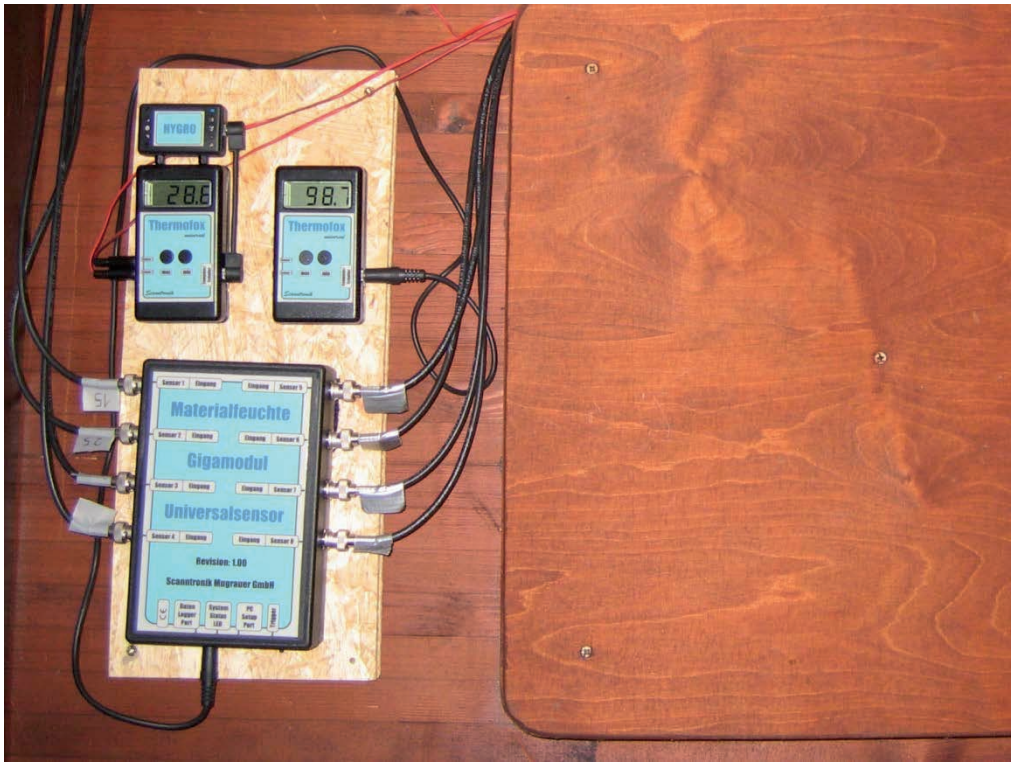


Abbildung A1-2: Ansicht Messstation

Abbildung A1-3: Ansicht Messstelle 1

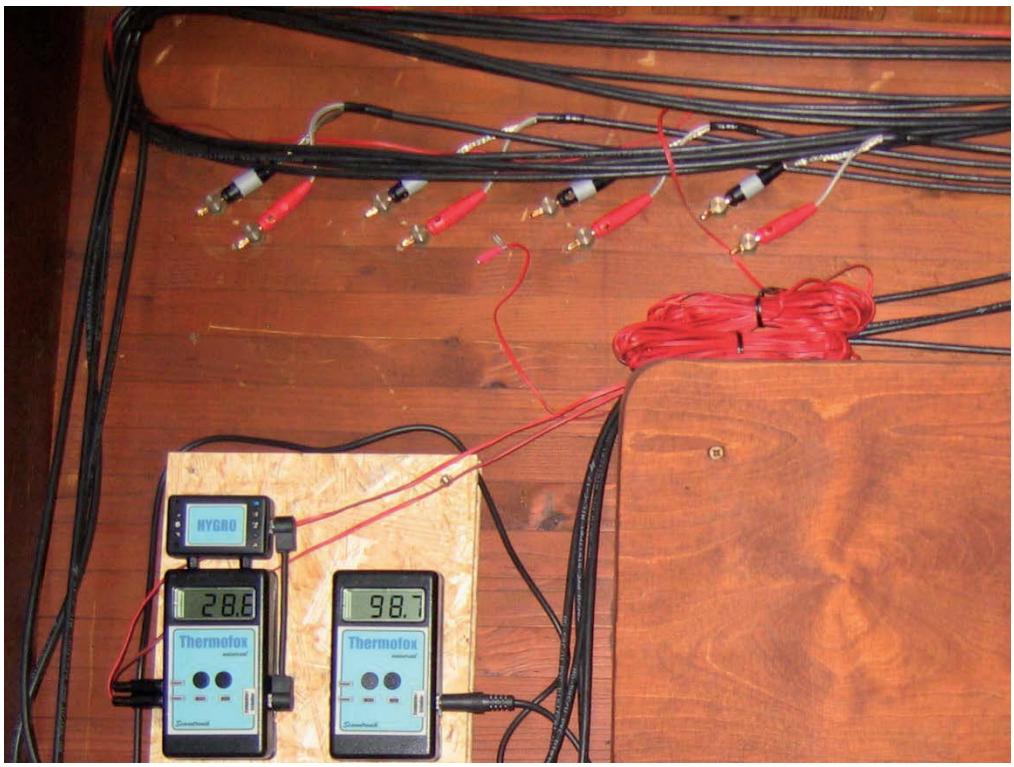
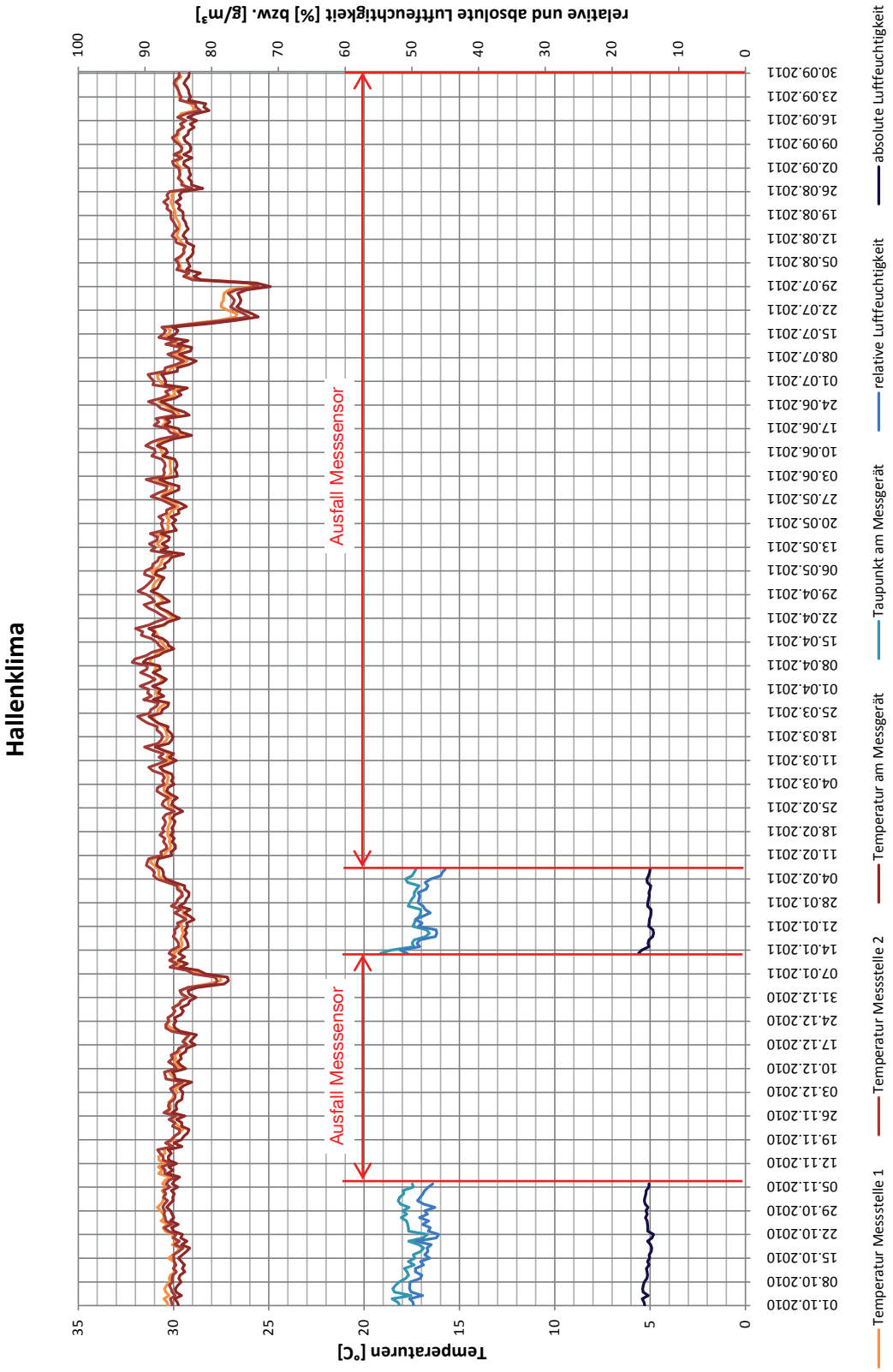


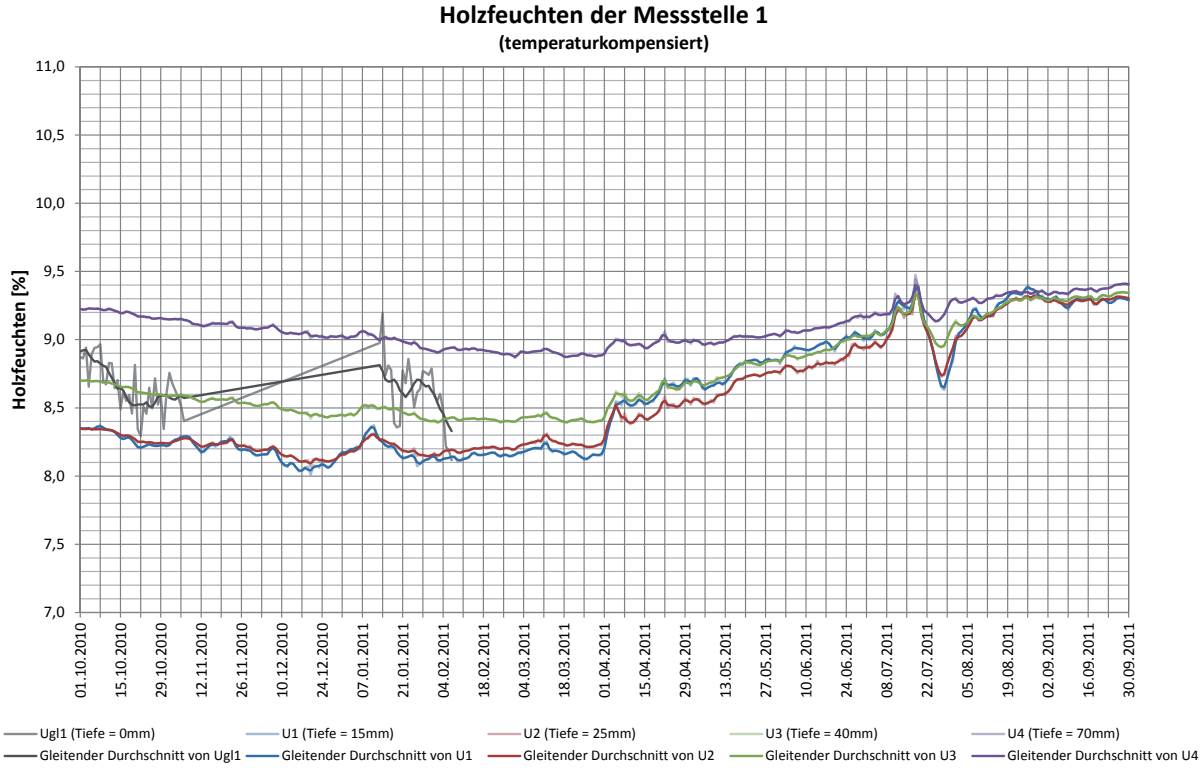
Abbildung A1-4: Ansicht Messstelle 2

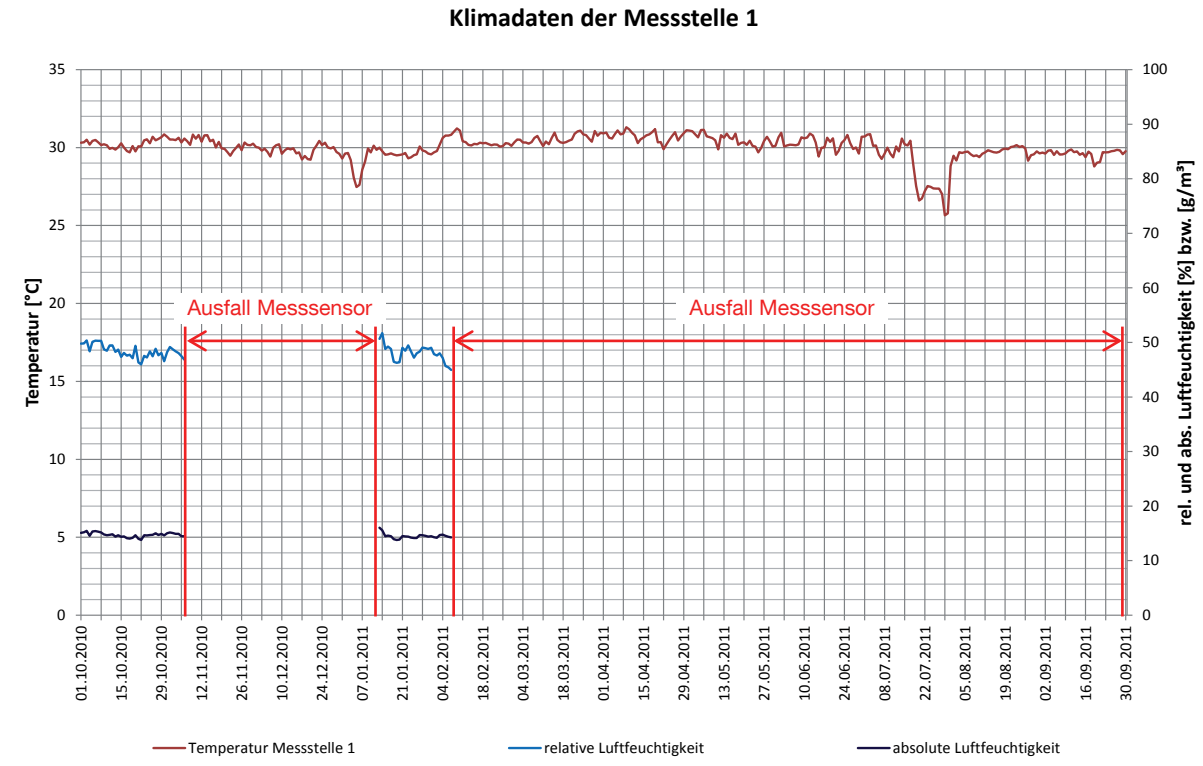
A1 Wellenbad Penzberg - Hallenbereich



A1 Wellenbad Penzberg – Hallenbereich

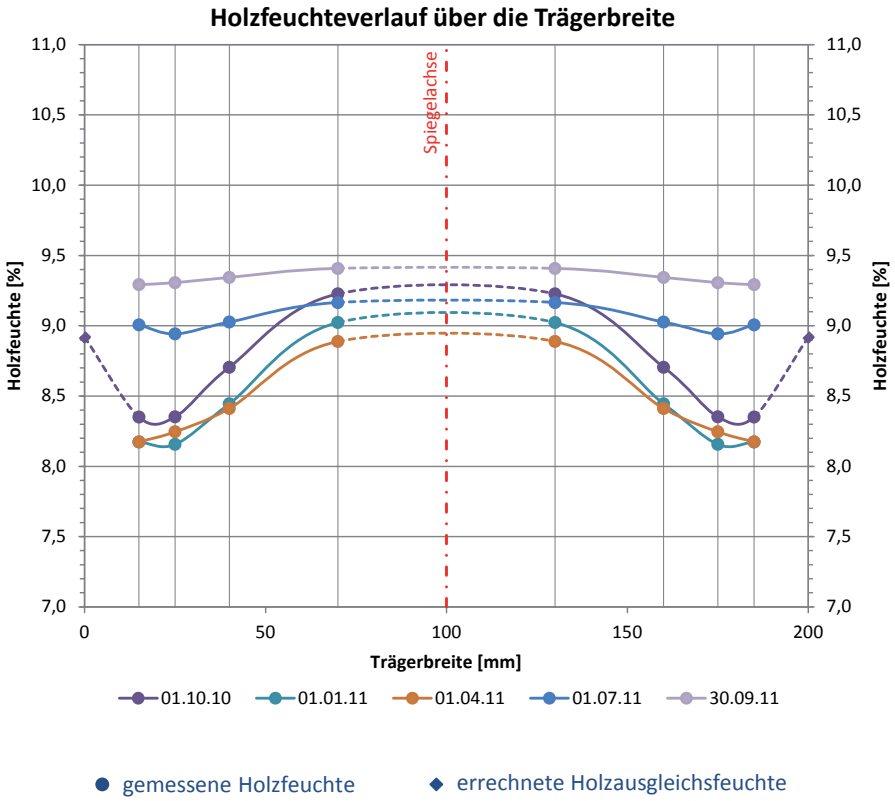
Messstelle 1: Randbereich des Beckens an der Fassade

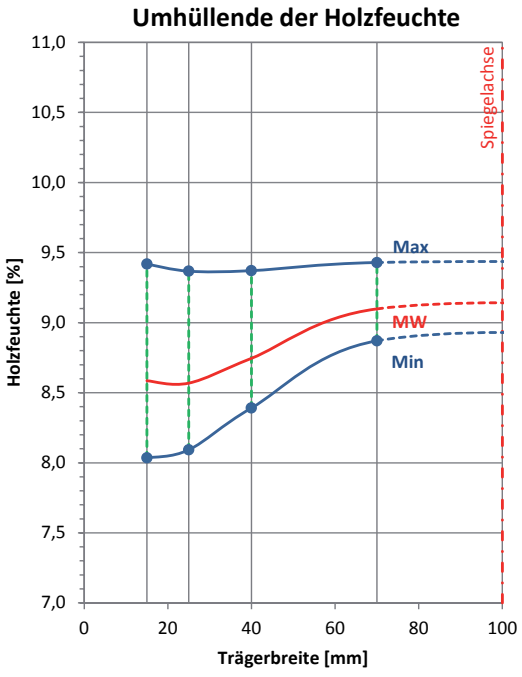


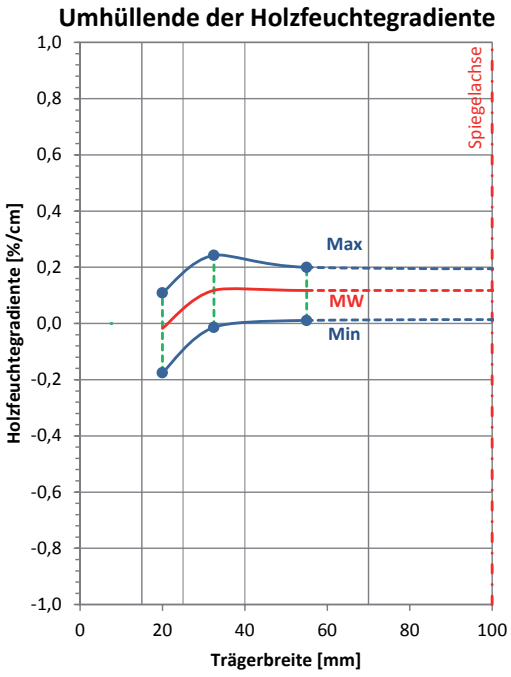


A1 Wellenbad Penzberg – Hallenbereich

Messstelle 1: Randbereich des Beckens an der Fassade

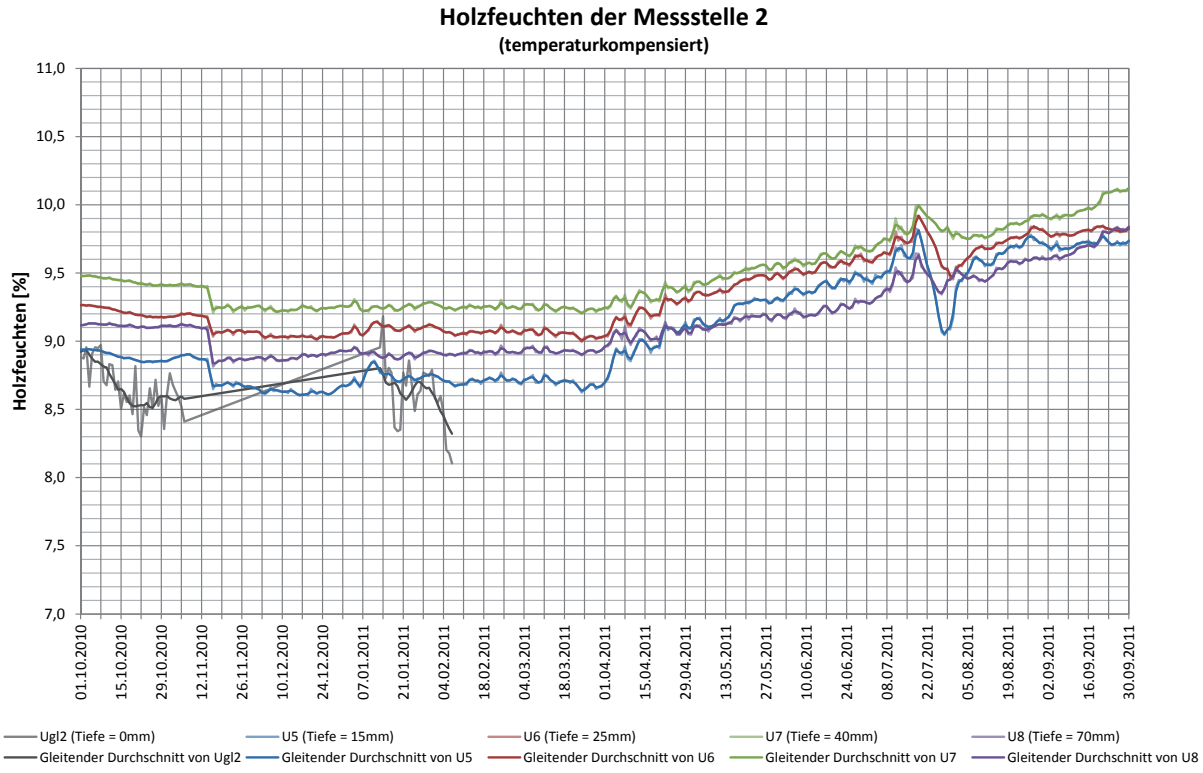


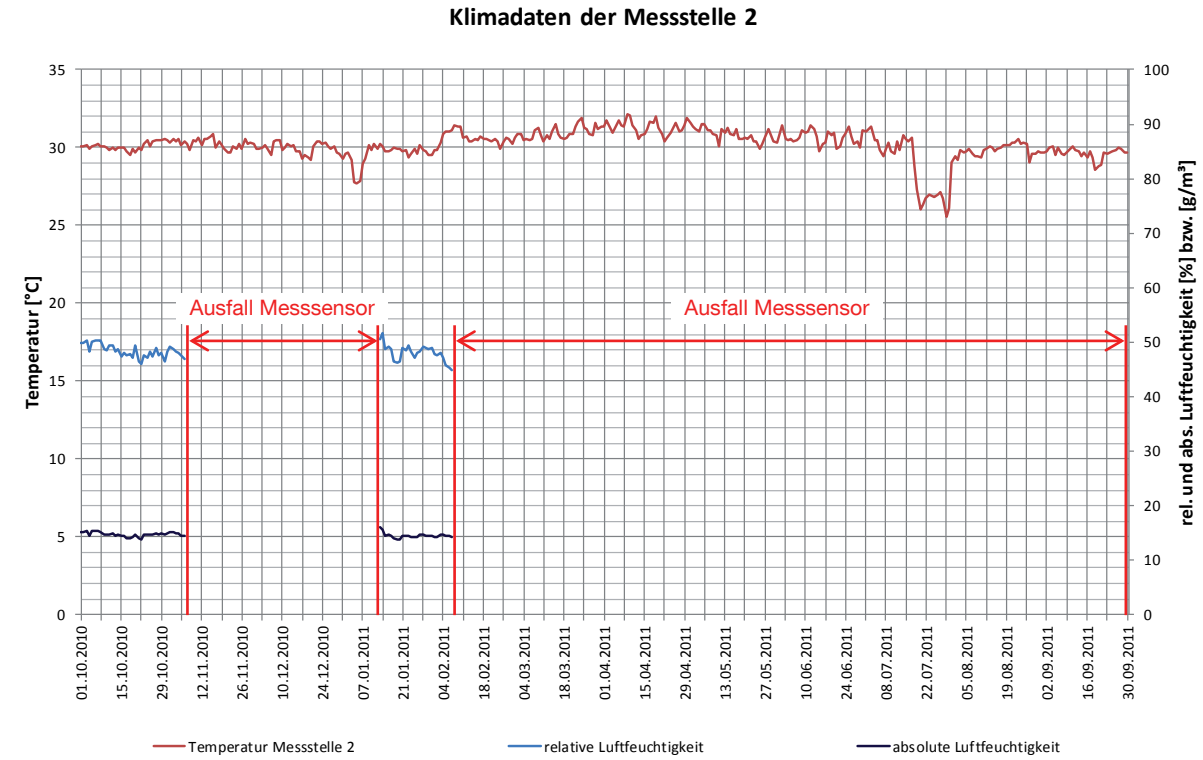




A1 Wellenbad Penzberg – Hallenbereich

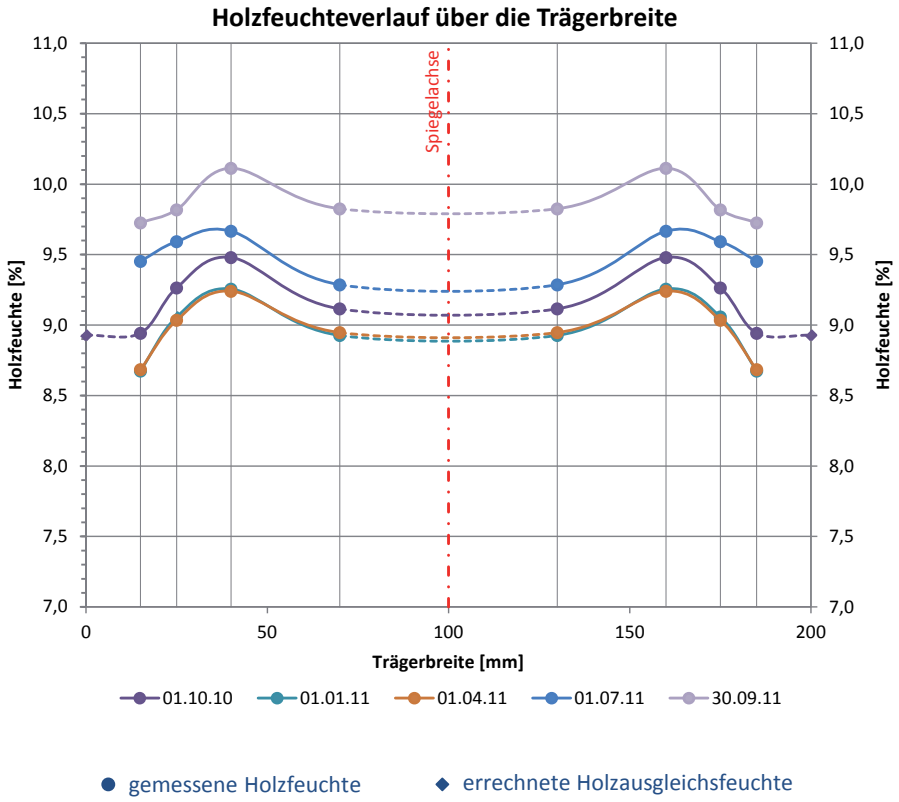
Messstelle 2: Über Nichtschwimmerbecken am Beckenrand

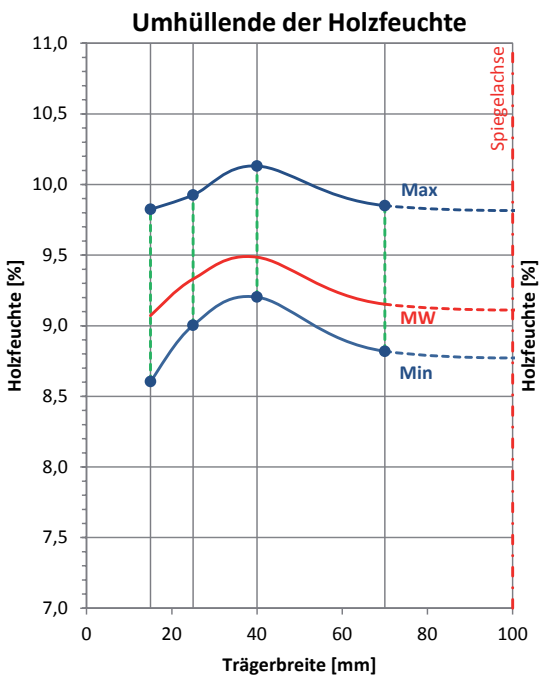


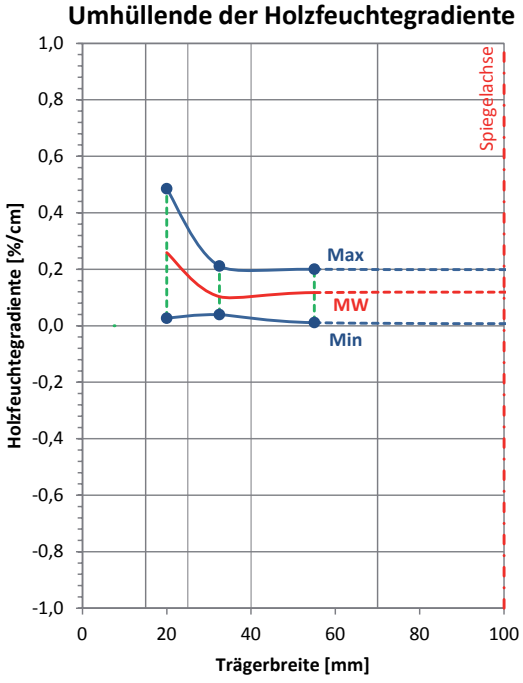


A1 Wellenbad Penzberg – Hallenbereich

Messstelle 2: Über Nichtschwimmerbecken am Beckenrand







A2 Wellenbad Penzberg – Durchgang zum Außenbecken

Anschrift: Seeshaupter Straße 24
82377 Penzberg

Ansprechpartner: Hr. Stephan (vor Ort)

Anwesende vor Ort: Philipp Dietsch, Andreas Gamper, stellv. Badleiter

Installationsdatum: 13.09.2010, 21:00 – 23:00
Letztes Auslesedatum: 12.10.2011, 07:00 – 08:00

Umgebungsbedingungen: Einstieg und Übergang zum Außenbecken der Schwimmhalle; einseitig offener, dreiseitig verglaster, beheizter und energetisch gedämmter Raum

Temperatur: 29,6 °C; Luftfeuchte: 85,5 % (z.Zt. d. Installation)

Messstelle 1: Durchgangsbereich zum Außenbecken;
(aufgrund der kalten, von außen einströmenden Luft, liegt in diesem Bereich die für dieses Objekt höchste Luftfeuchte vor)

Messstelle 2: Einstiegsbereich Übergang zu Außenbecken;
(Regelbereich, dient als Referenz zu Messstelle 2)

Sensor	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte GANN [%]	Messwert Mugrauer [10lg(Ω)]	Einstellwerte GANN	
u1	15	15,9	73,8	x–y: 6–5; 30°	Messstelle 1
u2	25	15,2	76,0	gemessene	
u3	40	15,5	74,9	Temperatur	
u4	70	15,5	75,2	t_1: 28,9°C	
u5	15	14,6	80,3	x–y: 6–5; 30°	Messstelle 2
u6	25	14,9	78,9	gemessene	
u7	40	14,8	78,5	Temperatur	
u8	70	15,1	77,9	t_2: 29,4°C	

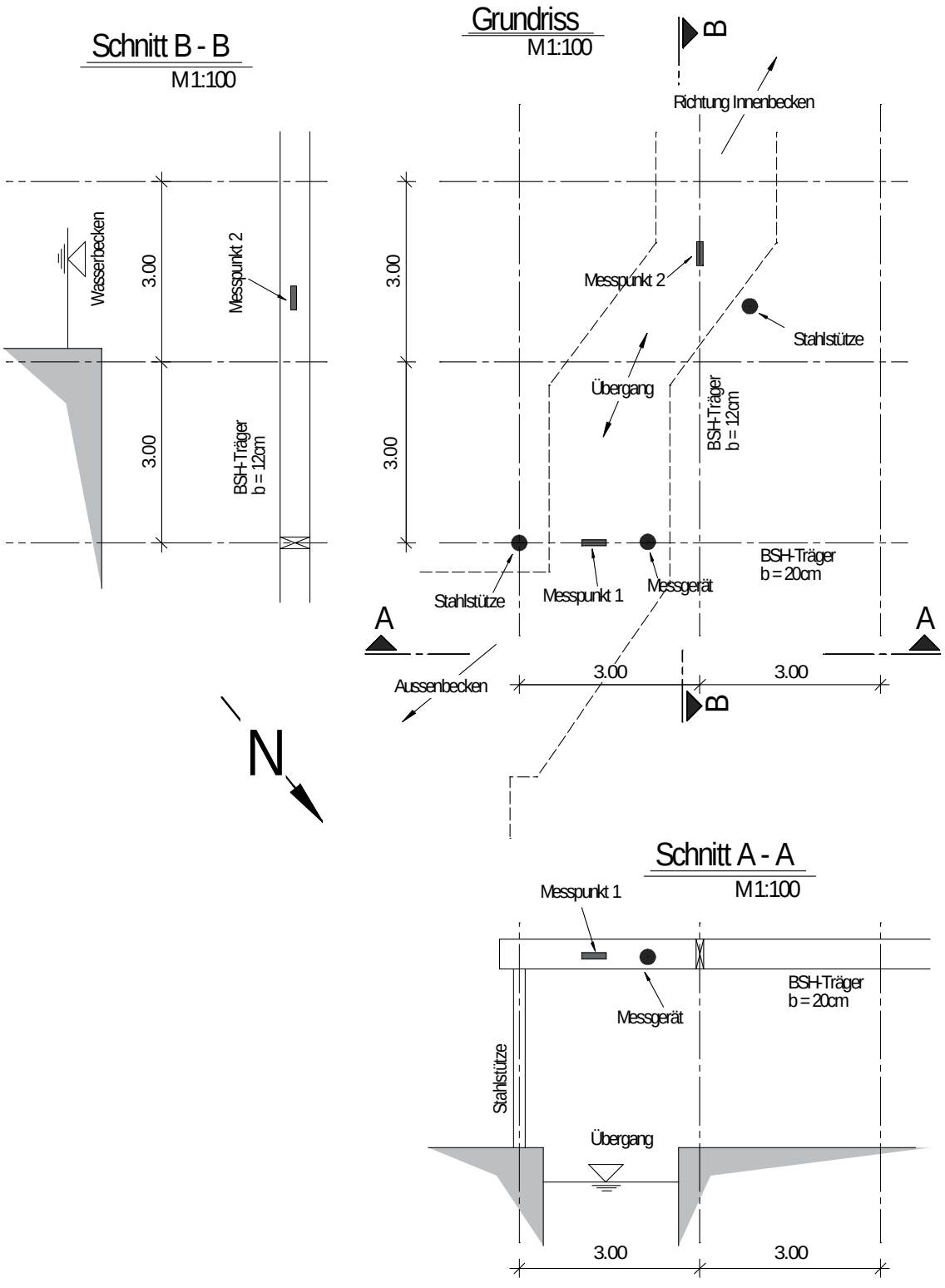
Tragsystem: Messstelle 1: Mehrfeldträger
Trägerabmessungen b/h = 20/40 cm^2

Messstelle 2: Mehrfeldträger
Trägerabmessungen b/h = 12/40 cm^2

Lamellenstärke 40 mm

Bauteile unbehandelt
(vorbehaltlich eines nicht mehr erkennbaren, farblosen, offenporigen Anstrichs)

Skizzen:


Schnitt B - B
M1:100
Wasserbecken
3.00
3.00
Messpunkt 2
BSH-Träger
b = 12cm
Grundriss
M1:100
B
Richtung Innenbecken
3.00
3.00
Messpunkt 2
Stahlstütze
Übergang
BSH-Träger
b = 12cm
BSH-Träger
b = 20cm
Stahlstütze
Messpunkt 1
Messgerät
A
A
Aussenbecken
3.00
3.00
B
N
Schnitt A - A
M1:100
Messpunkt 1
BSH-Träger
b = 20cm
Messgerät
Stahlstütze
Übergang
3.00
3.00

Bilder:

Abbildung A2-1: Ansicht Tragwerk

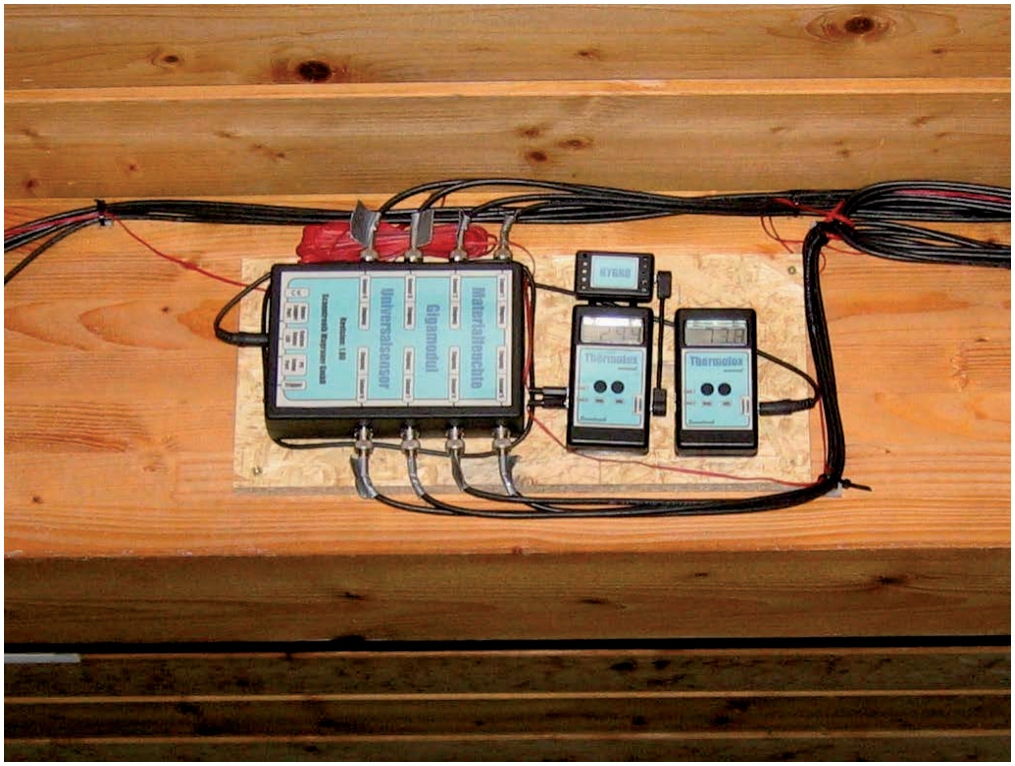


Abbildung A2-2: Ansicht Messstation

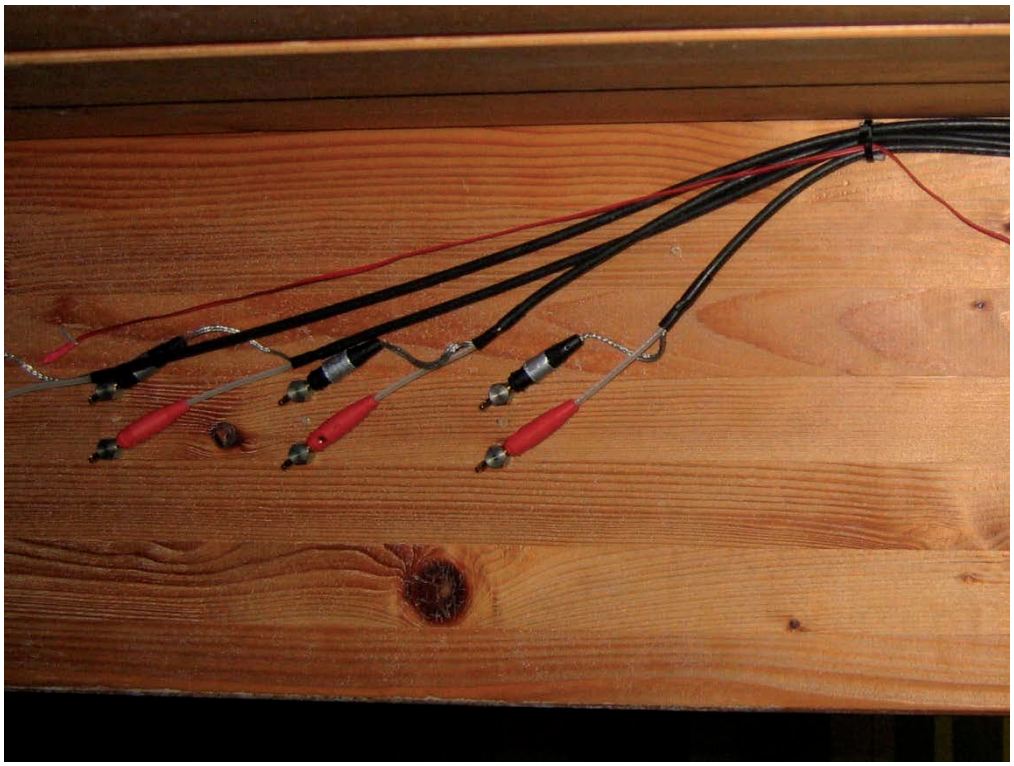


Abbildung A2-3: Ansicht Messstelle 1

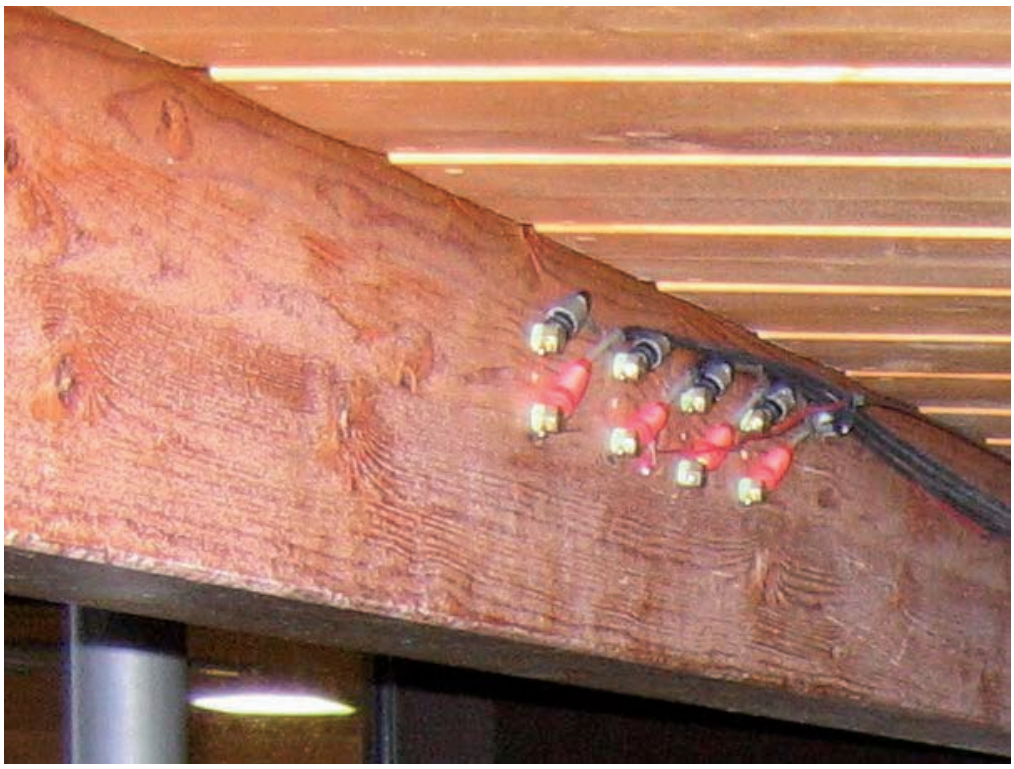
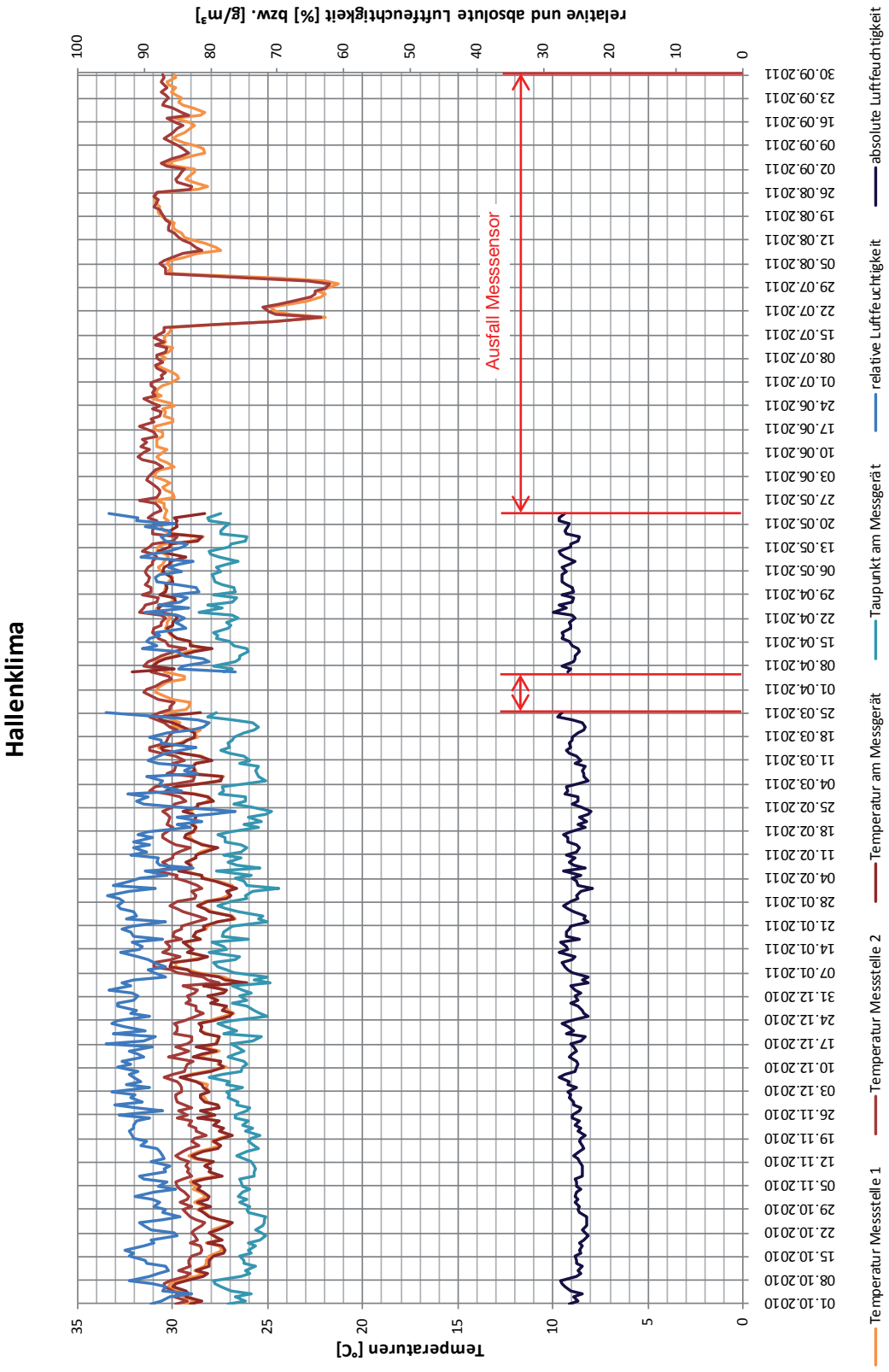


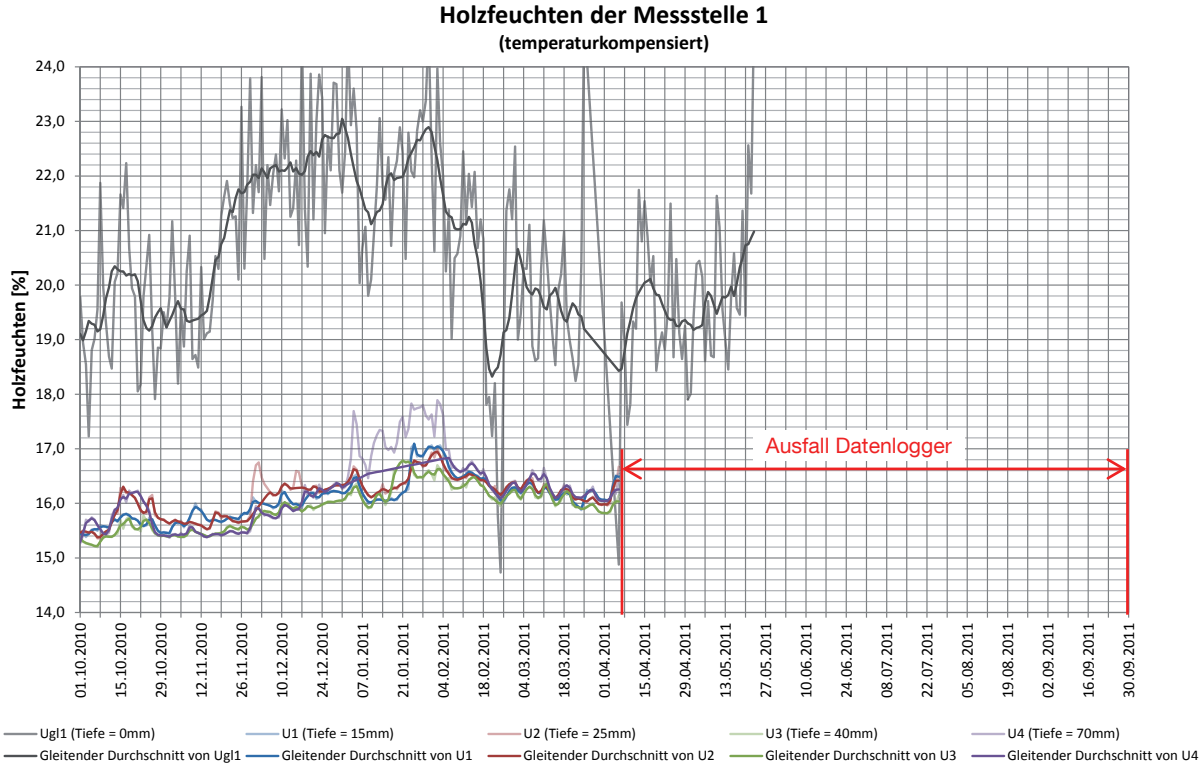
Abbildung A2-4: Ansicht Messstelle 2

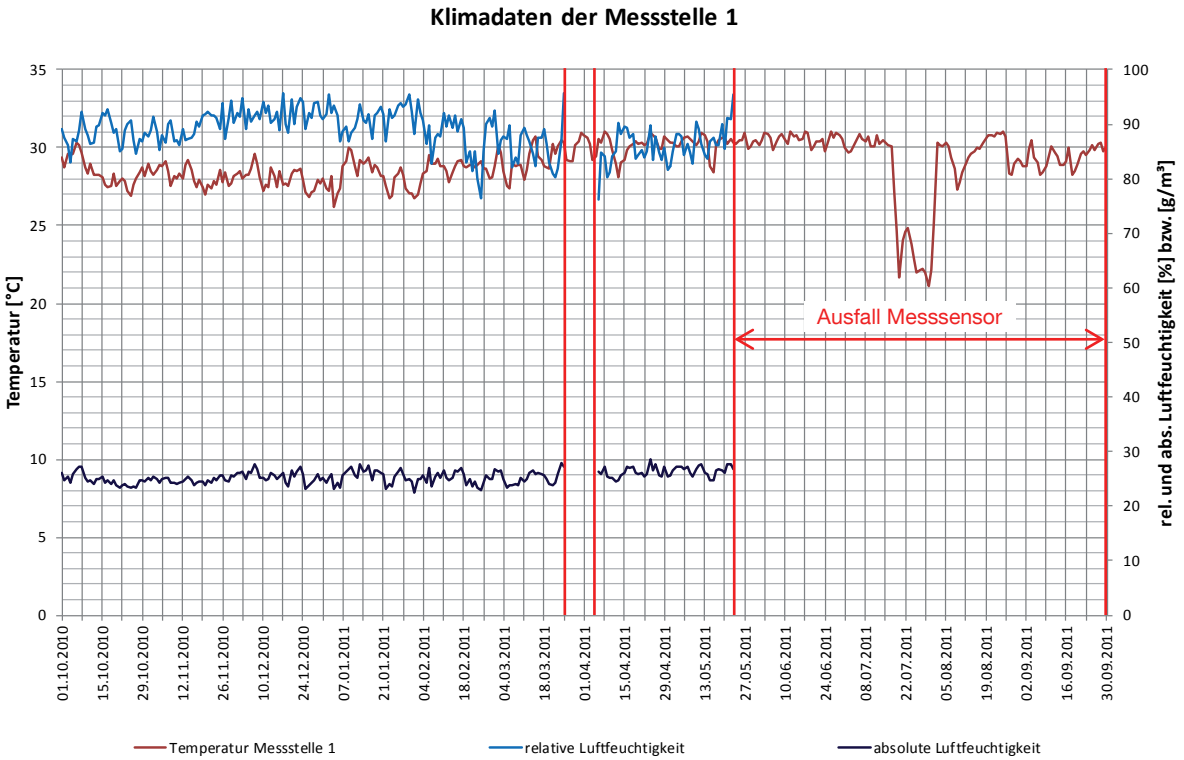
A2 Wellenbad Penzberg - Durchgang



A2 Wellenbad Penzberg - Durchgang

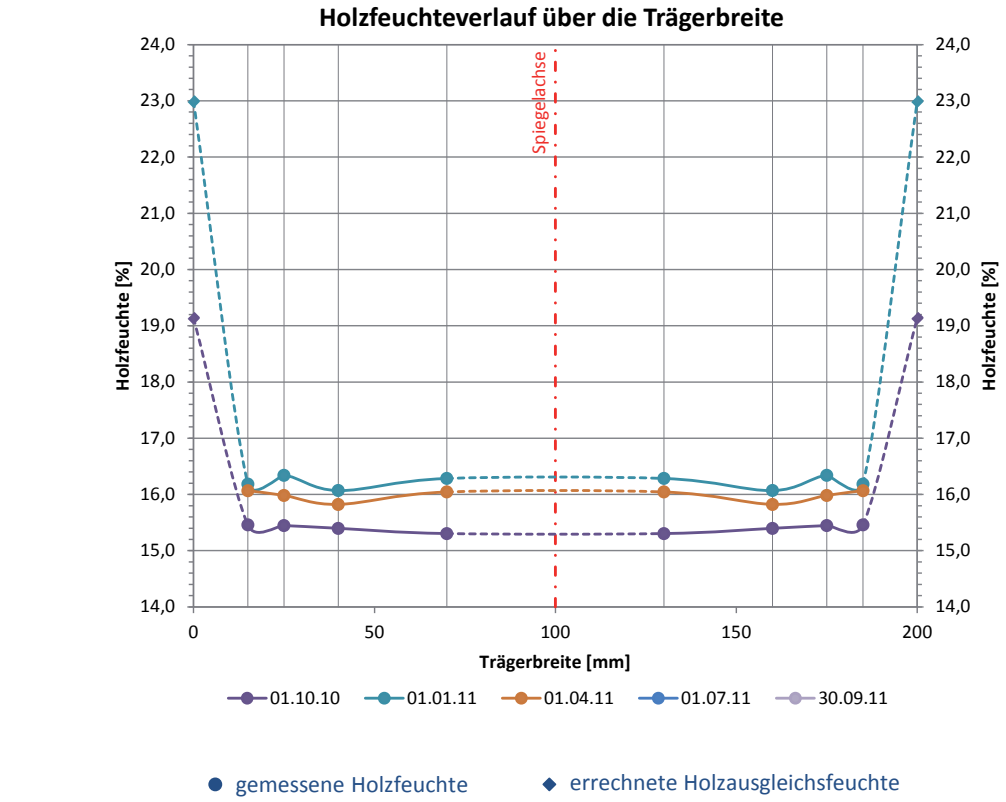
Messstelle 1: Durchgangsbereich ins Außenbecken

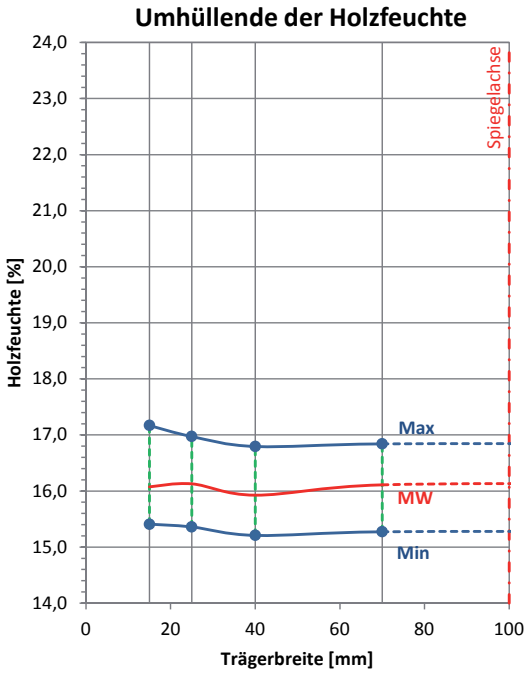


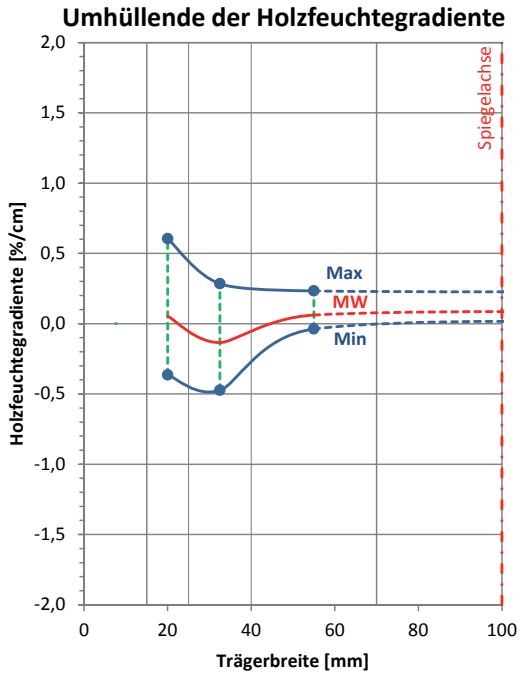


A2 Wellenbad Penzberg - Durchgang

Messstelle 1: Durchgangsbereich ins Außenbecken

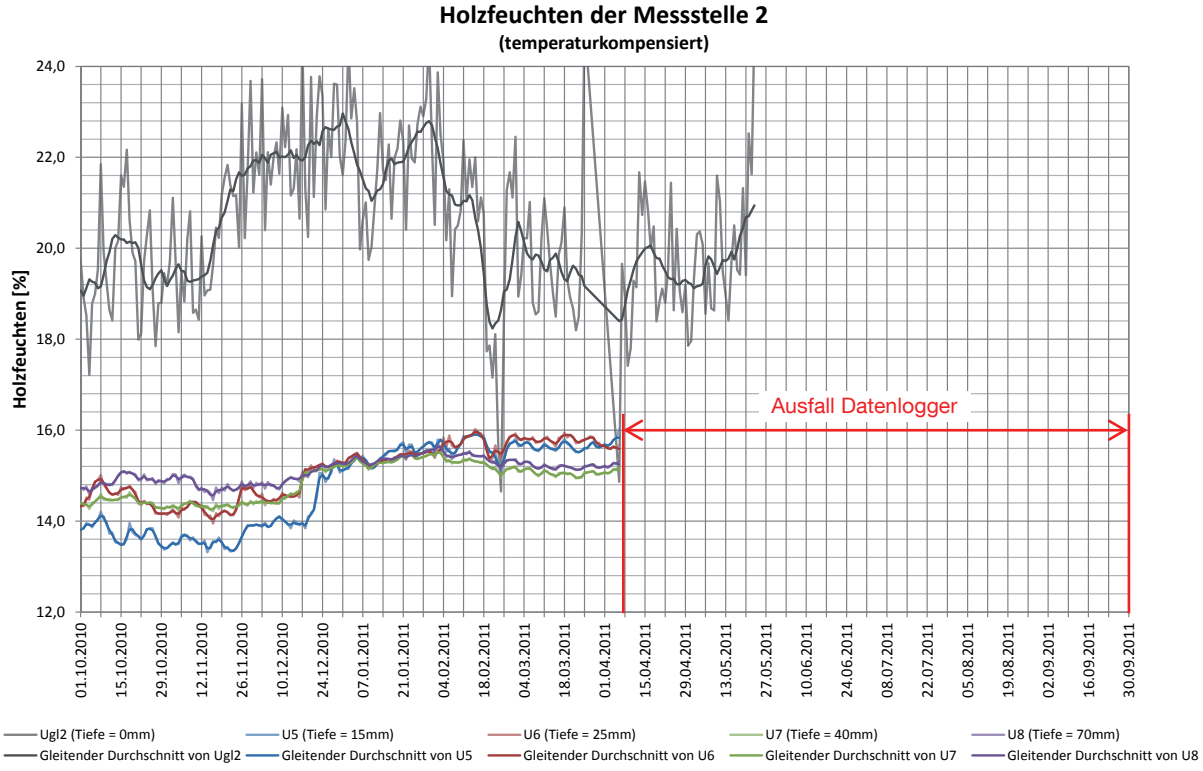


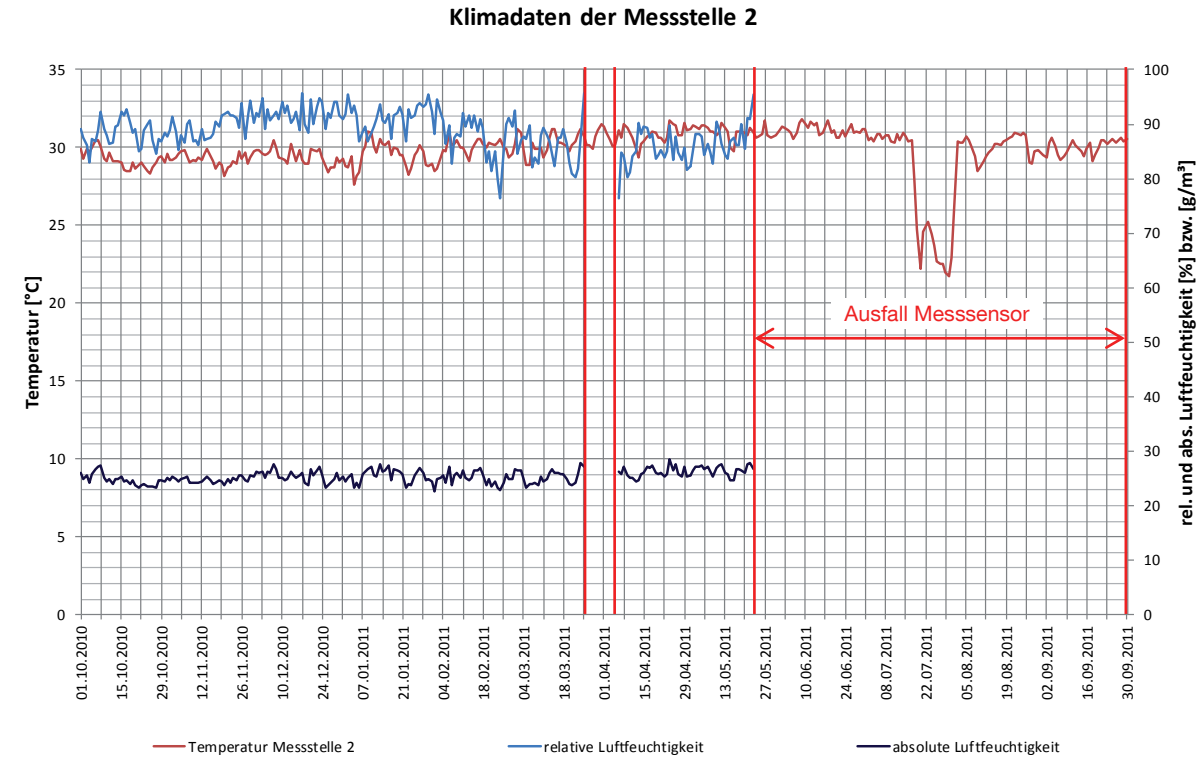




A2 Wellenbad Penzberg - Durchgang

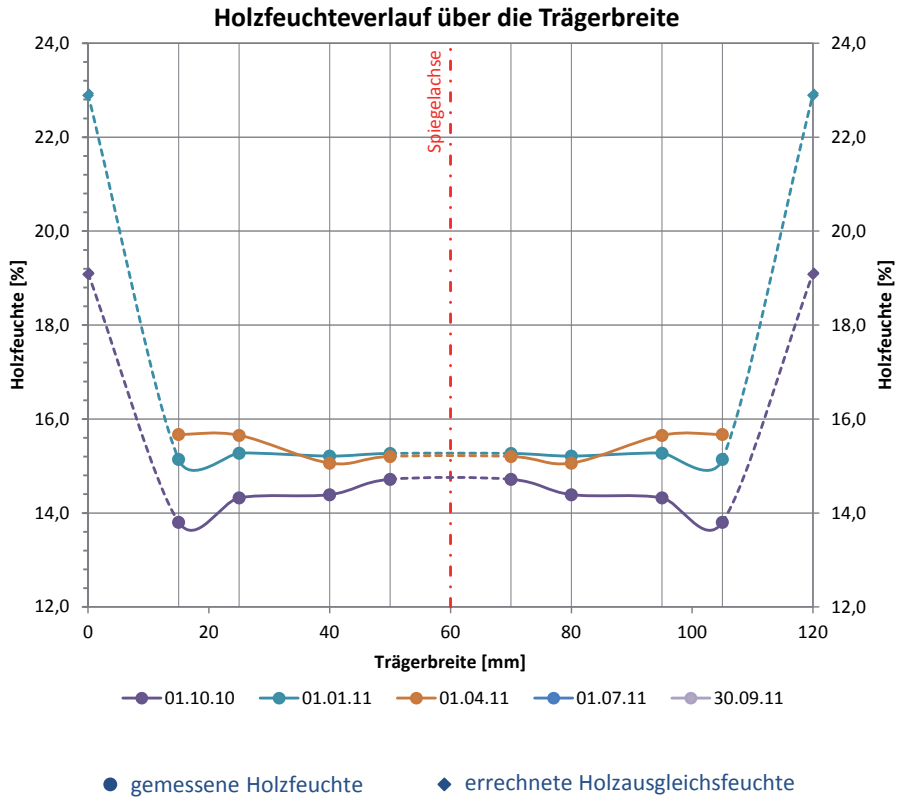
Messstelle 2: Einstiegsbereich im Übergang zu Außenbecken

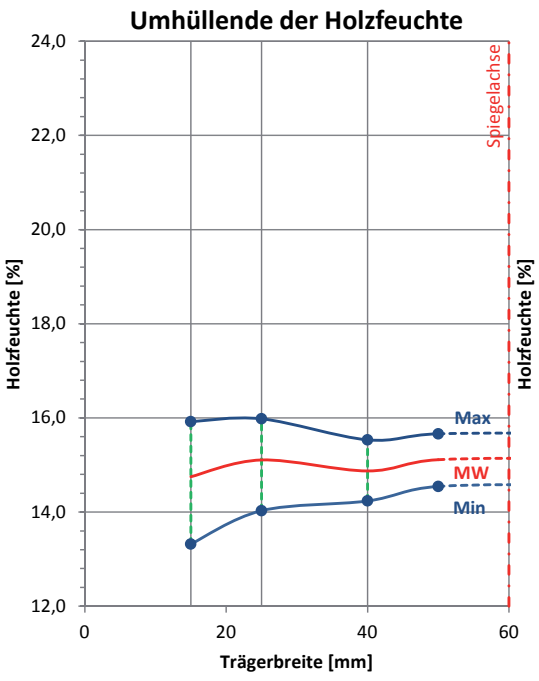


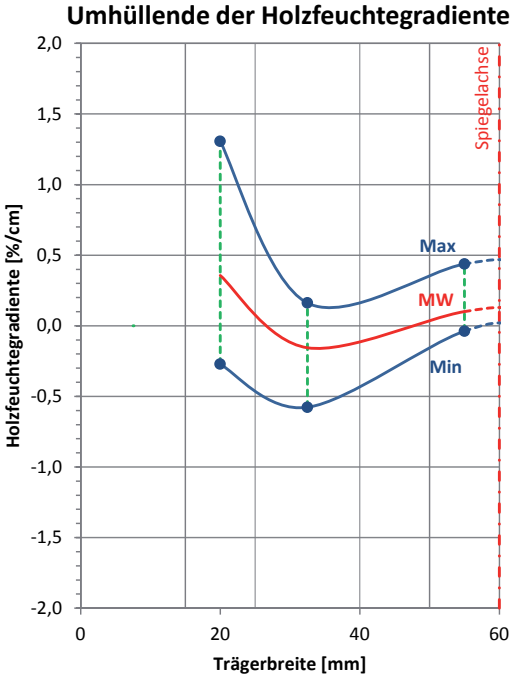


A2 Wellenbad Penzberg - Durchgang

Messstelle 2: Einstiegsbereich im Übergang zu Außenbecken







A3 Schwimmhalle Prienavera Prien

Anschrift: Seestraße 120
83209 Prien

Ansprechpartner: Hr. Freier (vor Ort)

Anwesende vor Ort: Andreas Gamper, Manuel Waidelich, Herr Freier

Installationsdatum: 29.09.2010, 13:00 – 17:00
Letztes Auslesedatum: 13.10.2011, 07:00 – 08:00

Umgebungsbedingungen: Schwimmhalle, allseitig geschlossener, beheizter Raum, Dämmwirkung durch Luftkissen zwischen Dachträgern, zur Zeit der Installation kein Wasser im Becken

Temperatur: 28,5 °C; Luftfeuchte: 34,1 % (z.Zt. d. Installation)

Messstelle 1: Beckenbereich, ca. 12 m über der Wasseroberfläche (entsprechend der Kabellänge und den Montagemitteln möglichst weit über dem Schwimmbecken um den Einfluss der aufsteigenden Feuchte des Wassers zu erfassen)

Messstelle 2: Tribünenbereich (außerhalb des Einflussbereiches des Beckens, Referenz zu Messstelle 1)

	Sensor	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte GANN [%]	Messwert Mugrauer [10lg(Ω)]	Einstellwerte GANN
Messstelle 1	u1	15	6,6	106,1	x–y: 6–5; 30°
	u2	25	7,7	101,9	gemessene
	u3	40	8,3	100	Temperatur
	u4	70	9,2	97,1	t_1: 28,8°C
Messstelle 2	u5	15	6,9	105,2	x–y: 6–5; 30°
	u6	25	7,5	101,4	gemessene
	u7	40	7,6	102,7	Temperatur
	u8	70	7,6	101,6	t_2: 28,2°C

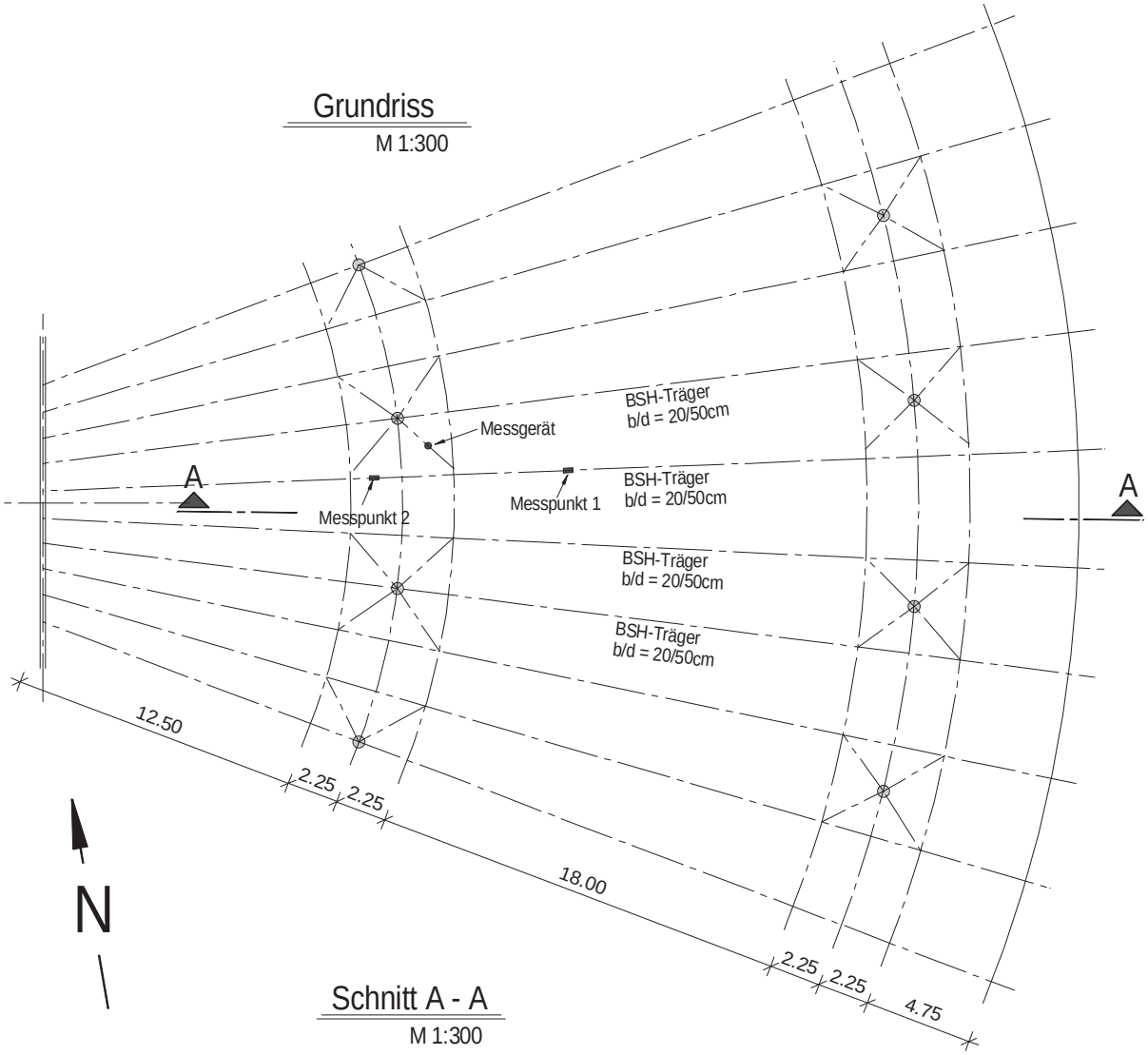
Tragsystem: Gelenkträger auf zwei Baumstützen, max. Spannweite ℓ = 18,0m

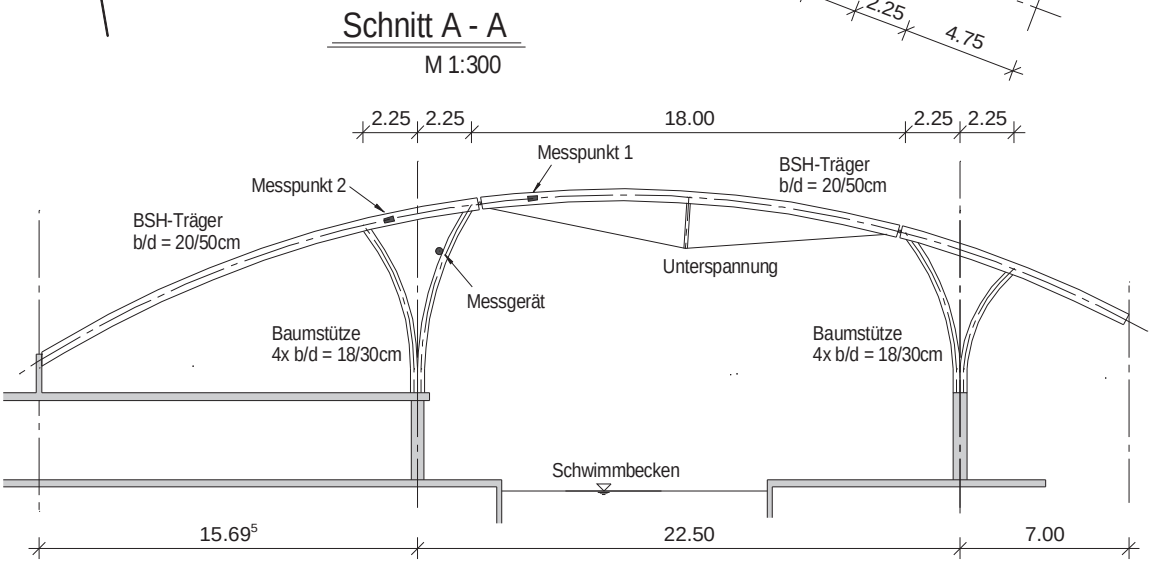
Trägerabmessungen b/h = 20/50 cm^2

Lamellenstärke 34 mm

Bauteile unbehandelt
(vorbehaltlich eines nicht mehr erkennbaren, farblosen, offenporigen Anstrichs)

Skizzen:


Grundriss
M 1:300
BSH-Träger
b/d = 20/50cm
Messgerät
Messpunkt 1
Messpunkt 2
A
A
12.50
2.25
2.25
18.00
2.25
2.25
4.75
N


Schnitt A - A
M 1:300
2.25
2.25
18.00
2.25
2.25
Messpunkt 1
Messpunkt 2
BSH-Träger
b/d = 20/50cm
BSH-Träger
b/d = 20/50cm
Unterspannung
Messgerät
Baumstütze
4x b/d = 18/30cm
Baumstütze
4x b/d = 18/30cm
Schwimmbecken
15.69
5
22.50
7.00

Bilder:

Abbildung A3-1: Ansicht Tragwerk

Abbildung A3-2: Ansicht Messstation

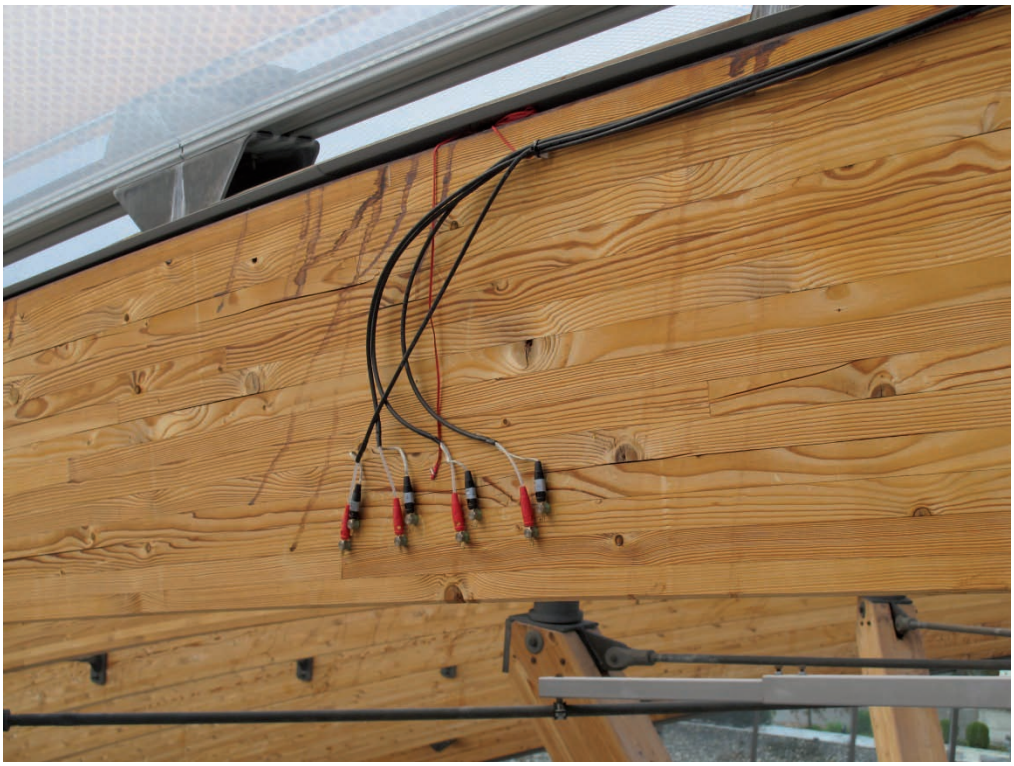


Abbildung A3-3: Ansicht Messstelle 1

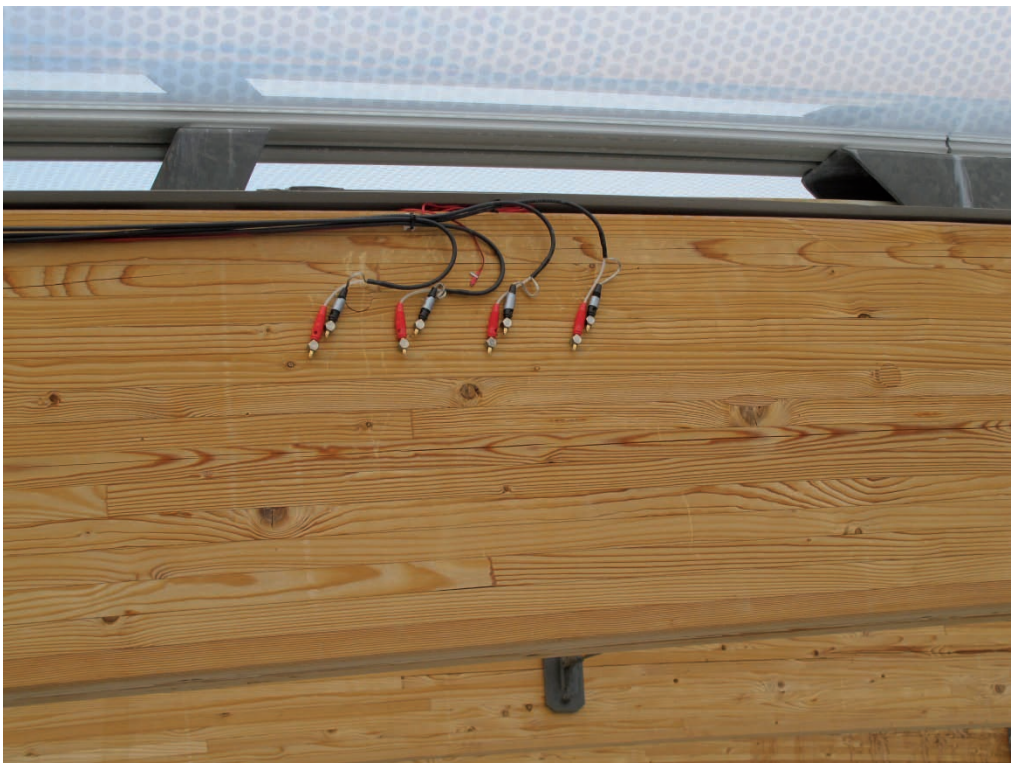
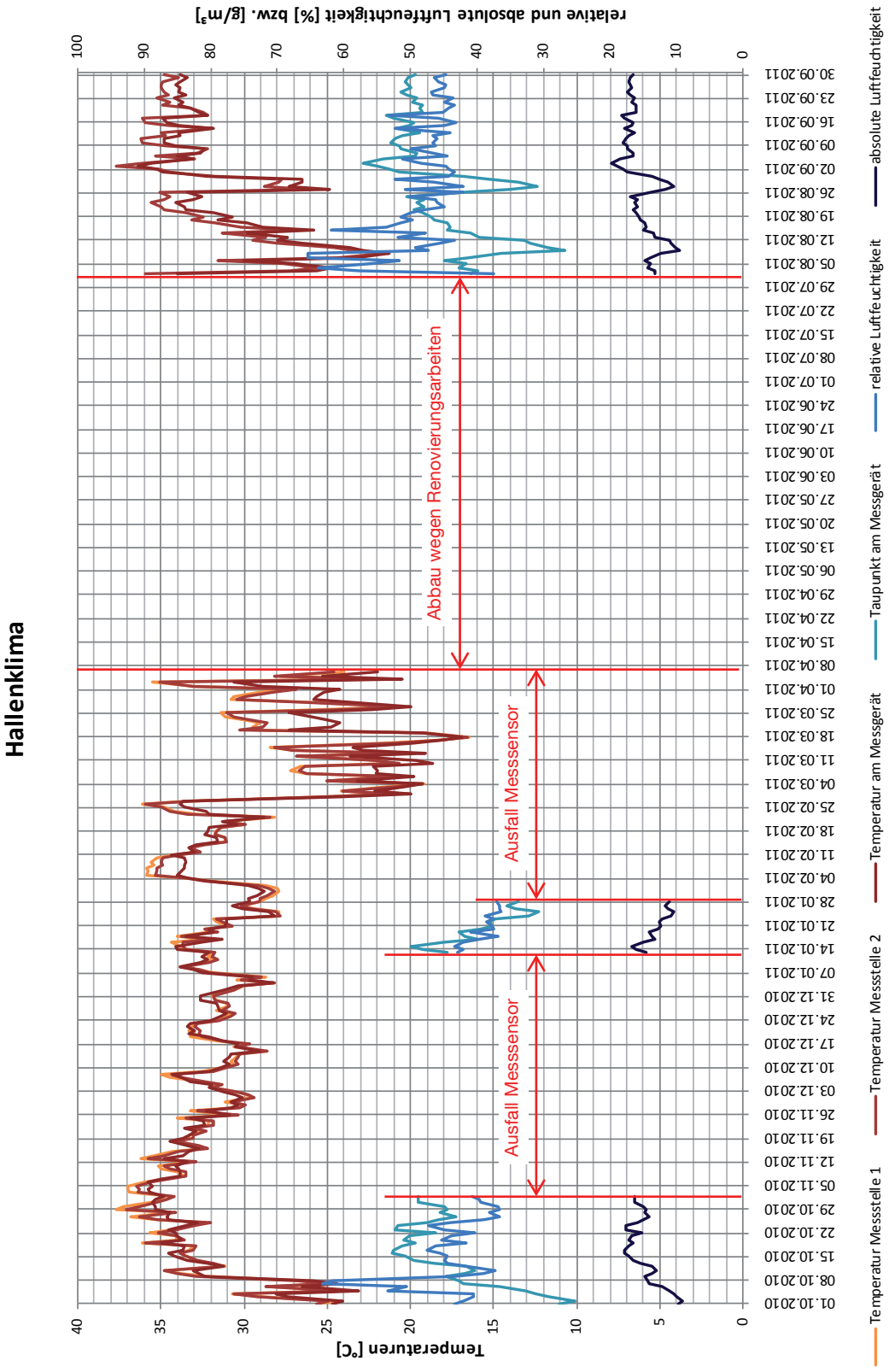


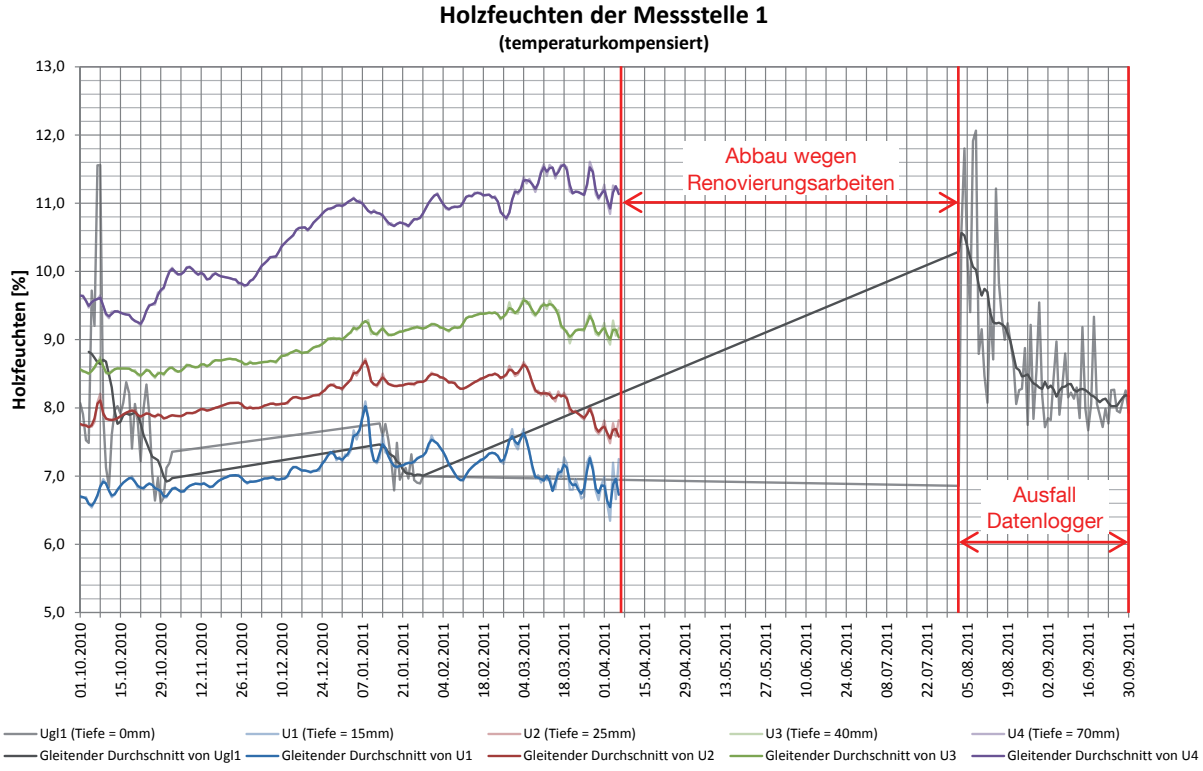
Abbildung A3-4: Ansicht Messstelle 2

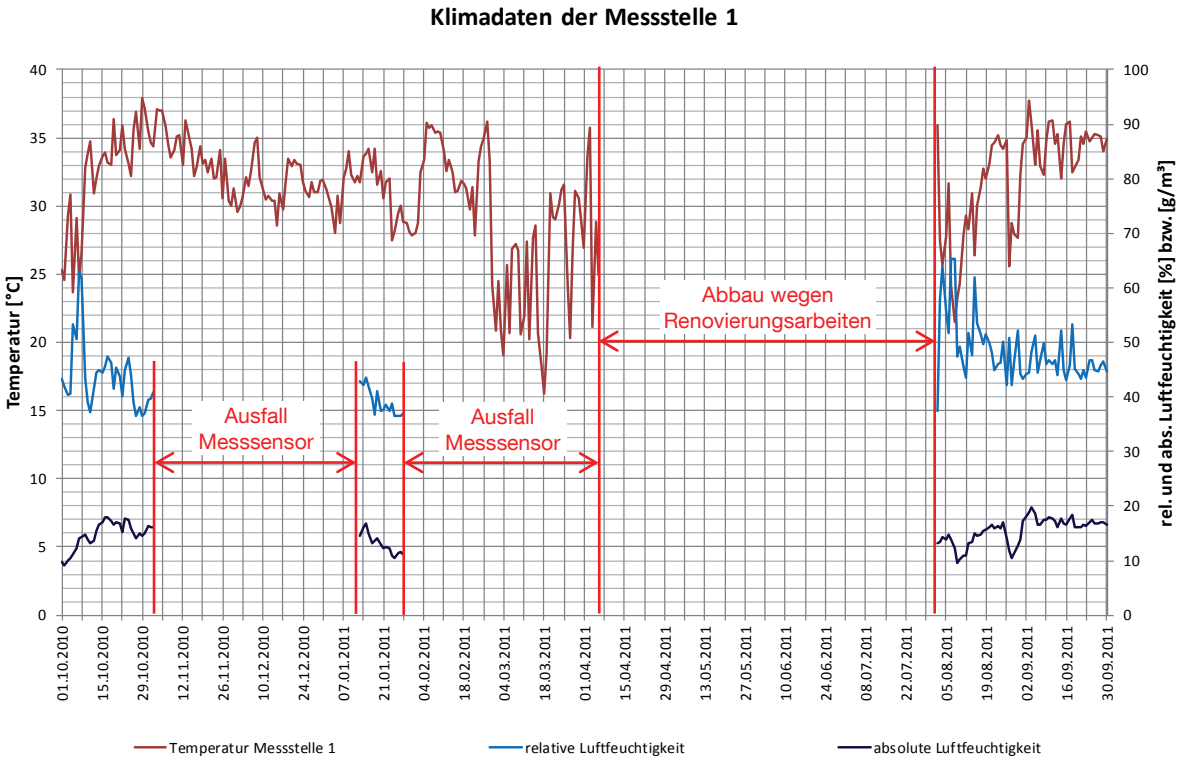
A3 Schwimmhalle Prienavera Prien



A3 Schwimmhalle Prienavera Prien

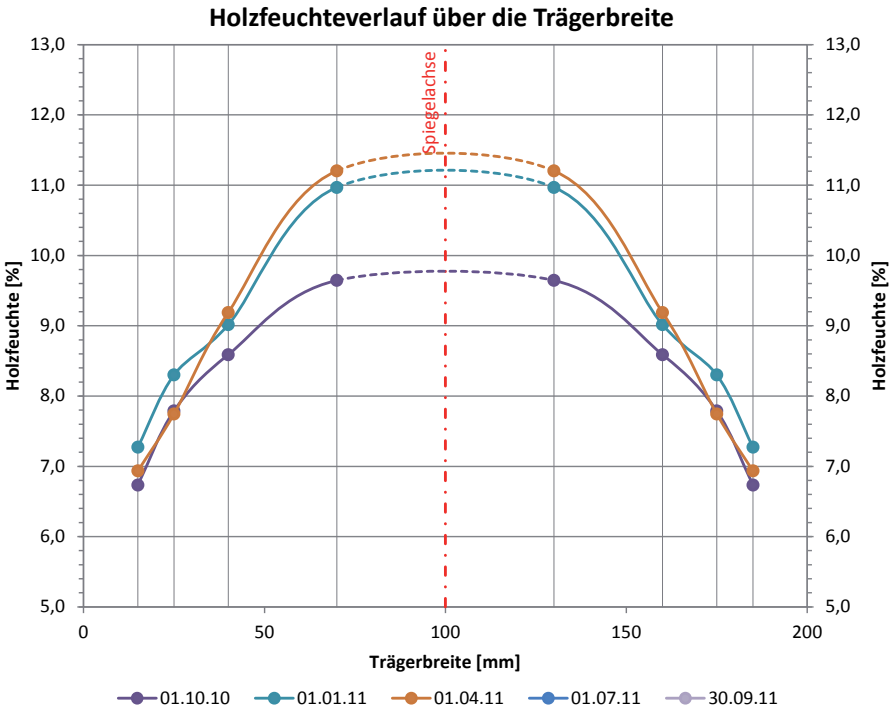
Messstelle 1: Beckenbereich

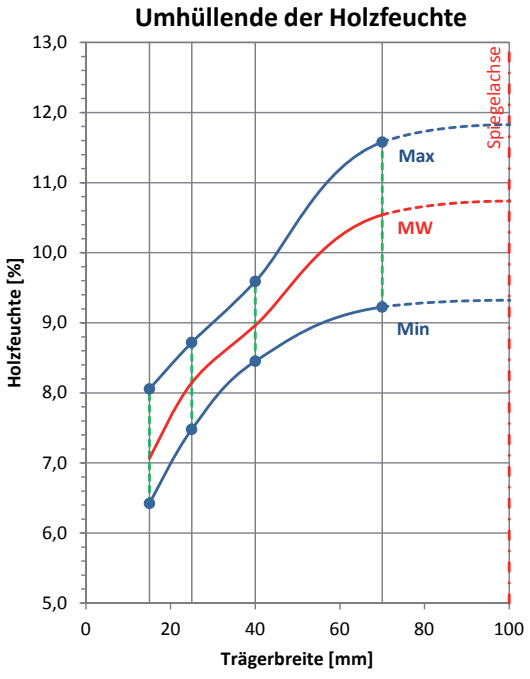


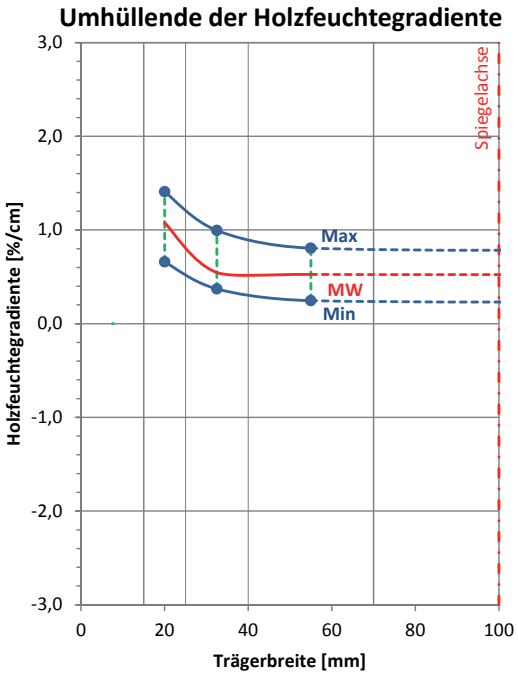


A3 Schwimmhalle Prienavera Prien

Messstelle 1: Beckenbereich

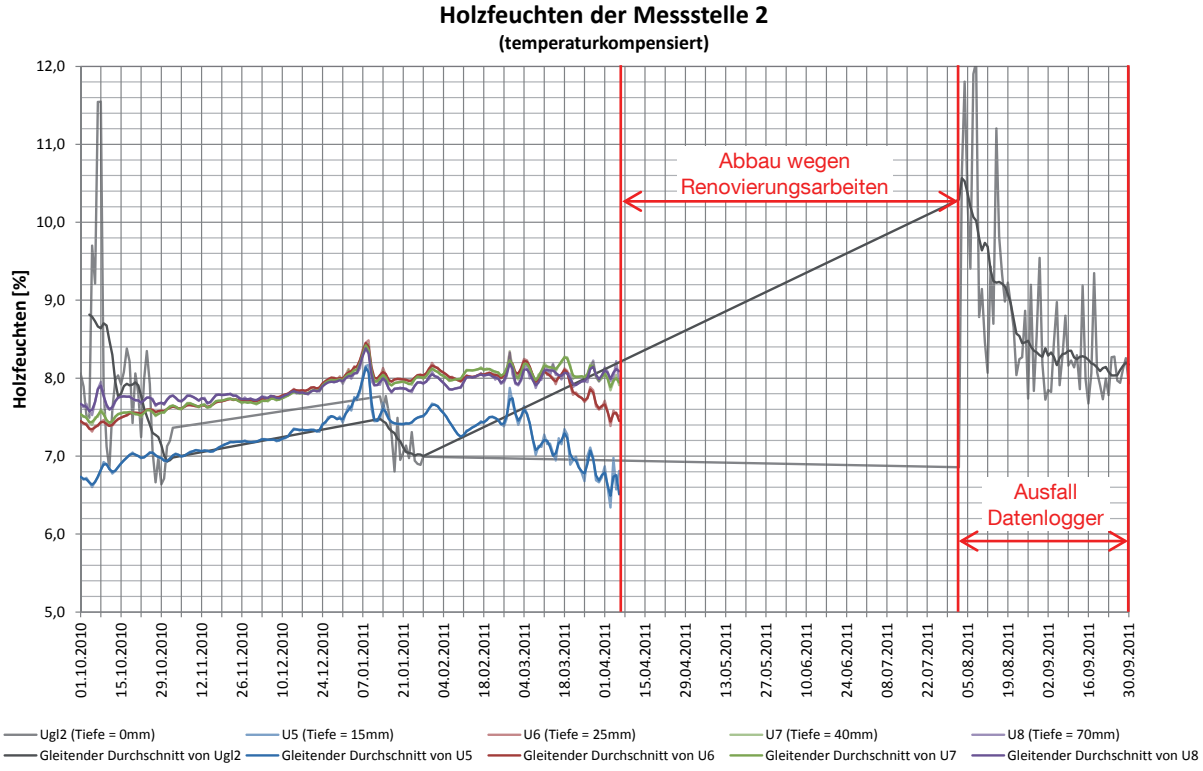


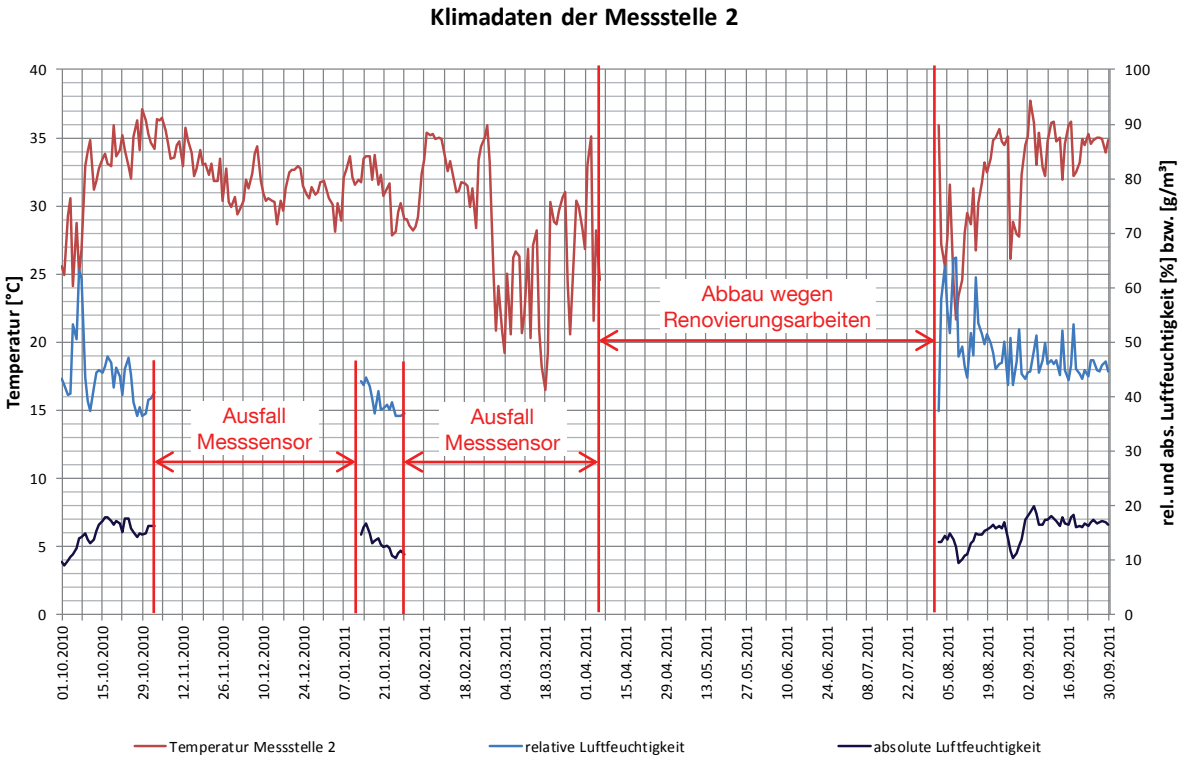




A3 Schwimmhalle Prienavera Prien

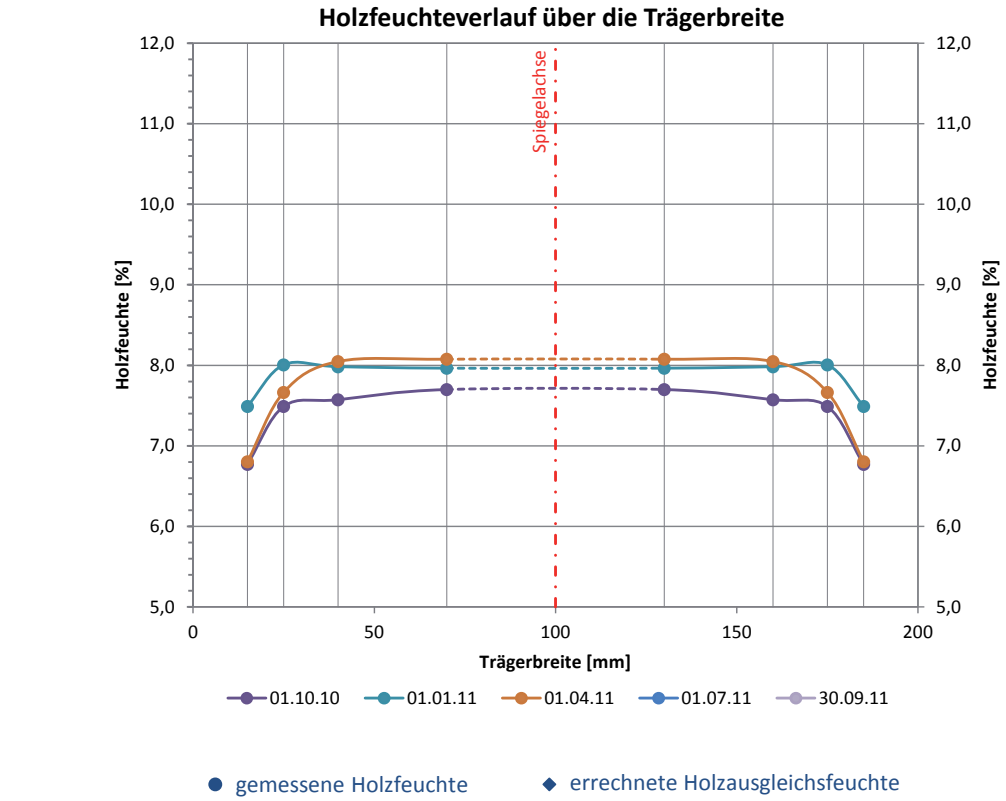
Messstelle 2: Im Tribünenbereich mit Sonnenbänken und Liegestühlen

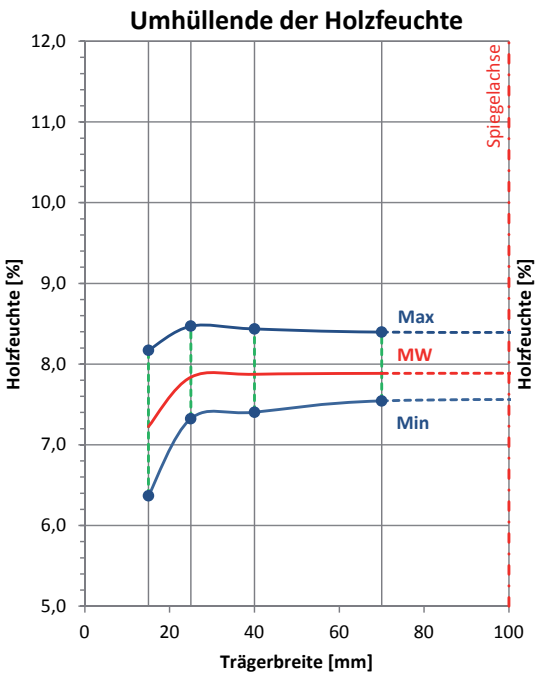


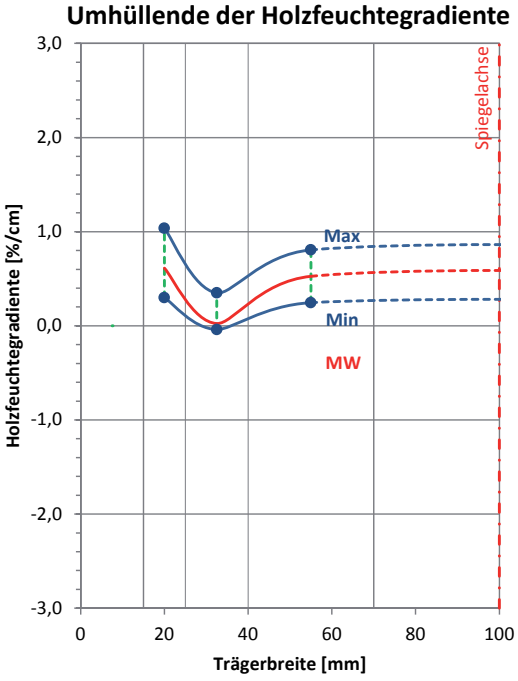


A3 Schwimmhalle Prienavera Prien

Messstelle 2: Im Tribünenbereich mit Sonnenbänken und Liegestühlen







B1 Eishalle Landsberg

Anschrift: Hungerbachweg 1
86899 Landsberg am Lech

Ansprechpartner: Hr. Kinzl (Eismeister); Hr. Wilhelm

Anwesende vor Ort: Andreas Gamper, Manuel Waidelich, Hr. Kinzl

Installationsdatum: 29.09.2010, 9:00 – 11:00
Letztes Auslesedatum: 10.10.2011, 10:00 – 11:00

Umgebungsbedingungen: Eishalle, allseitig geschlossener, konstruktiv gedämmter, unbeheizter Raum

Temperatur: 5,0 °C; Luftfeuchte: 68,4 % (z.Zt. d. Installation)

Messstelle 1: über Eisfläche, ca. 12,0 m von Bande entfernt
(möglichst zentral über der Eisfläche um den Einfluss der kalten Eisoberfläche zu erfassen)

Messstelle 2: über Tribüne, ca. 2,0 m vor Bande
(möglichst zentral über der Tribüne um den Einfluss der Besucher bei Veranstaltungen zu erfassen)

Sensor	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte GANN [%]	Messwert Mugrauer [10lg(Ω)]	Einstellwerte GANN	
u1	15	16,5	85,5	x–y: 6–5; 5°	Messstelle 1
u2	25	16,3	86,1	gemessene	
u3	40	16,2	86,1	Temperatur	
u4	70	16,1	86,3	t_1: 4,7°C	
u5	15	15,3	90,5	x–y: 6–5; 5°	Messstelle 2
u6	25	15,2	90,7	gemessene	
u7	40	14,5	92,6	Temperatur	
u8	70	13,5	97,3	t_2: 5,0°C	

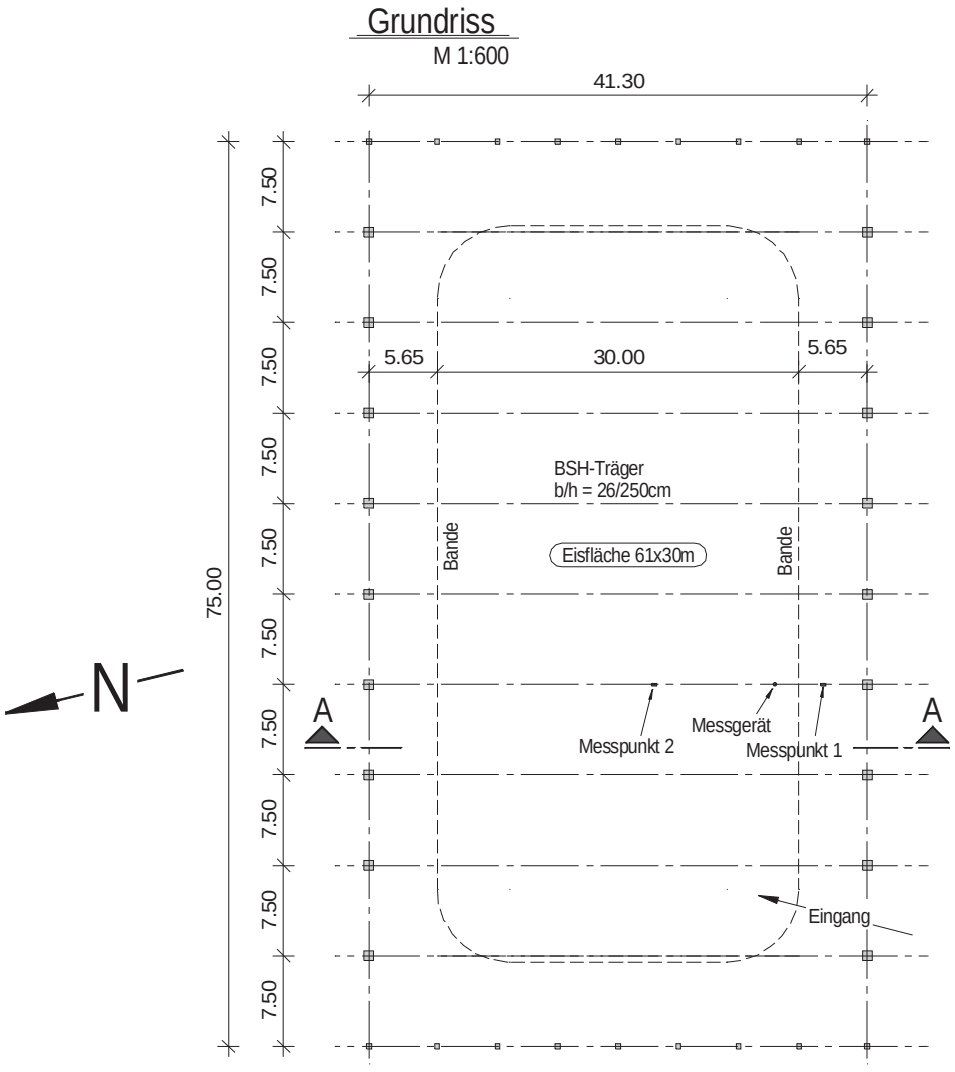
Tragsystem: Einfeldträger mit 2 Kragarmen, Spannweite ℓ = 40,5 m
11 Achsen, Binderachsabstand e = 7,50 m, Gebäudehöhe h = 7,42m
Trägerabmessungen b/h = 26/250 cm^2

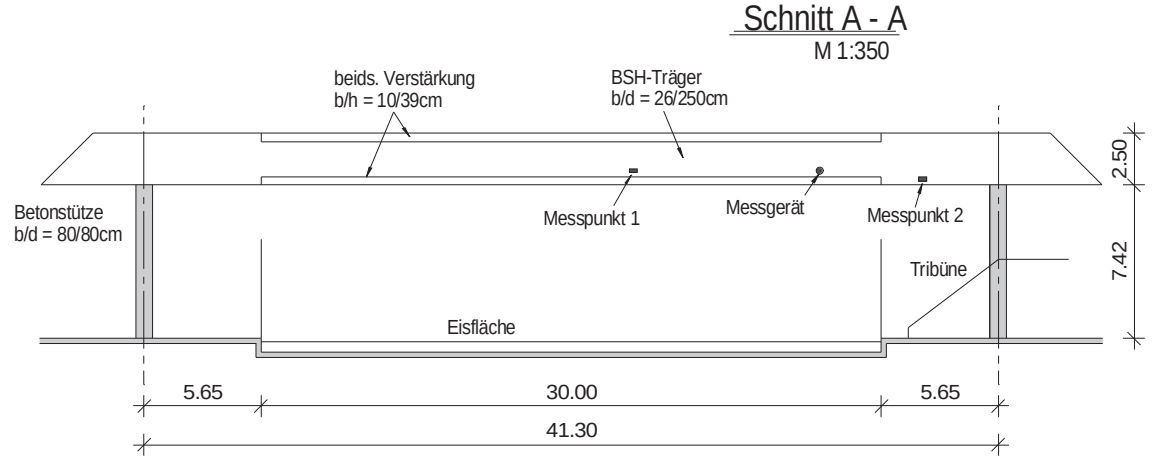
Beidseitige Verstärkung an Ober- und Unterkante,
jeweils b/h = 10/39 cm^2

Lamellenstärke 32 mm

Filmbildender Anstrich auf Träger und Verstärkungen

Skizzen:


Grundriss
M 1:600
41.30
75.00
7.50
5.65
30.00
5.65
BSH-Träger
b/h = 26/250cm
Bande
Eisfläche 61x30m
Bande
N
A
A
Messpunkt 2
Messgerät
Messpunkt 1
Eingang


Schnitt A - A
M 1:350
beids. Verstärkung
b/h = 10/39cm
BSH-Träger
b/d = 26/250cm
Betonstütze
b/d = 80/80cm
Messpunkt 1
Messgerät
Messpunkt 2
Tribüne
Eisfläche
2.50
7.42
5.65
30.00
5.65
41.30

Bilder:

Abbildung B1-1: Ansicht Tragwerk

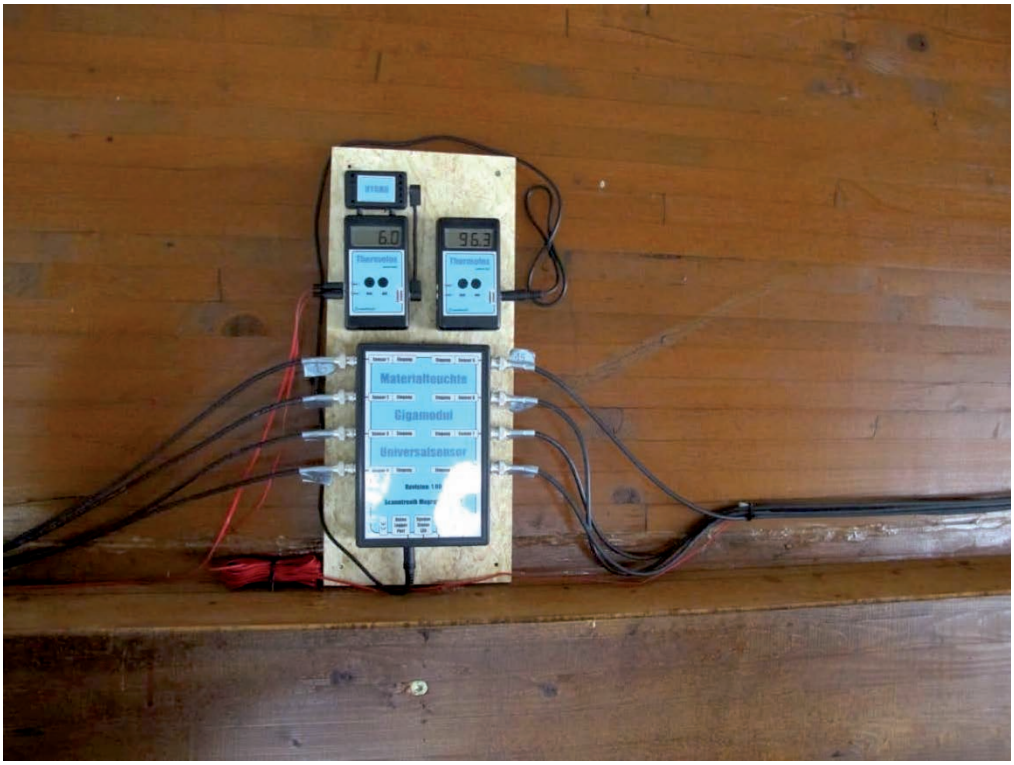


Abbildung B1-2: Anssicht Messstation

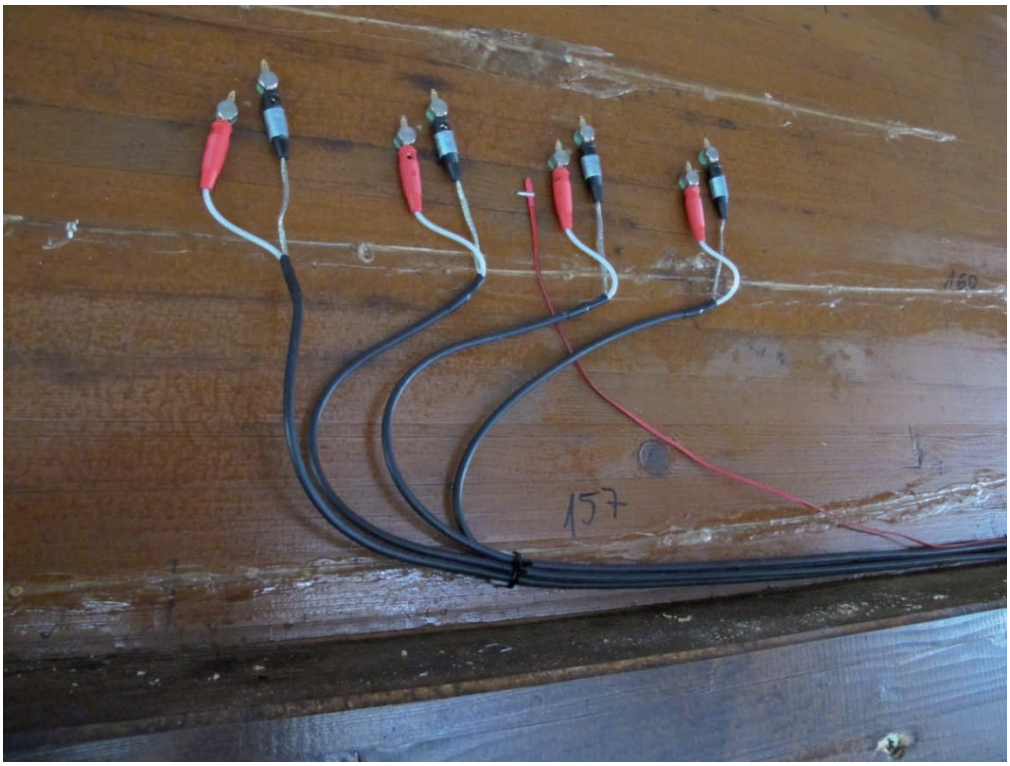


Abbildung B1-3: Ansicht Messstelle 1

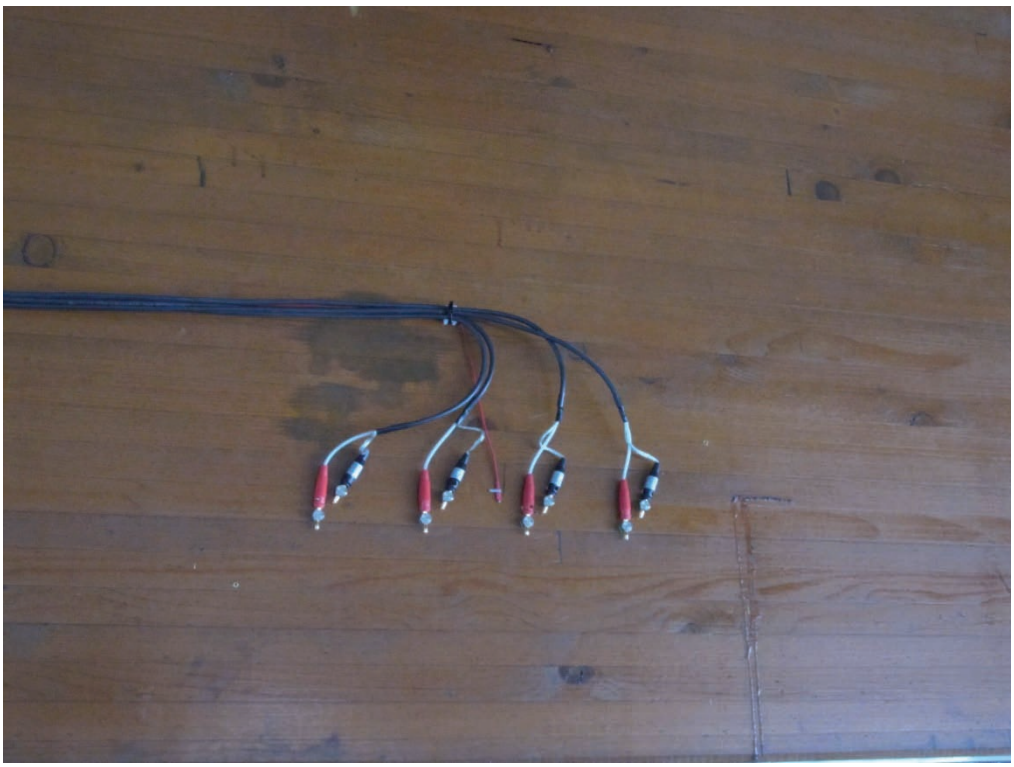
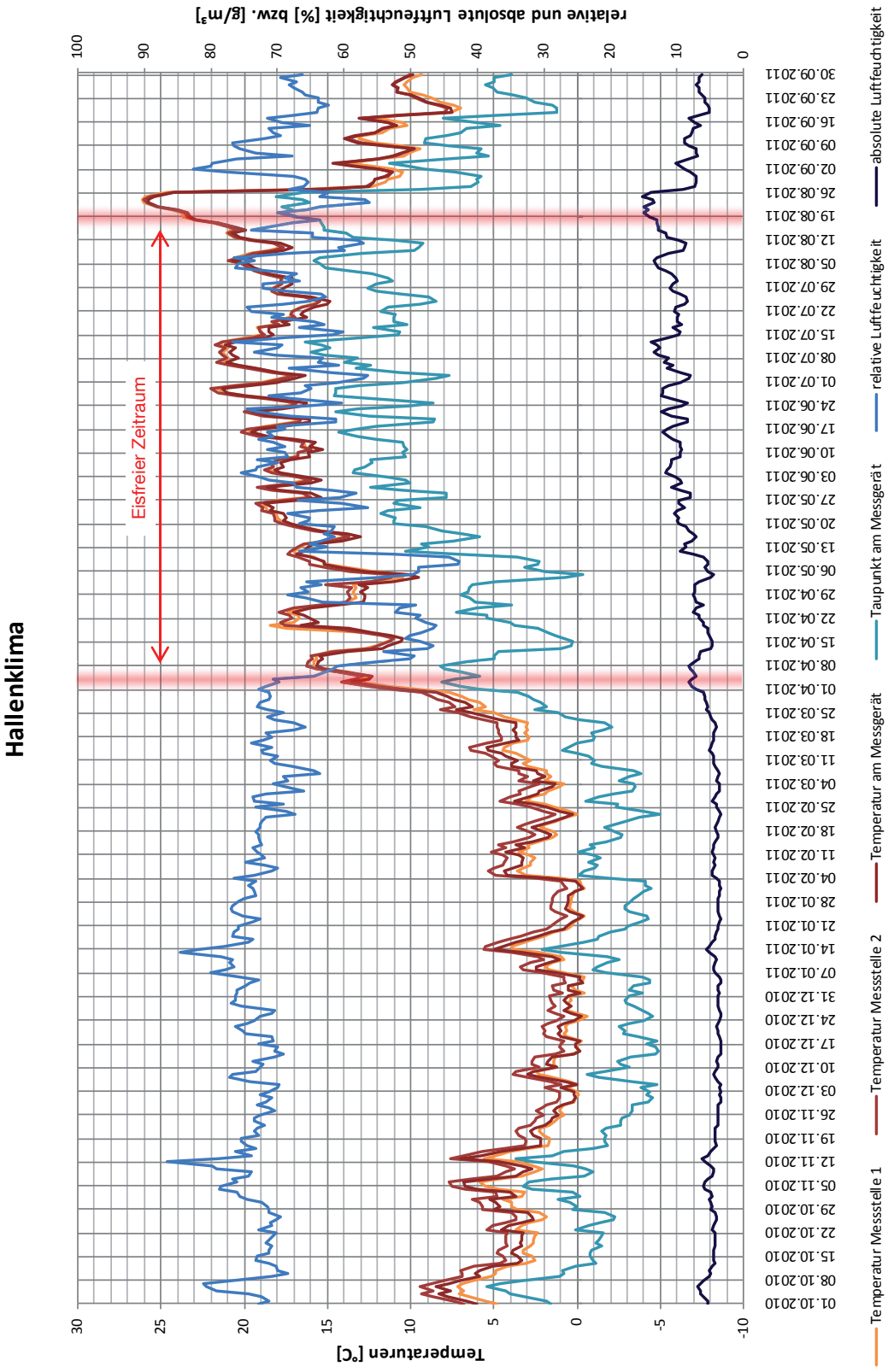


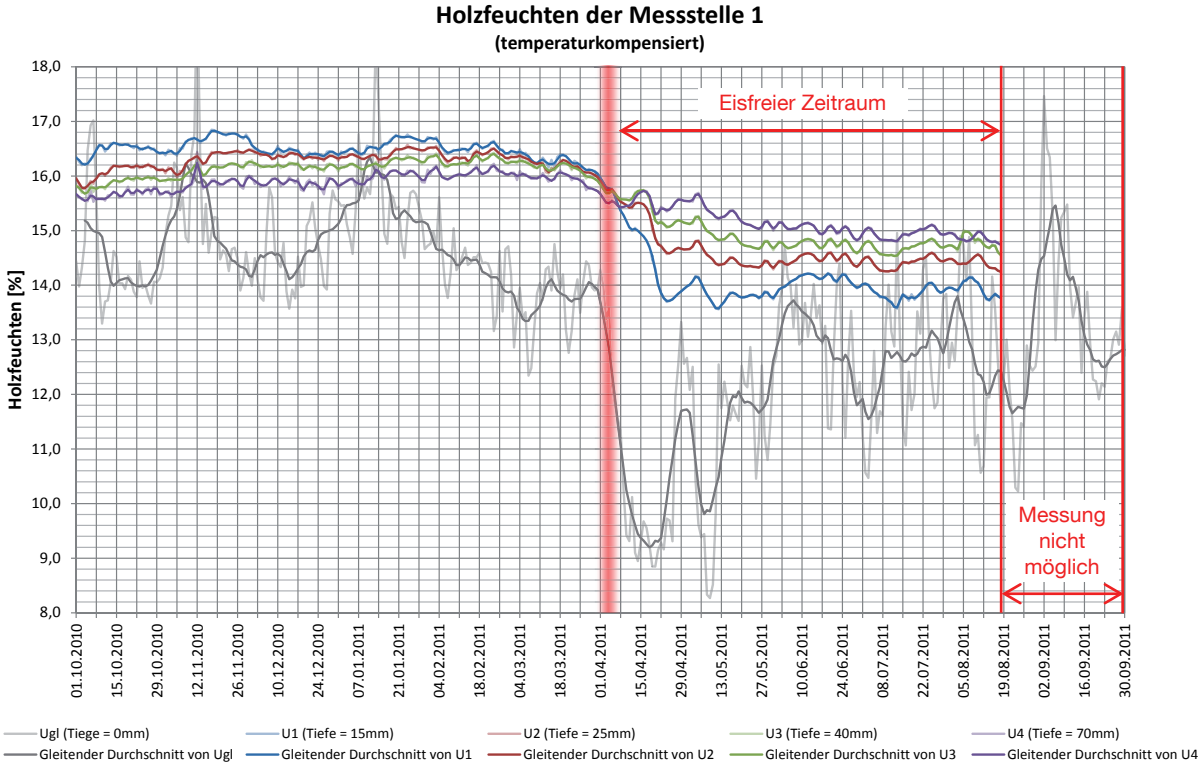
Abbildung B1-4: Ansicht Messstelle 2

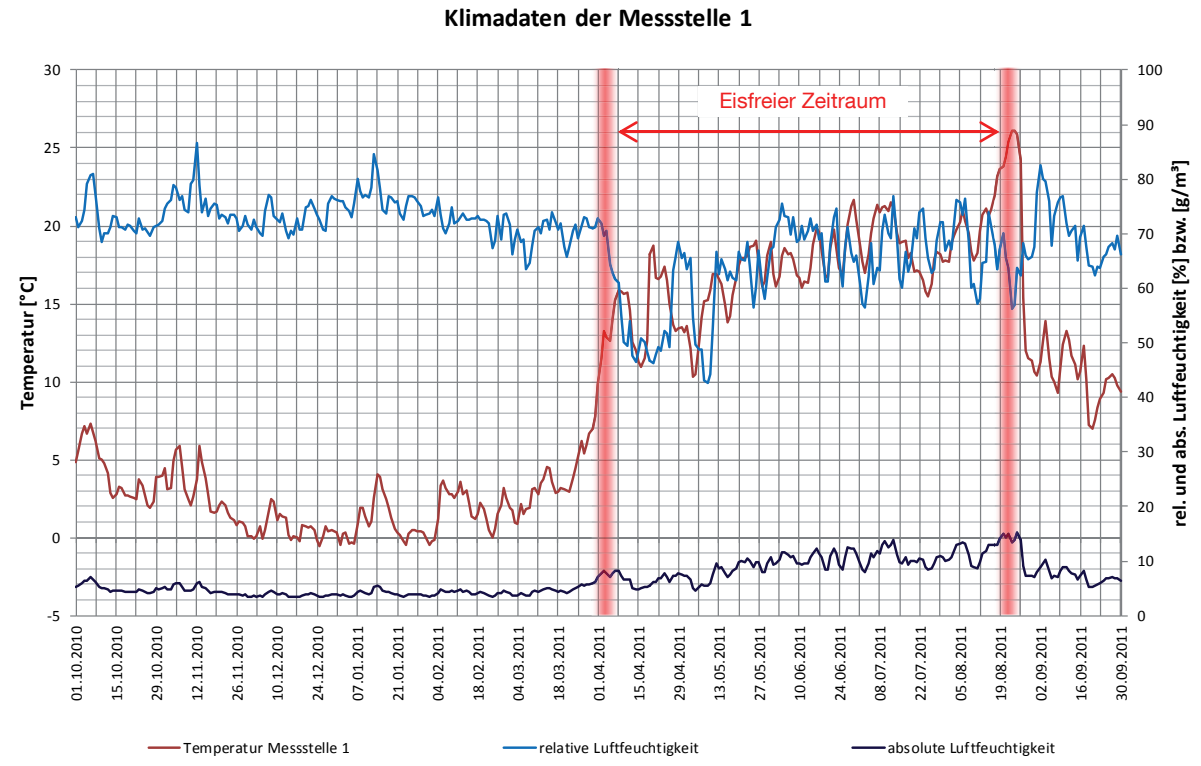
B1 Eishalle Landsberg



B1 Eishalle Landsberg

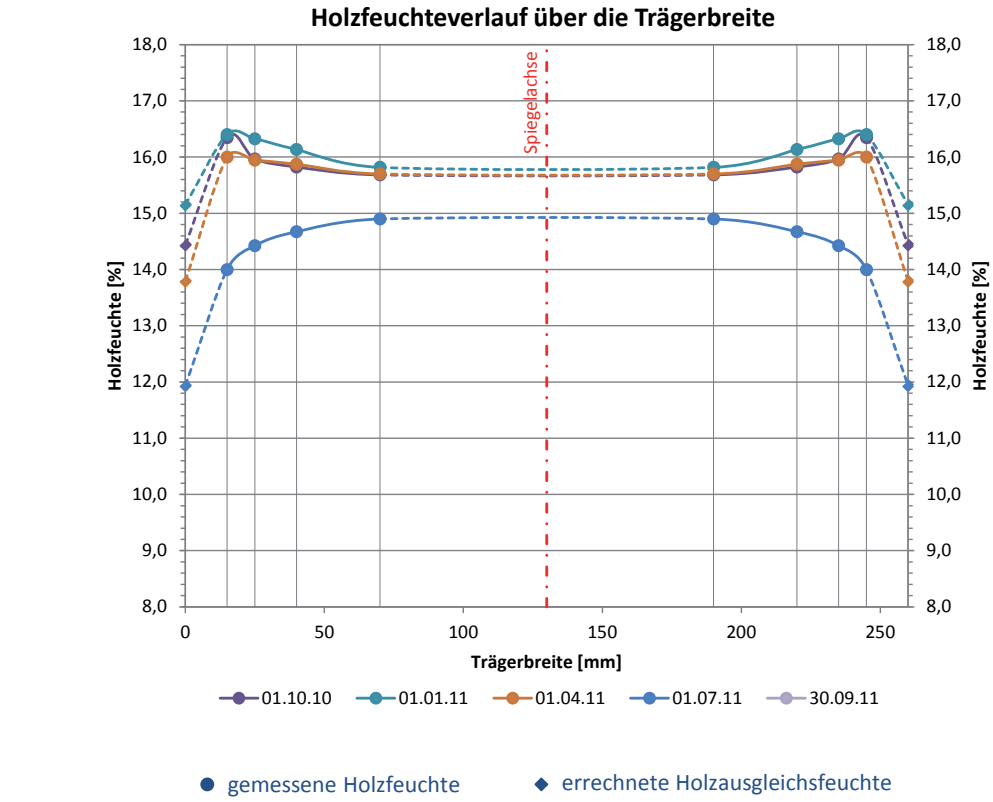
Messstelle 1: Über Eisfläche, ca. 12,0 m von Bande entfernt

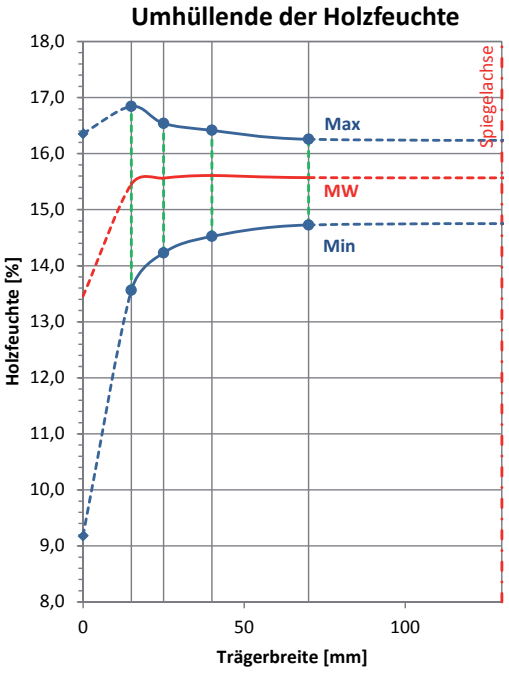


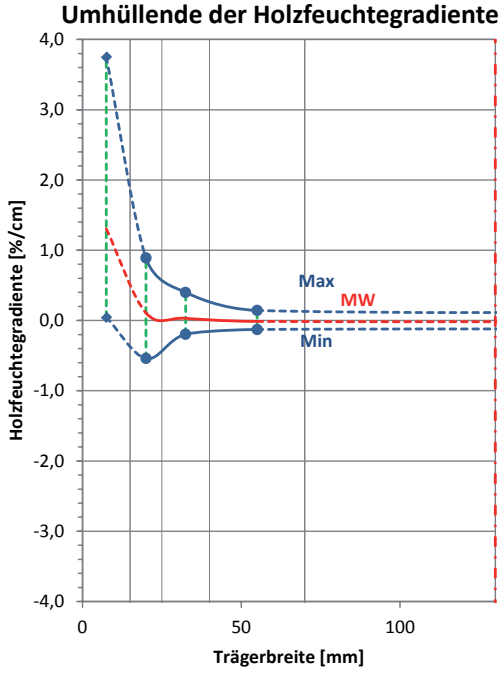


B1 Eishalle Landsberg

Messstelle 1: Über Eisfläche, ca. 12,0 m von Bande entfernt

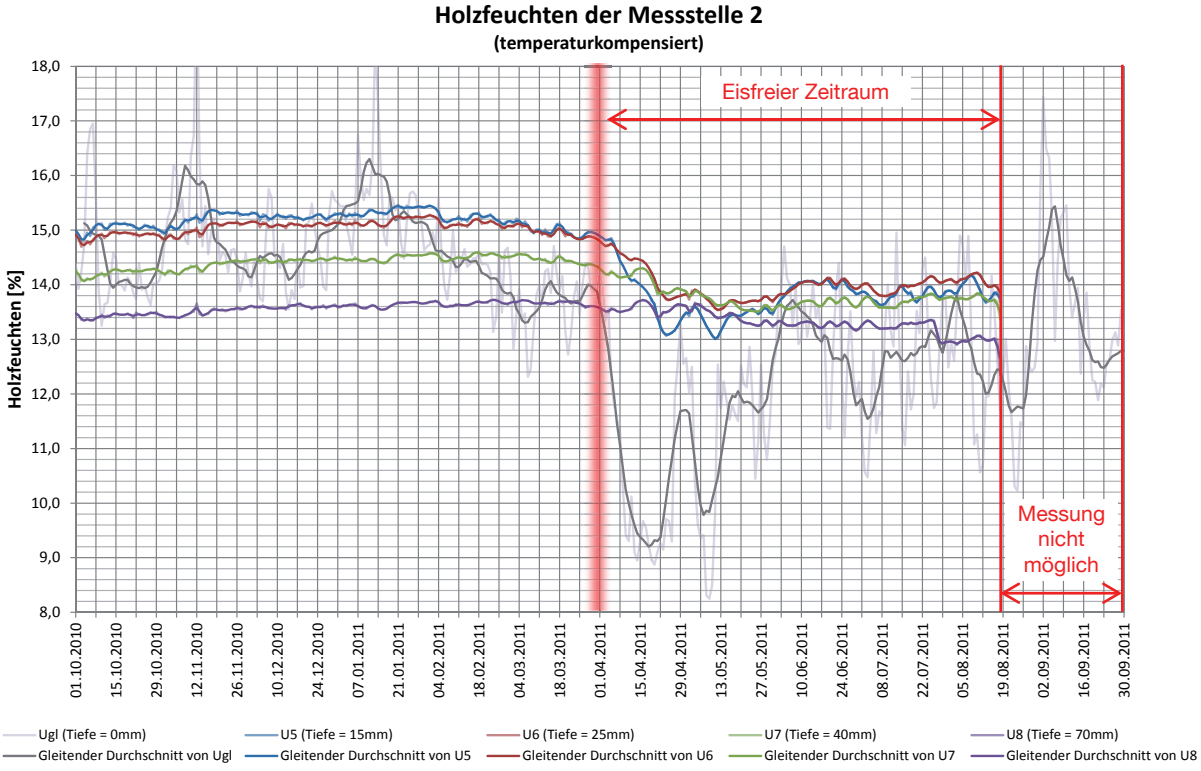


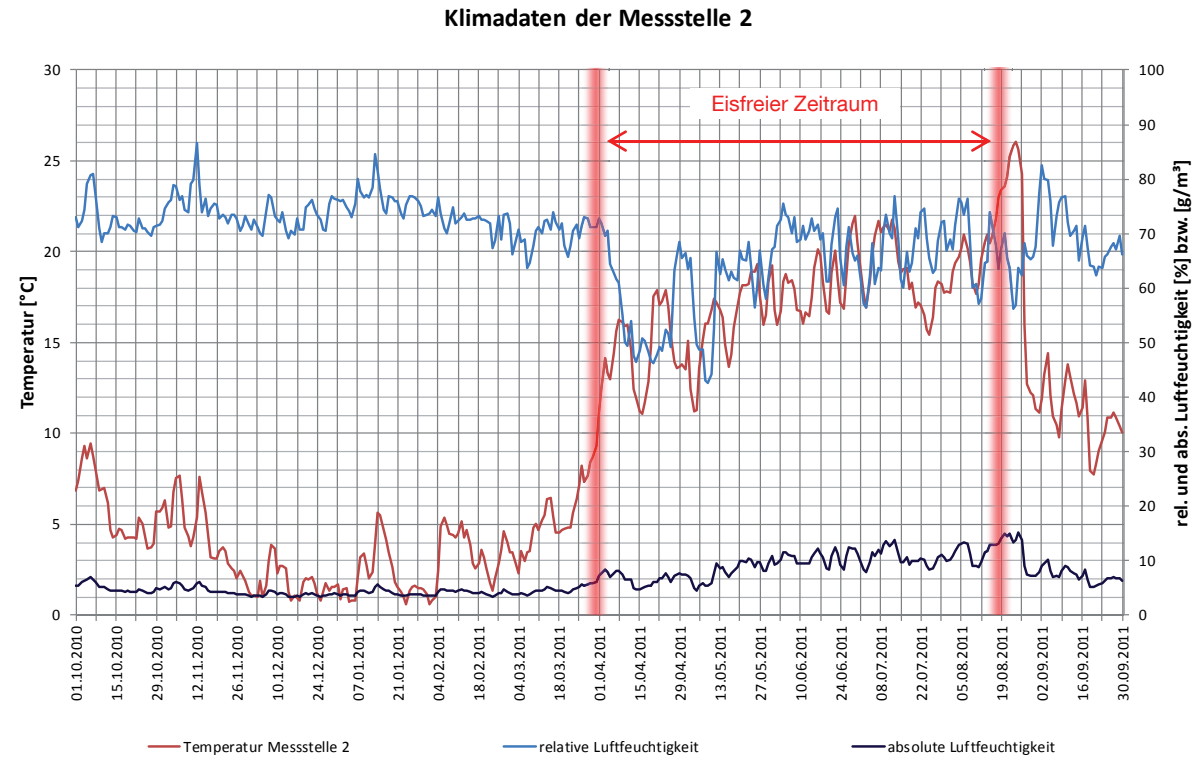




B1 Eishalle Landsberg

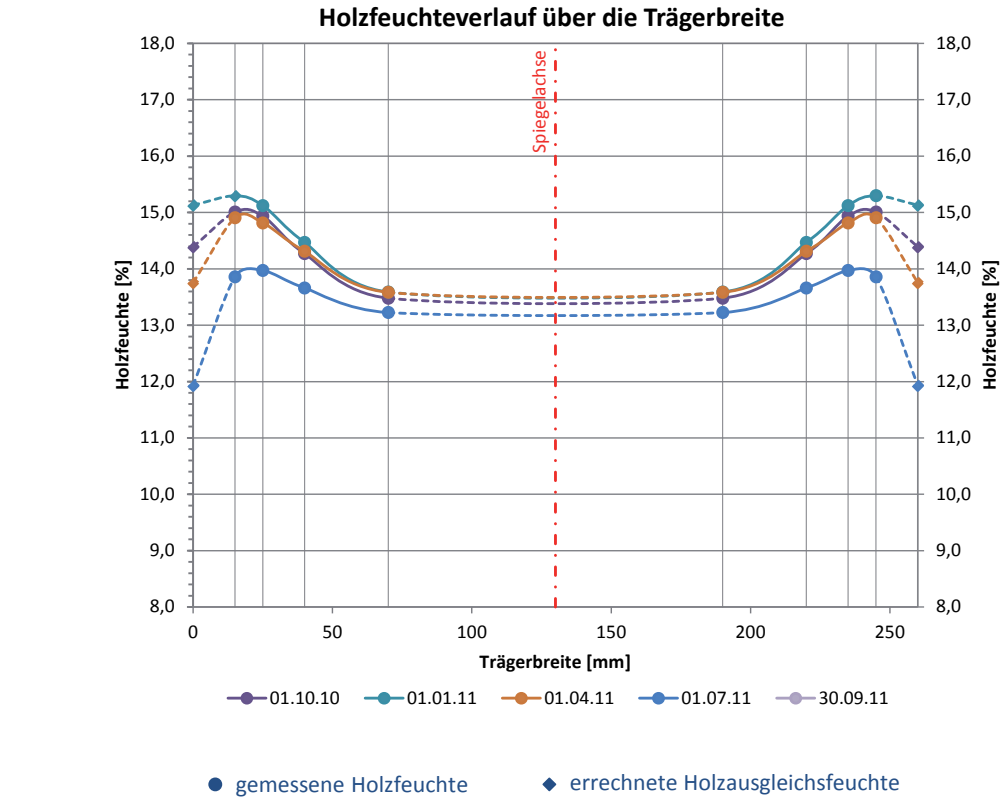
Messstelle 2: Über Tribüne, ca. 2,0 m vor Bande

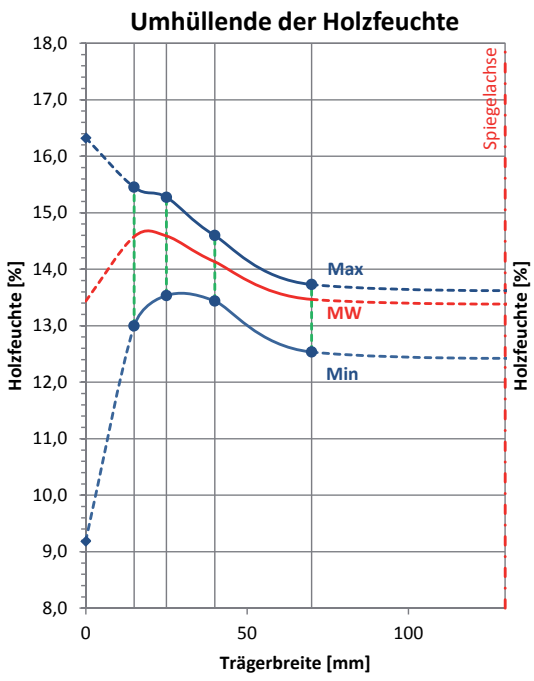


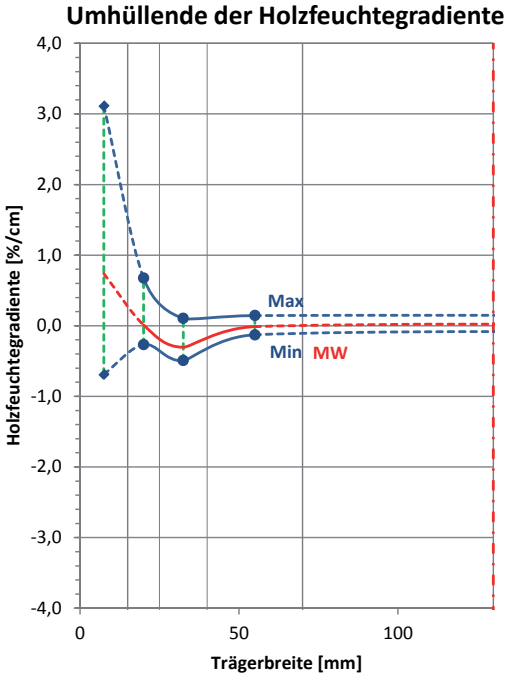


B1 Eishalle Landsberg

Messstelle 2: Über Tribüne, ca. 2,0 m vor Bande







B2 Eishalle Buchlohe

Anschrift: Rießerseestr. 1
86807 Buchloe

Ansprechpartner: Herr A. Stiegelmeyr
Herr Melder

Anwesende vor Ort: Philipp Dietsch, Andreas Gamper, Hr. Stiegelmeyr

Installationsdatum: 17.09.2010, 09:30 – 12:00
Letztes Auslesedatum: 10.10.2011, 08:30 – 09:30

Umgebungsbedingungen: Allseitig geschlossener, unbeheizter, konstruktiv gedämmter Raum

Temperatur: 10,0 °C; Luftfeuchte: 56,6 % (z.Zt. d. Installation)

Messstelle 1: Über der Tribüne, an der Binderoberkante bei Koppelpfette; (über der Tribüne um den Einfluss der Besucher bei Veranstaltungen zu erfassen)

Messstelle 2: Über der Eisfläche, zu Beginn des Krümmungsbereiches, nahe Lichtband (möglichst zentral über der Eisfläche um den Einfluss der kalten Eisoberfläche zu erfassen; eventuell Einfluss durch Lichtband)

Sensor	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte GANN [%]	Messwert Mugrauer [10lg(Ω)]	Einstellwerte GANN	
u1	15	13,3	93,0	x–y: 6–5; 10°	Messstelle 1
u2	25	13,4	92,5	gemessene	
u3	40	13,4	92,5	Temperatur	
u4	70	13,8	90,7	t_1: 9,3°C	
u5	15	15,3	89,0	x–y: 6–5; 5°	Messstelle 2
u6	25	15,3	89,1	gemessene	
u7	40	15,3	89,1	Temperatur	
u8	70	14,8	91,1	t_2: 6,6°C	

Tragsystem: Einfeldträger mit 2 Kragarmen, Spannweite ℓ = 36,8 m

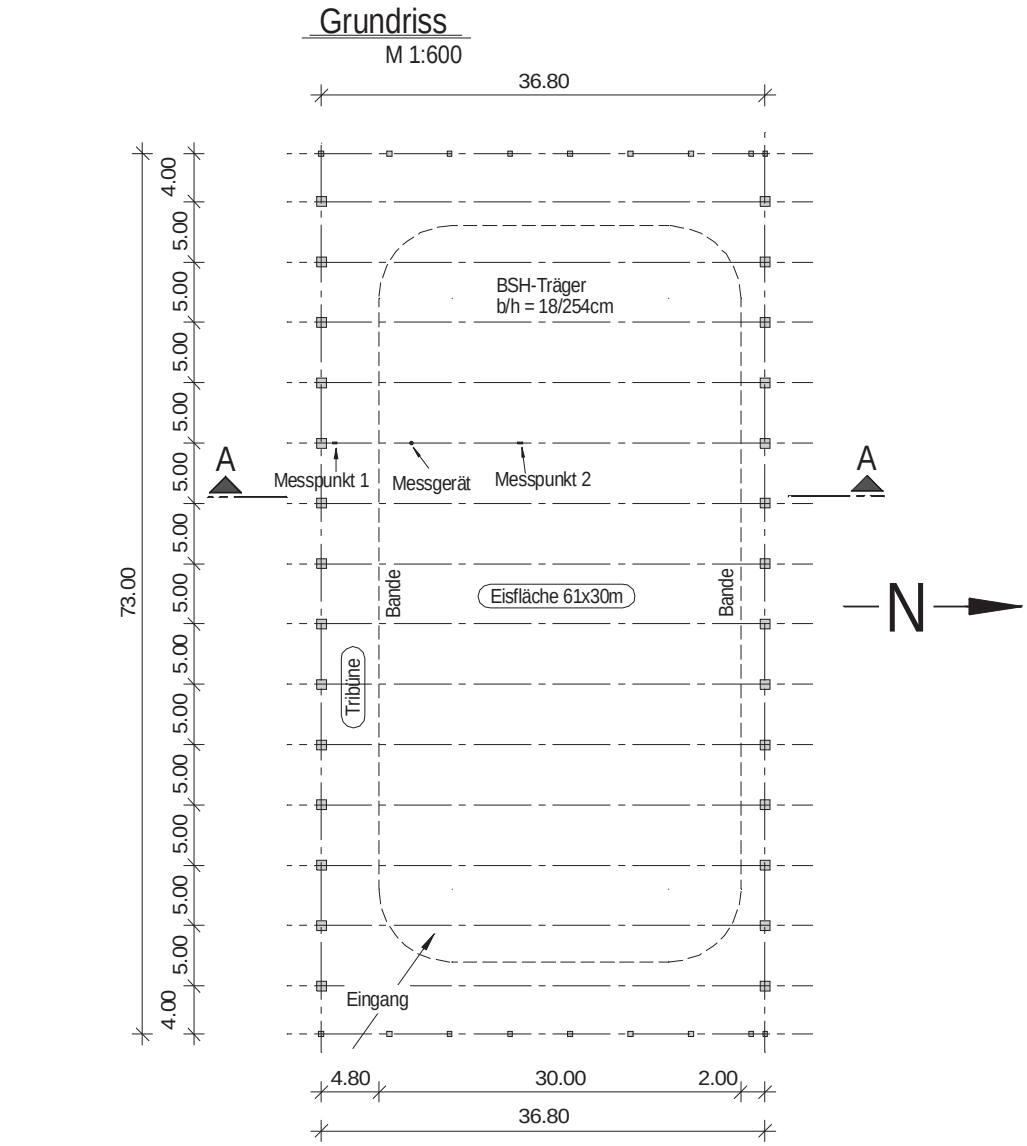
15 Achsen mit Binderachsenabstand e = 5,0m, Firsthöhe h = 11,20m

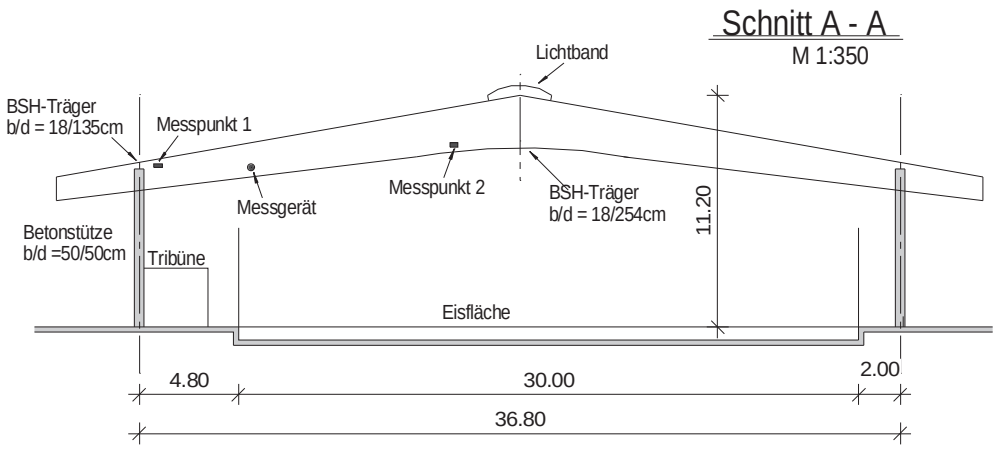
Trägerabmessungen b/h = 18/135 …254 cm²

Lamellenstärke t = 33 mm

Bauteile unbehandelt
(vorbehaltlich eines nicht mehr erkennbaren, farblosen, offenporigen Anstrichs)

Skizzen:


Grundriss
M 1:600
36.80
73.00
4.00
5.00
5.00
5.00
5.00
5.00
5.00
5.00
5.00
5.00
5.00
5.00
4.00
BSH-Träger
b/h = 18/254cm
A
A
Messpunkt 1
Messgerät
Messpunkt 2
Bande
Eisfläche 61x30m
Bande
Tribüne
N
Eingang
4.80
30.00
2.00
36.80


Schnitt A - A
M 1:350
Lichtband
BSH-Träger
b/d = 18/135cm
Messpunkt 1
Messgerät
Messpunkt 2
BSH-Träger
b/d = 18/254cm
11.20
Betonstütze
b/d =50/50cm
Tribüne
Eisfläche
4.80
30.00
2.00
36.80

Bilder:

Abbildung B2-1: Ansicht Tragwerk

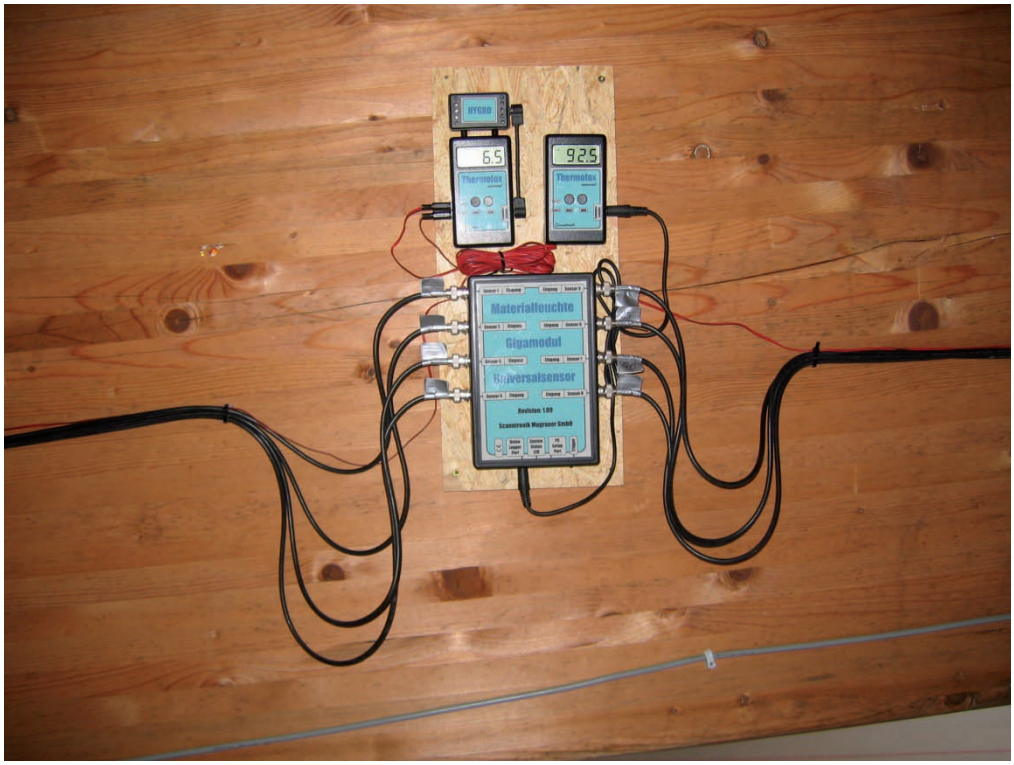


Abbildung B2-2: Ansicht Messstation

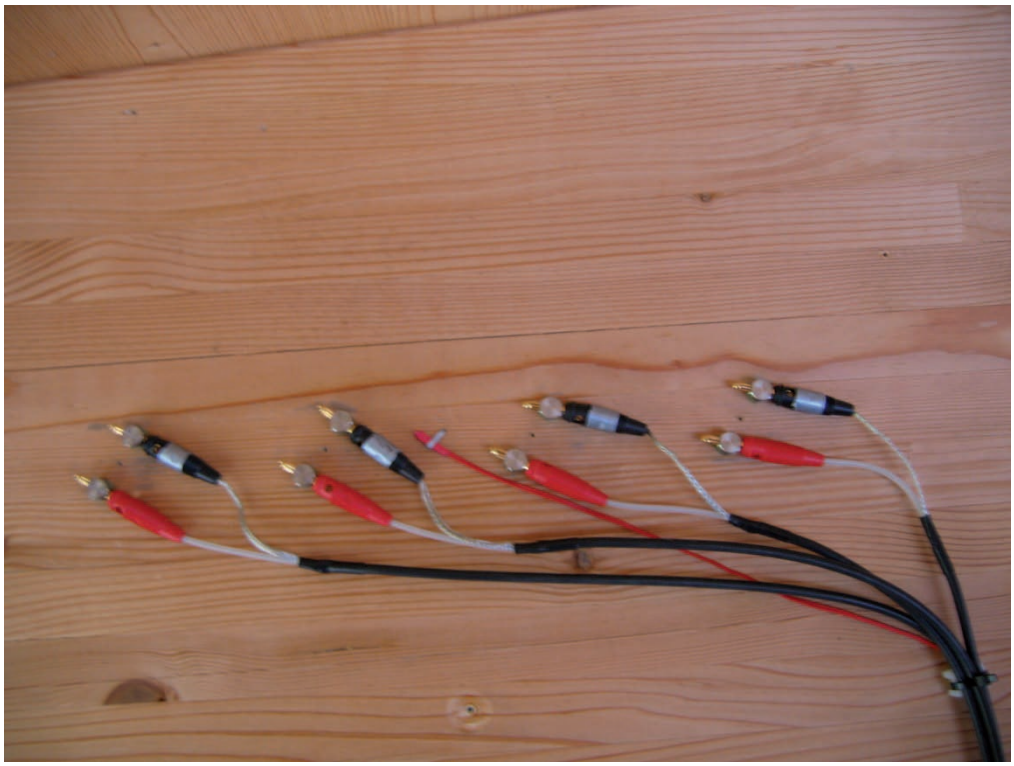


Abbildung B2-3: Ansicht Messstelle 1

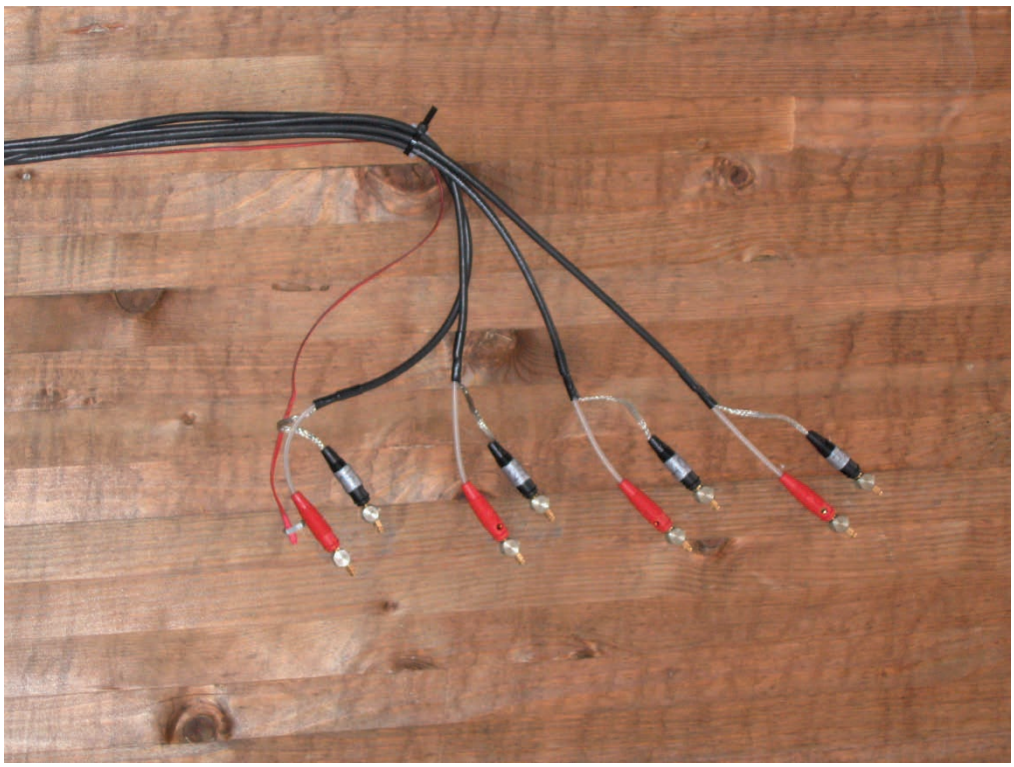
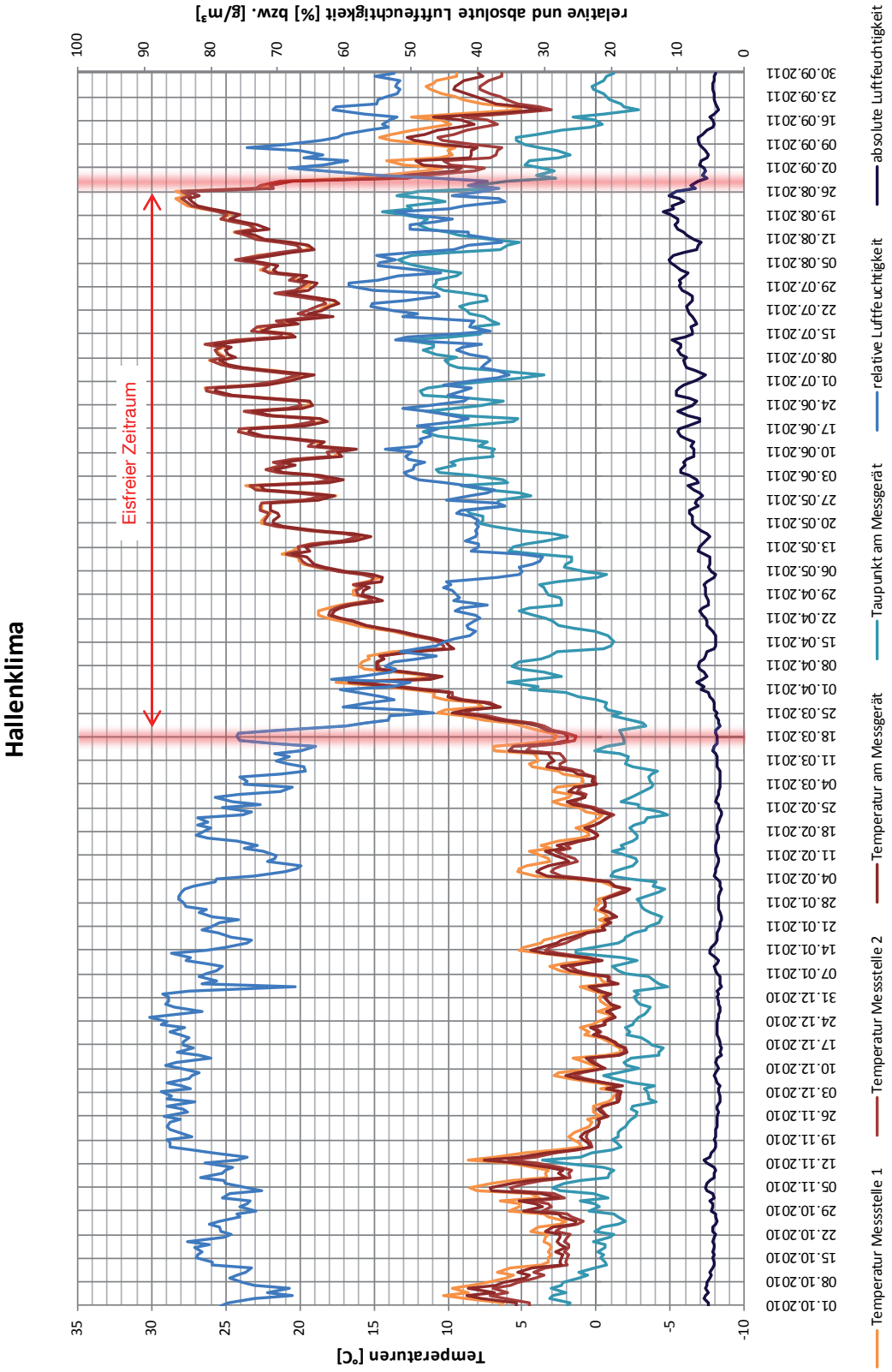


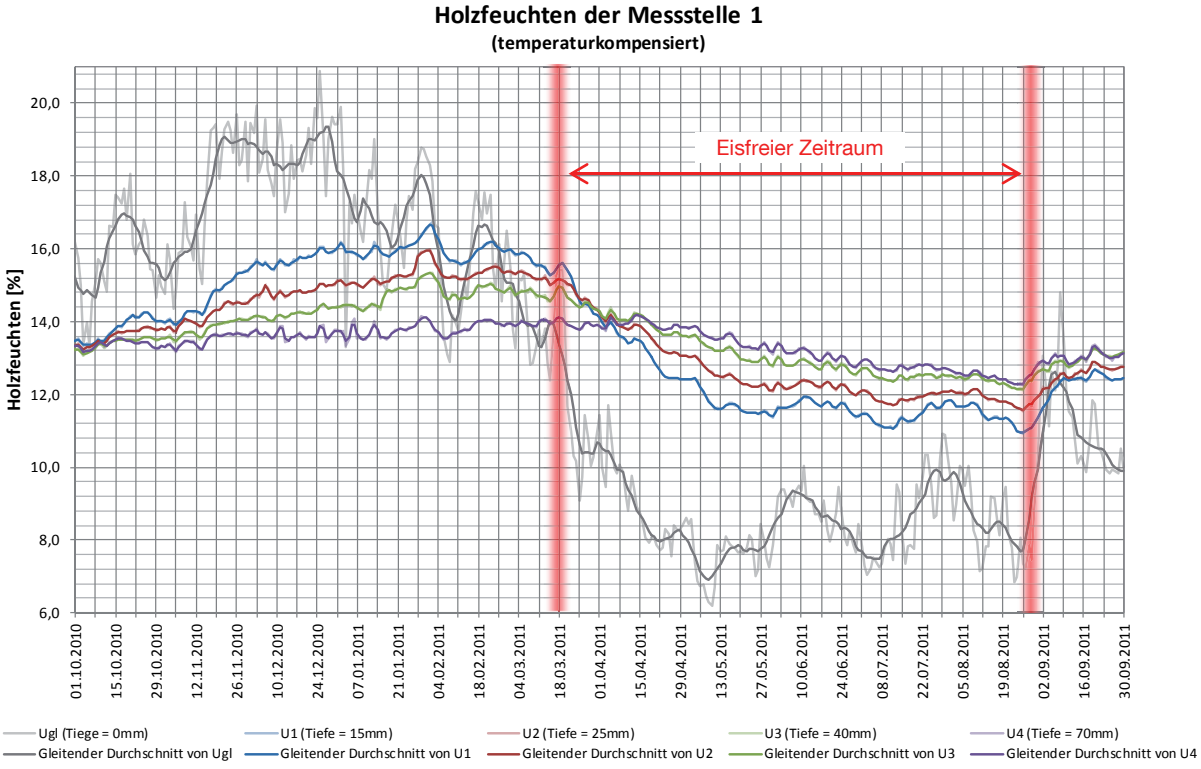
Abbildung B2-4: Ansicht Messstelle 2

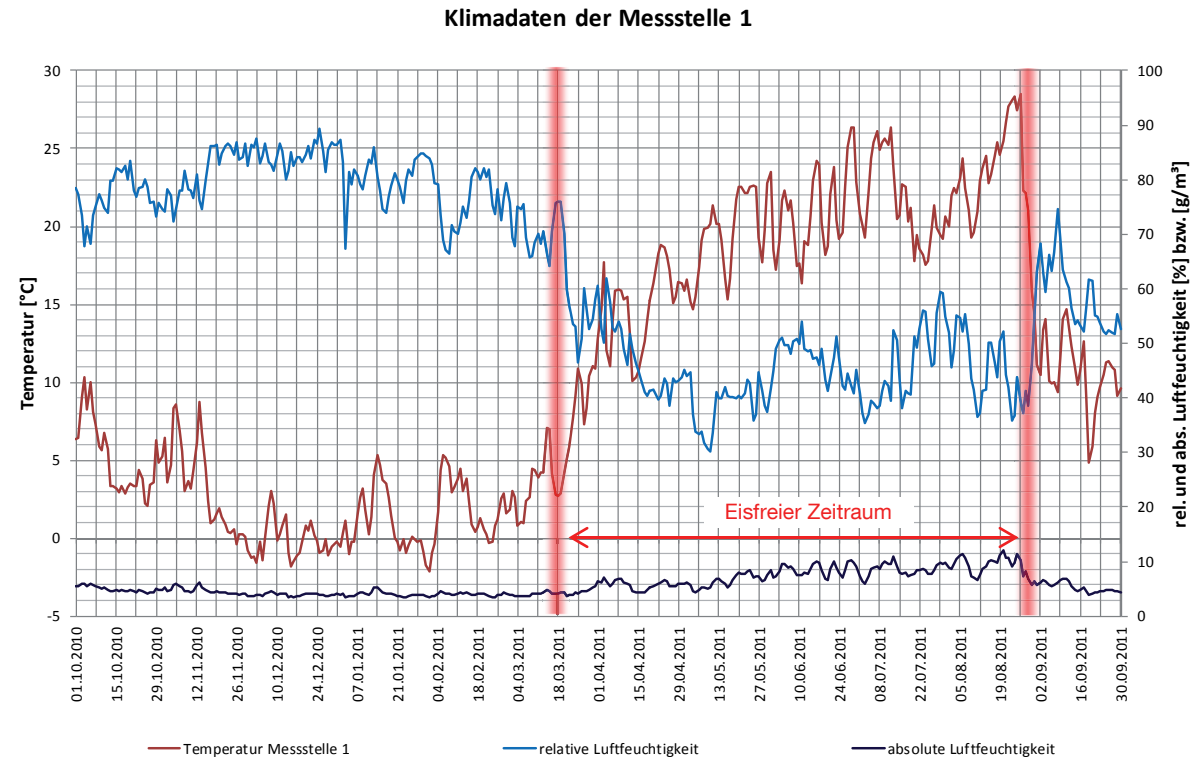
B2 Eishalle Buchloe



B2 Eishalle Buchloe

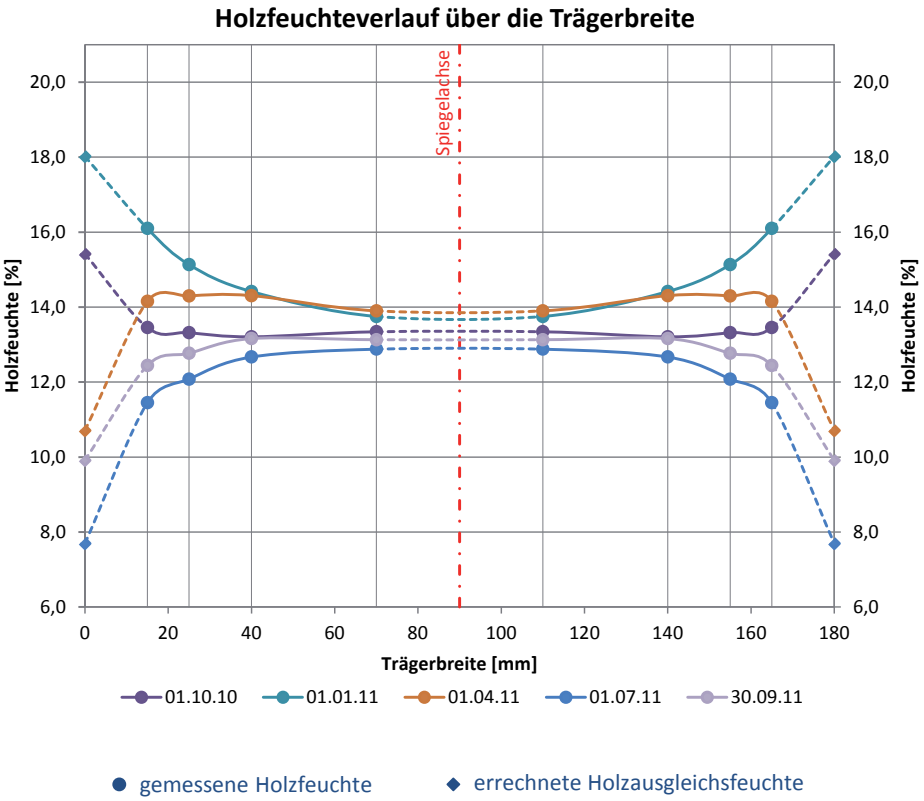
Messstelle 1: Über der Tribüne, an der Binderoberkante bei Koppelpfette

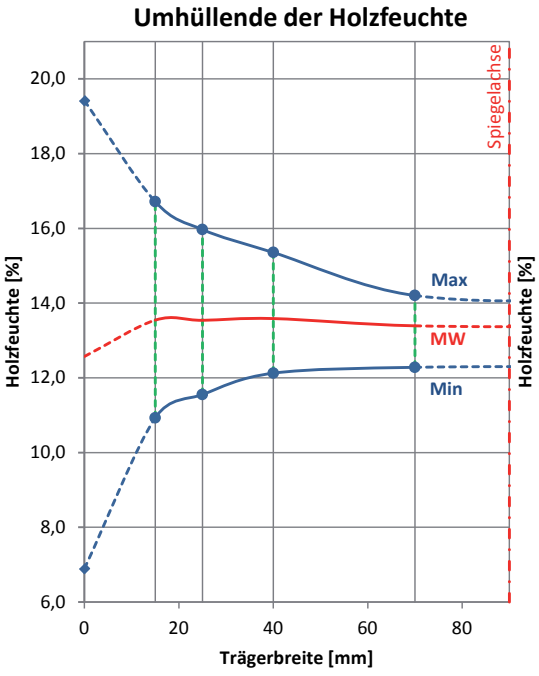


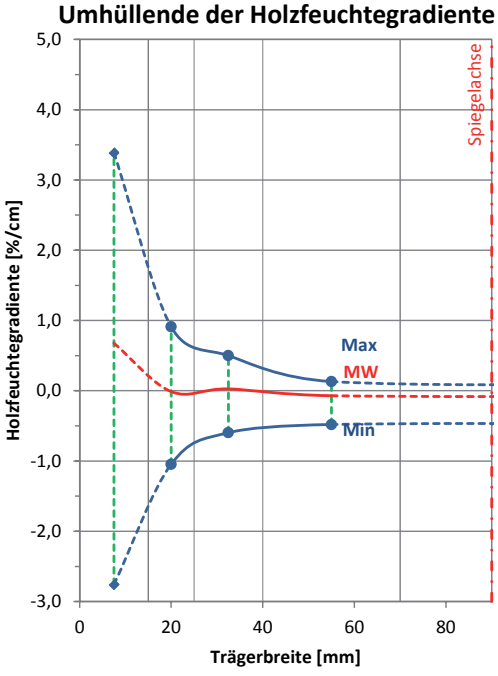


B2 Eishalle Buchloe

Messstelle 1: Über der Tribüne, an der Binderoberkante bei Koppelpfette

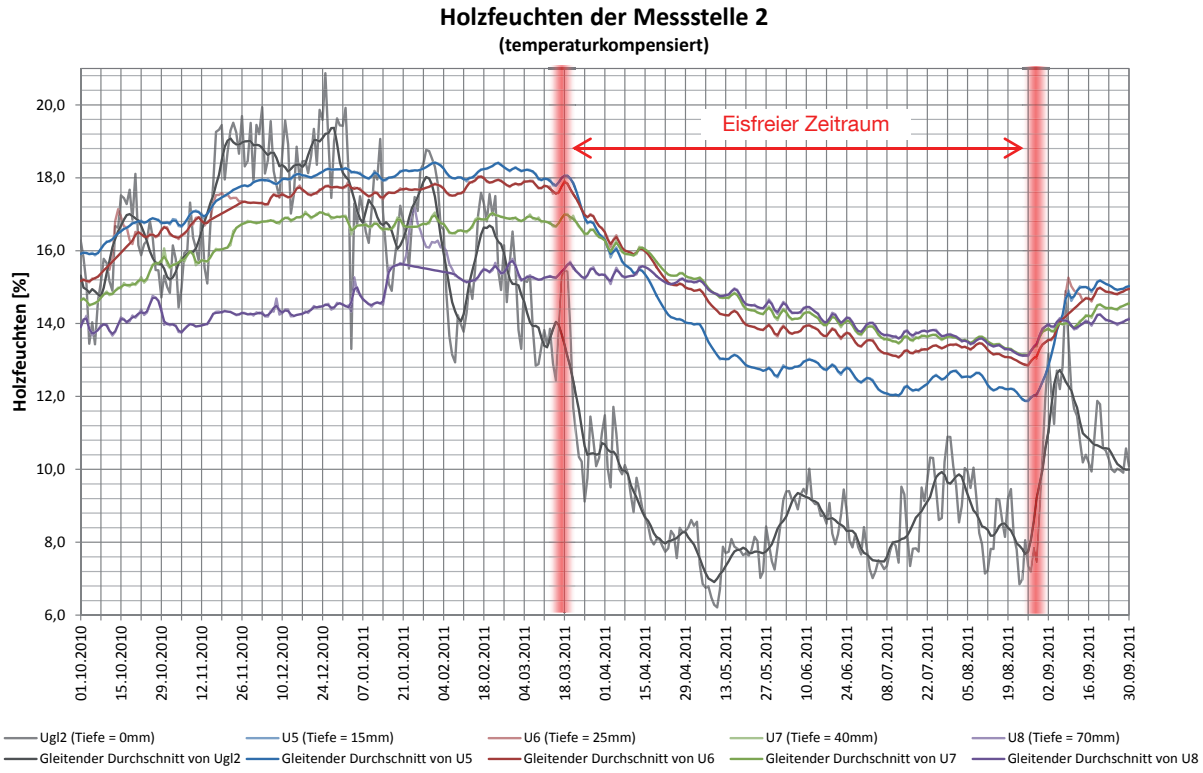


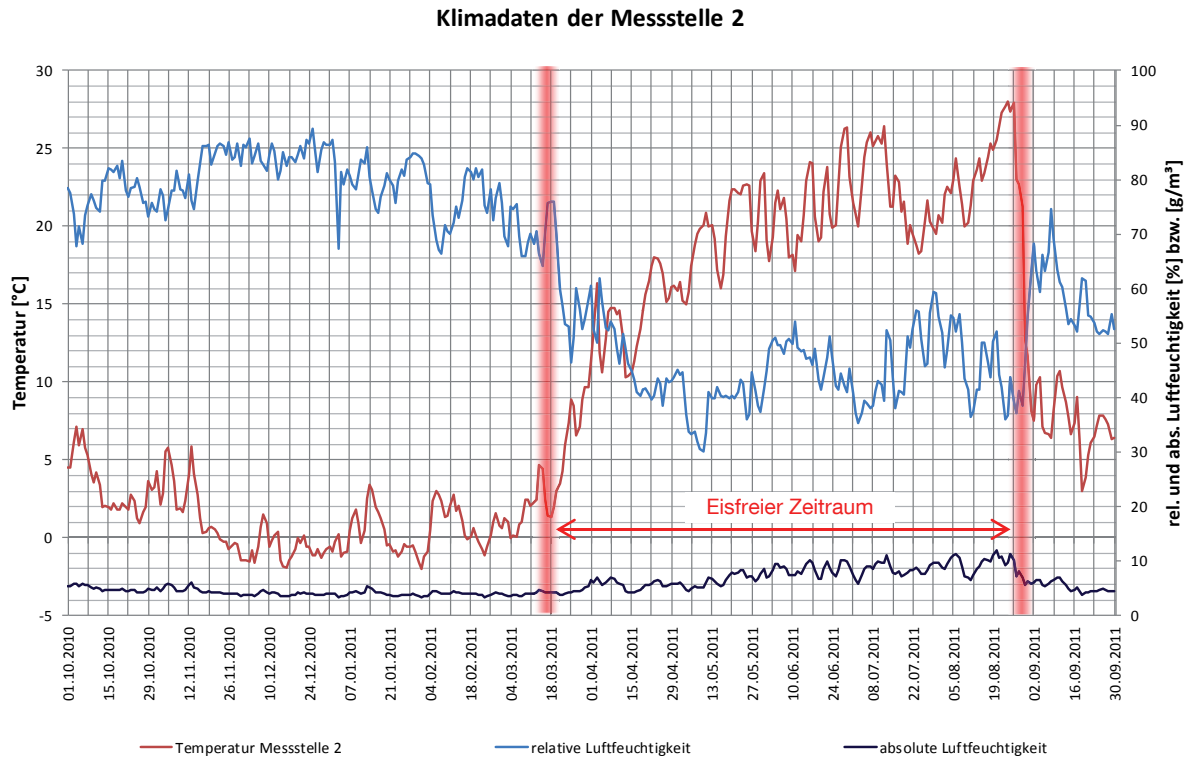




B2 Eishalle Buchloe

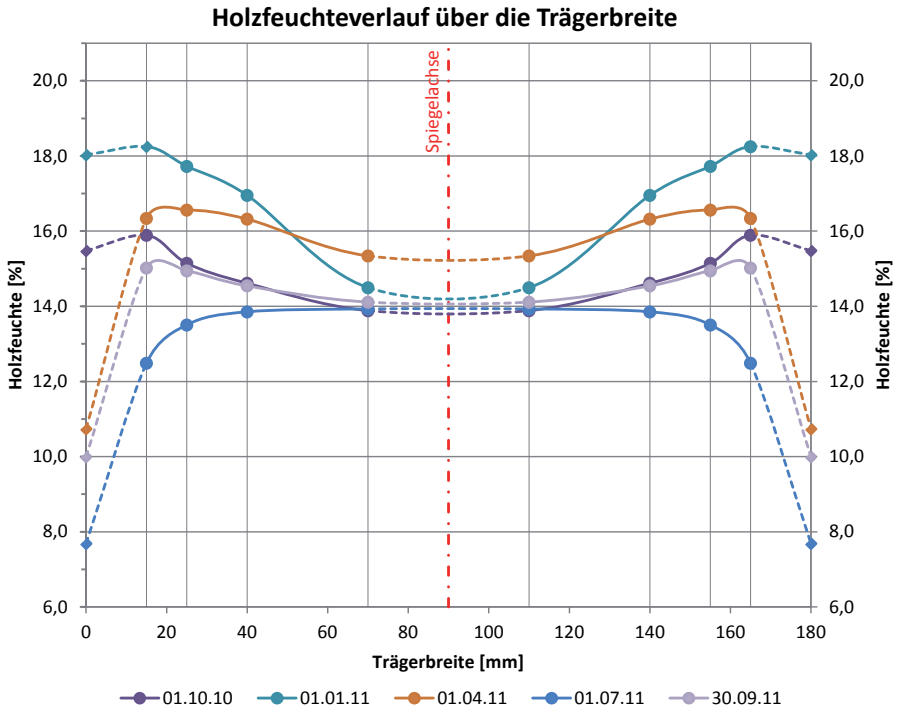
Messstelle 2: Über der Eisfläche, an Anfang der Krümmung, nahe Lichtband

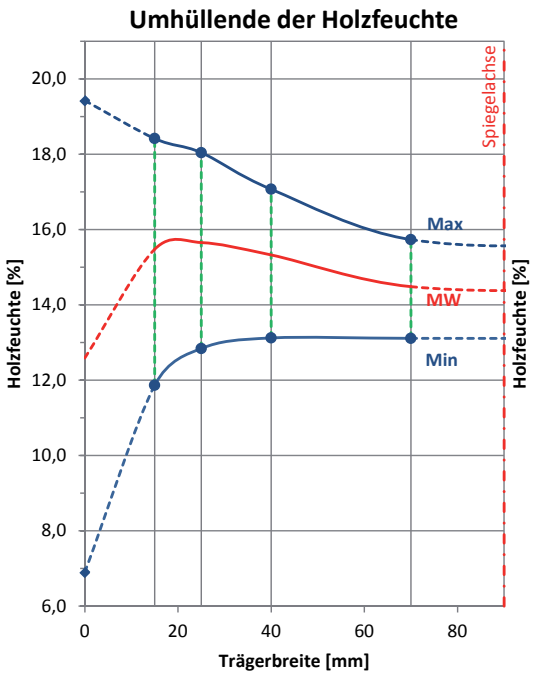


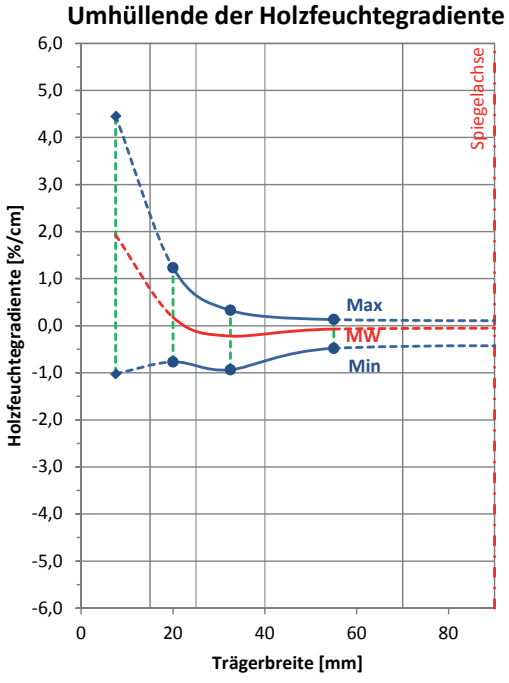


B2 Eishalle Buchloe

Messstelle 2: Über der Eisfläche, an Anfang der Krümmung, nahe Lichtband







B3 Olympia-Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen

Anschrift: Am Eisstadion 1
82467 Garmisch-Partenkirchen

Ansprechpartner: Andreas Wittig (vor Ort)

Anwesende vor Ort: Philipp Dietsch, Andreas Gamper

Installationsdatum: 14.09.2010, 07:30 – 10:00
Letztes Auslesedatum: 12.10.2011, 09:00 – 10:00

Umgebungsbedingungen: Allseitig geschlossener, über Lüftungsanlage beheizter, energetisch gedämmter Raum

Temperatur: 19,8 °C; Luftfeuchte: 47,7 % (z.Zt. d. Installation)

Messstelle 1: Untergurt Fachwerkträger, mittig über Eisfläche, 3. Lamelle von unten (eine Erfassung des Klimas sowohl über Eisfläche als auch über Tribüne war aufgrund der Hallengröße nicht möglich)

Messstelle 2: Obergurt Fachwerkträger, mittig über Eisfläche, 3. Lamelle von oben

Sensor	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte GANN [%]	Messwert Mugrauer [10lg(Ω)]	Einstellwerte GANN	
u1	15	13,9	88,3	x–y: 6–5; 15°	Messstelle 1
u2	25	14,0	92,5	gemessene	
u3	40	13,7	92,5	Temperatur	
u4	70	13,6	90,7	t_1: 16,1°C	
u5	15	11,6	93,6	x–y: 6–5; 20°	Messstelle 2
u6	25	11,7	93,0	gemessene	
u7	40	11,7	93,1	Temperatur	
u8	70	9,4	100,7	t_2: 17,9°C	

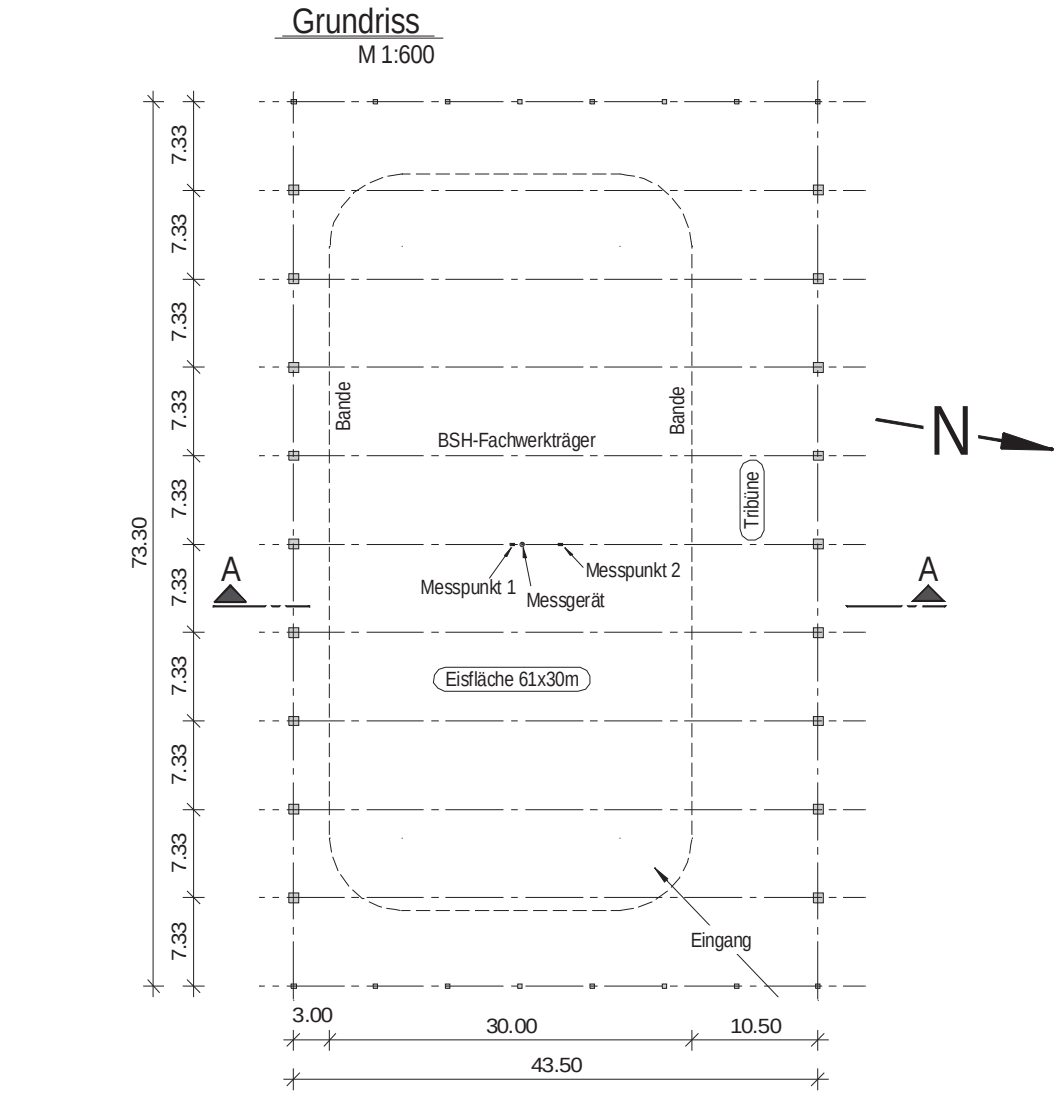
Tragsystem: FW-Träger als Einfeldträger mit 2 Kragarmen, Spannweite ℓ = 43,50m
10 Achsen mit Trägerachsabstand e = 7,33 m

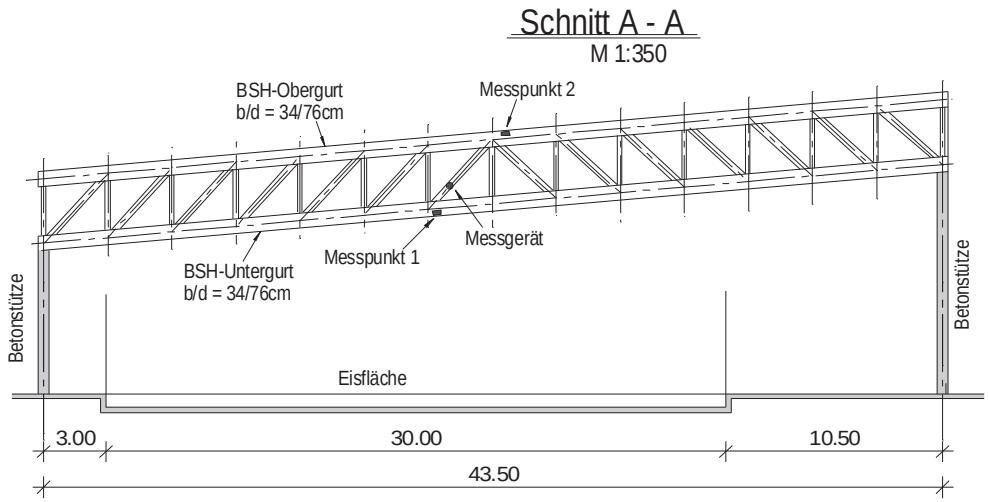
Abmessungen Fachwerkträger:
Höhe h = 3,85 m, b_{UG}/h_{UG} = 34/76 cm^2

Lamellenstärke t = 33 mm

Farbloser, offenporiger Anstrich bei Bauwerkserstellung

Skizzen:


Grundriss
M 1:600
7.33
7.33
7.33
7.33
7.33
7.33
7.33
7.33
7.33
73.30
Bande
Bande
BSH-Fachwerkträger
Tribüne
N
A
A
Messpunkt 1
Messgerät
Messpunkt 2
Eisfläche 61x30m
Eingang
3.00
30.00
10.50
43.50


Schnitt A - A
M 1:350
BSH-Obergurt
b/d = 34/76cm
Messpunkt 2
Messgerät
Messpunkt 1
BSH-Untergurt
b/d = 34/76cm
Betonstütze
Betonstütze
Eisfläche
3.00
30.00
10.50
43.50

Bilder:

Abbildung B3-1: Ansicht Tragwerk

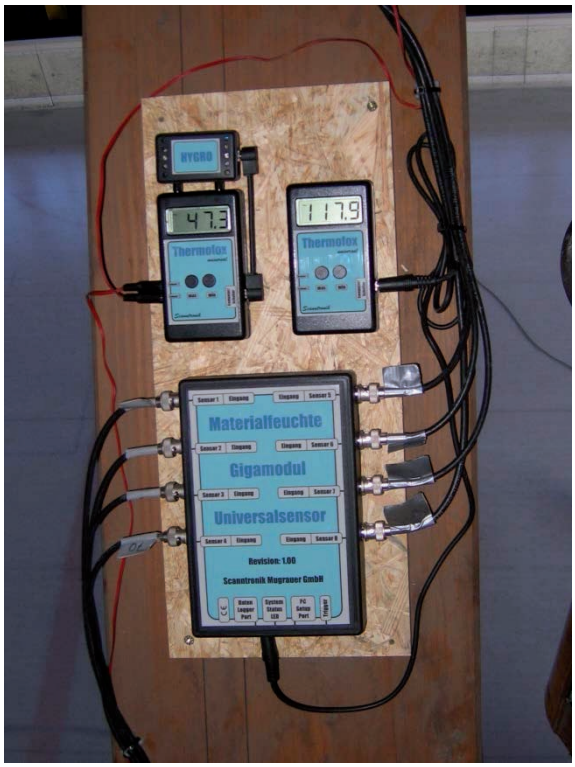


Abbildung B3-2: Ansicht Messstation

Abbildung B3-3: Ansicht Messstelle 1

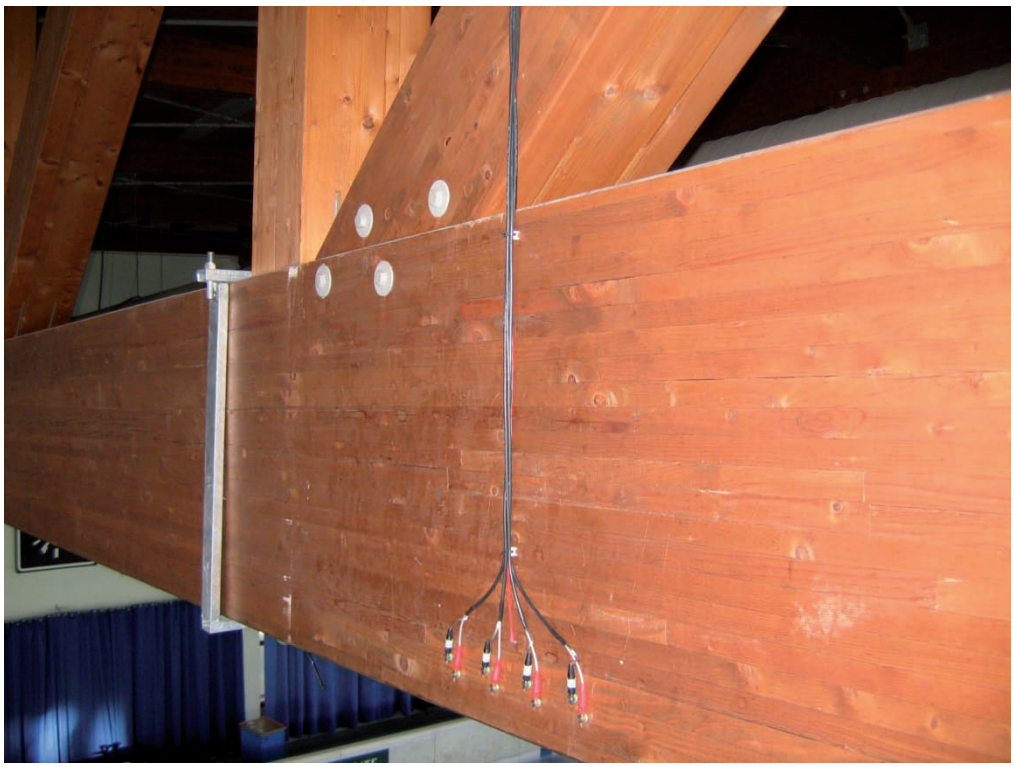
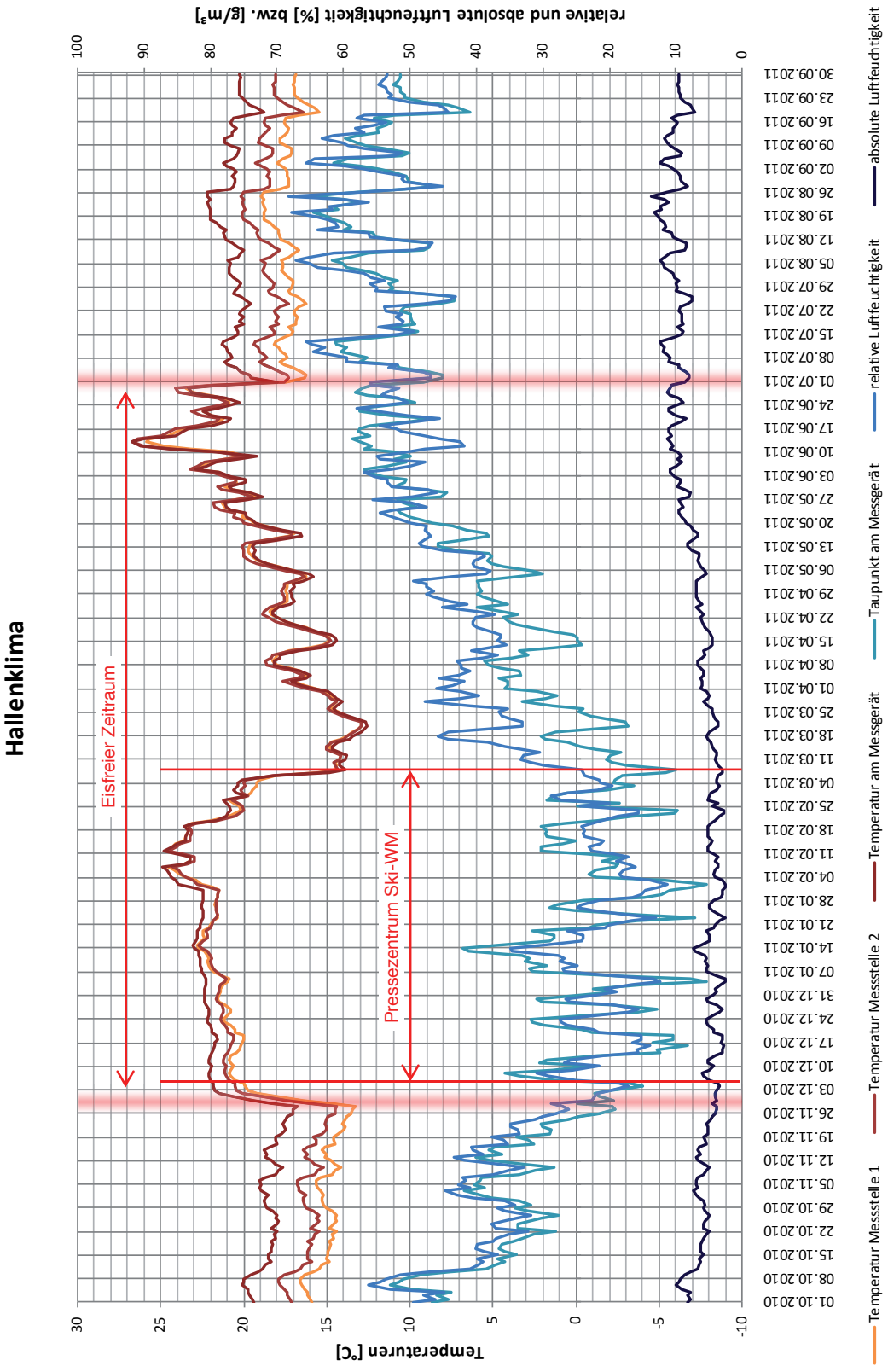


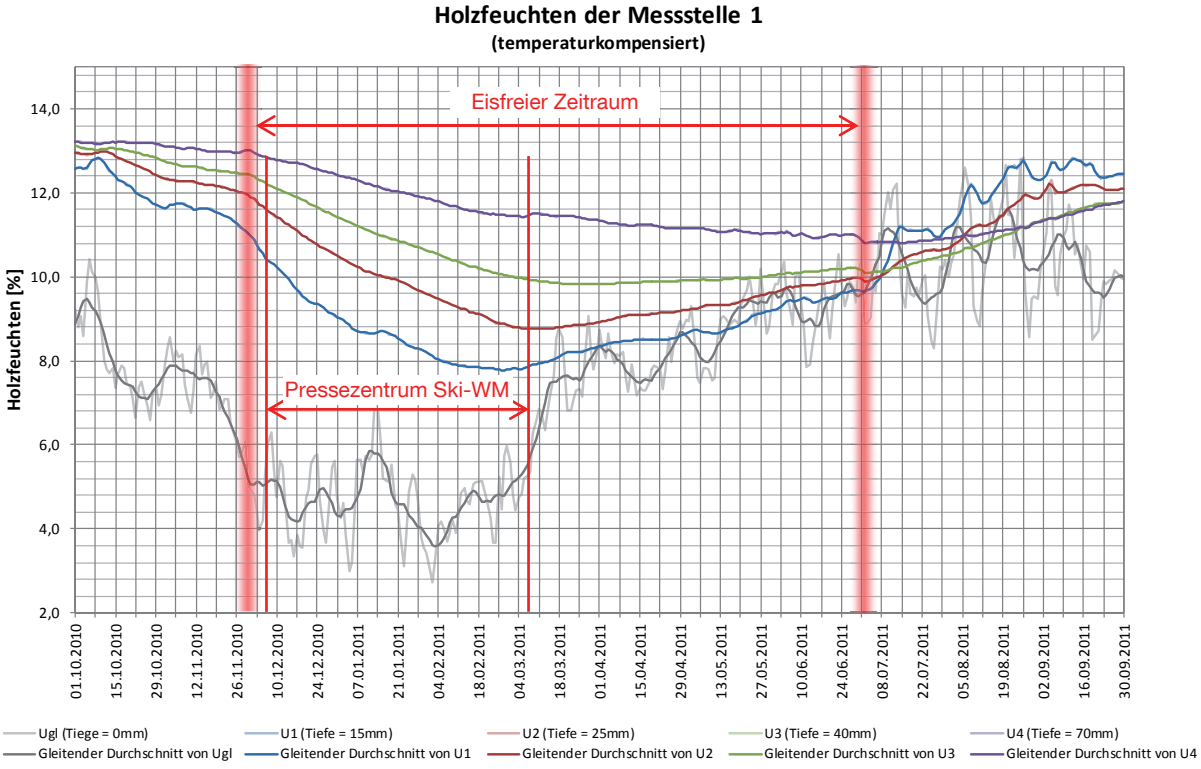
Abbildung B3-4: Ansicht Messstelle 2

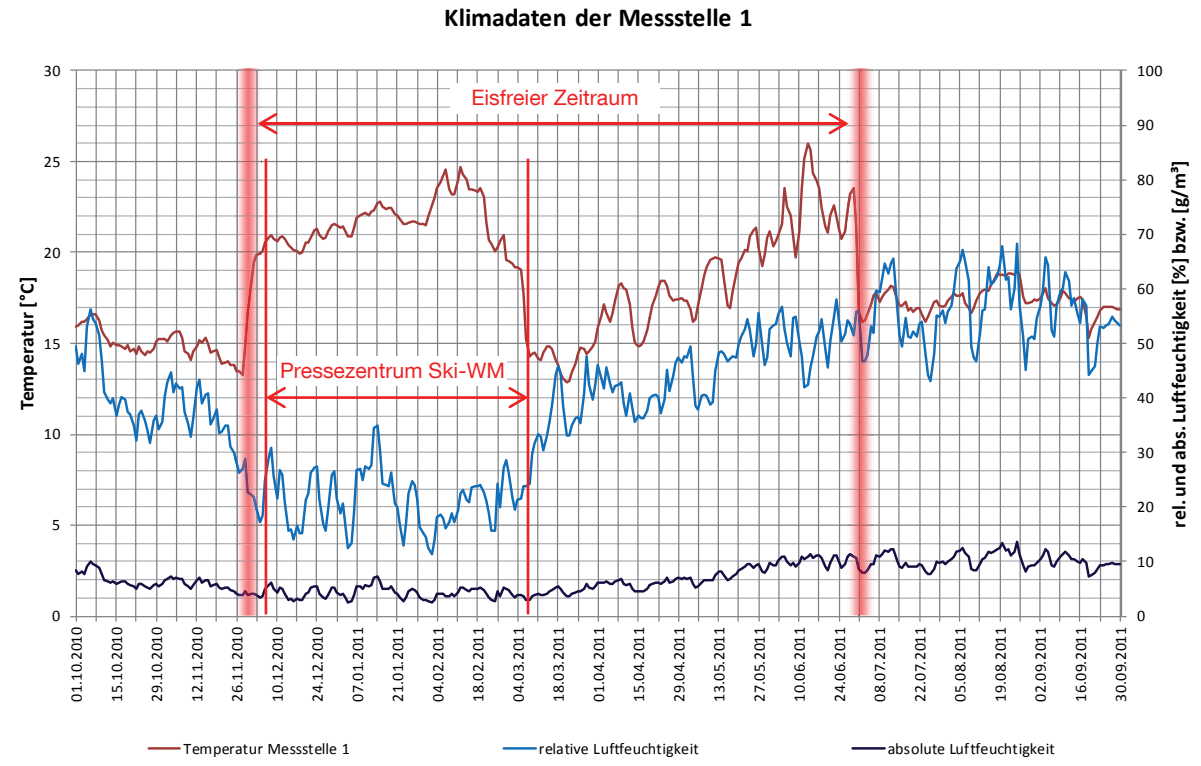
B3 Eissporthalle Garmisch- Partenkirchen



B3 Olympia-Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen

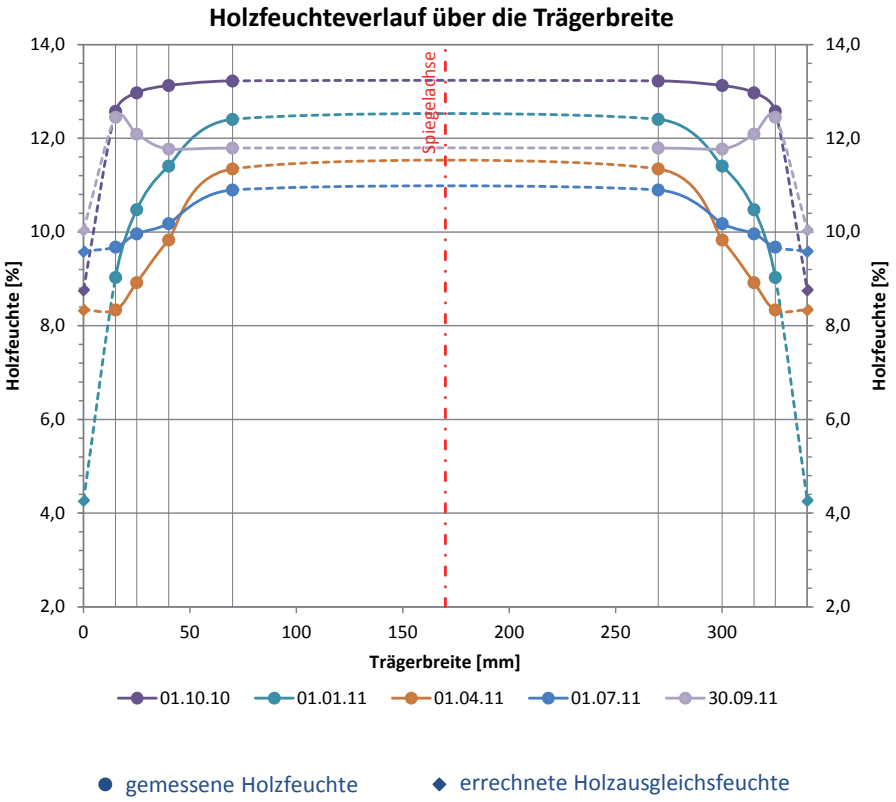
Messstelle 1: Untergurt Fachwerkträger, mittig über Eisfläche, 3. Lamelle von unten

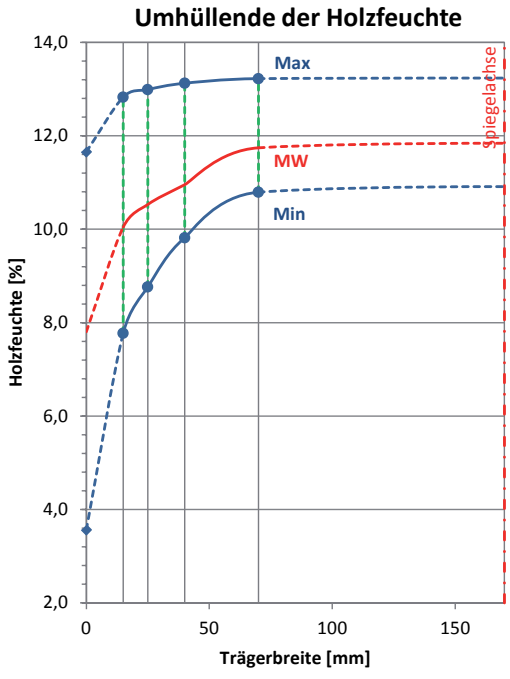


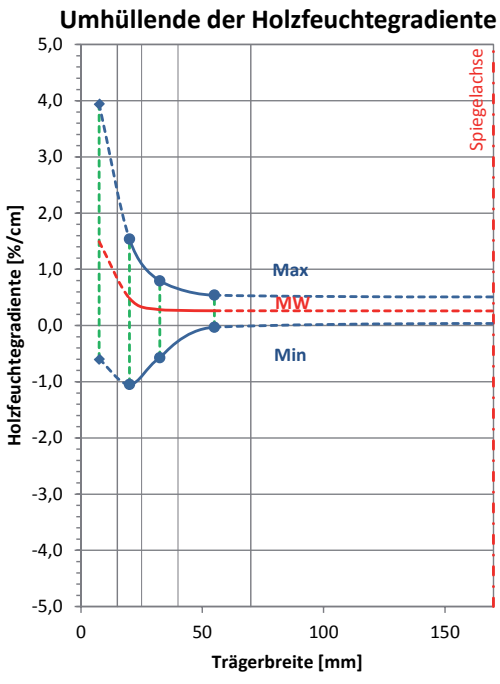


B3 Olympia-Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen

Messstelle 1: Untergurt Fachwerkträger, mittig über Eisfläche, 3. Lamelle von unten

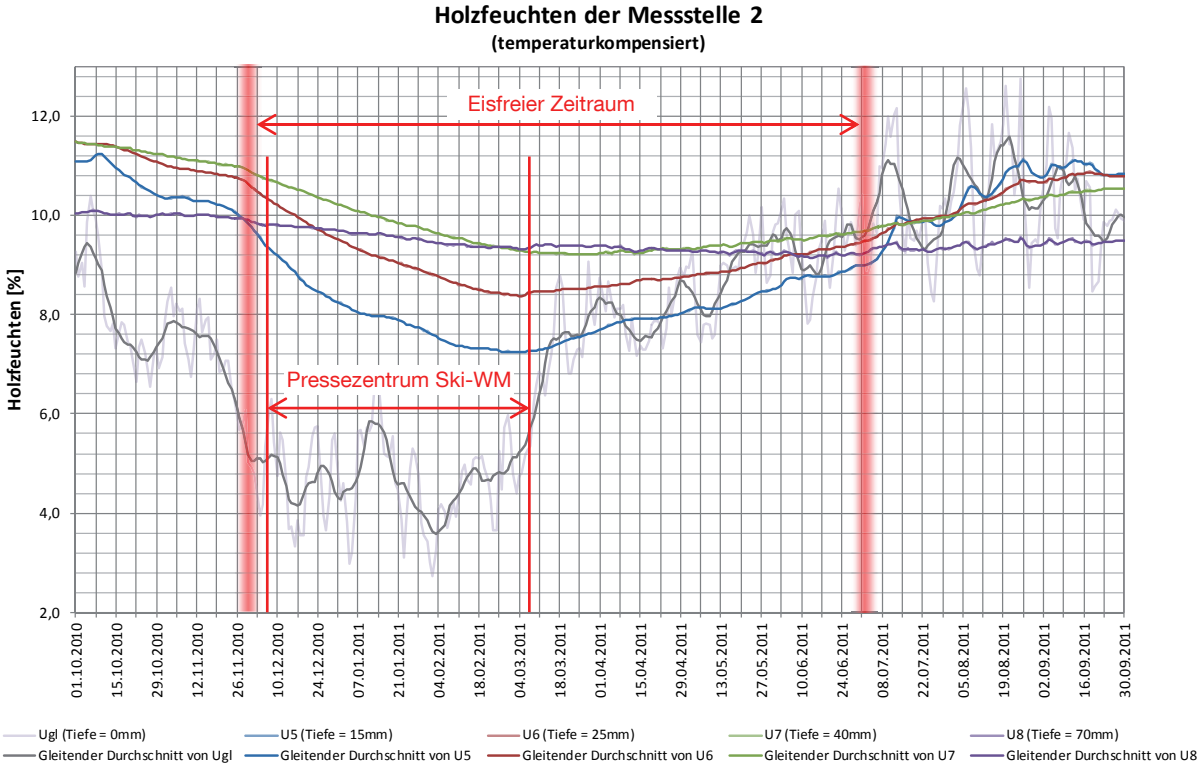


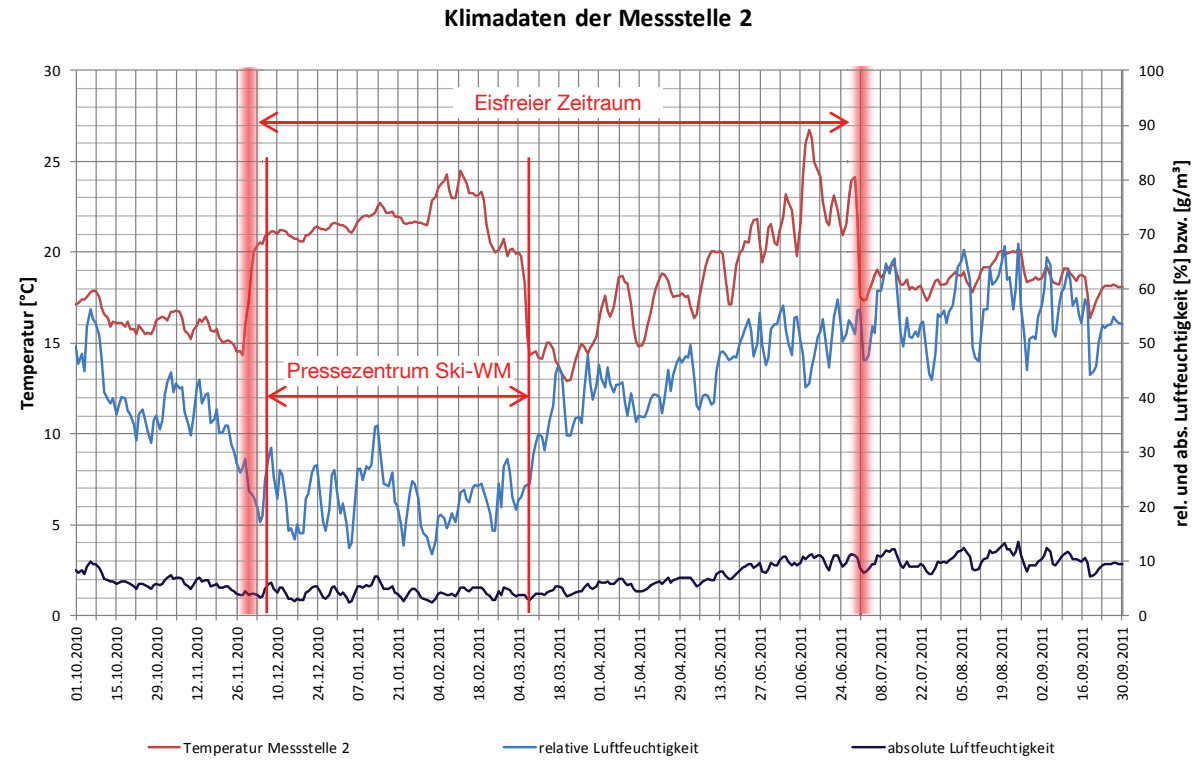




B3 Olympia-Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen

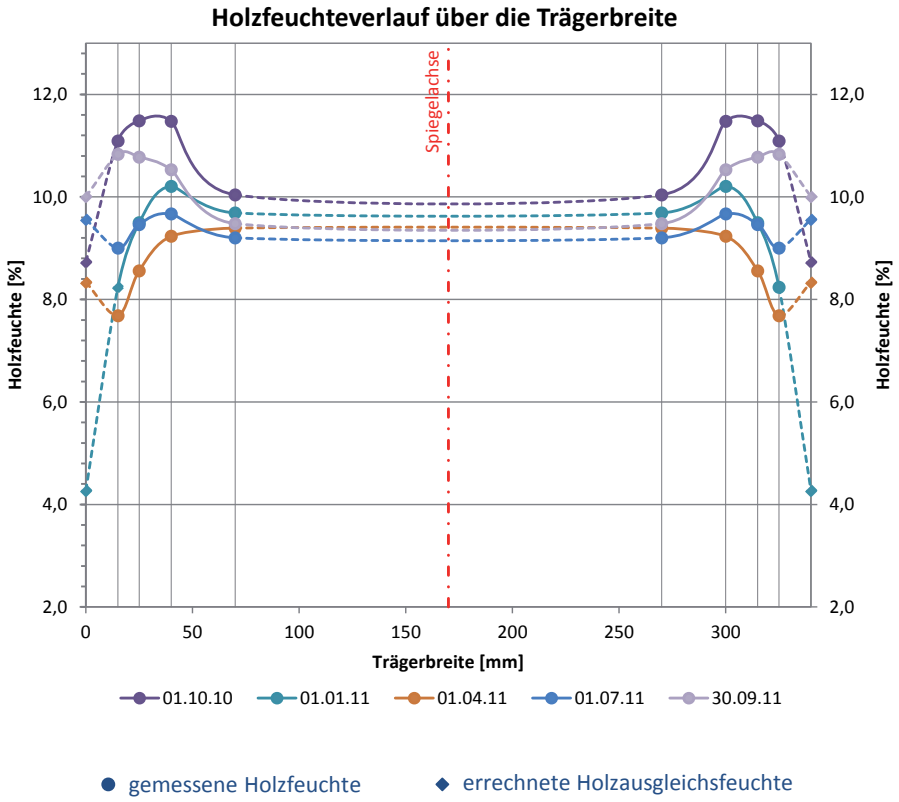
Messstelle 2: Obergurt Fachwerkträger, mittig über Eisfläche, 3. Lamelle von oben

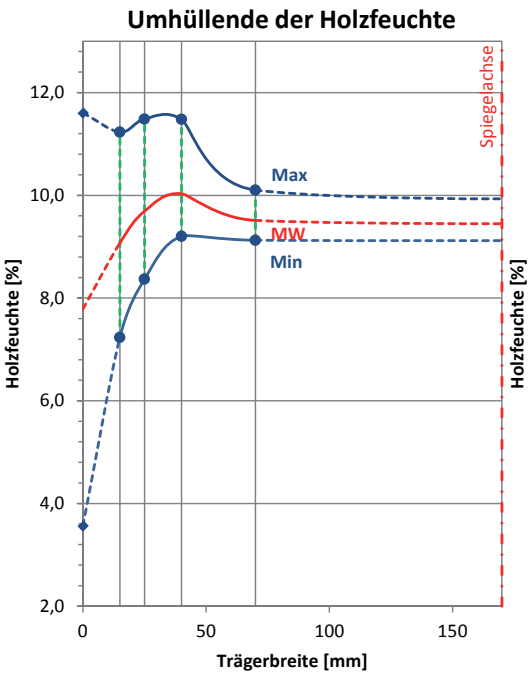


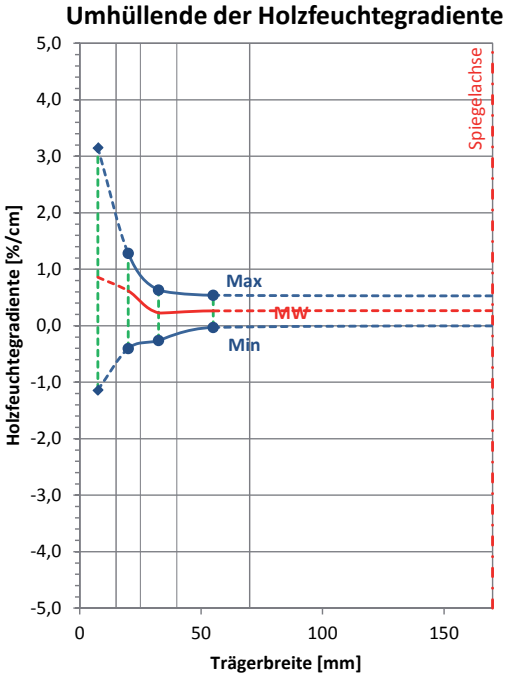


B3 Olympia-Eissporthalle Garmisch-Partenkirchen

Messstelle 2: Obergurt Fachwerkträger, mittig über Eisfläche, 3. Lamelle von oben







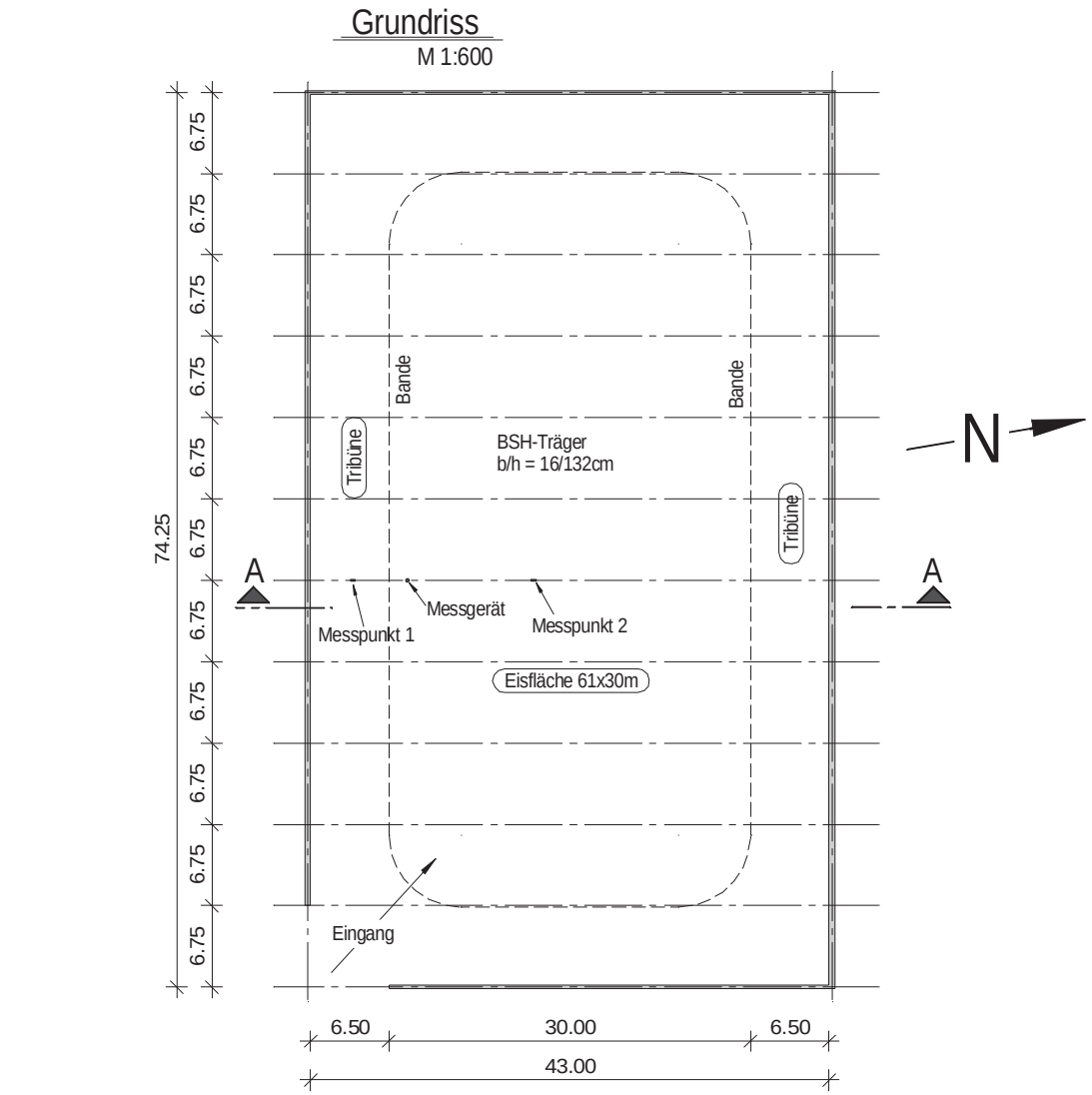
B4 Bundesleistungszentrum für Eishockey Füssen

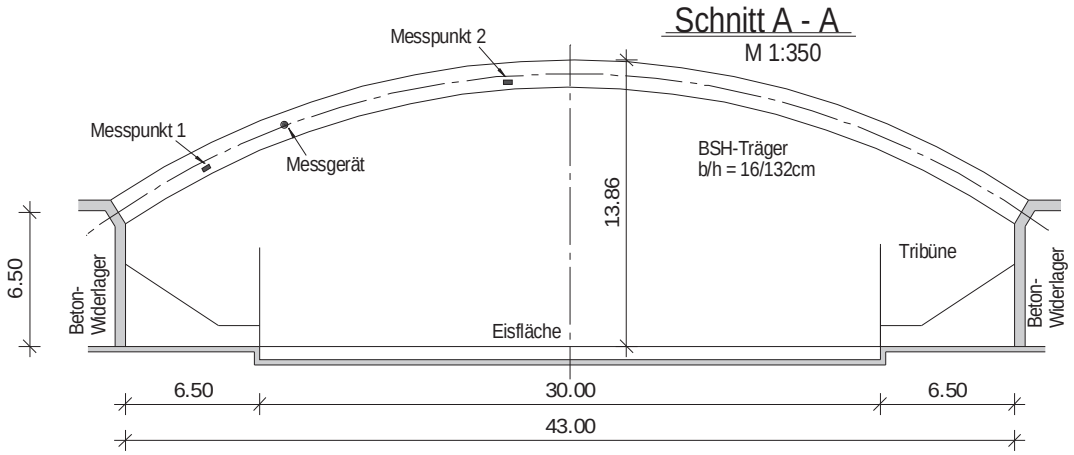
Anschrift:	Bundesleistungszentrum f. Eishockey Füssen Verwaltung: Fr. Jasmin Wöhrle Am Kobelhang D 87629 Füssen
Ansprechpartner:	Eismeister Thomas Meier
Anwesende vor Ort:	Andreas Gamper, Manuel Waidelich, Hr. Meier
Installationsdatum: Letztes Auslesedatum:	28.09.2010, 09:00 – 12:00 03.11.2011, 07:30 – 08:30
Umgebungsbedingungen:	Allseitig geschlossener, beheizter, konstruktiv gedämmter Raum Temperatur: 5,3 °C; Luftfeuchte: 72,6 % (z.Zt. d. Installation)
Messstelle 1:	Über Tribüne ca. 3,5 m von Bande, Höhe ca. 6,0 m über der Tribüne; (möglichst zentral über der Tribüne um den Einfluss der Besucher bei Veranstaltungen zu erfassen)
Messstelle 2:	Über Eisfläche ca. 12,0 m von Bande, Höhe ca. 13,0 m über dem Eis; (möglichst zentral über der Eisfläche um den Einfluss der kalten Eisoberfläche zu erfassen)

Sensor	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte GANN [%]	Messwert Mugrauer [10lg(Ω)]	Einstellwerte GANN	
u1	15	14,5	92,8	x–y: 6–5; 5°	Messstelle 1
u2	25	14,6	91,9	gemessene	
u3	40	14,3	93,0	Temperatur	
u4	70	13,8	94,9	t_1: 5,5°C	
u5	15	16,8	85,3	x–y: 6–5; 5°	Messstelle 2
u6	25	16,0	87,2	gemessene	
u7	40	15,3	89,8	Temperatur	
u8	70	14,8	91,4	t_2: 5,3°C	

Tragsystem:	Dreigelenkbogen auf Widerlagern in Massivbauweise, Spannweite ℓ = 43,0 m, Trägerachsabstand e = 6,767 m Trägerabmessungen b/h = 16/132 cm² Lammellenstärke t = 32 mm Filmbildender Anstrich

Skizzen:


Grundriss
M 1:600
74.25
6.75
Bande
Bande
Tribüne
Tribüne
BSH-Träger
b/h = 16/132cm
N
A
A
Messpunkt 1
Messgerät
Messpunkt 2
Eisfläche 61x30m
Eingang
6.50
30.00
6.50
43.00


Schnitt A - A
M 1:350
Messpunkt 2
Messpunkt 1
Messgerät
BSH-Träger
b/h = 16/132cm
13.86
6.50
Beton-
Widerlager
Tribüne
Eisfläche
Beton-
Widerlager
6.50
30.00
6.50
43.00

Bilder:

Abbildung B4-1: Ansicht Tragwerk

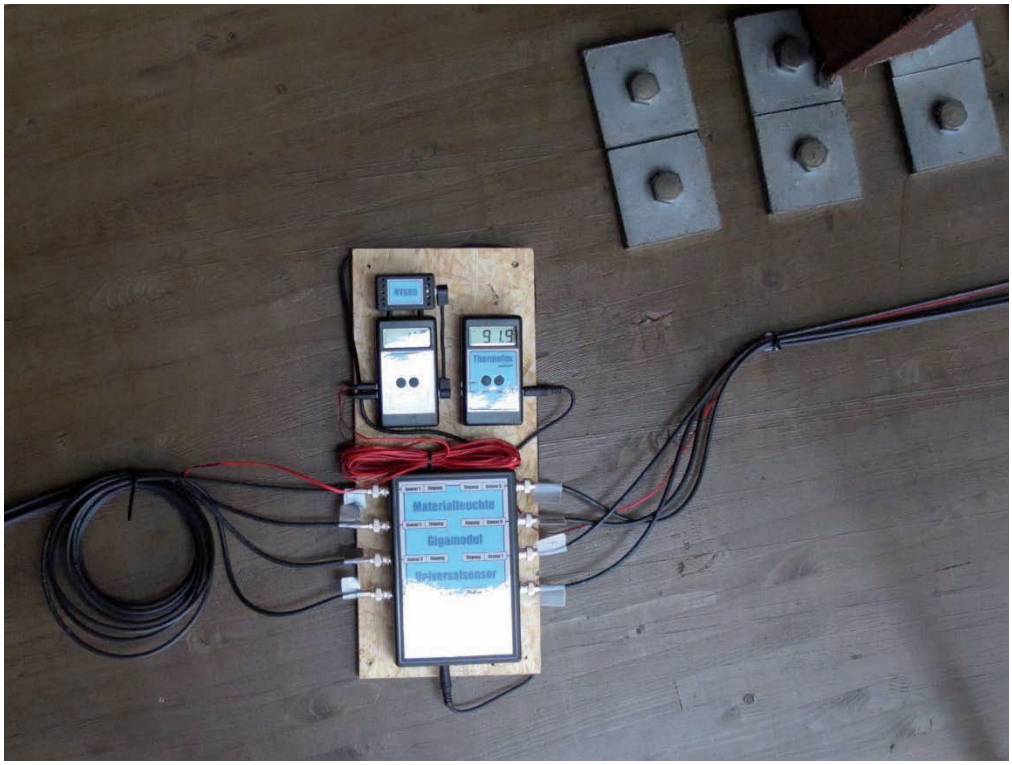


Abbildung B4-2: Ansicht Messstation

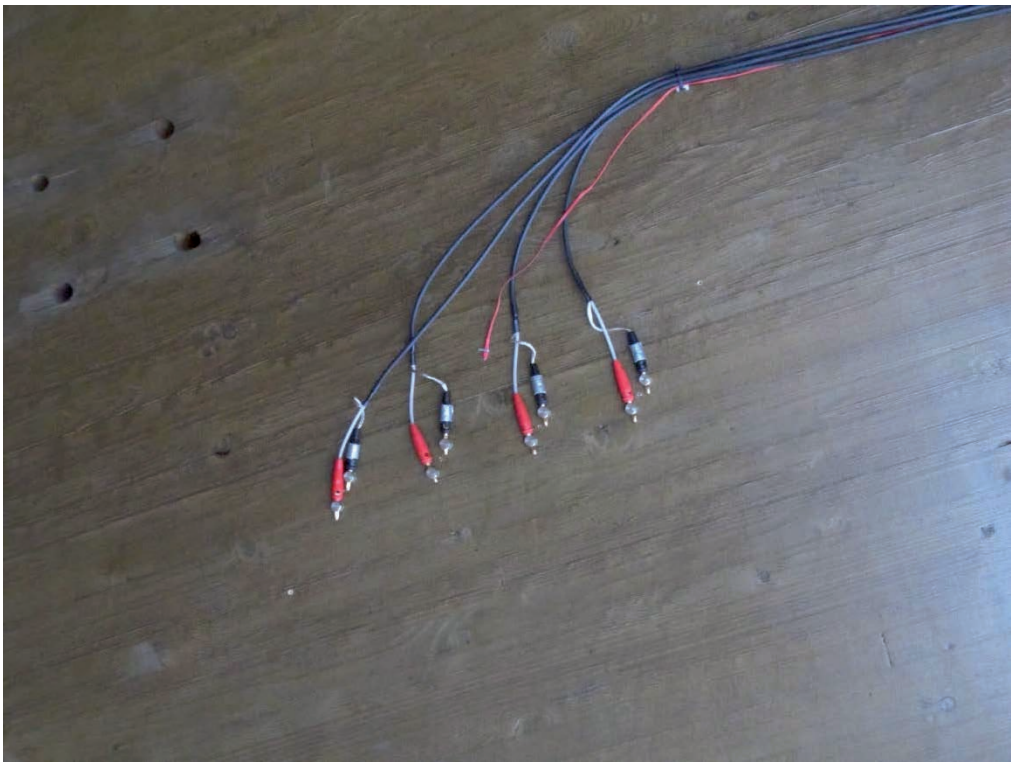


Abbildung B4-3: Ansicht Messstelle 1

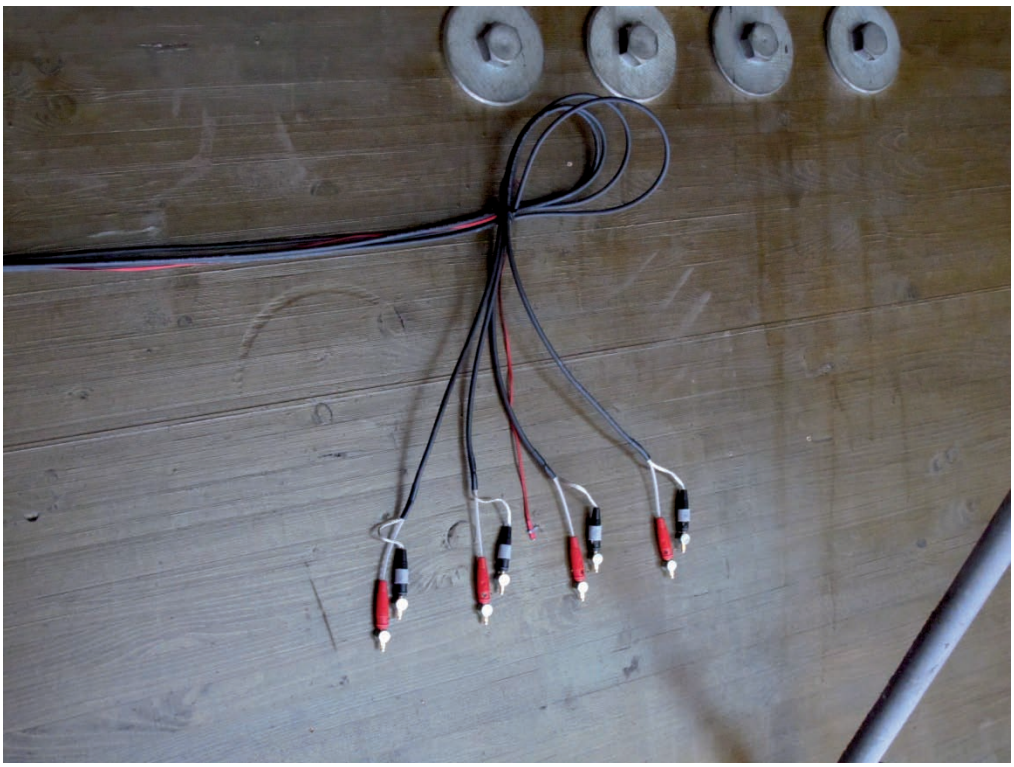
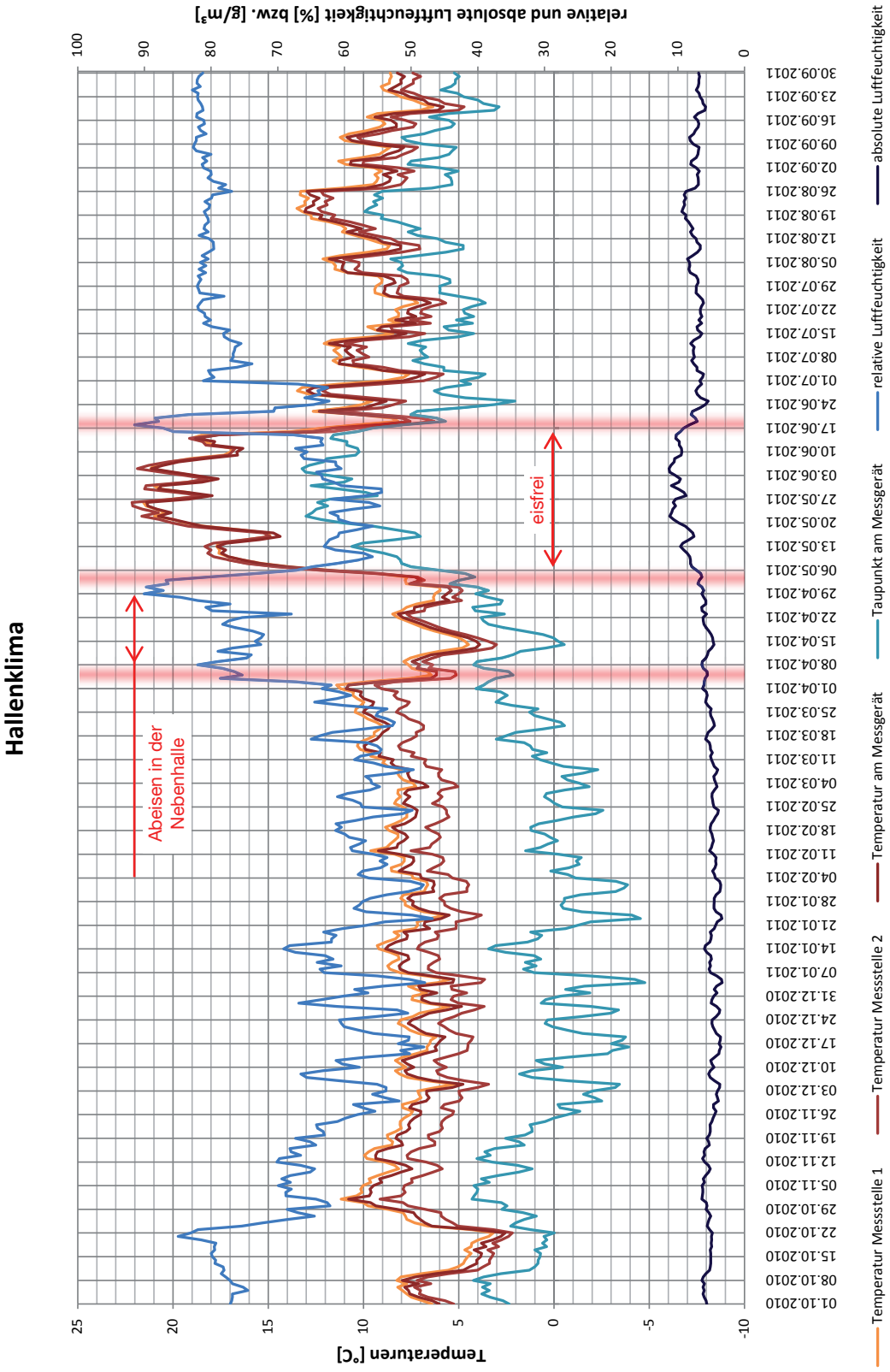


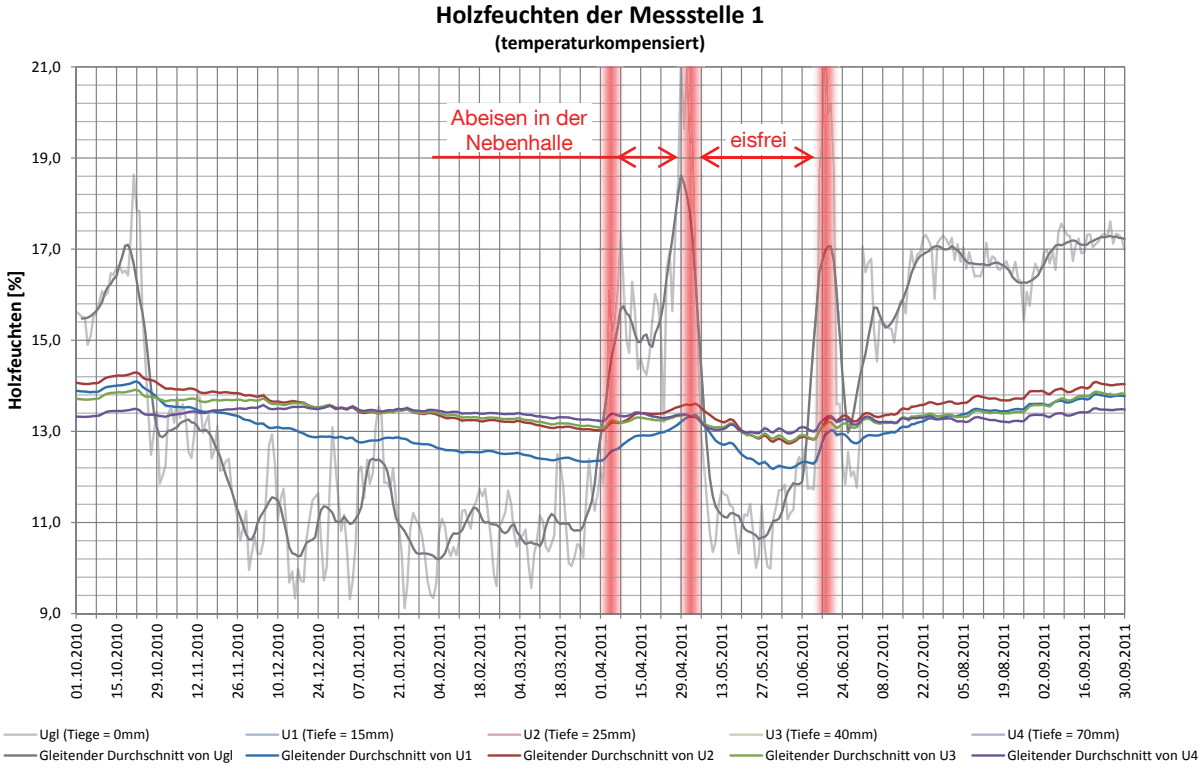
Abbildung B4-4: Ansicht Messstelle 2

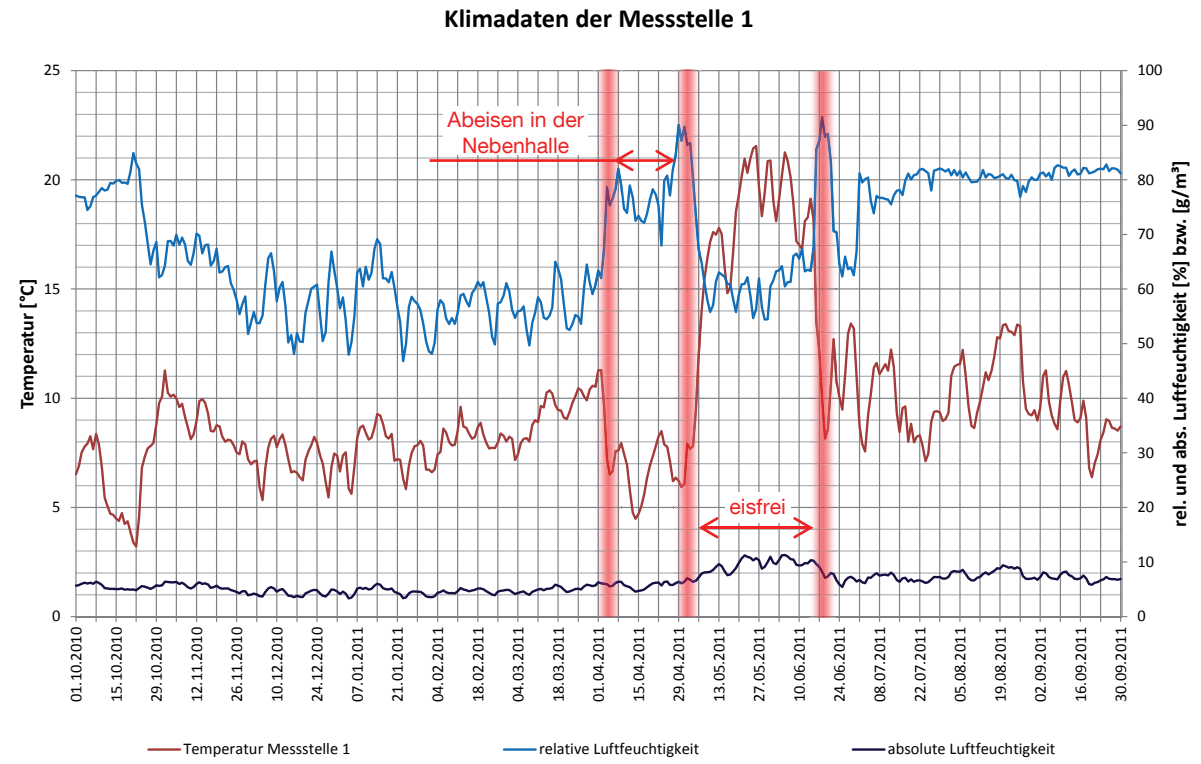
B4 BLZ Füssen



B4 Bundesleistungszentrum für Eishockey Füssen

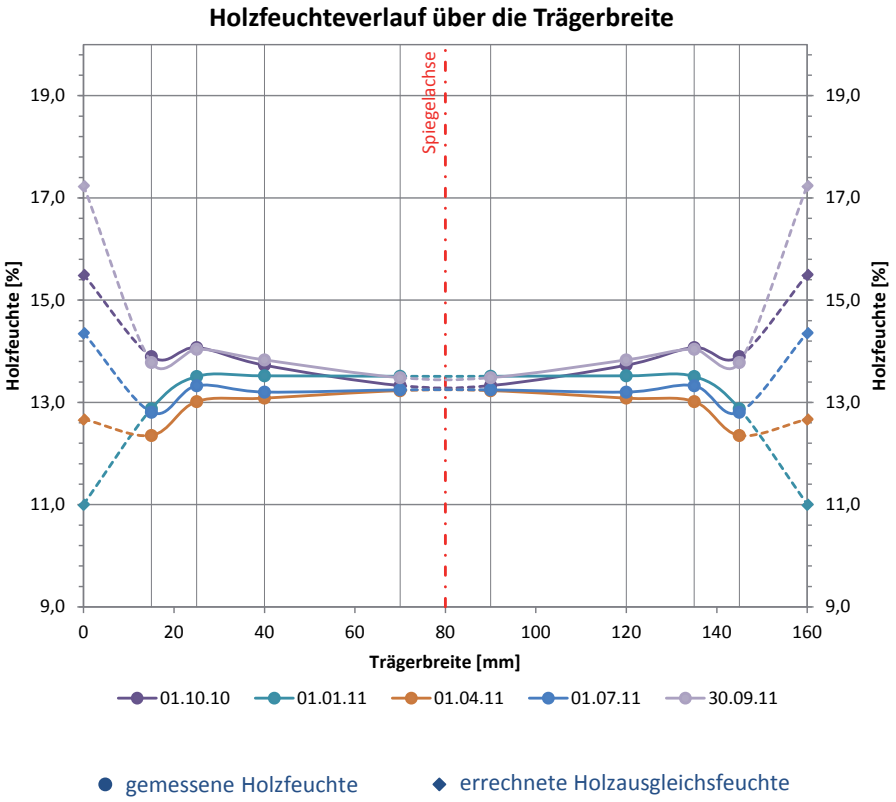
Messstelle 1: Über Tribüne ca. 3,5 m von Bande, Höhe ca. 6,0 m über der Tribüne

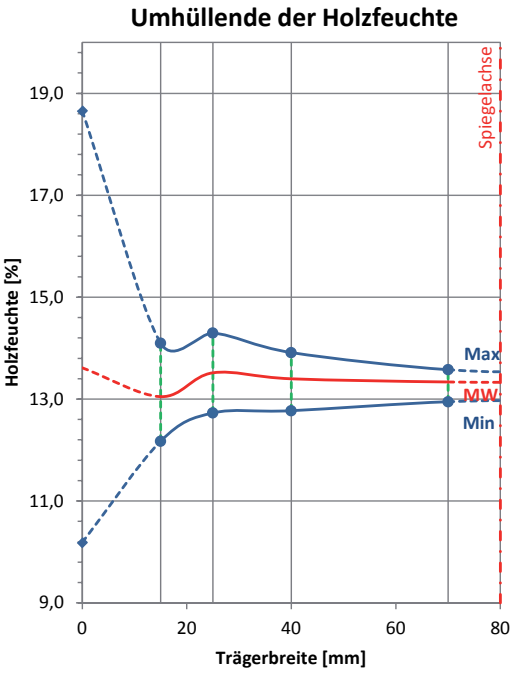


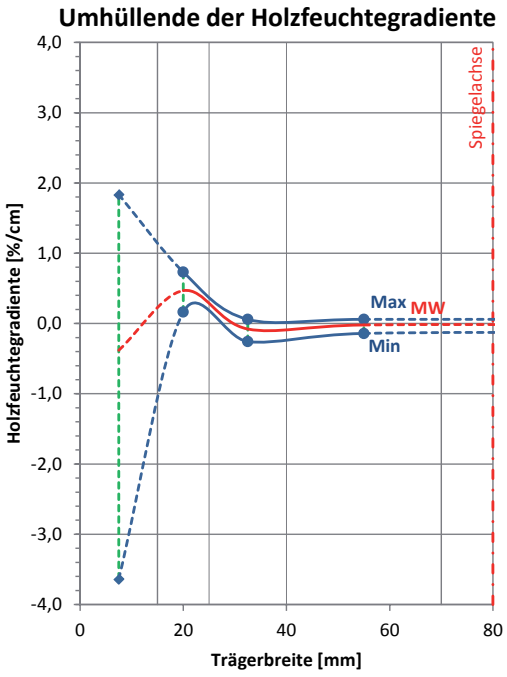


B4 Bundesleistungszentrum für Eishockey Füssen

Messstelle 1: Über Tribüne ca. 3,5 m von Bande, Höhe ca. 6,0 m über der Tribüne

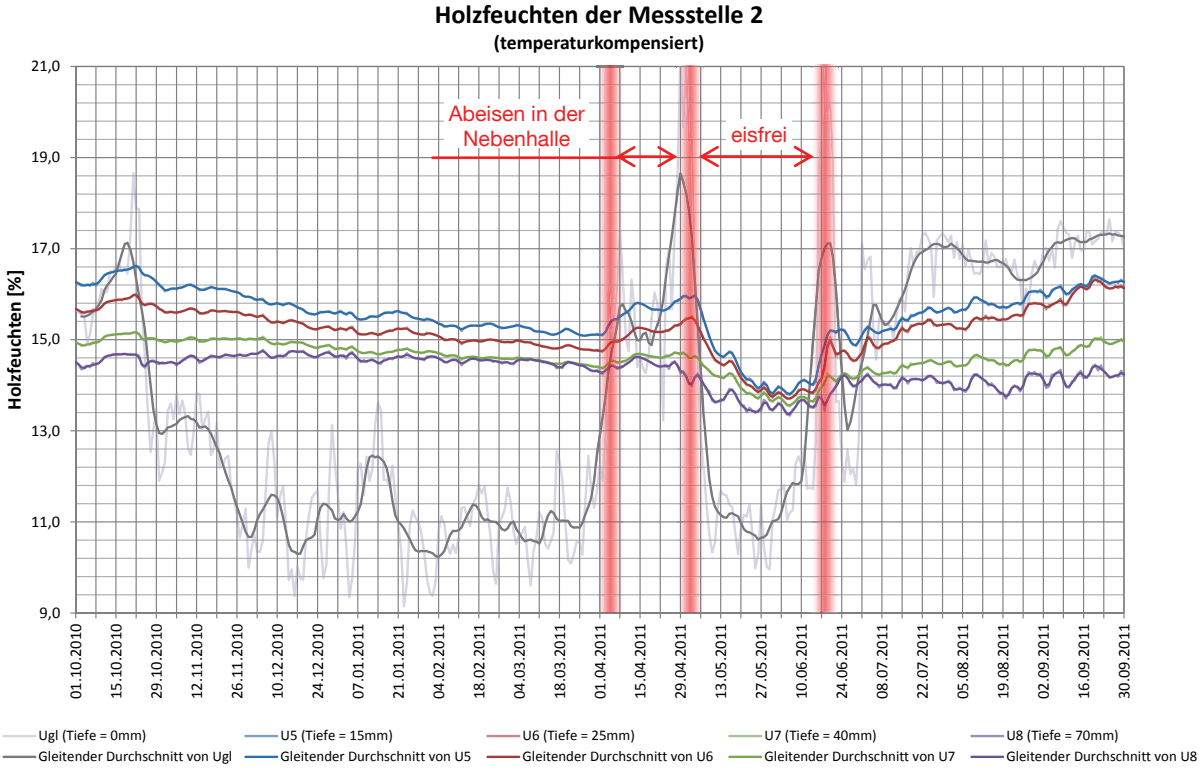


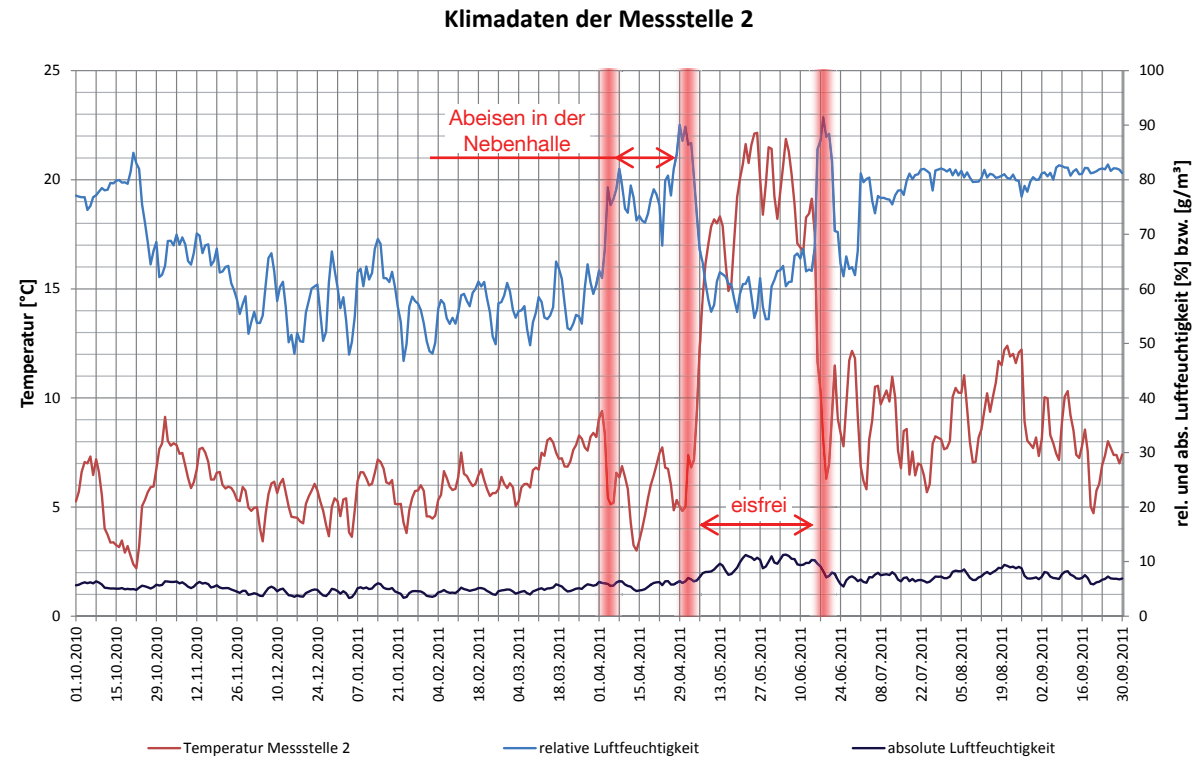




B4 Bundesleistungszentrum für Eishockey Füssen

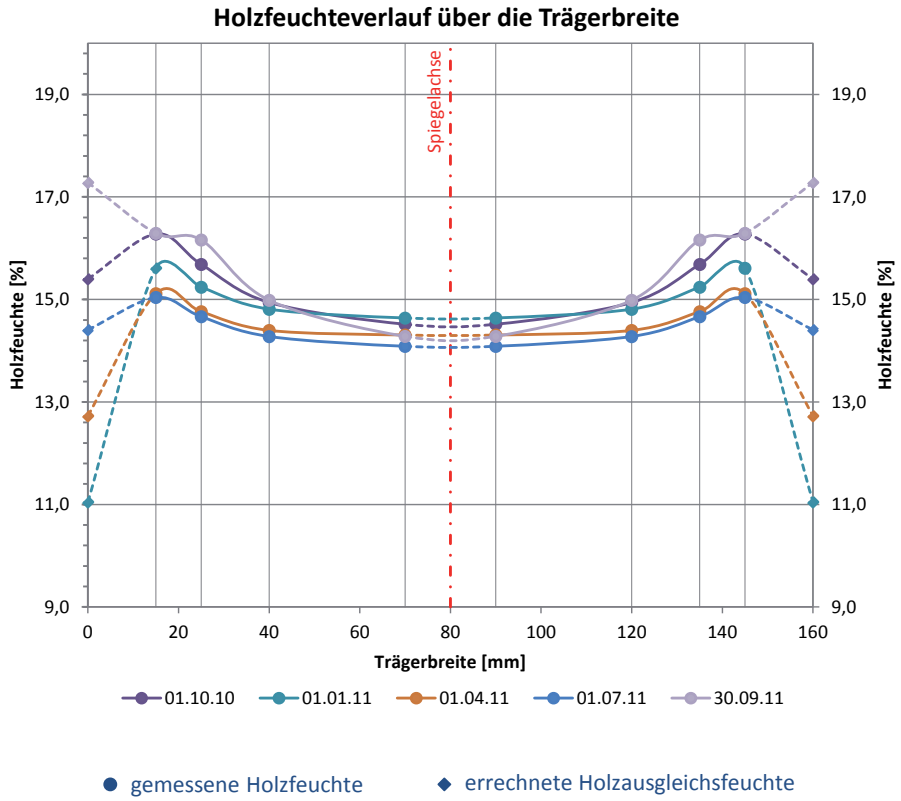
Messstelle 2: Über Eisfläche ca. 12,0 m von Bande, Höhe ca. 13,0 m über dem Eis

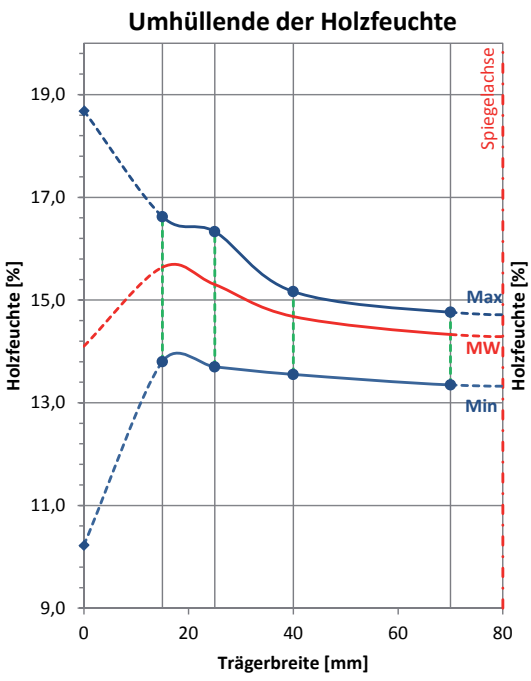


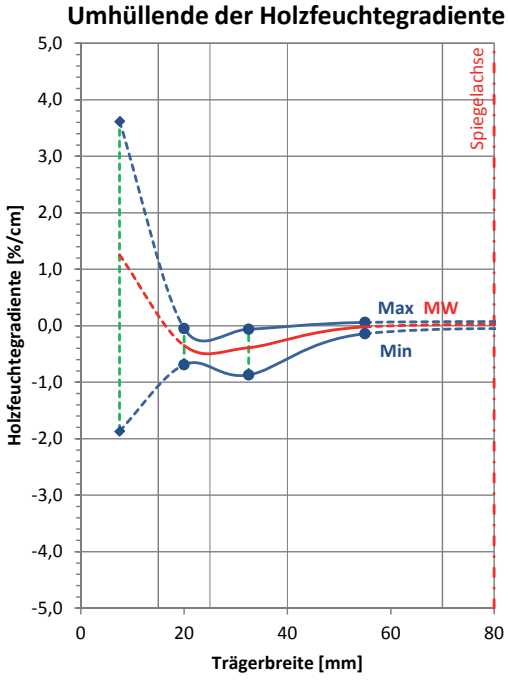


B4 Bundesleistungszentrum für Eishockey Füssen

Messstelle 2: Über Eisfläche ca. 12,0 m von Bande, Höhe ca. 13,0 m über dem Eis







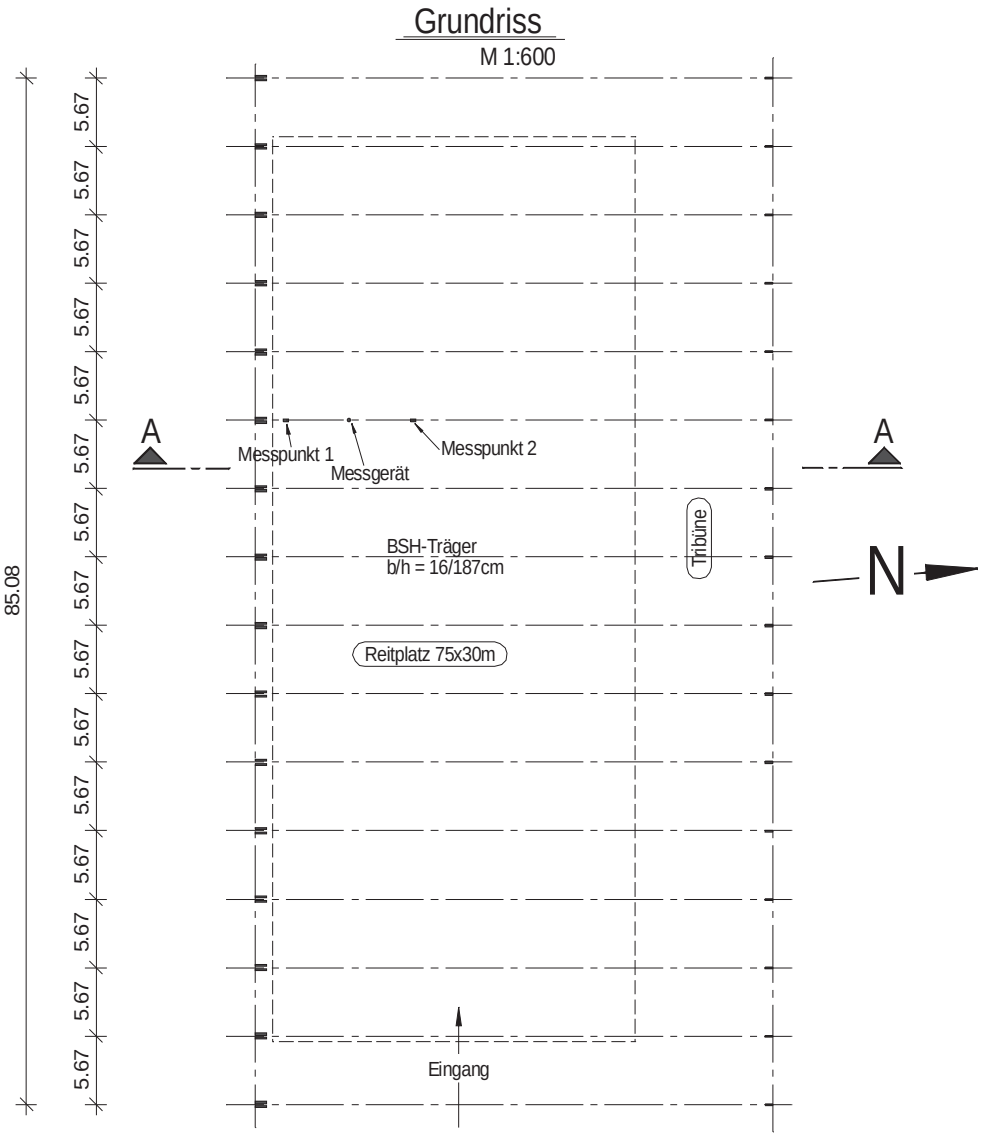
C1 Olympia-Reithalle München-Riem

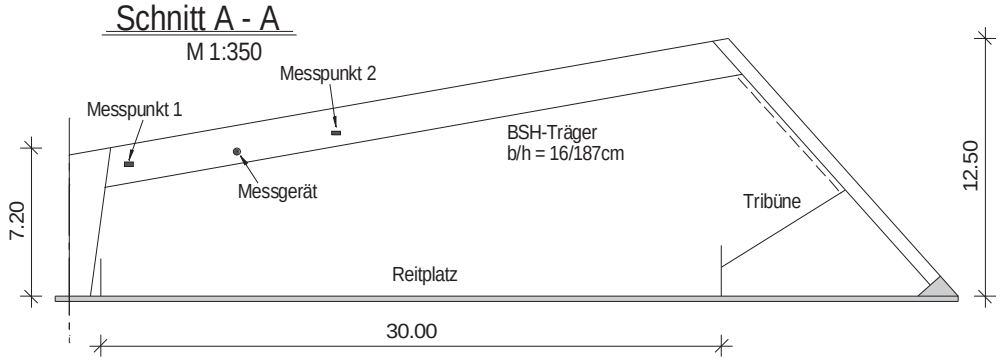
Anschrift:	Olympia-Reithalle München-Riem Landshamer Straße 11 81929 München
Ansprechpartner:	Herr Hohlmeier (vor Ort)
Anwesende vor Ort:	Andreas Gamper, Manuel Waidelich, Hr. Hohlmeier
Installationsdatum: Letztes Auslesedatum:	30.09.2010, 15:45 – 17:15 11.10.2011, 13:00 – 14:00
Umgebungsbedingungen:	Allseitig geschlossener, unbeheizter, konstruktiv gedämmter Raum Temperatur: 14,1 °C; Luftfeuchte: 63,7 % (z.Zt. d. Installation)
Messstelle 1:	Randbereich über Reitfläche, nahe Rahmenecke (Regelbereich, eventuell Beeinflussung durch Lichtband in der Rahmenecke)
Messstelle 2:	Zentraler Bereich über Reitfläche (Regelbereich, Einfluss des feuchten Hallenbodens)

Sensor	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte GANN [%]	Messwert Mugrauer [10lg(Ω)]	Einstellwerte GANN	
u1	15	16,8	79,0	x–y: 6–5; 15°	Messstelle 1
u2	25	16,6	79,4	Gemessene	
u3	40	16,9	78,5	Temperatur	
u4	70	16,4	80,1	t_1: 13,3°C	
u5	15	17,4	76,9	x–y: 6–5; 15°	Messstelle 2
u6	25	16,2	80,7	Gemessene	
u7	40	15,0	84,6	Temperatur	
u8	70	15,3	83,8	t_2: 14,8°C	

Tragsystem:	Dreigelenkrahmen auf Widerlagern in Massivbauweise 10 Achsen mit einem Trägerachsabstand e = 5,67 m Spannweite ℓ = 36,5 m, b/h 16/187 cm² Lammellenstärke t = 32 mm Bauteile unbehandelt (vorbehaltlich eines nicht mehr erkennbaren, farblosen, offenporigen Anstrichs)

Skizzen:


Grundriss
M 1:600
85.08
5.67
A
A
Messpunkt 1
Messgerät
Messpunkt 2
BSH-Träger
b/h = 16/187cm
Tribüne
N
Reitplatz 75x30m
Eingang


Schnitt A - A
M 1:350
Messpunkt 2
Messpunkt 1
BSH-Träger
b/h = 16/187cm
Messgerät
Tribüne
Reitplatz
7.20
12.50
30.00

Bilder:

Abbildung C1-1: Ansicht Tragwerk

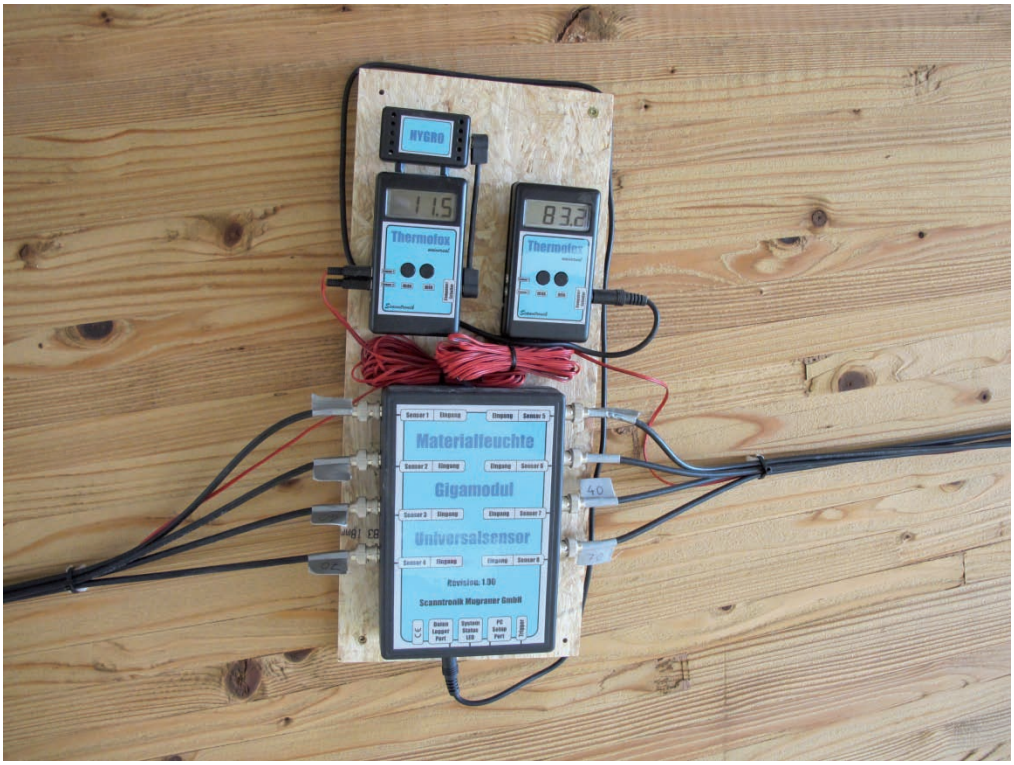
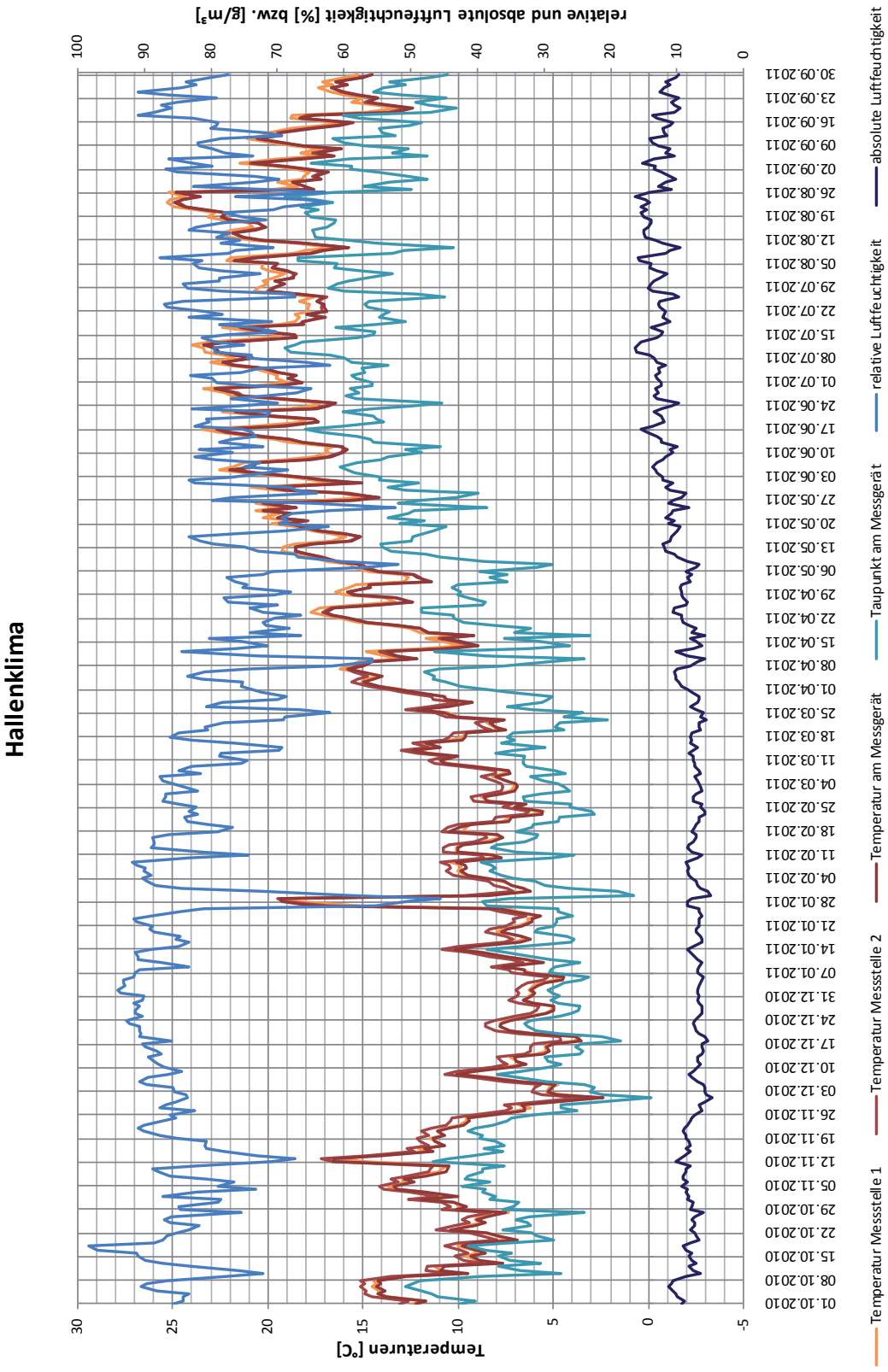


Abbildung C1-2: Ansicht Messstation

Abbildung C1-3: Ansicht Messstelle 1

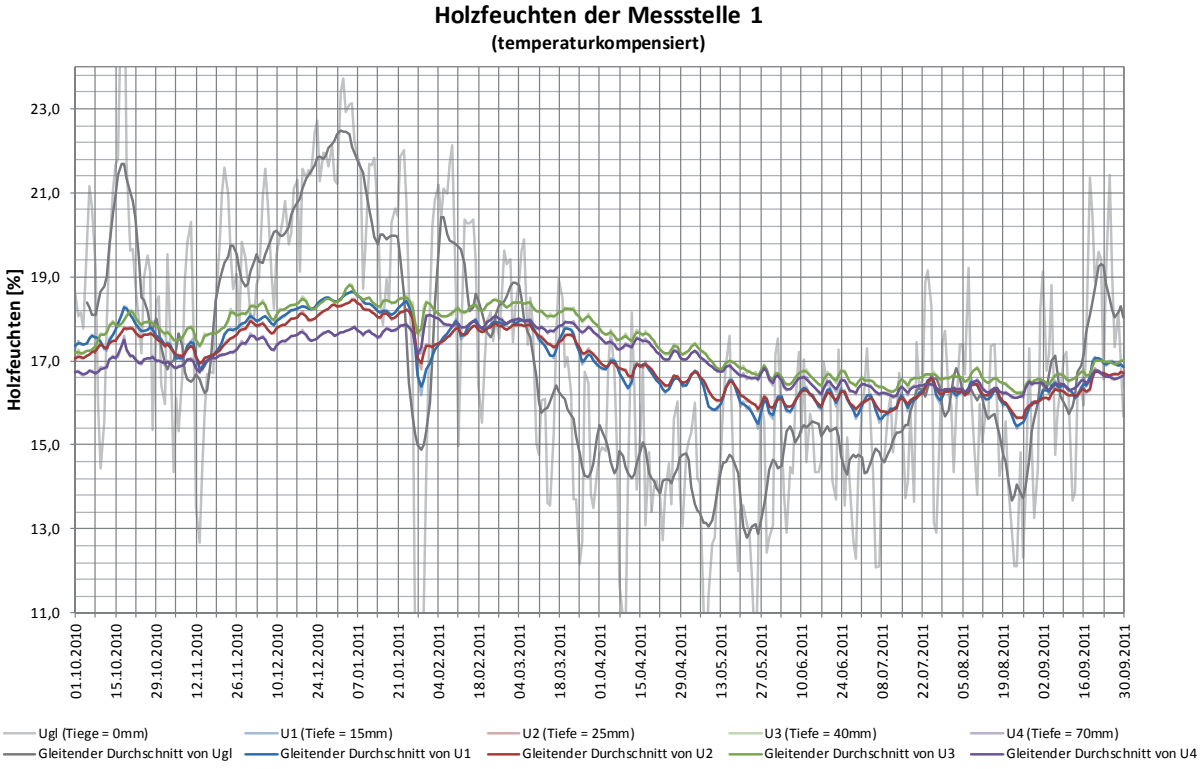
Abbildung C1-4: Ansicht Messstelle 2

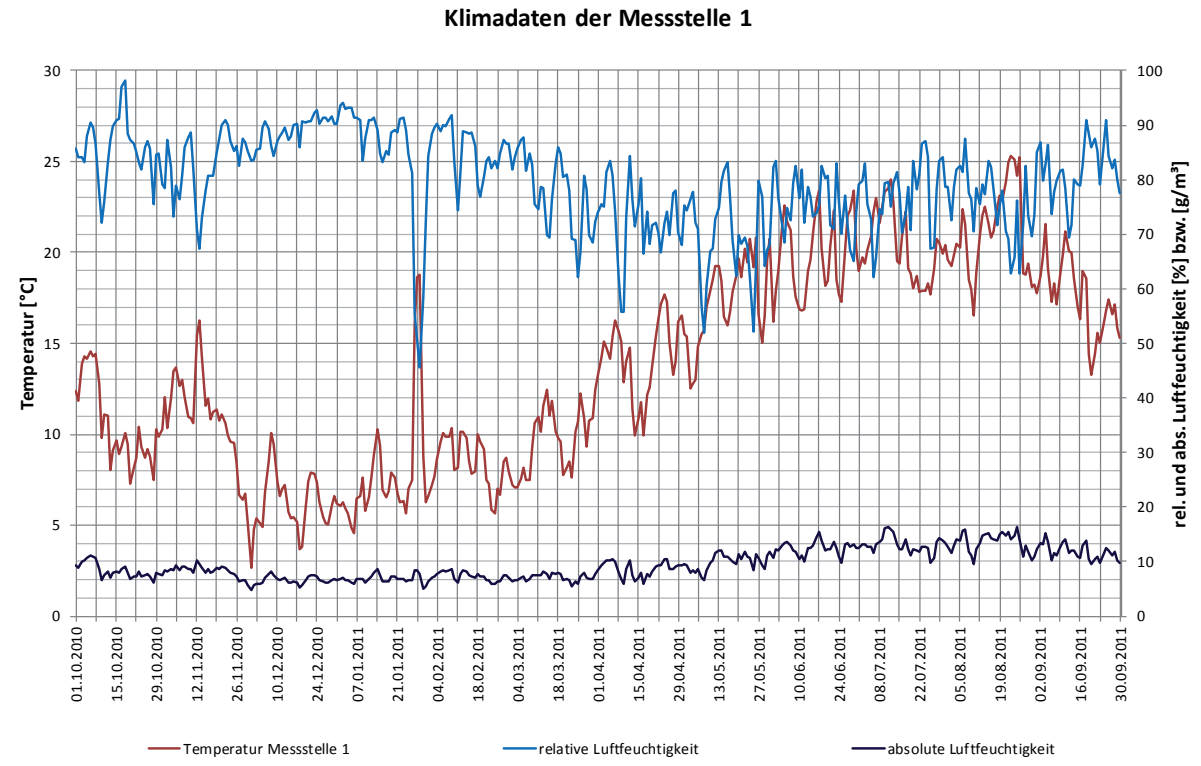
C1 Olympia Reithalle Riem



C1 Olympia-Reithalle München-Riem

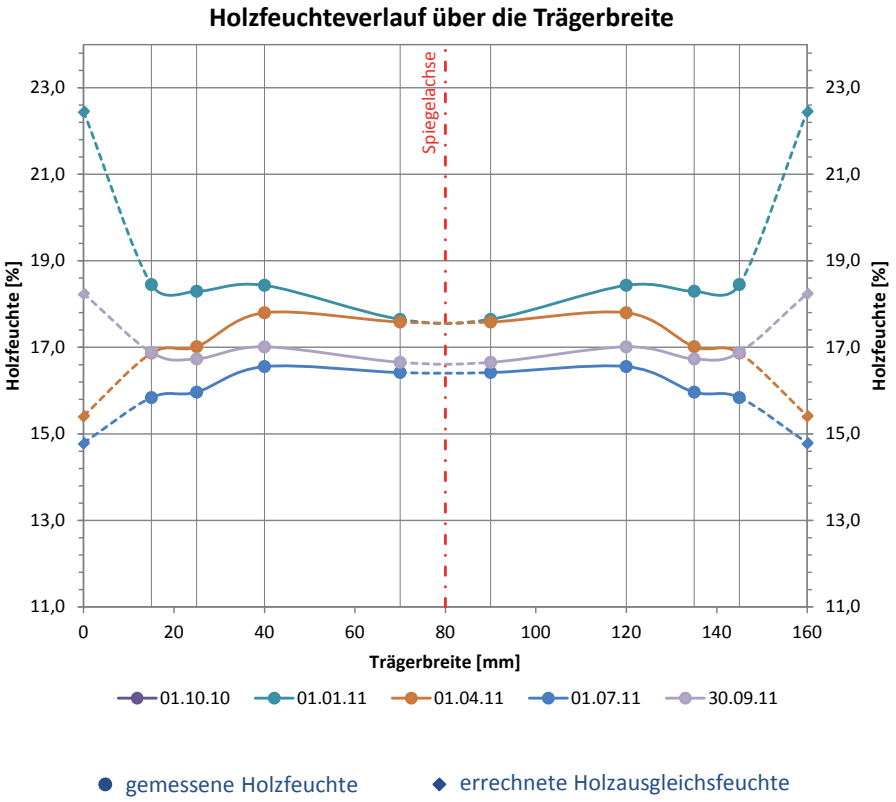
Messstelle 1: Randbereich über Reitfläche, nahe Rahmenecke

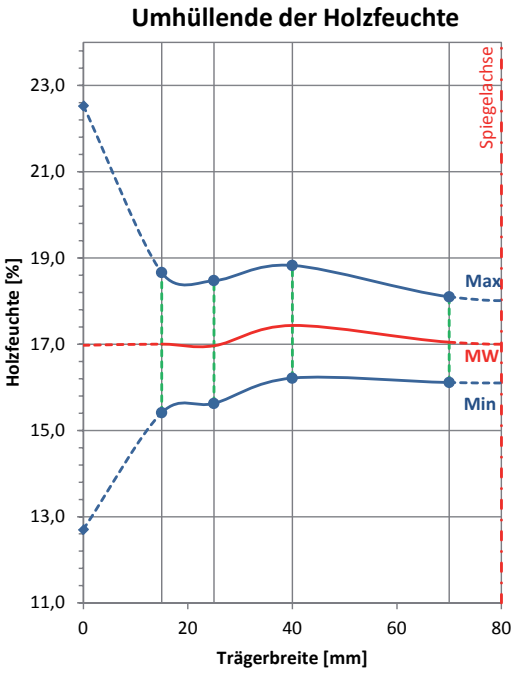


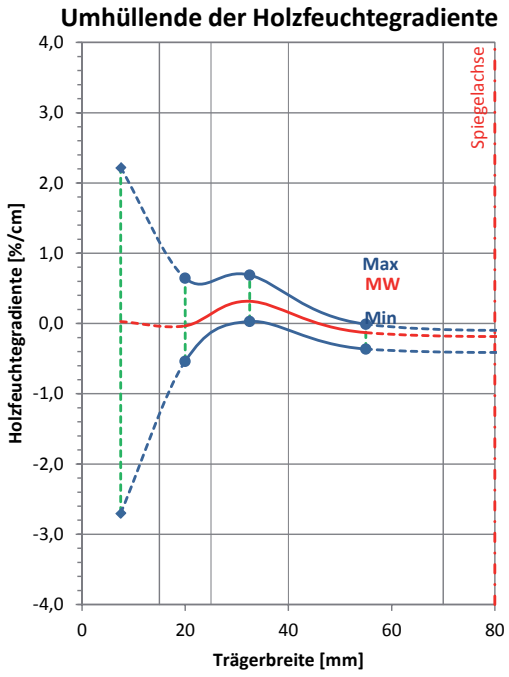


C1 Olympia-Reithalle München-Riem

Messstelle 1: Randbereich über Reitfläche, nahe Rahmenecke

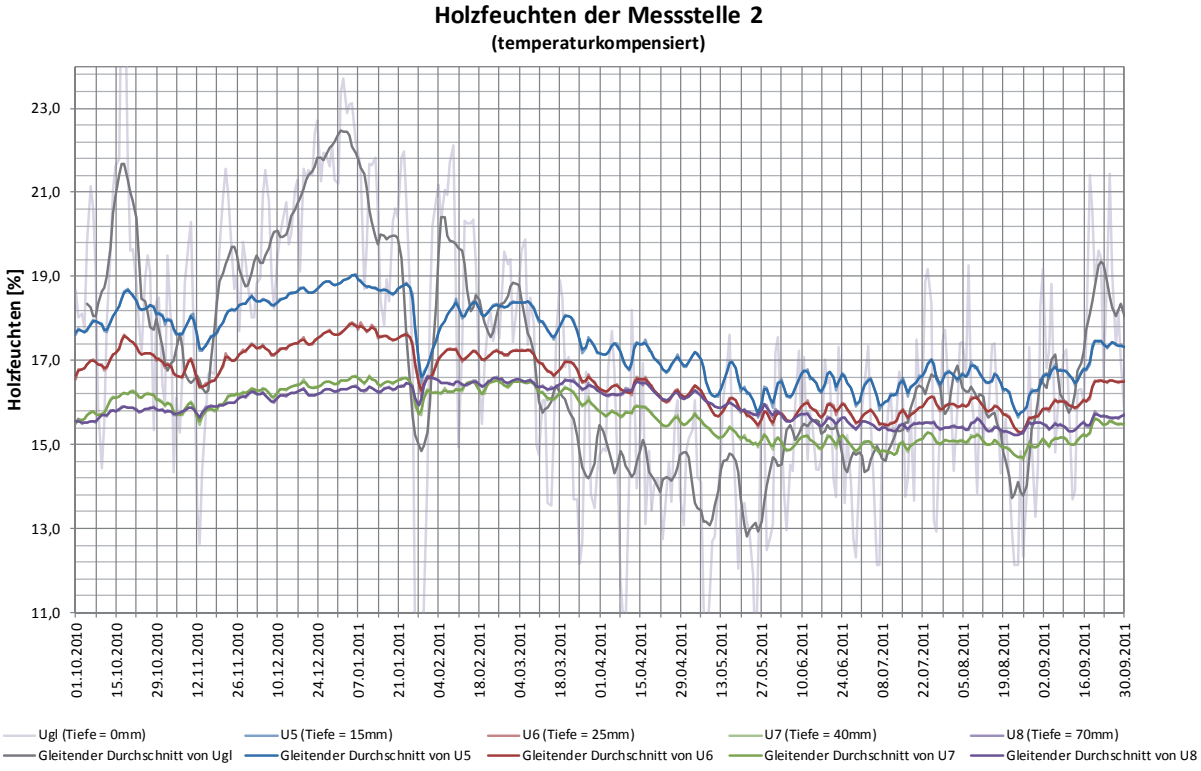


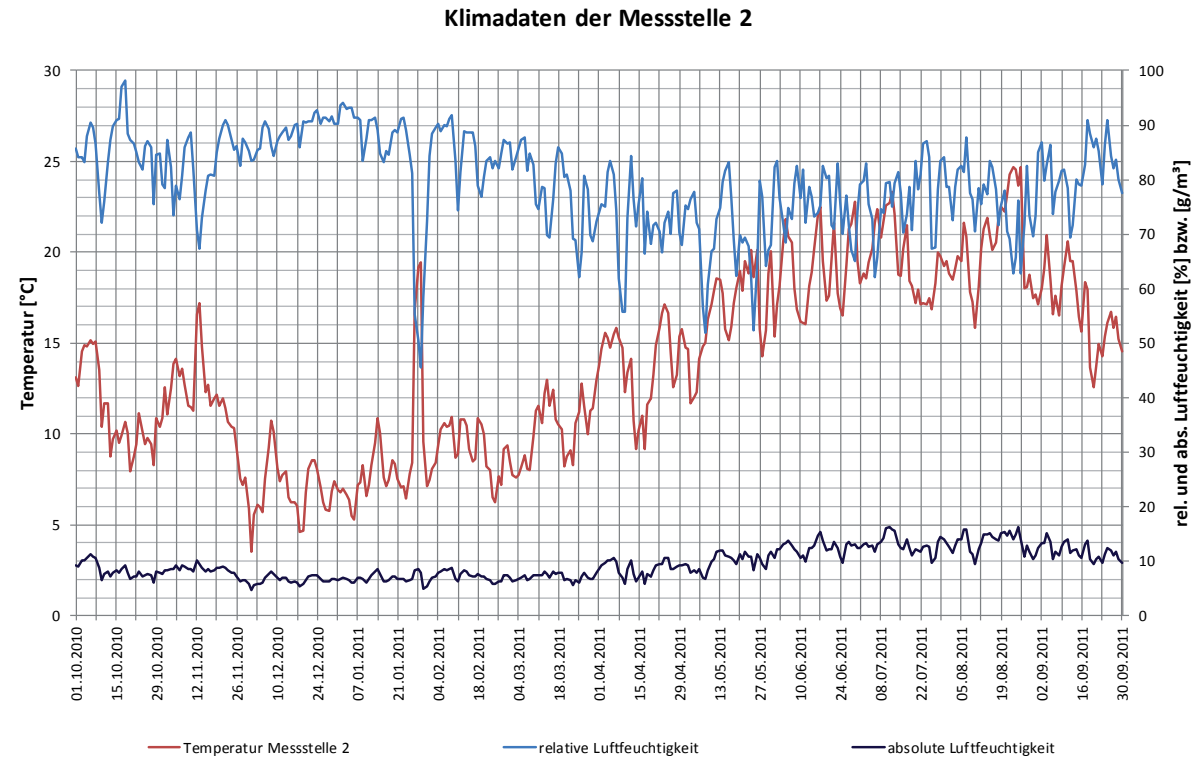




C1 Olympia-Reithalle München-Riem

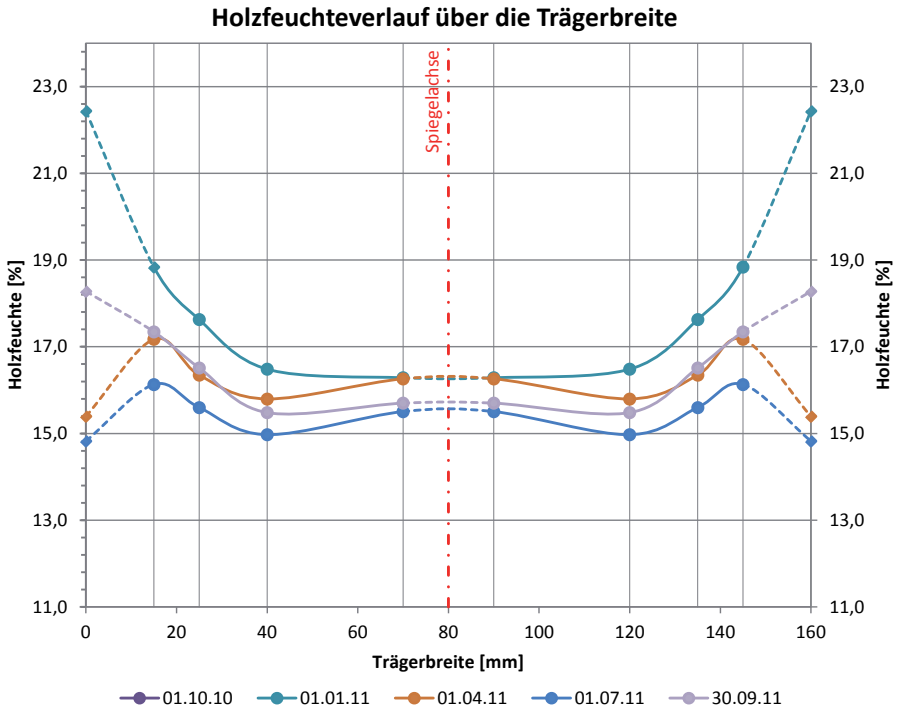
Messstelle 2: Zentraler Bereich über Reitfläche

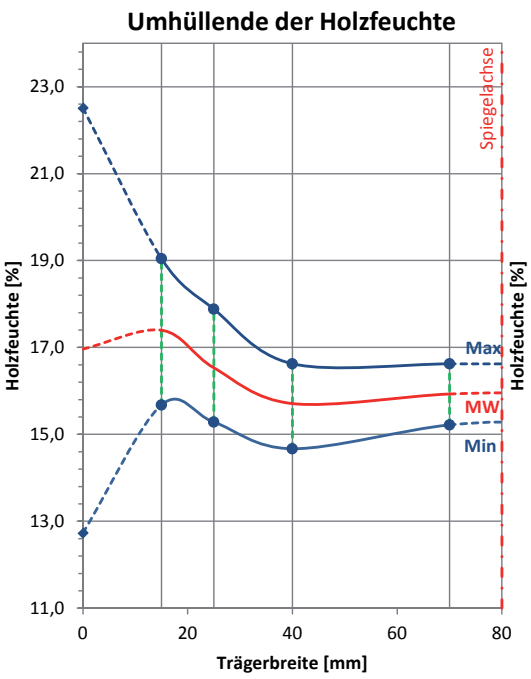


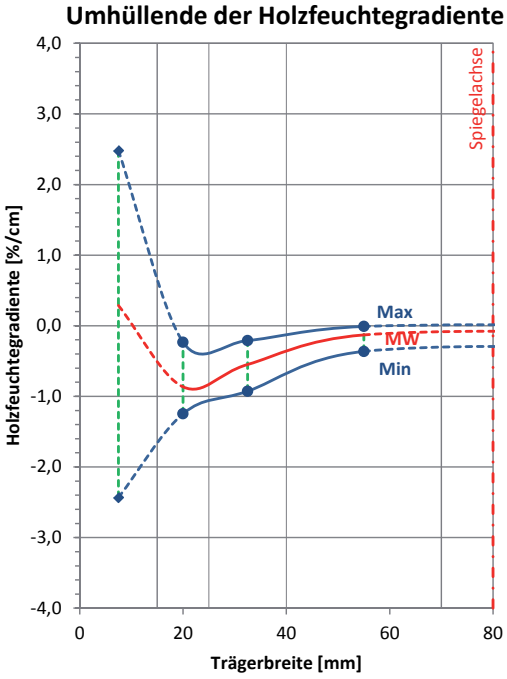


C1 Olympia-Reithalle München-Riem

Messstelle 2: Zentraler Bereich über Reitfläche







C2 Gestüt Obere Mühle Blonhofen

Anschrift: Ortsstraße 52
87662 Blonhofen

Ansprechpartner: Thomas Gnadl

Anwesende vor Ort: Michael Merk, Andreas Gamper, Hr. Gnadl

Installationsdatum: 09.09.2010, 11:00 – 12:00
Letztes Auslesedatum: 10.10.2011, 16:00 – 17:00

Umgebungsbedingungen: Allseitig geschlossener, unbeheizter, konstruktiv gedämmter Raum

Temperatur: 14,6 °C; Luftfeuchte: 63,3 % (z.Zt. d. Installation)

Messstelle 1: Firstbereich unter dem Lichtband
(Regelbereich, beeinflusst durch das Lichtband im Firstbereich)

Messstelle 2: Feldbereich über Reitfläche, oberhalb Sprinkleranlage
(zentral, Beeinflussung durch Sprinkleranlage)

Sensor	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte GANN [%]	Messwert Mugrauer [10lg(Ω)]	Einstellwerte GANN	
u1	15	17,0	78,4	x–y: 6–5; 15°	Messstelle 1
u2	25	15,7	82,7	Gemessene	
u3	40	14,6	86,1	Temperatur	
u4	70	14,6	86,4	t_1: 15,8°C	
u5	15	16,2	80,9	x–y: 6–5; 15°	Messstelle 2
u6	25	15,8	82,8	gemessene	
u7	40	15,0	85,3	Temperatur	
u8	70	15,6	83,1	t_2: 14,7°C	

Tragsystem: Dreigelenkrahmen auf eingespannten StB-Stützen

Spannweite ℓ = 20,80 m

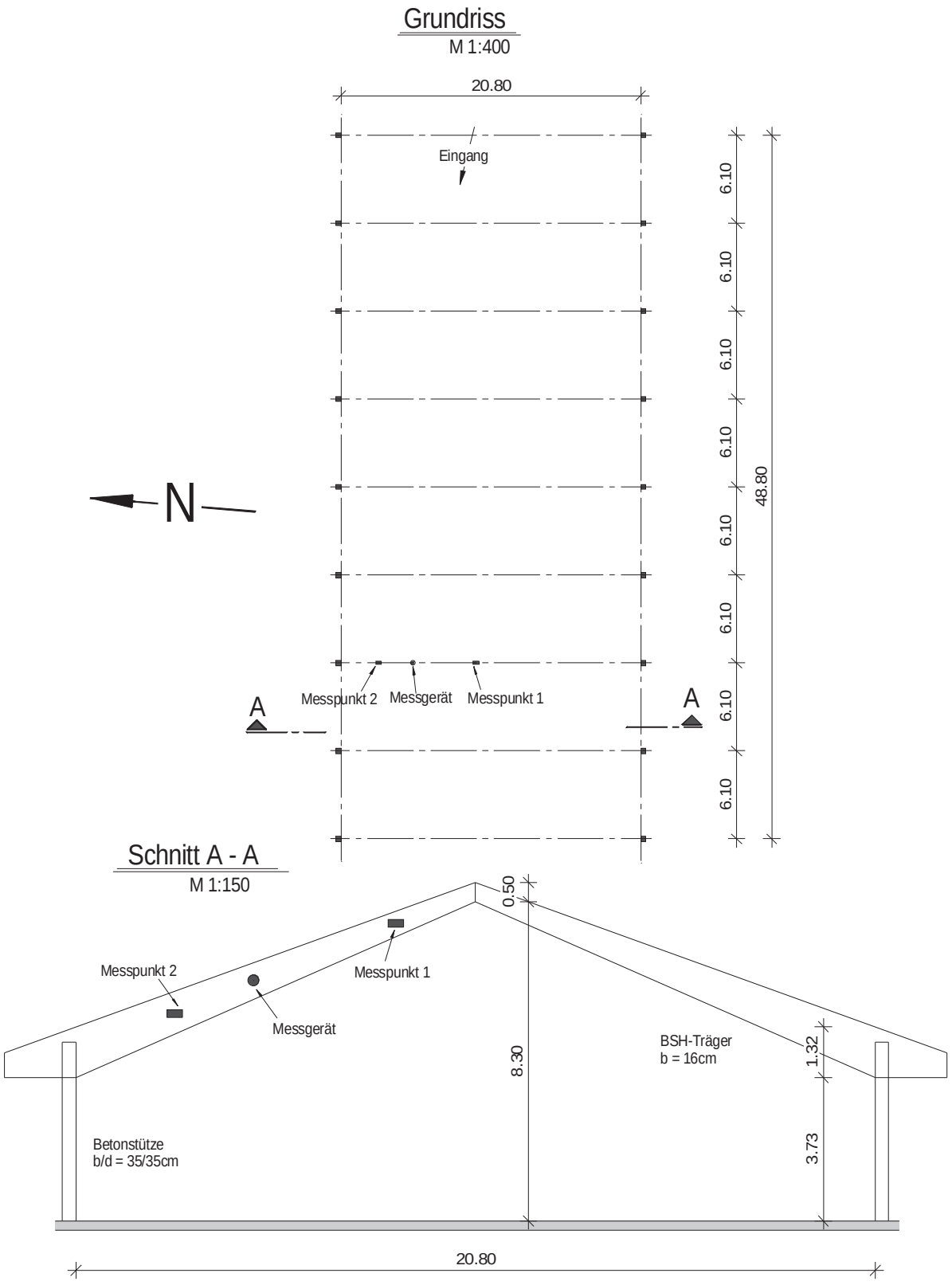
9 Achsen mit einem Binderachsabstand e = 6,10 m

Trägerabmessungen b/h = 16/50 … 132 cm^2

Lamellenstärke t = 33 mm

Bauteile unbehandelt
(vorbehaltlich eines nicht mehr erkennbaren, farblosen, offenporigen Anstrichs)

Skizzen:


Grundriss
M 1:400
20.80
Eingang
6.10
6.10
6.10
6.10
6.10
6.10
6.10
48.80
N
A
A
Messpunkt 2
Messgerät
Messpunkt 1
Schnitt A - A
M 1:150
0.50
Messpunkt 2
Messpunkt 1
Messgerät
8.30
BSH-Träger
b = 16cm
1.32
3.73
Betonstütze
b/d = 35/35cm
20.80

Bilder:

Abbildung C2-1: Ansicht Tragwerk

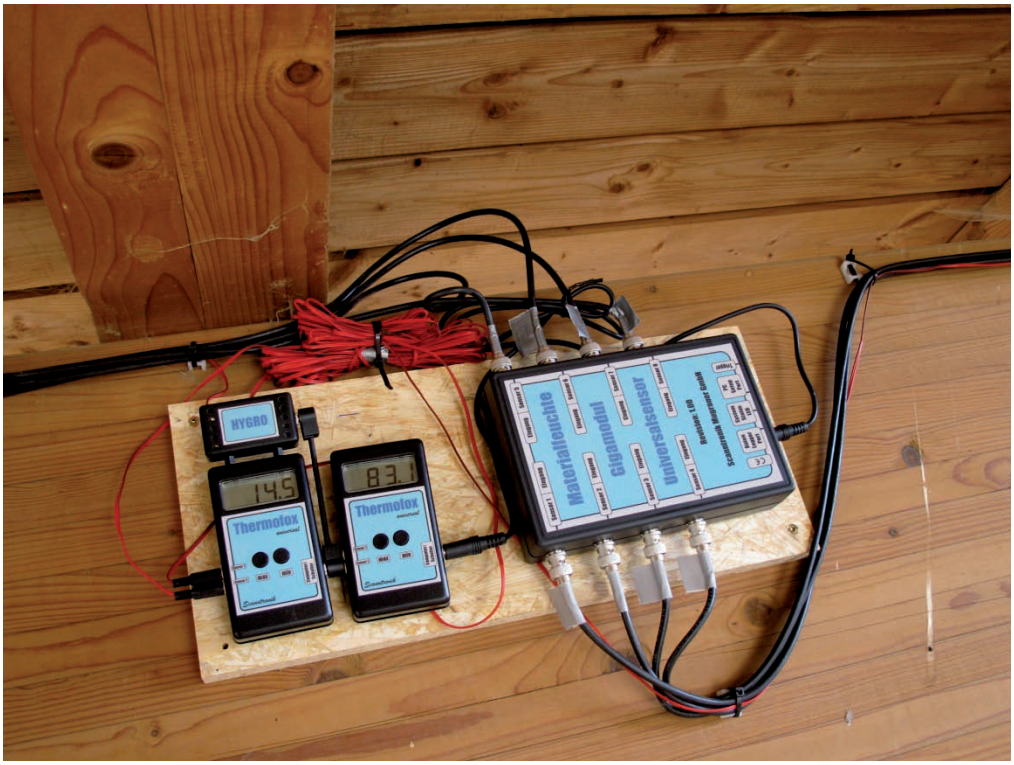


Abbildung C2-2: Ansicht Messstation

Abbildung C2-3: Ansicht Messstelle 1

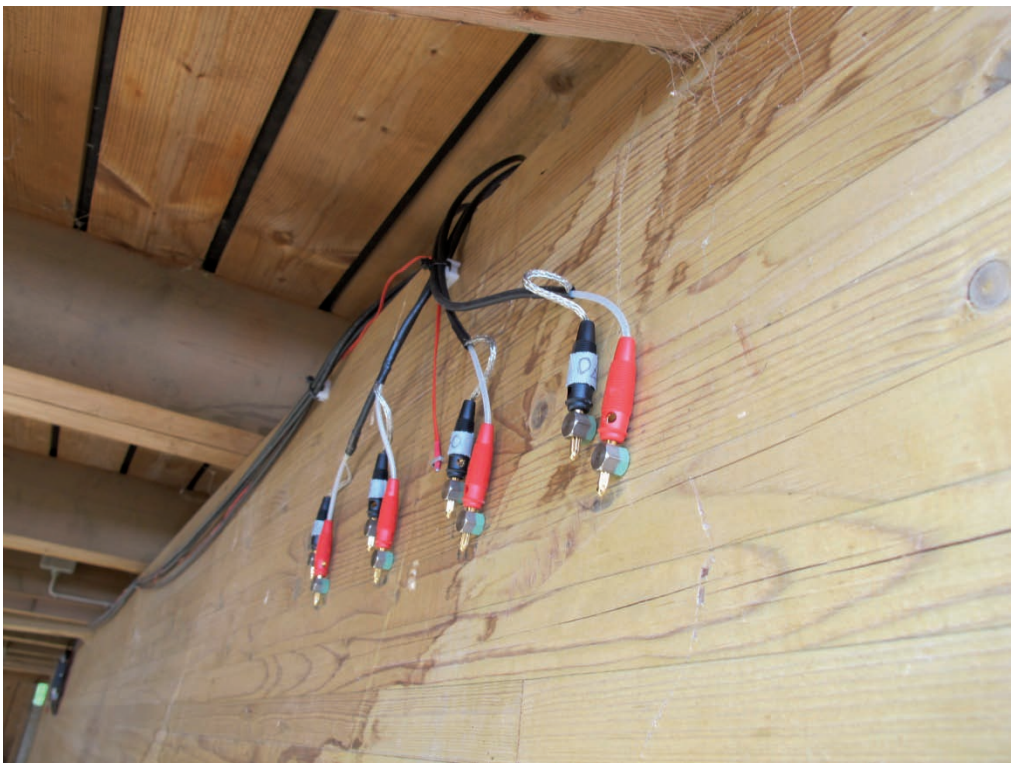
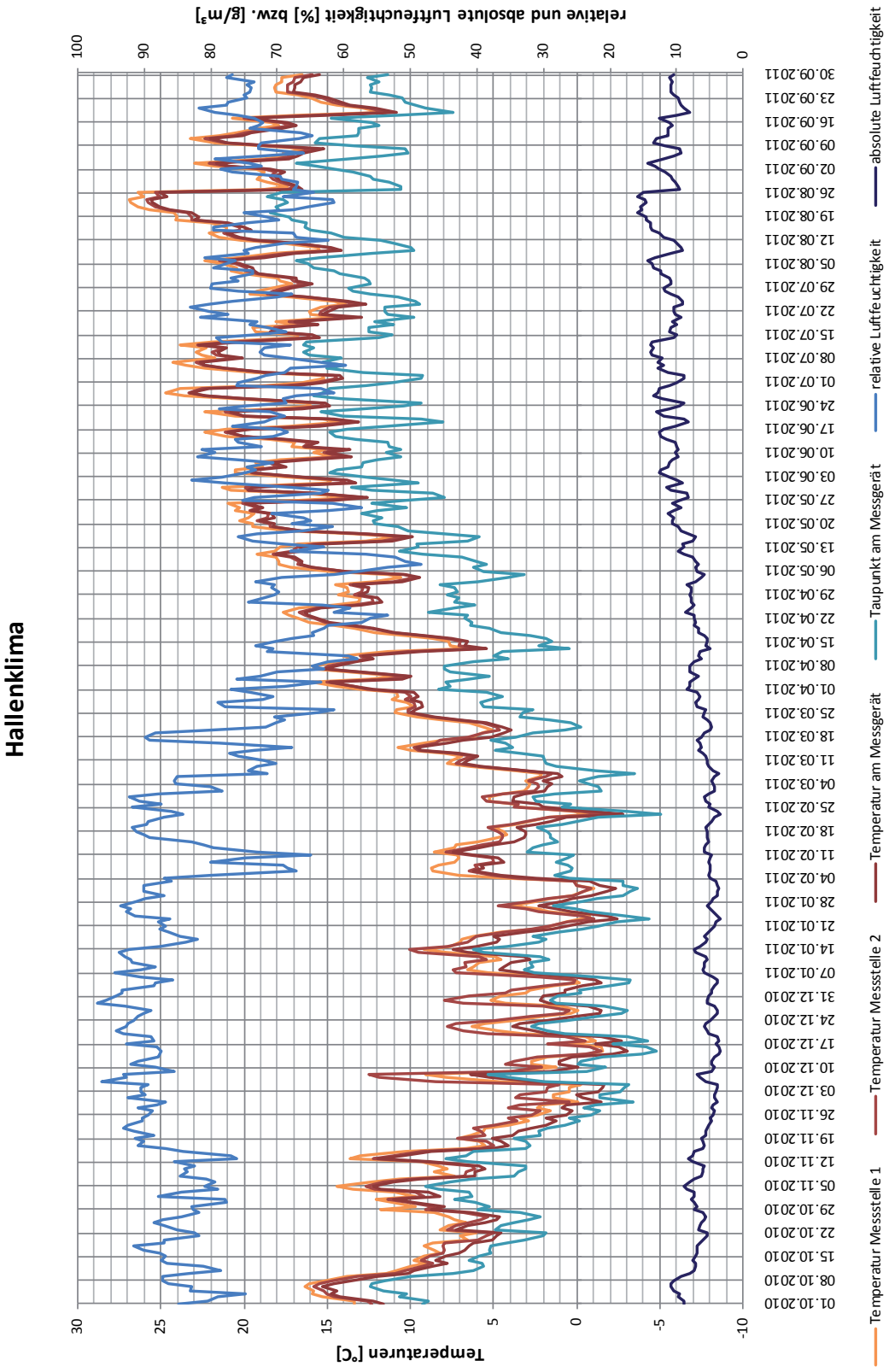


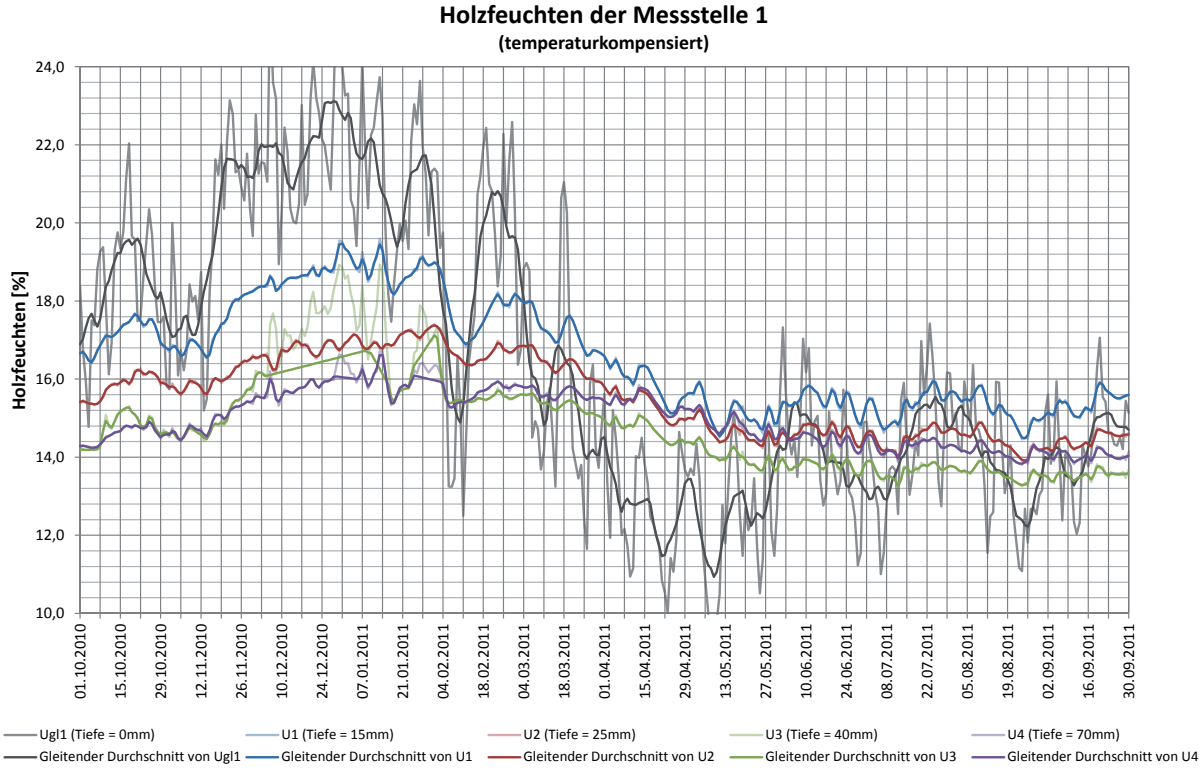
Abbildung C2-4: Ansicht Messstelle 2

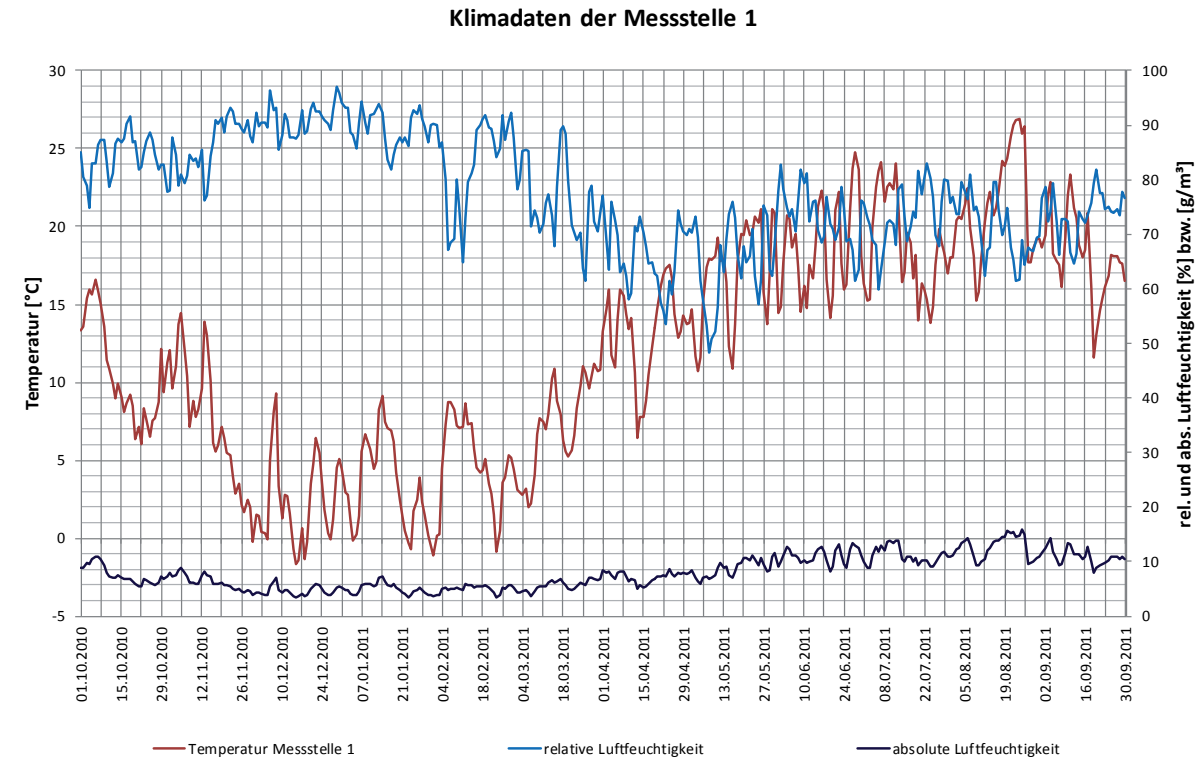
C2 Reithalle Gnadl Blonhofen



C2 Gestüt Obere Mühle Blonhofen

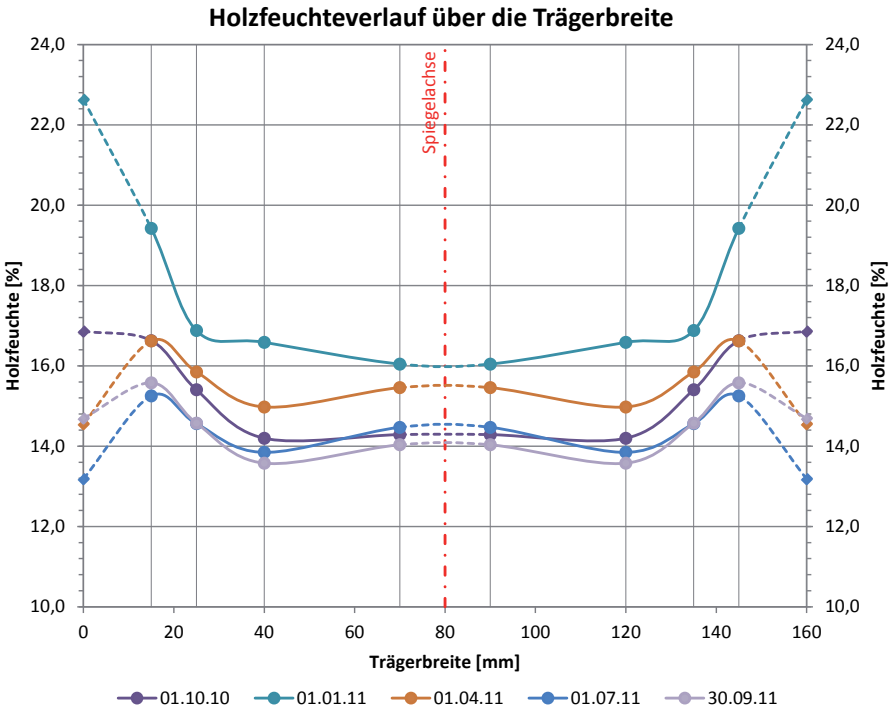
Messstelle 1: Firstbereich unter dem Lichtband

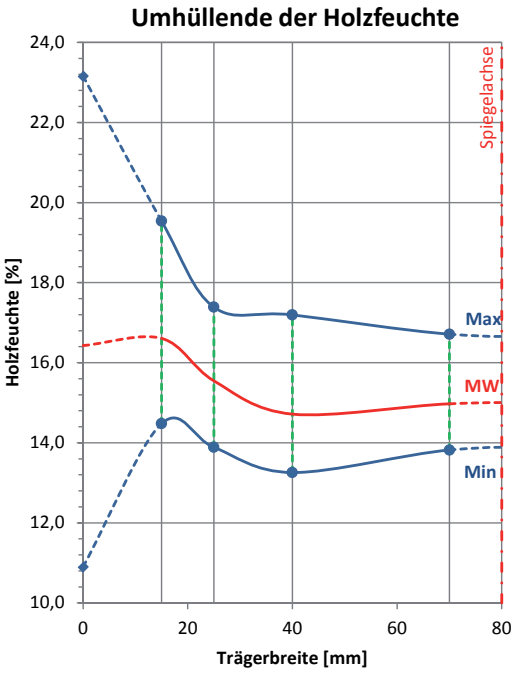


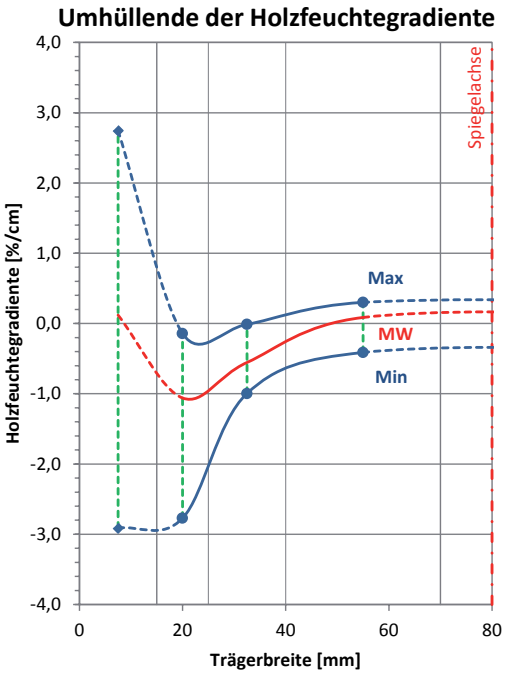


C2 Gestüt Obere Mühle Blonhofen

Messstelle 1: Firstbereich unter dem Lichtband

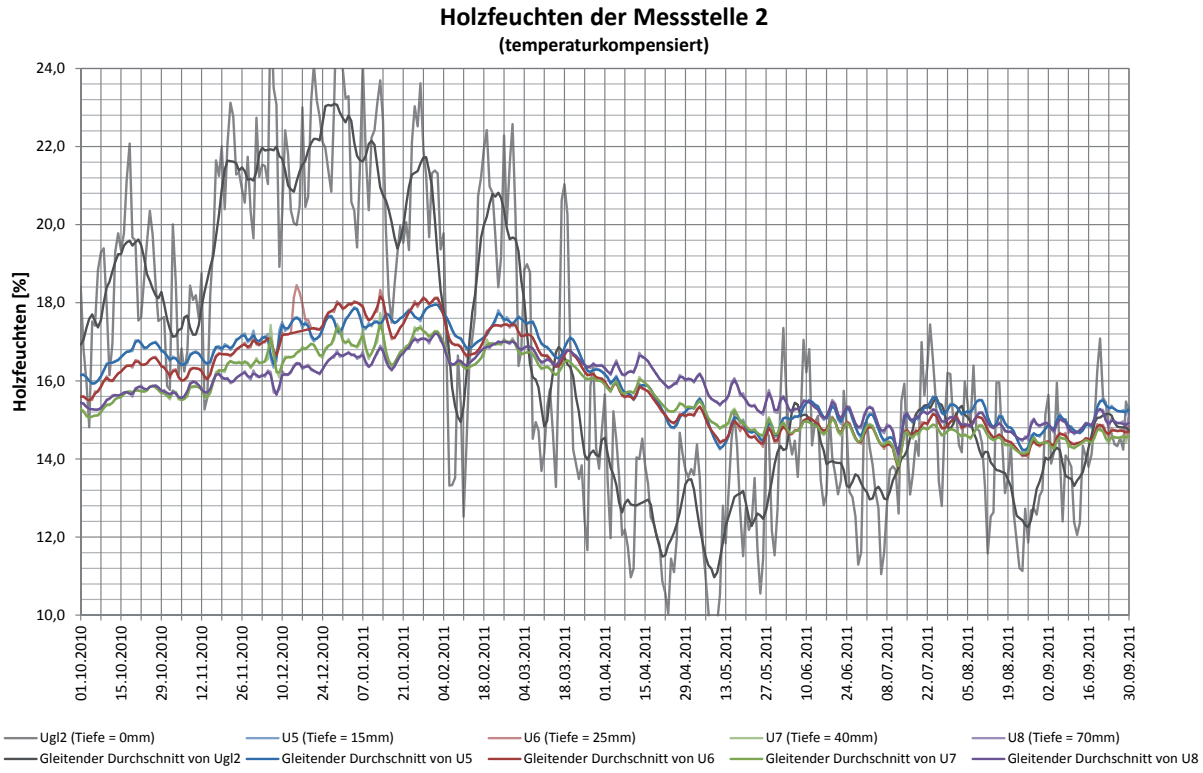


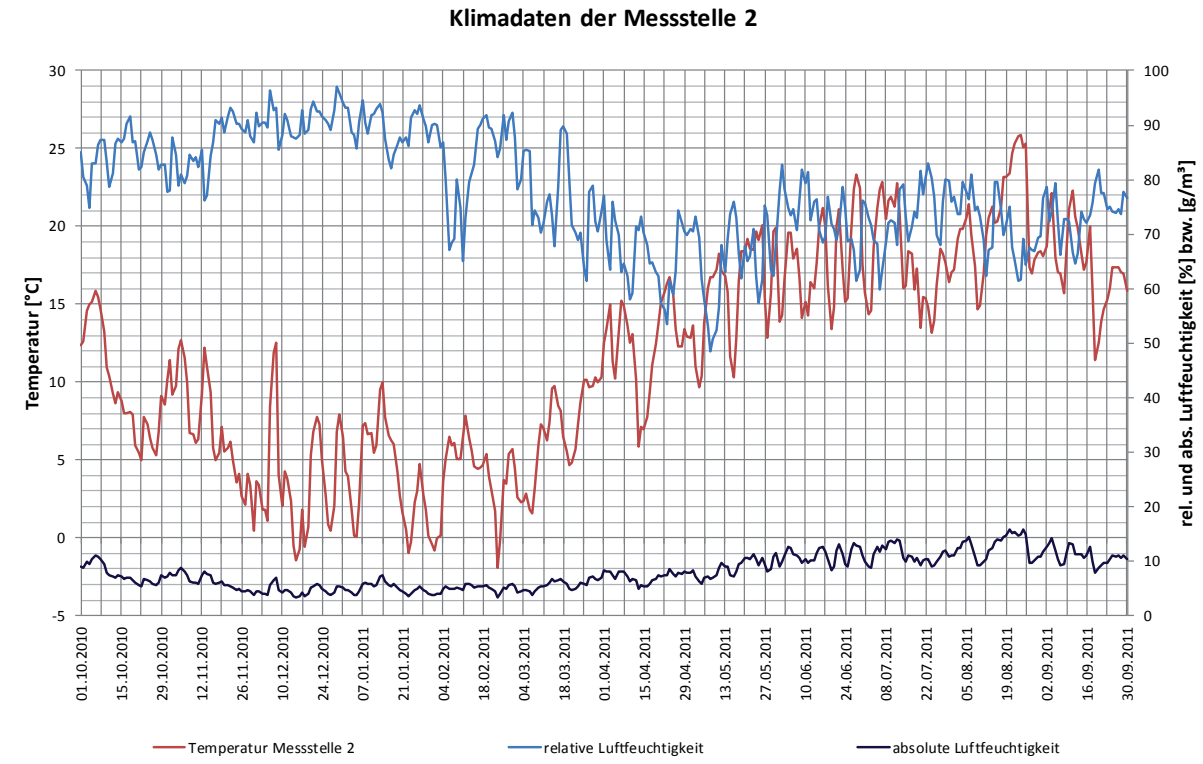




C2 Gestüt Obere Mühle Blonhofen

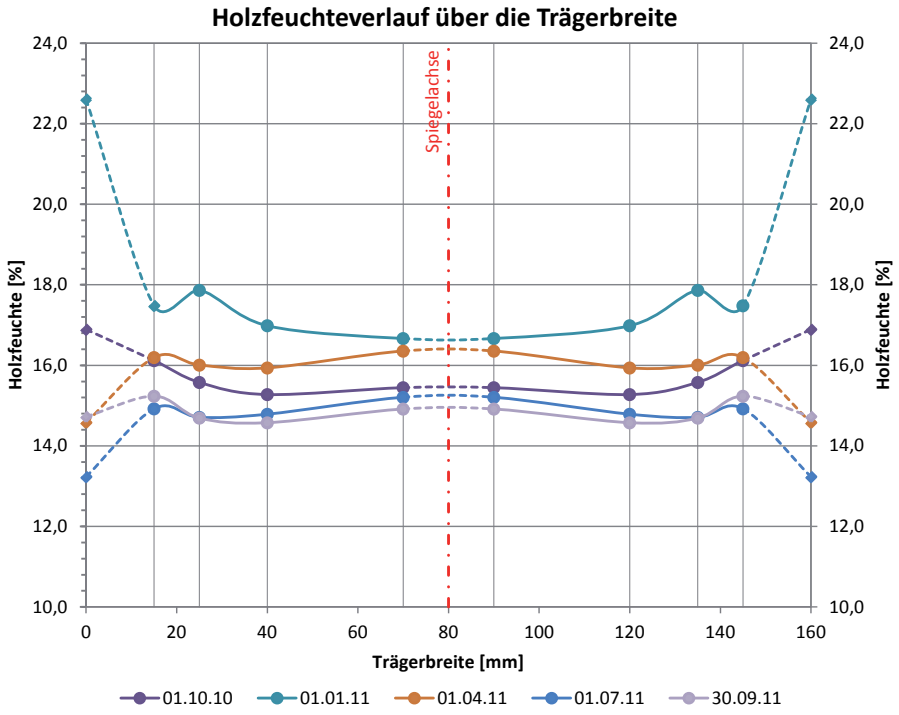
Messstelle 2: Feldbereich über Reitfläche, oberhalb Sprinkleranlage

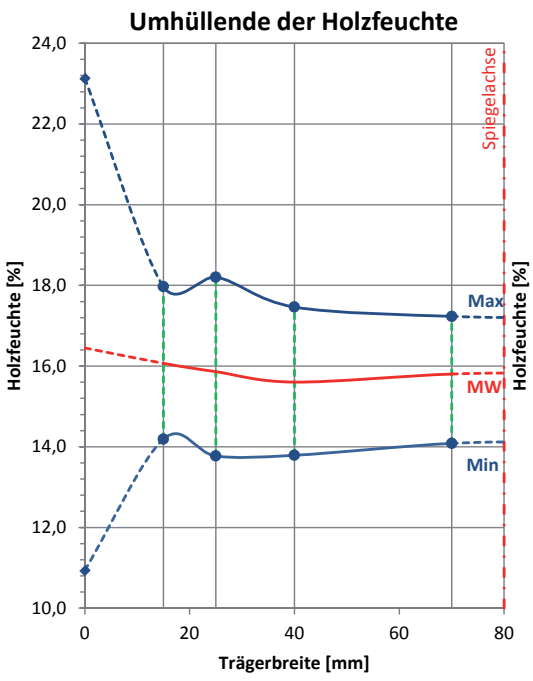


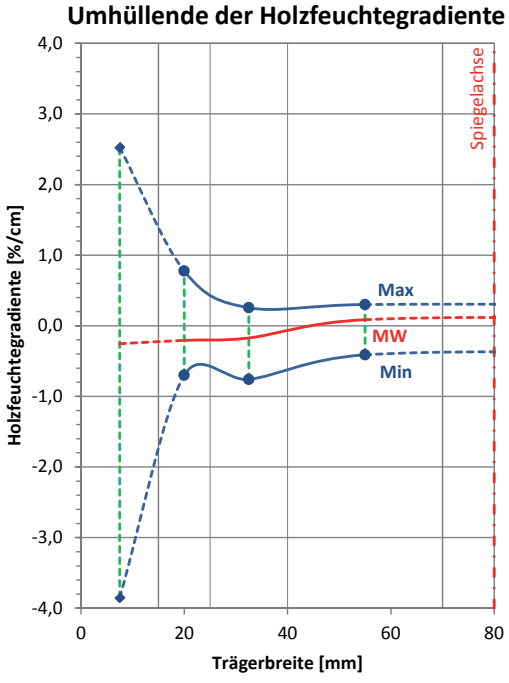


C2 Gestüt Obere Mühle Blonhofen

Messstelle 2: Feldbereich über Reitfläche, oberhalb Sprinkleranlage







C3 Sternstunden Reithalle Herzogsägmühle

Anschrift: Oblandstraße 3
86971 Peiting

Ansprechpartner: Frau Sylvia Jindra

Anwesende vor Ort: Philipp Dietsch, Andreas Gamper, Frau Jindra

Installationsdatum: 14.09.2010, 14:00 – 17:00
Letztes Auslesedatum: 10.10.2011, 11:00 – 12:00

Umgebungsbedingungen: Allseitig geschlossener, unbeheizter, konstruktiv gedämmter Raum mit großem Tor

Temperatur: 18,6 °C; Luftfeuchte: 63,0 % (z.Zt. d. Installation)

Messstelle 1: Firstbereich, oberhalb der Sprinkleranlage
(Beeinflussung durch Sprinkleranlage und Lichtband im Firstbereich)

Messstelle 2: Traufbereich an lichtdurchlässiger Fassade
(Regelbereich, eventuell durch die leicht lichtdurchlässige Fassade beeinflusst)

	Sensor	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte GANN [%]	Messwert Mugrauer [10lg(Ω)]	Einstellwerte GANN
Messstelle 1	u1	15	14,7	85,9	x–y: 6–5; 15°
	u2	25	14,4	87,6	Gemessene
	u3	40	14,5	86,4	Temperatur
	u4	70	15,8	84,4	t_1: 16,6°C
Messstelle 2	u5	15	16,2	81,2	x–y: 6–5; 15°
	u6	25	15,8	82,0	gemessene
	u7	40	15,2	84,0	Temperatur
	u8	70	15,3	84,1	t_2: 16,6°C

Tragsystem: Gekrümmter Einfeldträger, Trägerspannweite ℓ = 21,73 m

8 Achsen mit einem Trägerachsabstand e = 6,25 m,

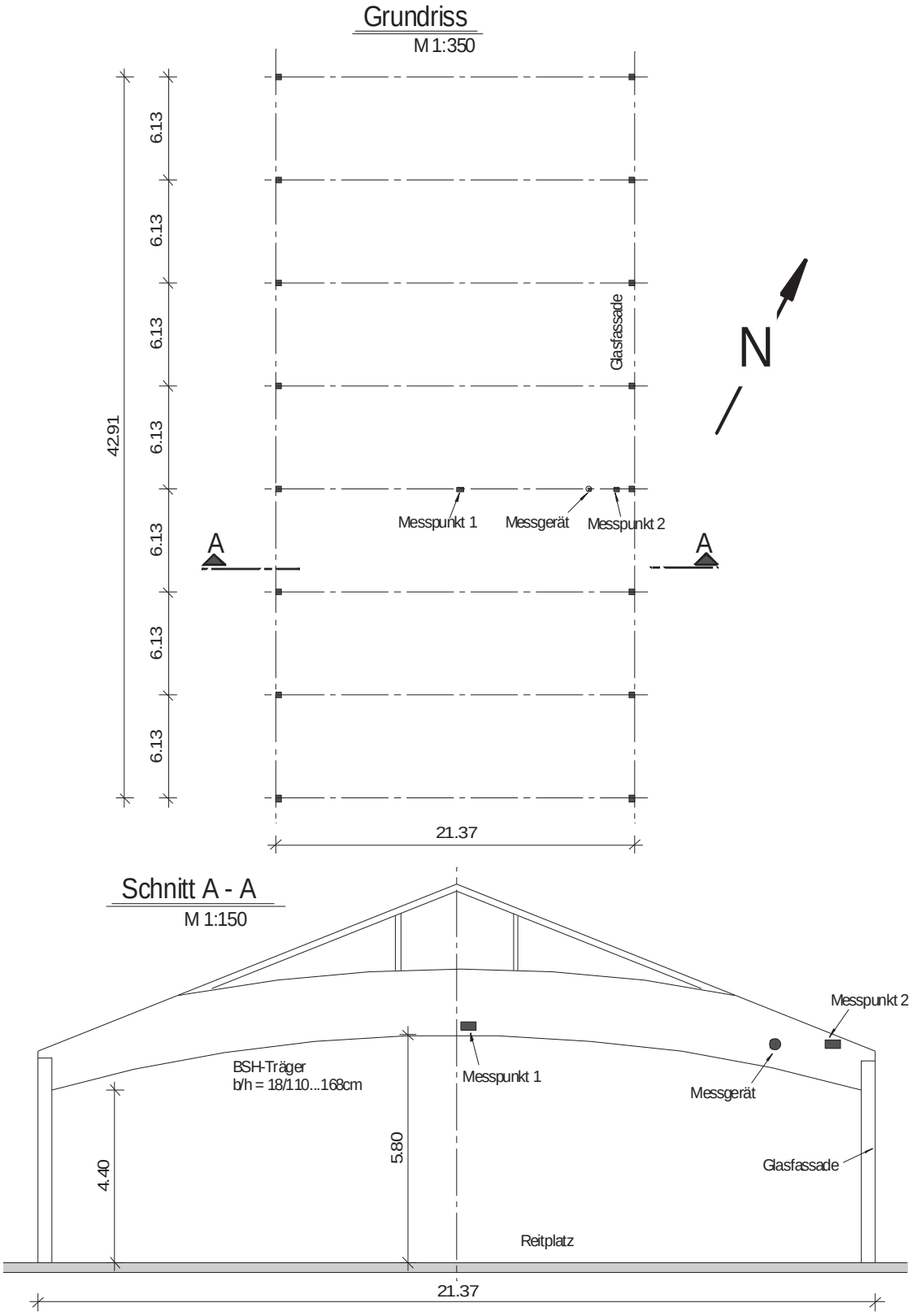
Firsthöhe h = 9,65 m

Trägerabmessungen b/h = 18/110…168

Lamellenstärke t = 33 mm

Offenporiger Anstrich

Skizzen:


Grundriss
M 1:350
6.13
6.13
6.13
6.13
6.13
6.13
6.13
42.91
Glasfassade
N
Messpunkt 1
Messgerät
Messpunkt 2
A
A
21.37
Schnitt A - A
M 1:150
Messpunkt 2
BSH-Träger
b/h = 18/110...168cm
Messpunkt 1
Messgerät
4.40
5.80
Glasfassade
Reitplatz
21.37

Bilder:

Abbildung C3-1: Ansicht Tragwerk

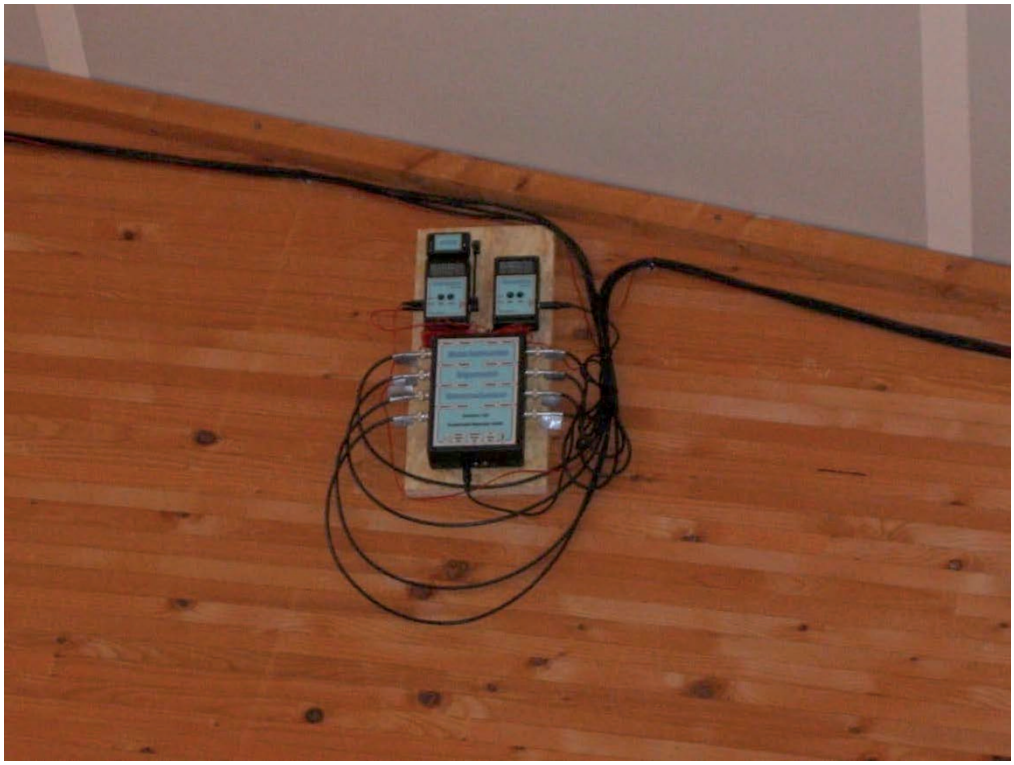
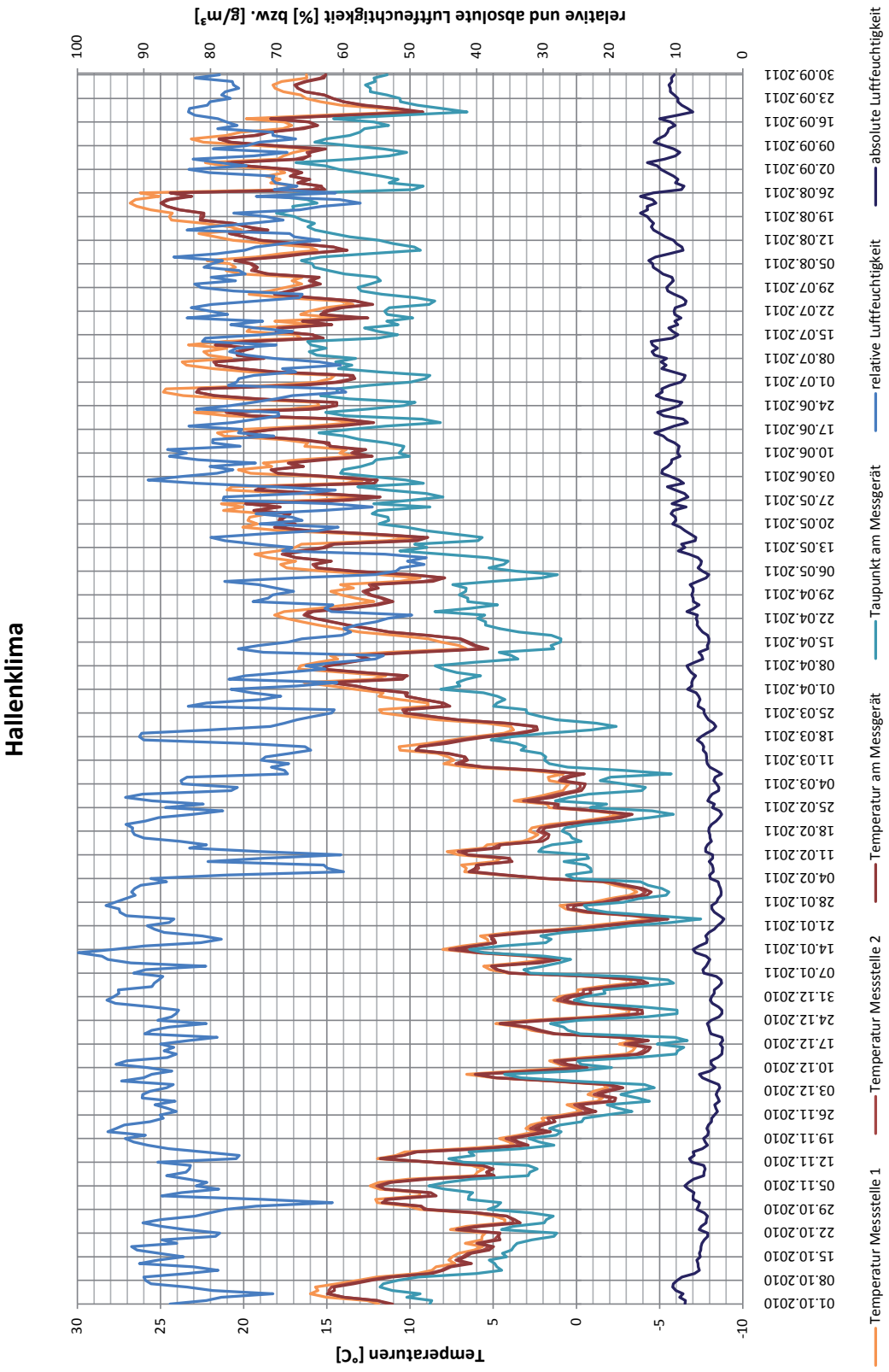


Abbildung C3-2: Ansicht Messstation

Abbildung C3-3: Ansicht Messstelle 1

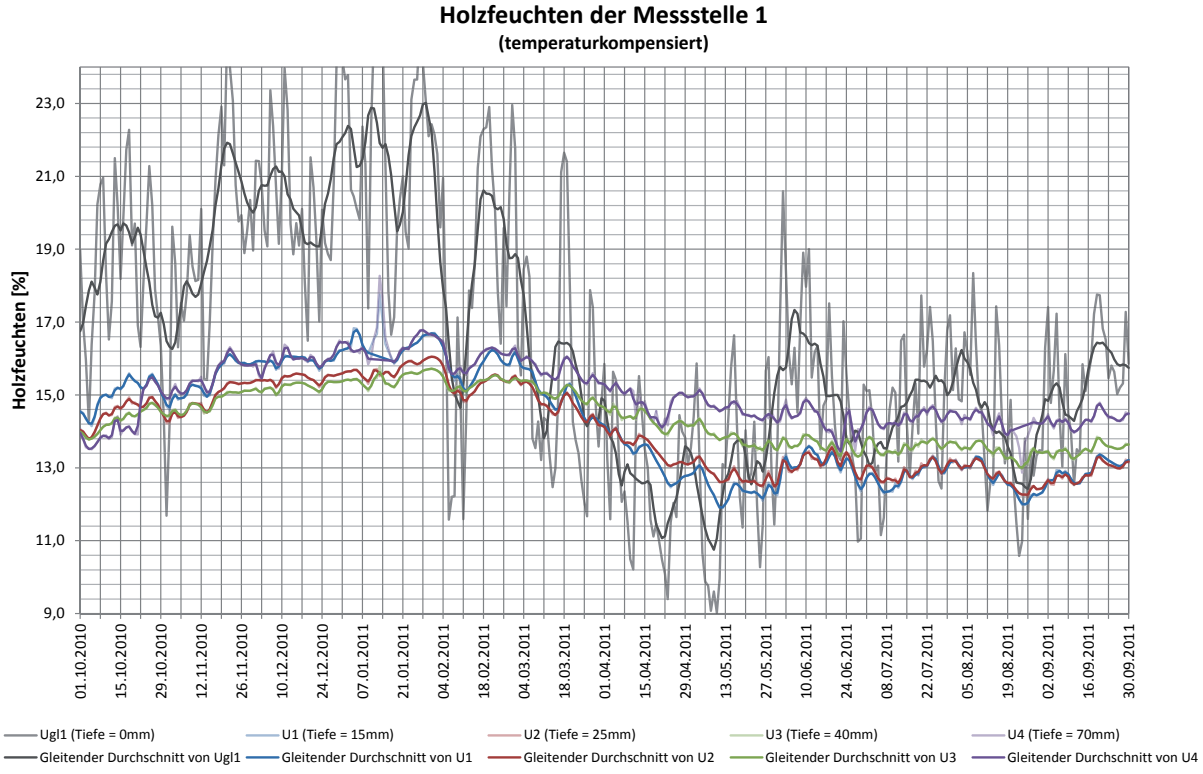
Abbildung C3-4: Ansicht Messstelle 2

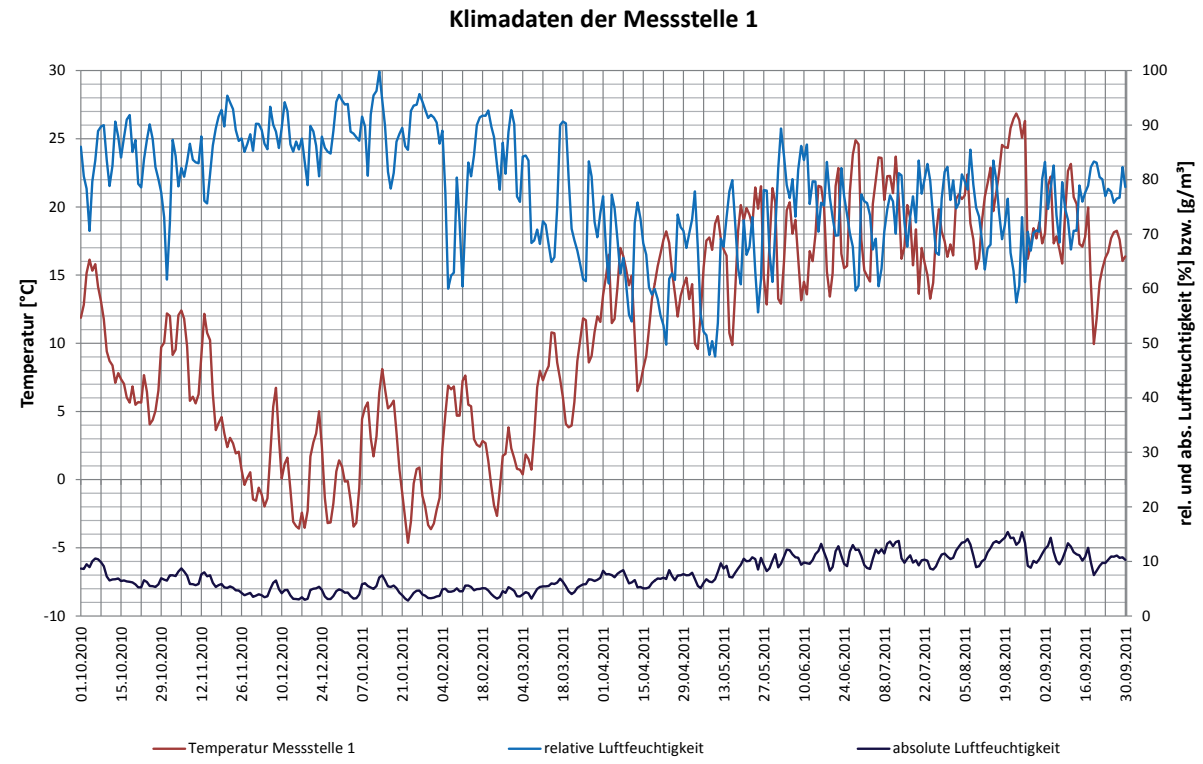
C3 Sternstunden Reithalle Herzogsägmühle



C3 Sternstunden Reithalle Herzogsägmühle

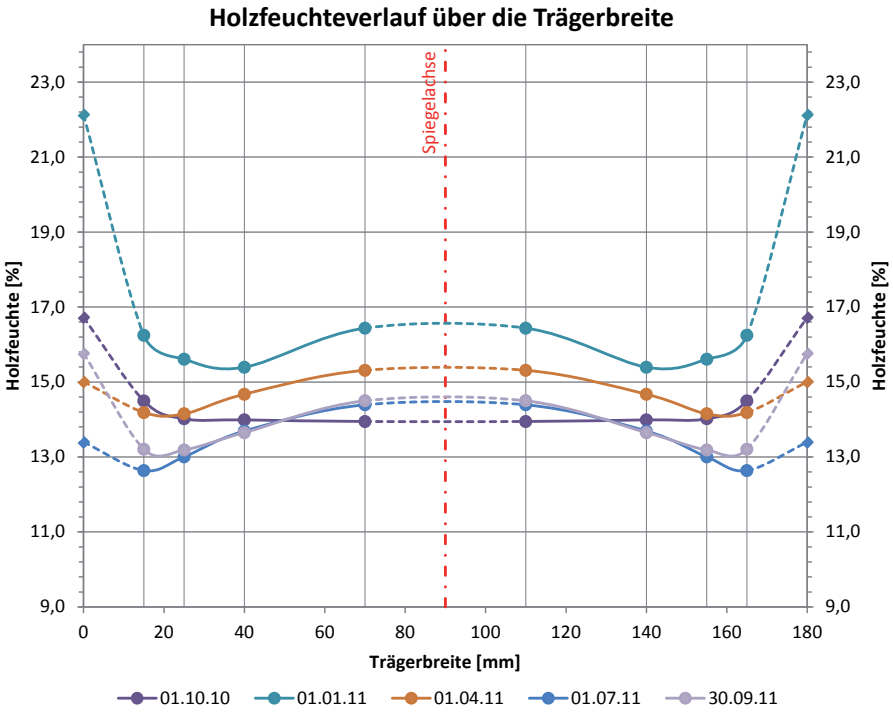
Messstelle 1: Firstbereich, oberhalb der Sprinkleranlage

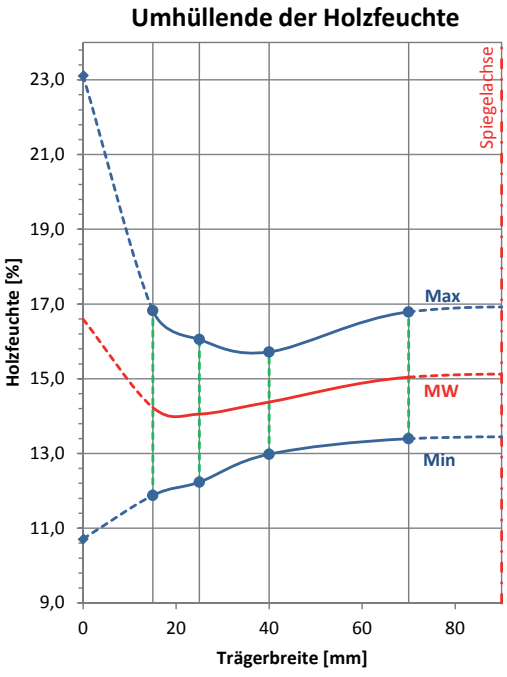


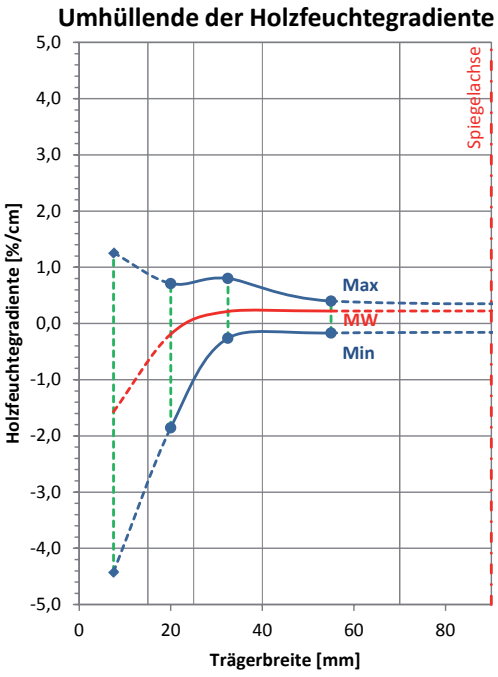


C3 Sternstunden Reithalle Herzogsägmühle

Messstelle 1: Firstbereich, oberhalb der Sprinkleranlage

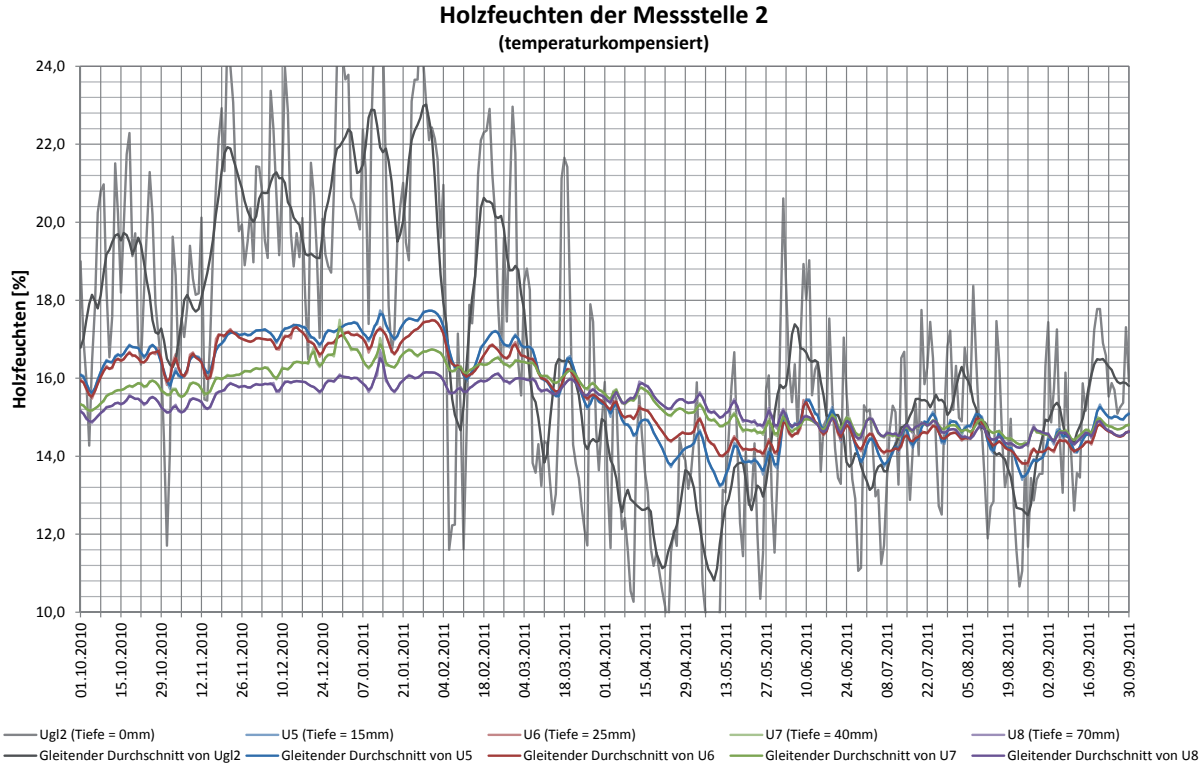


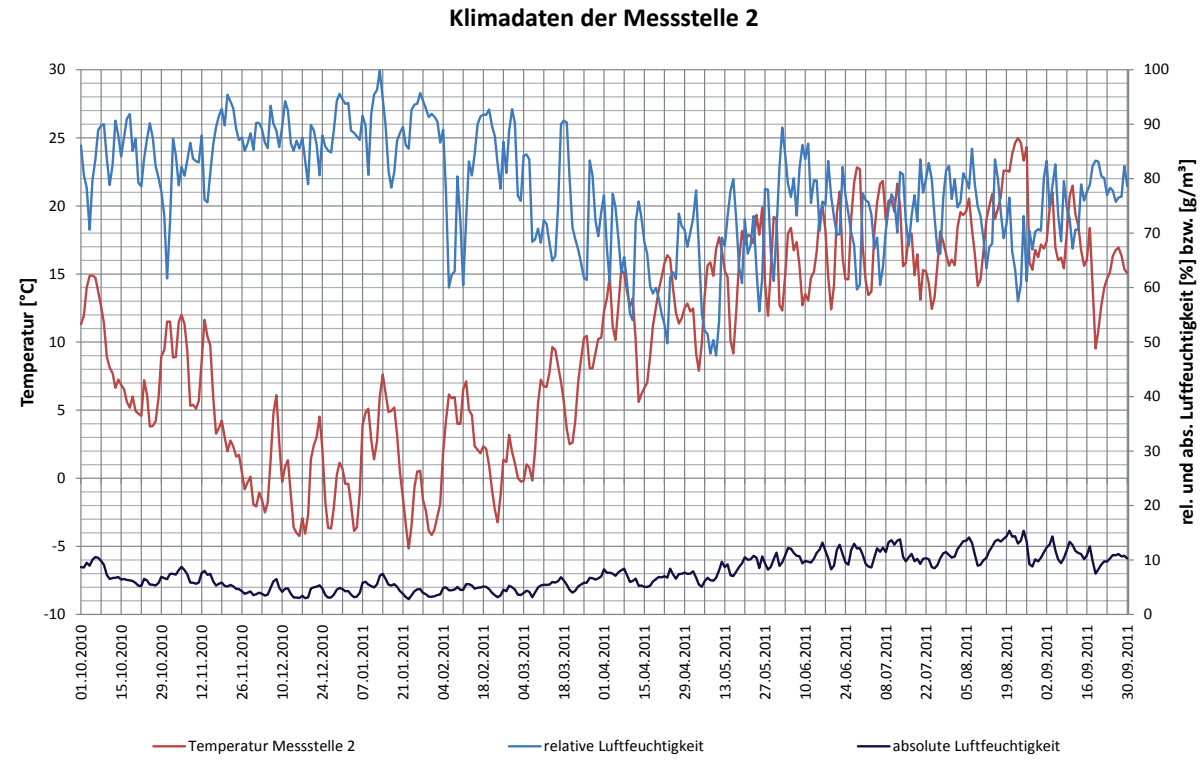




C3 Sternstunden Reithalle Herzogsägmühle

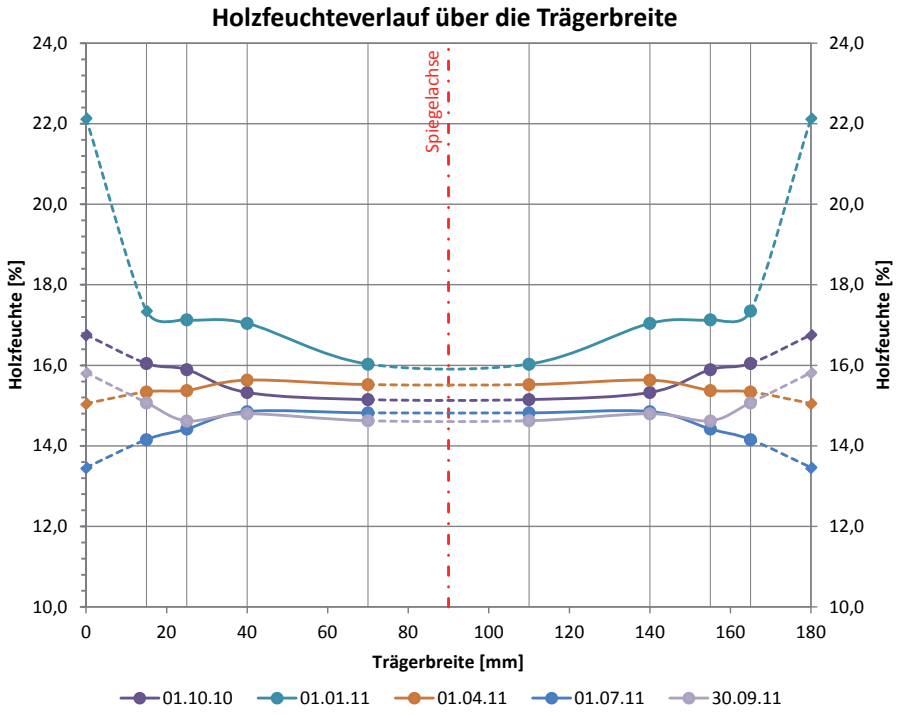
Messstelle 2: Traufbereich an lichtdurchlässiger Fassade

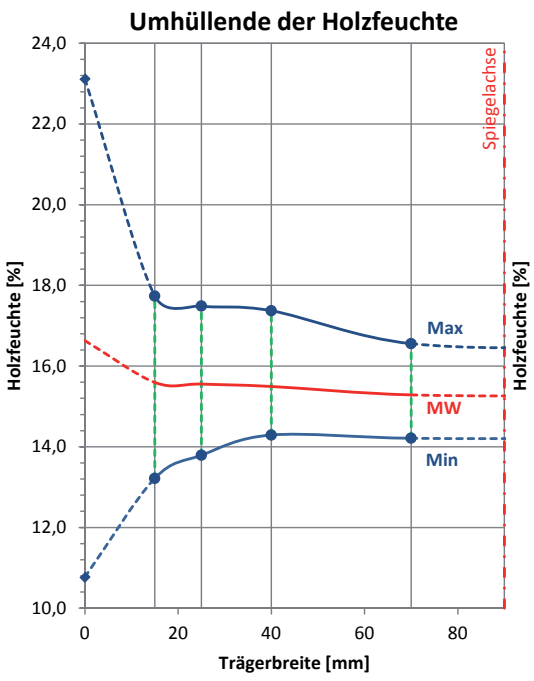


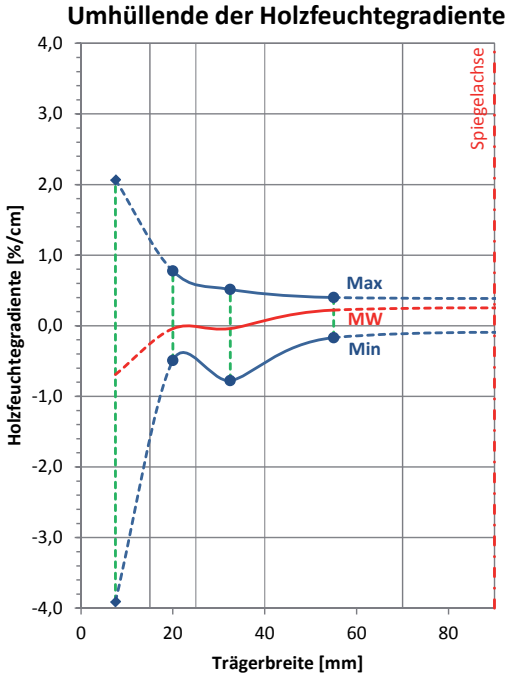


C3 Sternstunden Reithalle Herzogsägmühle

Messstelle 2: Traufbereich an lichtdurchlässiger Fassade







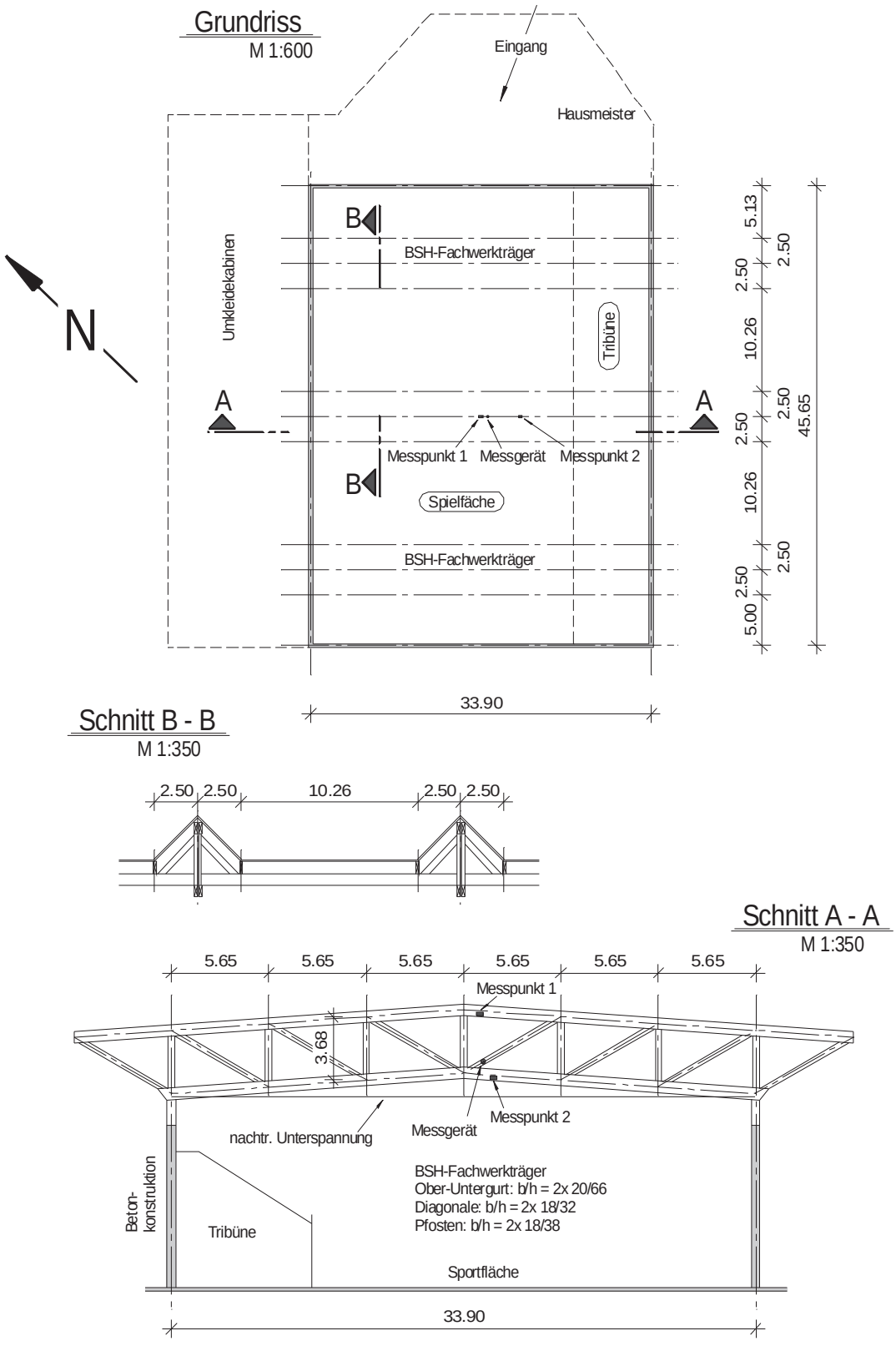
D1 Paul-Wegmann-Halle Ingolstadt

Anschrift:	Paul-Wegmann-Halle Martin-Hemm-Str. 2 85053 Ingolstadt
Ansprechpartner:	Herr Weiß (vor Ort); Herr Lindner (Stadt)
Anwesende vor Ort:	Andreas Gamper, Manuel Waidelich, Herr Weiß
Installationsdatum: Letztes Auslesedatum:	01.10.2010, 09:00 - 11:00 11.10.2011, 09:00 – 10:00
Umgebungsbedingungen:	Allseitig geschlossener, beheizter, energetisch gedämmter Raum Temperatur: 21,2 °C; Luftfeuchte: 47,7 % (z.Zt. d. Installation)
Messstelle 1:	Obergurt Fachwerkträger, im Firstbereich unter Lichtband (Starker Einfluss des Lichtbandes vermutet, Erwärmung der Luft)
Messstelle 2:	Untergurt Fachwerkträger, im Firstbereich unter Lichtband (Beurteilung des Einflusses der Lage innerhalb des Fachwerkträgers, unterschiedliche Beanspruchung zwischen Ober- und Untergurt)

Sensor	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte GANN [%]	Messwert Mugrauer [10lg(Ω)]	Einstellwerte GANN	
u1	15	3,4	115,7	x–y: 6–5; 20°	Messstelle 1
u2	25	3,8	116,2	gemessene	
u3	40	3,9	116,1	Temperatur	
u4	70	3,9	115,5	t_1: 22,5°C	
u5	15	6,4	110,9	x–y: 6–5; 20°	Messstelle 2
u6	25	6,7	110,1	gemessene	
u7	40	6,6	110,5	Temperatur	
u8	70	6,7	110,2	t_2: 21,5°C	

Tragsystem:	Fachwerkträger in Sheddach, Trägerspannweite ℓ = 34,0 m Bauteilabmessungen: Ober-Untergurt b/h = 20/66 cm², Diagonalen b/h = 18/32 cm², Pfosten b/h = 18/38 cm², Shedträger b/h = 18/38 cm², Shedlängsträger b/h = 18/75 cm², Pfetten b/h = 18/66 cm², Achsmaß der Fachwerkpfosten e = 5,65 m Lamellenstärke t = 33 mm Bauteile unbehandelt (vorbehaltlich eines nicht mehr erkennbaren, farblosen, offenporigen Anstrichs)

Skizzen:


Grundriss
M 1:600
Eingang
Hausmeister
N
Umkleidekabinen
B
BSH-Fachwerkträger
Tribüne
A
A
Messpunkt 1
Messgerät
Messpunkt 2
B
Spielfäche
BSH-Fachwerkträger
5.13
2.50
2.50
10.26
2.50
2.50
45.65
2.50
10.26
2.50
2.50
5.00
33.90
Schnitt B - B
M 1:350
2.50
2.50
10.26
2.50
2.50
Schnitt A - A
M 1:350
5.65
5.65
5.65
5.65
5.65
5.65
Messpunkt 1
3.68
nachtr. Unterspannung
Messgerät
Messpunkt 2
Beton-konstruktion
Tribüne
BSH-Fachwerkträger
Ober-Untergurt: b/h = 2x 20/66
Diagonale: b/h = 2x 18/32
Pfosten: b/h = 2x 18/38
Sportfläche
33.90

Bilder:

Abbildung D1-1: Ansicht Tragwerk

Abbildung D1-2: Ansicht Messstation

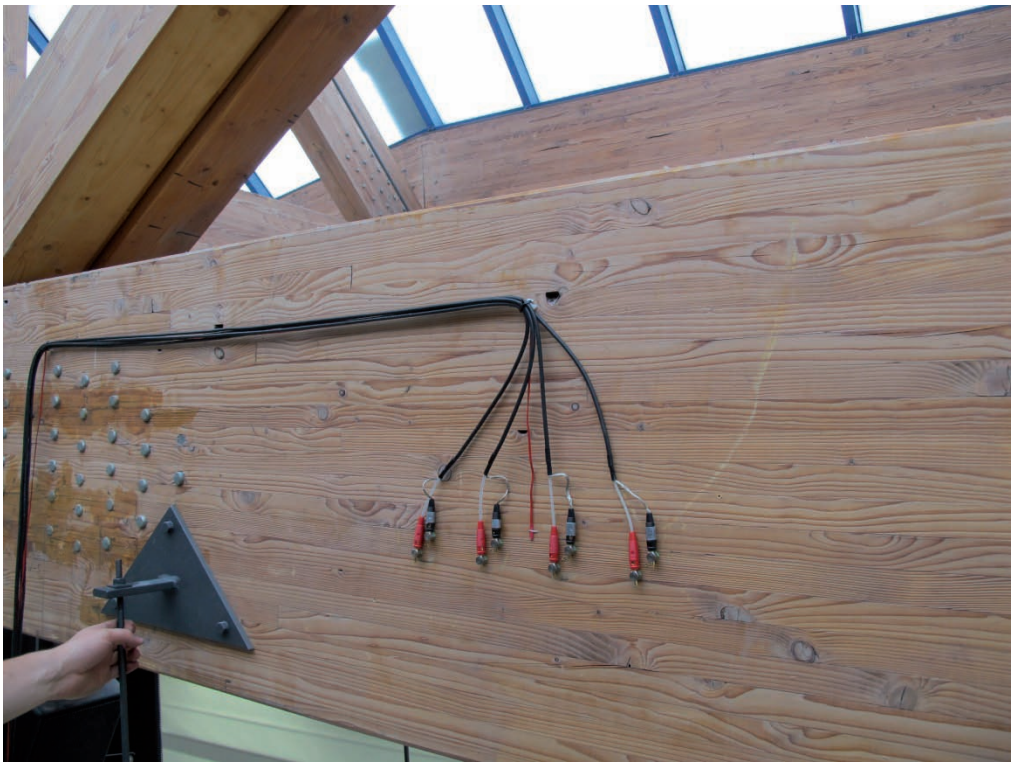


Abbildung D1-3: Ansicht Messstelle 1

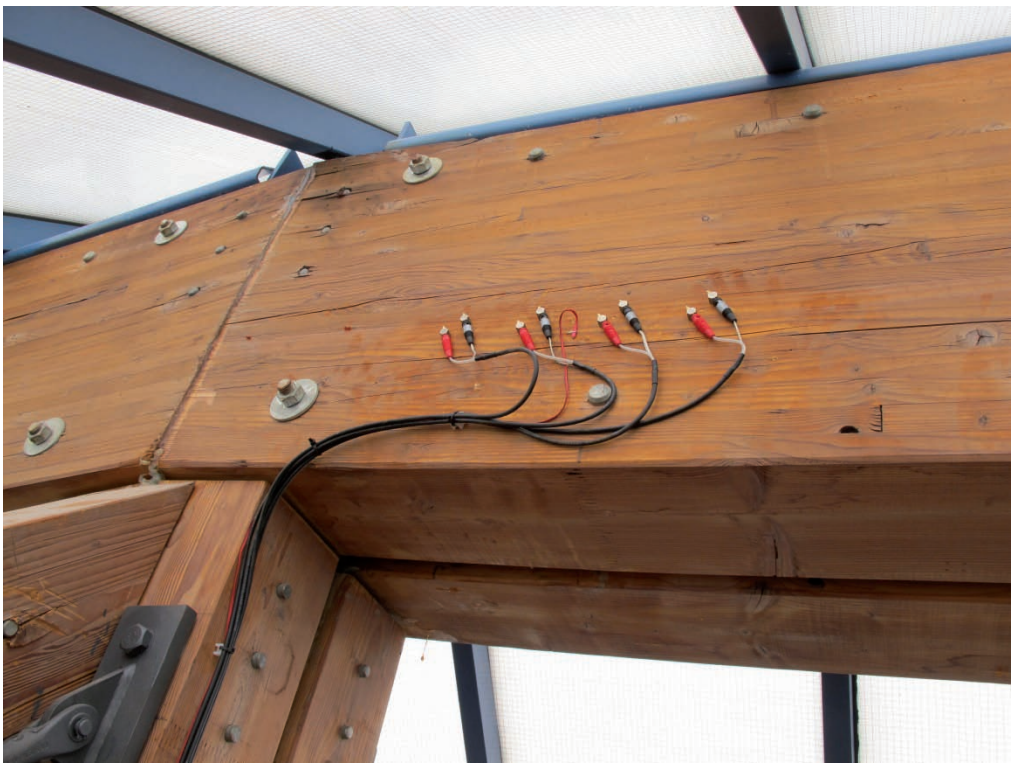
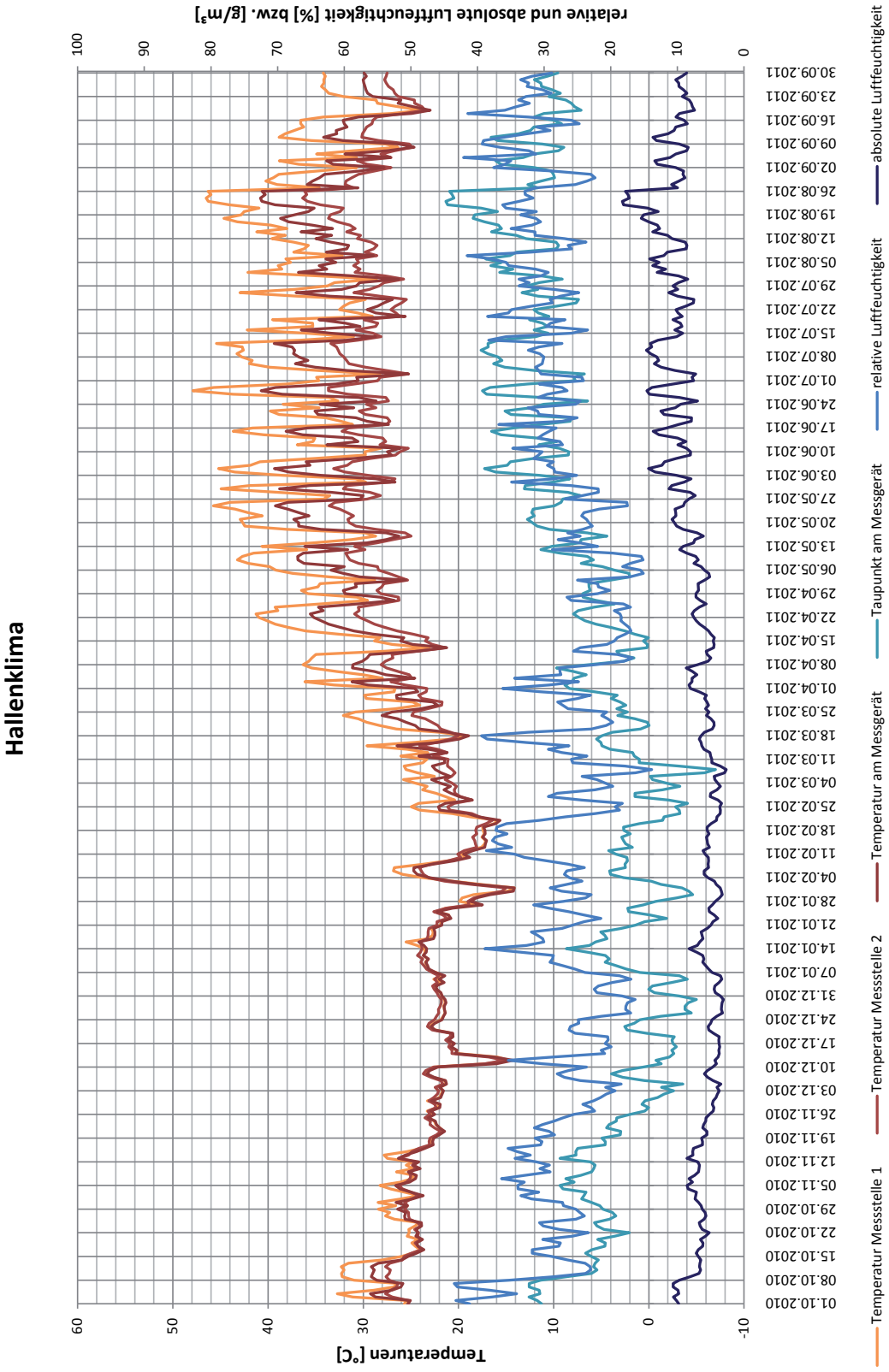


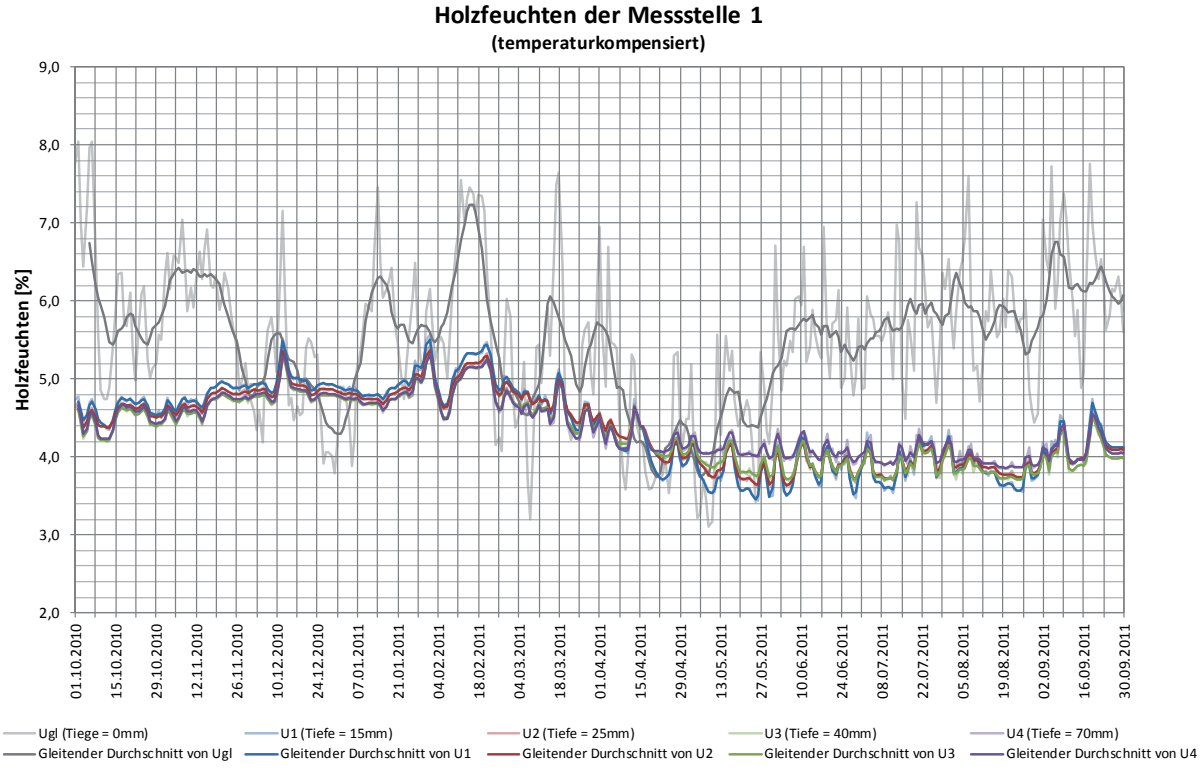
Abbildung D1-4: Ansicht Messstelle 2

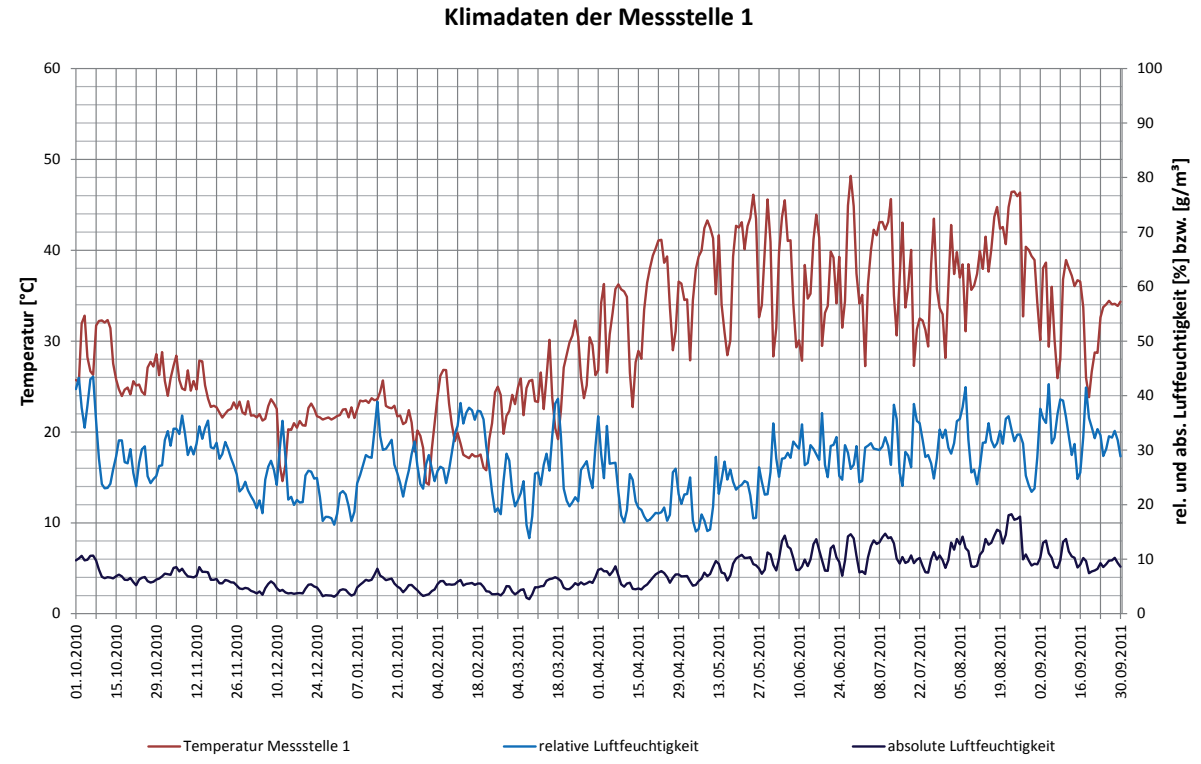
D1 Paul Wegmann-Halle Ingolstadt



D1 Paul-Wegmann-Halle Ingolstadt

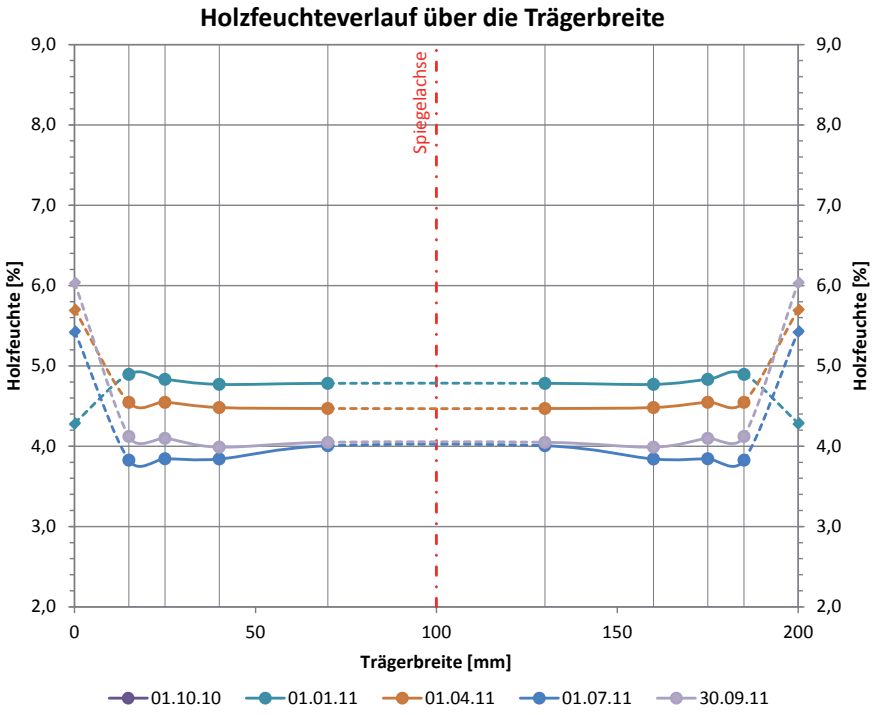
Messstelle 1: Obergurt Fachwerkträger, im Firstbereich unter Lichtband

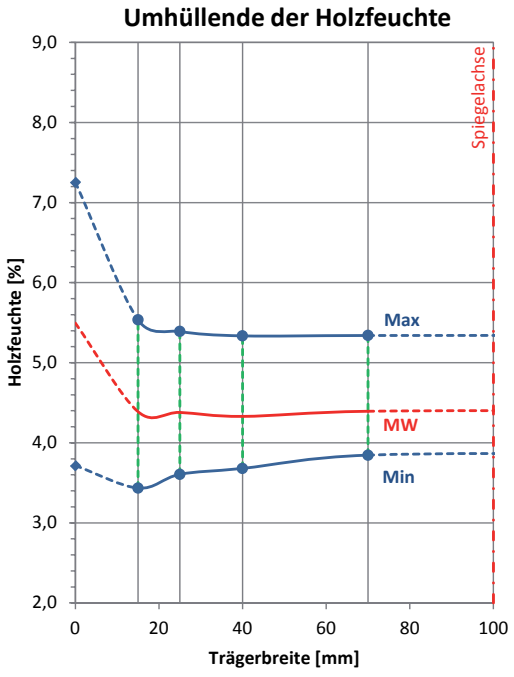


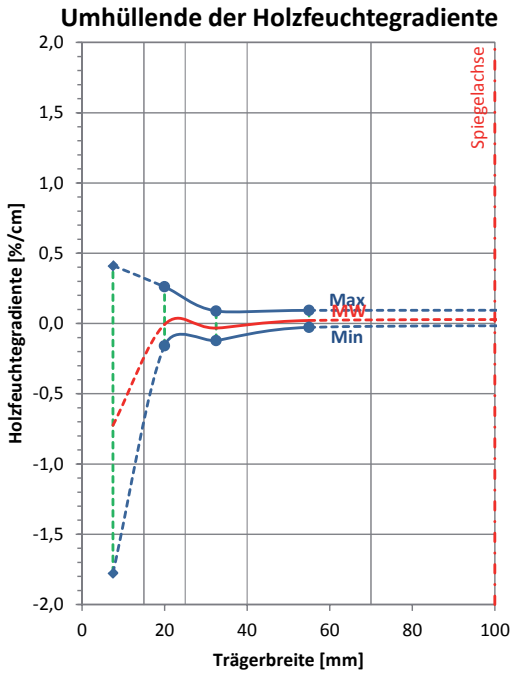


D1 Paul-Wegmann-Halle Ingolstadt

Messstelle 1: Obergurt Fachwerkträger, im Firstbereich unter Lichtband

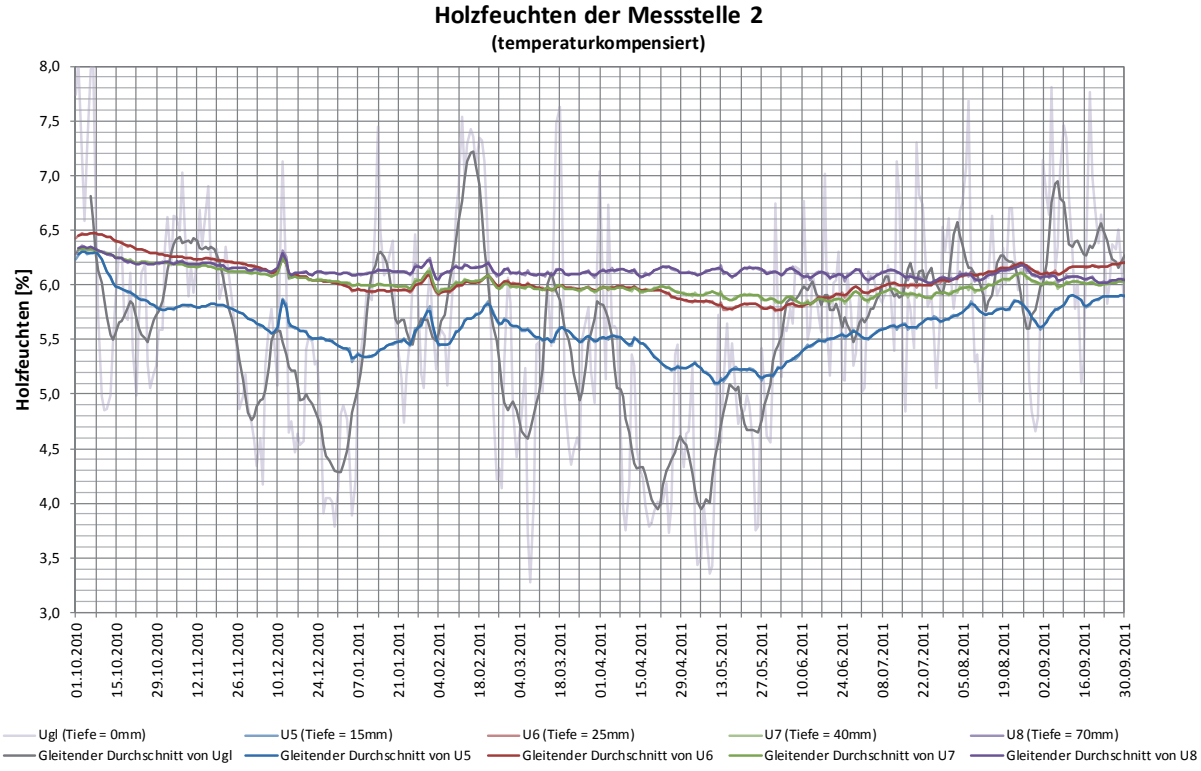


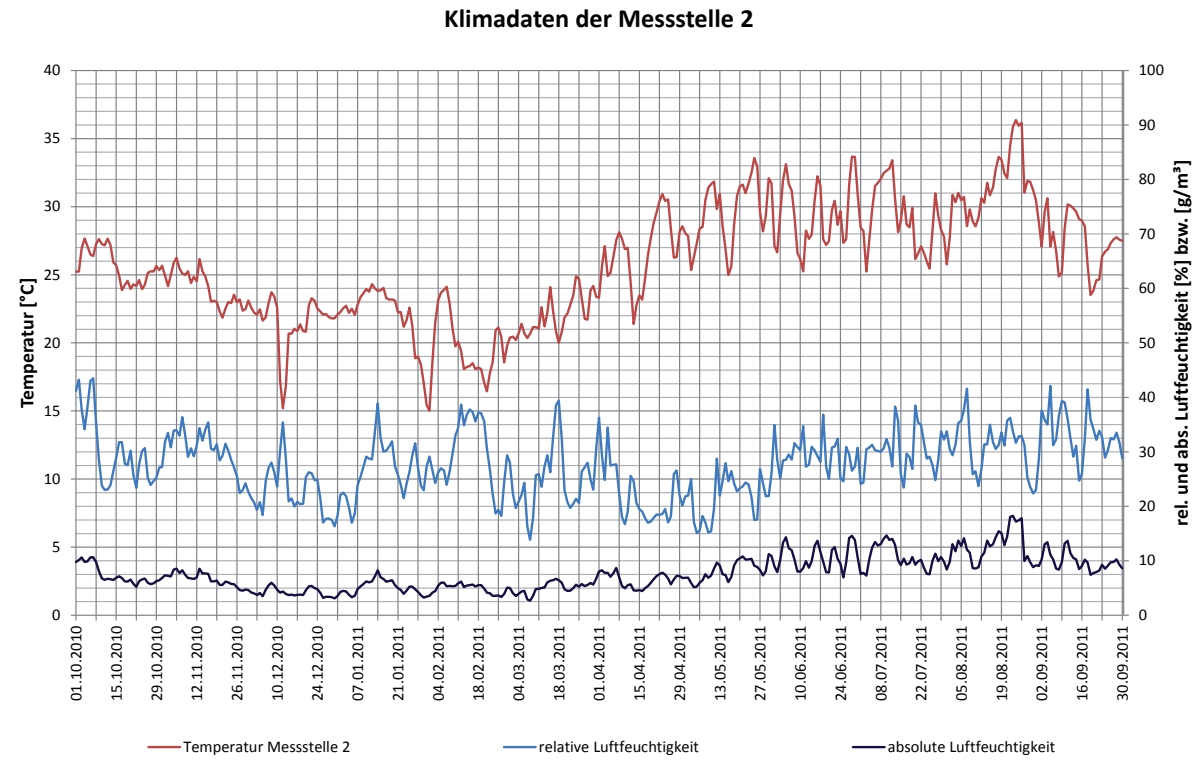




D1 Paul-Wegmann-Halle Ingolstadt

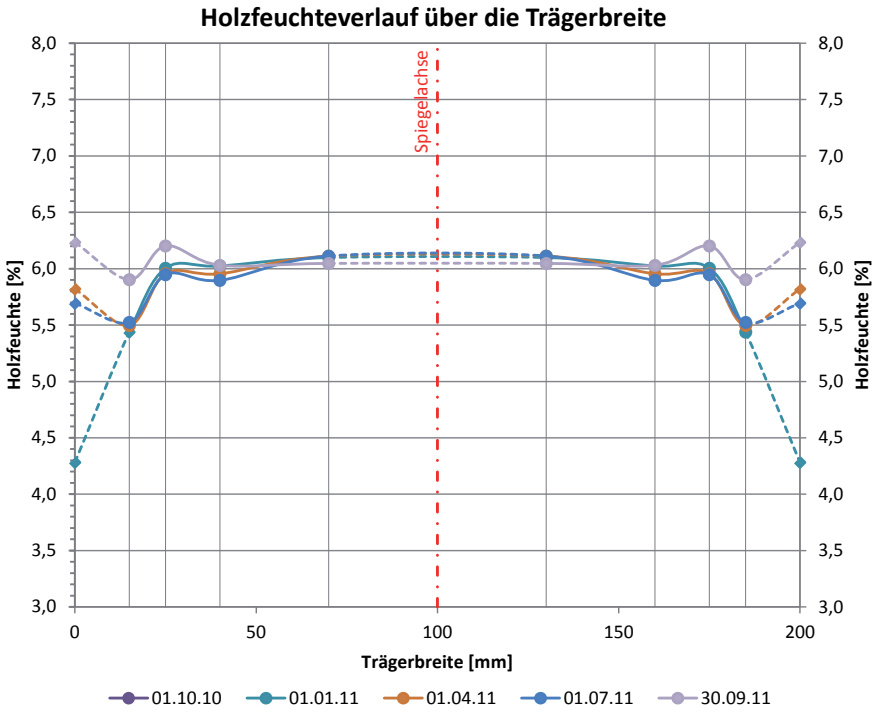
Messstelle 2: Untergurt Fachwerkträger, im Firstbereich unter Lichtband

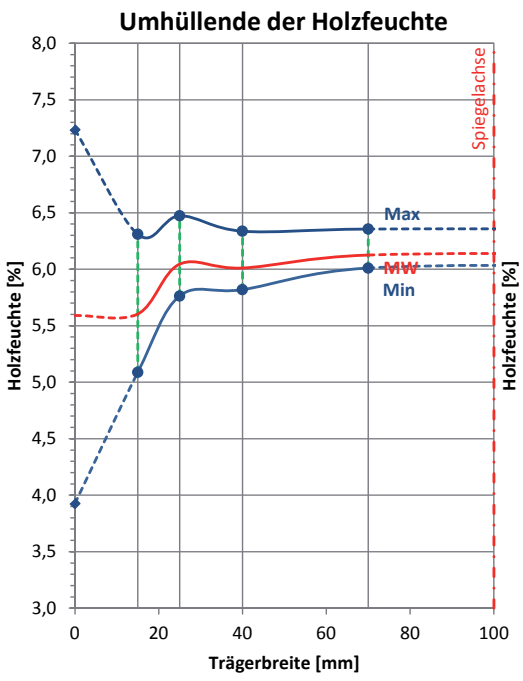


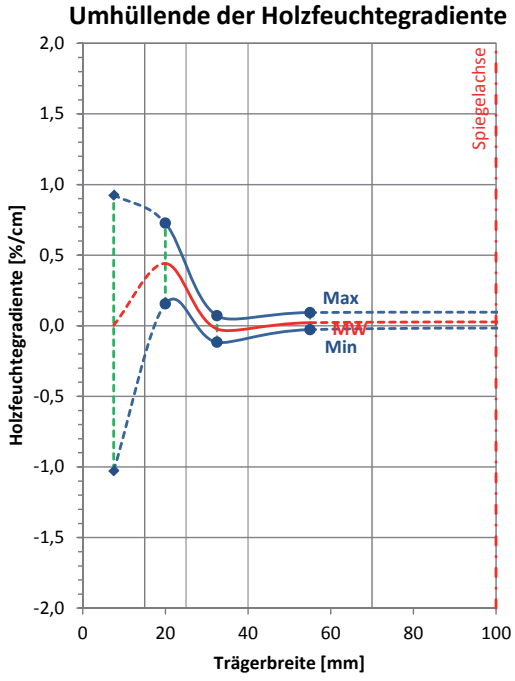


D1 Paul-Wegmann-Halle Ingolstadt

Messstelle 2: Untergurt Fachwerkträger, im Firstbereich unter Lichtband







D2 Turnhalle der Volksschule Benediktbeuern

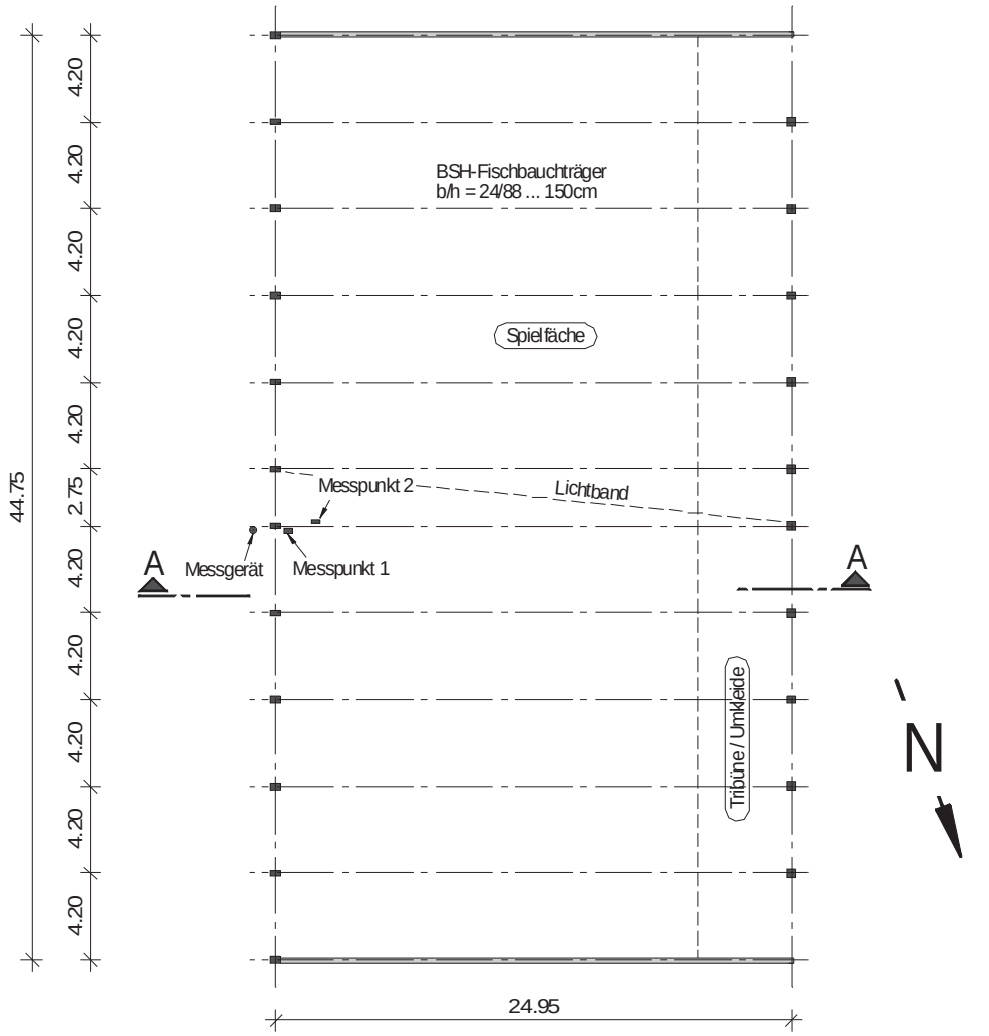
Anschrift:	Ludlmühlstraße 17 83671 Benediktbeuern
Ansprechpartner:	Herr und Frau Koenen
Anwesende vor Ort:	Philipp Dietsch, Andreas Gamper, Herr Koenen
Installationsdatum:	14.09.2010, 17:00 - 20:00
Letztes Auslesedatum:	12.10.2011, 11:00 – 12:00
Umgebungsbedingungen:	Allseitig geschlossener, beheizter, energetisch gedämmter Raum Temperatur: 20,6°C; Luftfeuchte: 60,8 % (z.Zt. d. Installation)
Messstelle 1:	Traufseite, nahe Fassade an Lüftungsauslass (Beurteilung des Einflusses einer Lüftungsanlage)
Messstelle 2:	Traufseite über dem Spielfeld im Bereich des Lichtbands (Regelbereich über Spielfläche, Beeinflussung durch direkte Sonneneinstrahlung durch das Lichtband)

Sensor	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte GANN [%]	Messwert Mugrauer [10lg(Ω)]	Einstellwerte GANN	
u1	15	9,6	102,2	x–y: 6–5; 20°	Messstelle 1
u2	25	9,6	101,4	gemessene	
u3	40	9,7	101,0	Temperatur	
u4	70	10,0	100,5	t_1: 21,4°C	
u5	15	9,3	102,7	x–y: 6–5; 20°	Messstelle 2
u6	25	9,8	101,6	gemessene	
u7	40	9,4	102,2	Temperatur	
u8	70	9,4	101,9	t_2: 21,0°C	

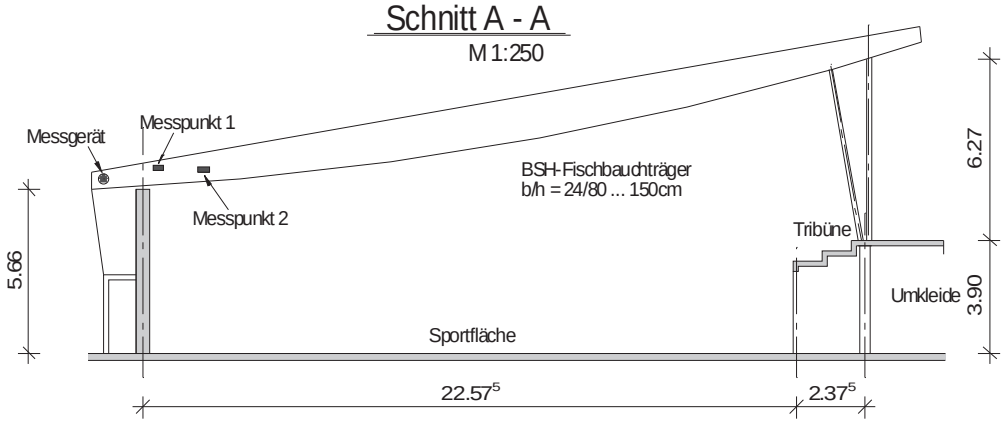
Tragsystem:	Fischbauchträger als Einfeldtr. mit Kragarm, Spannweite ℓ = 24,95m 12 Achsen mit einem Trägerachsabstand e = 4,20 m Trägerabmessungen b/h = 24/ 80 … 150 Lamellenstärke t = 32 mm Bauteile unbehandelt (vorbehaltlich eines nicht mehr erkennbaren, farblosen, offenporigen Anstrichs)

Skizzen:

Grundriss
M 1:350



Schnitt A - A
M 1:250



Bilder:

Abbildung D2-1: Ansicht Tragwerk

Abbildung D2-2: Ansicht Messstation

Abbildung D2-3: Ansicht Messstelle 1

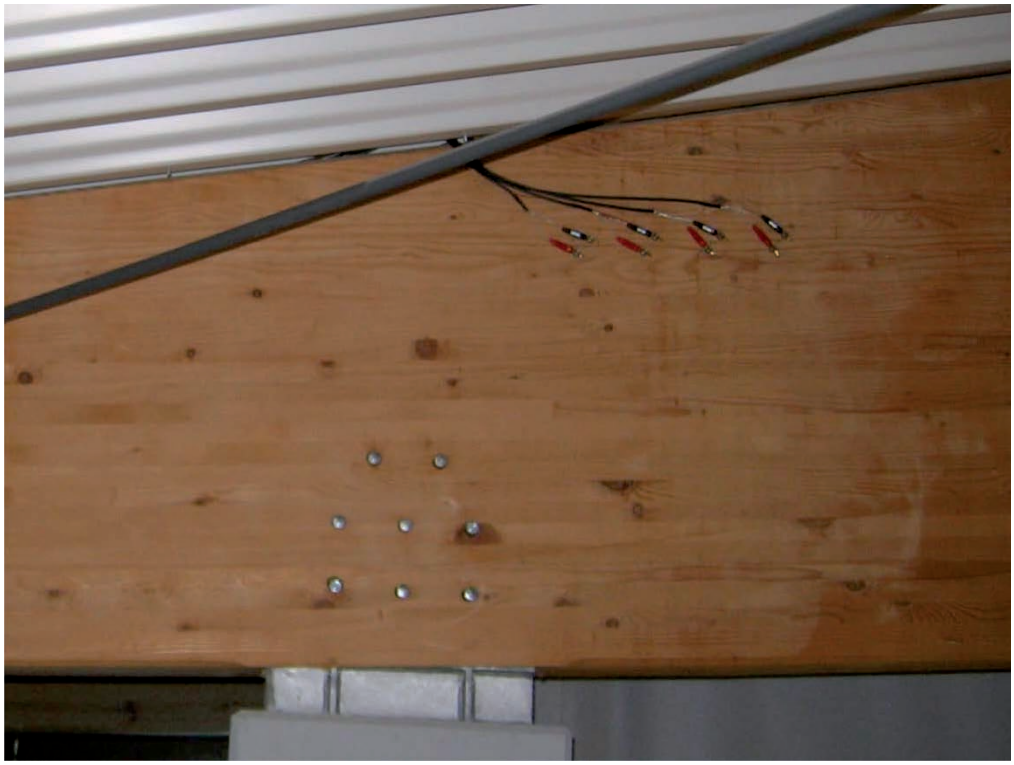
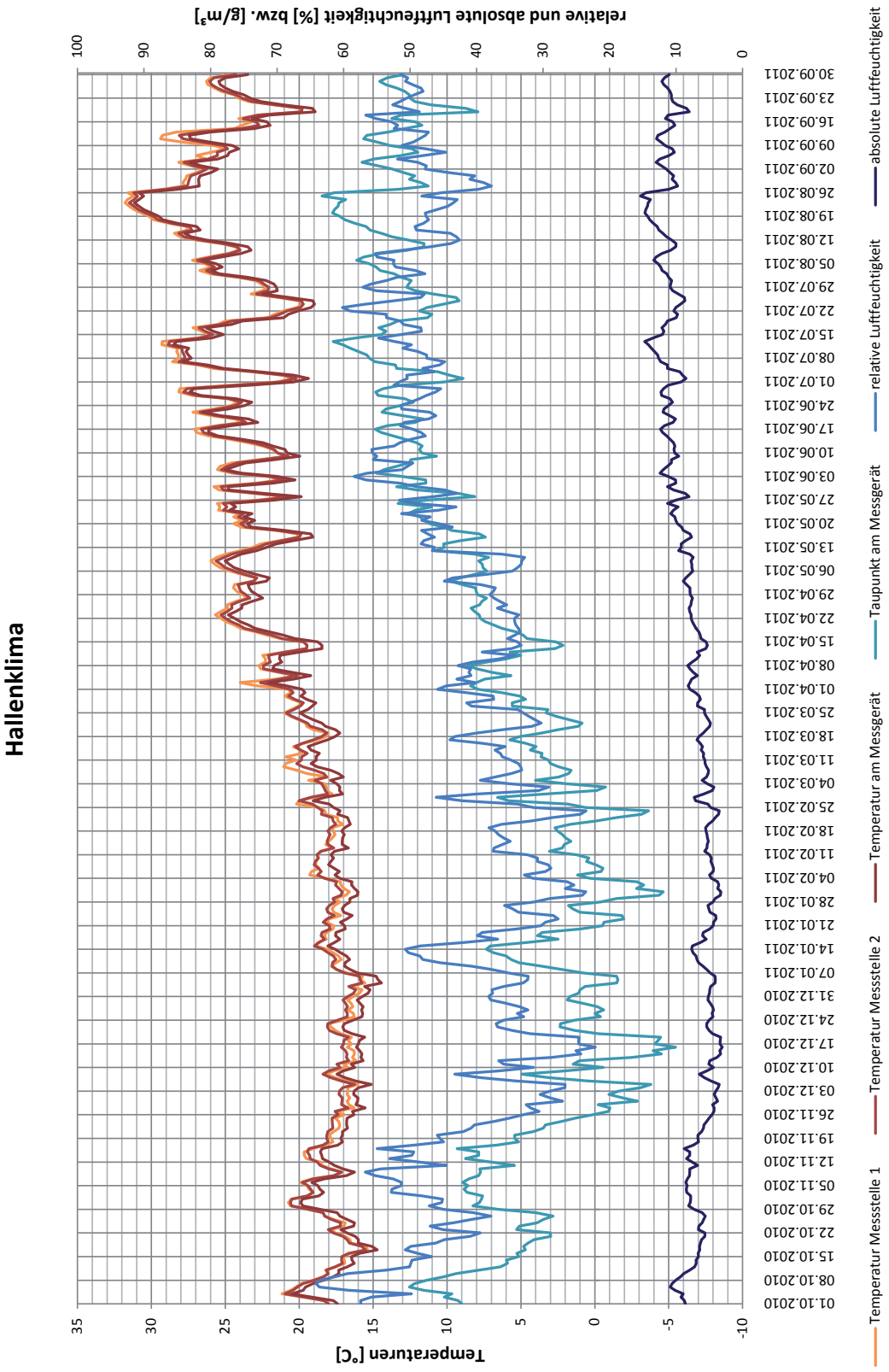


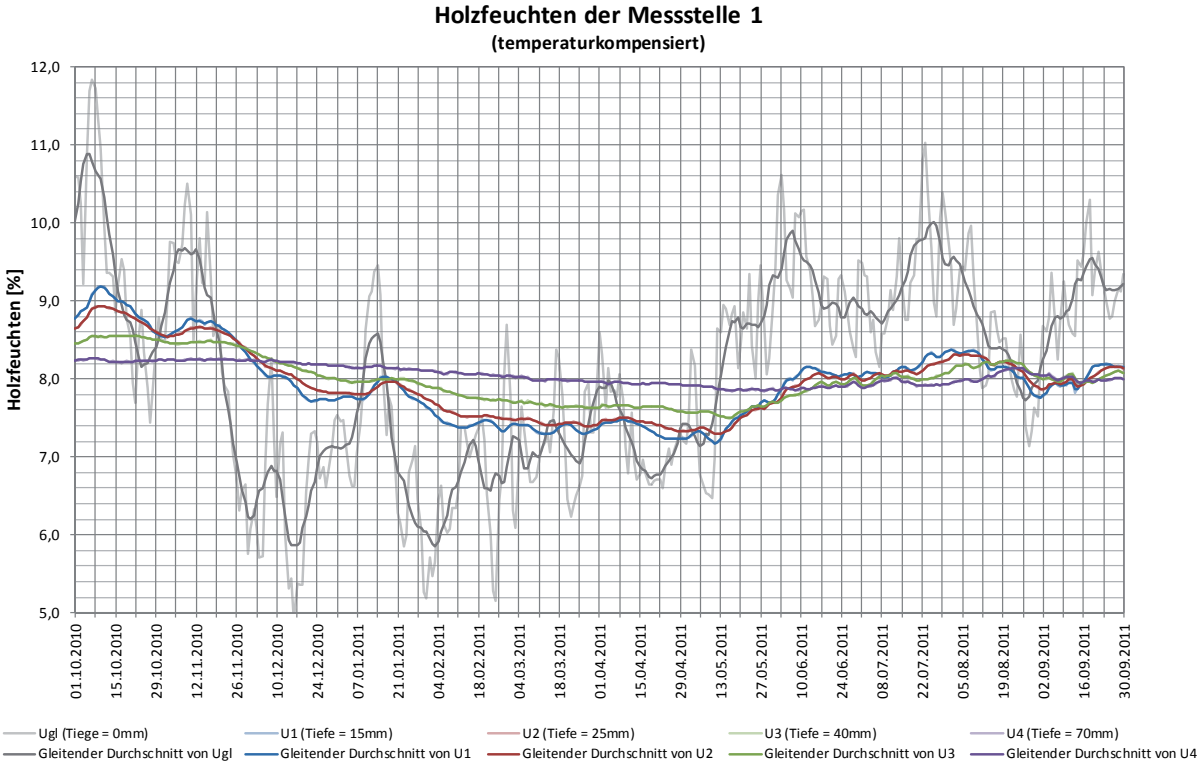
Abbildung D2-4: Ansicht Messstelle 2

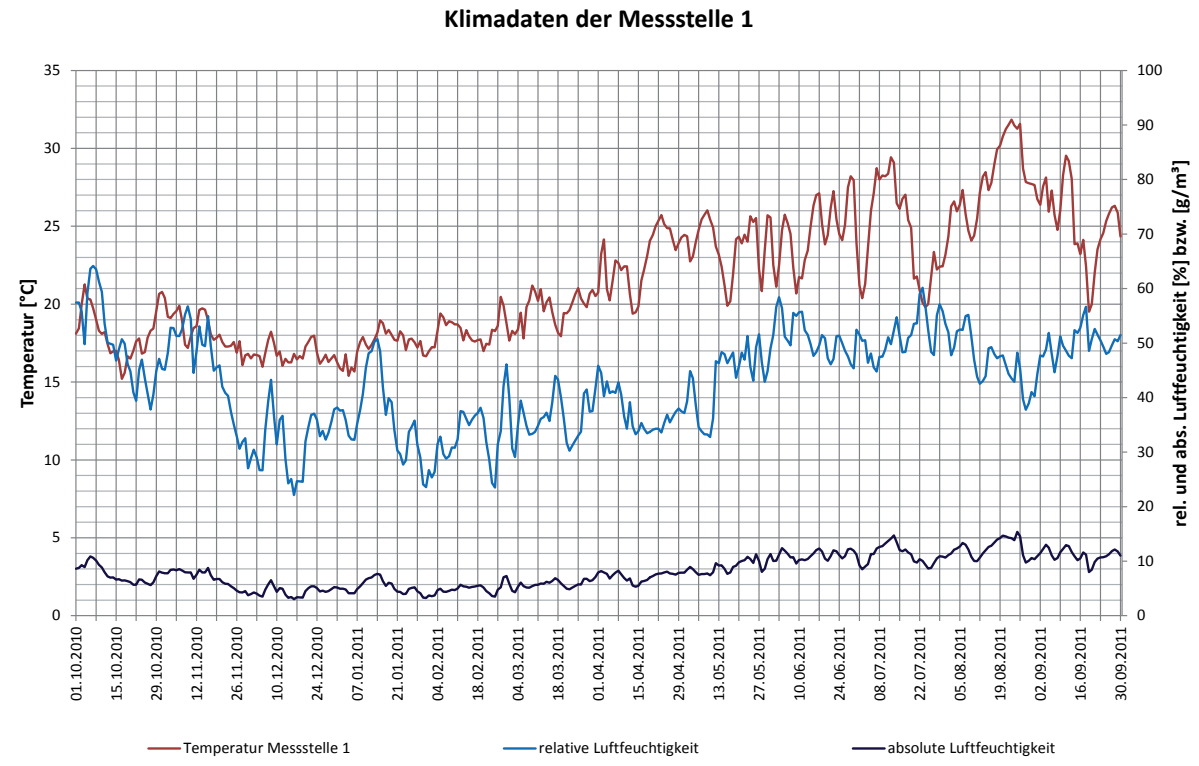
D2 Turnhalle der Volksschule Benediktbeuern



D2 Turnhalle der Volksschule Benediktbeuern

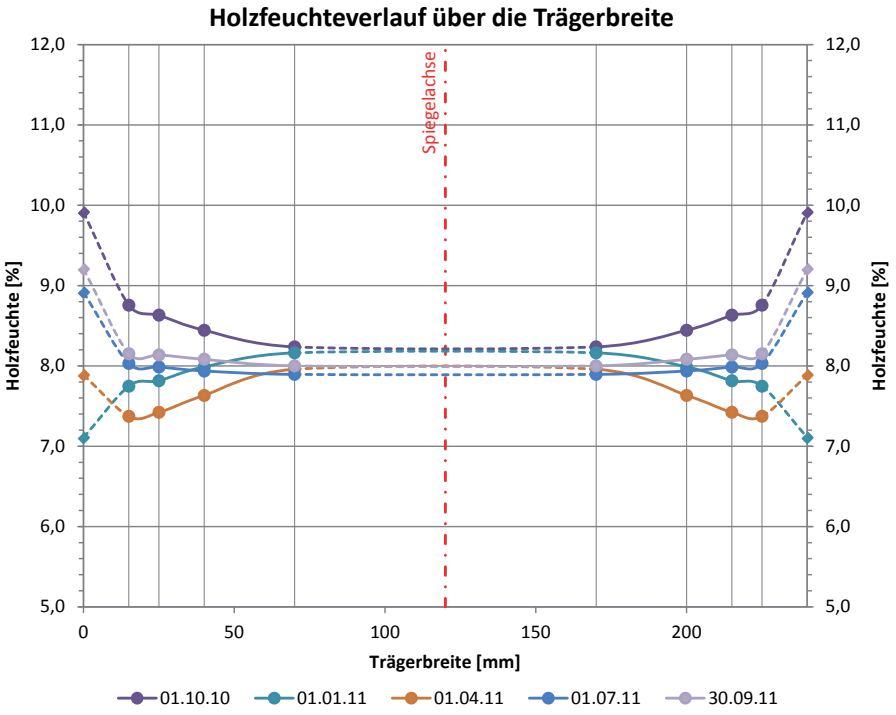
Messstelle 1: Traufseite, Nahe Fassade an Lüftungsauslass

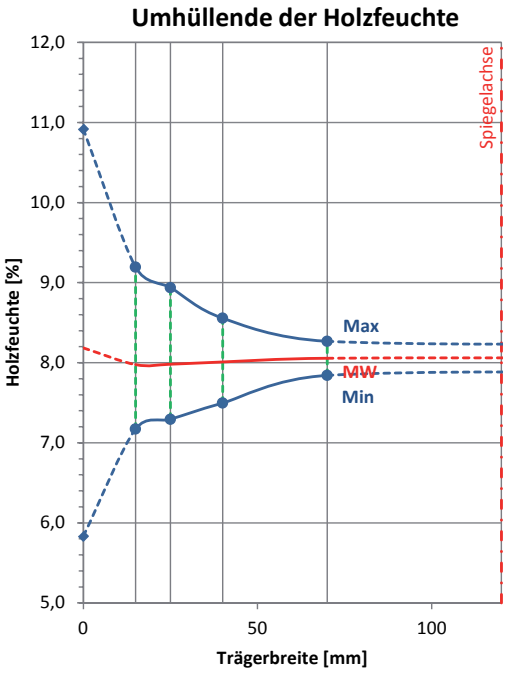


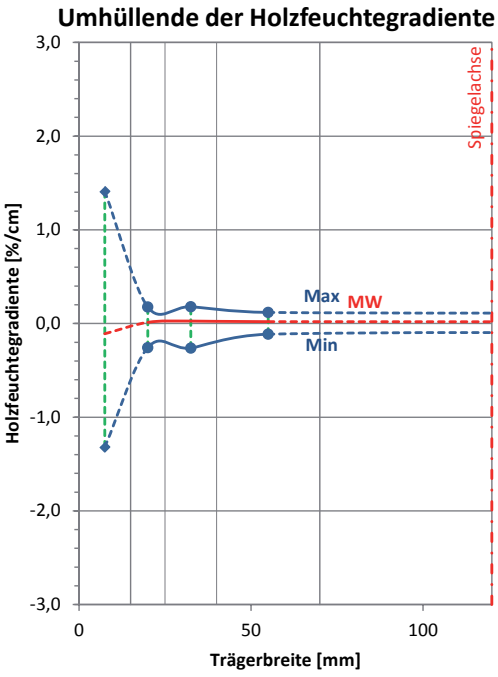


D2 Turnhalle der Volksschule Benediktbeuern

Messstelle 1: Traufseite, Nahe Fassade an Lüftungsauslass

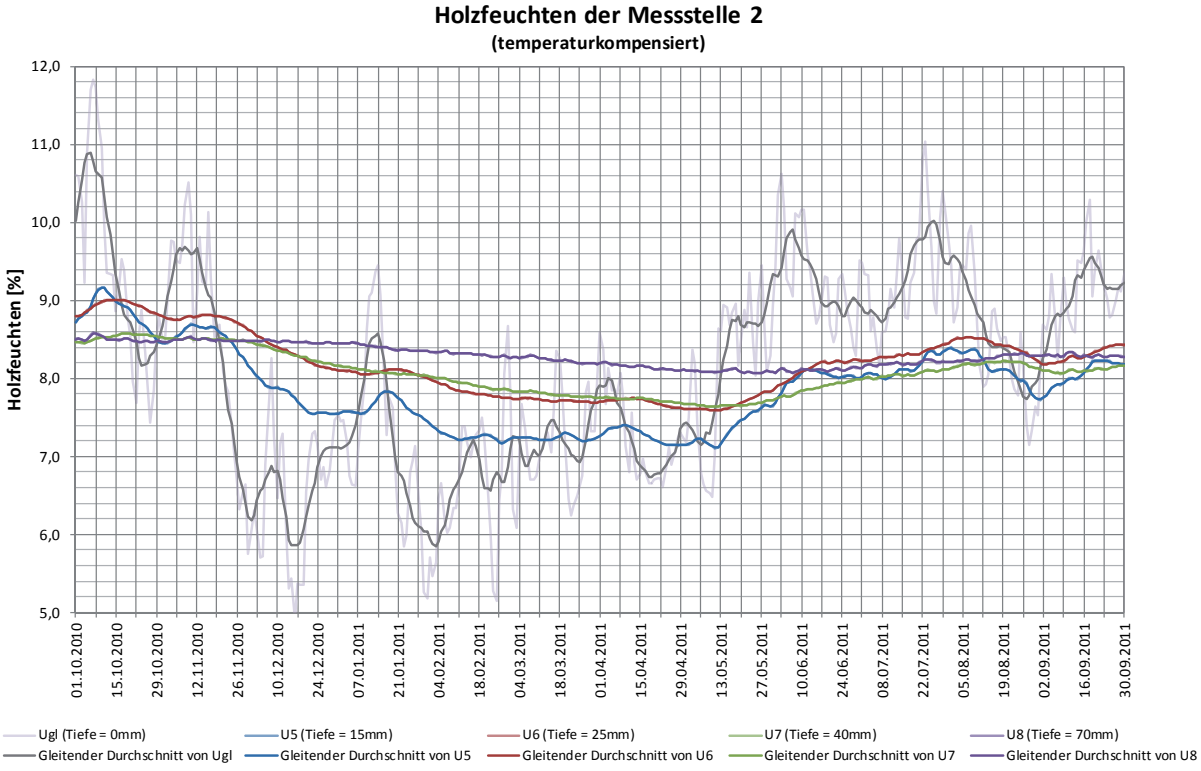


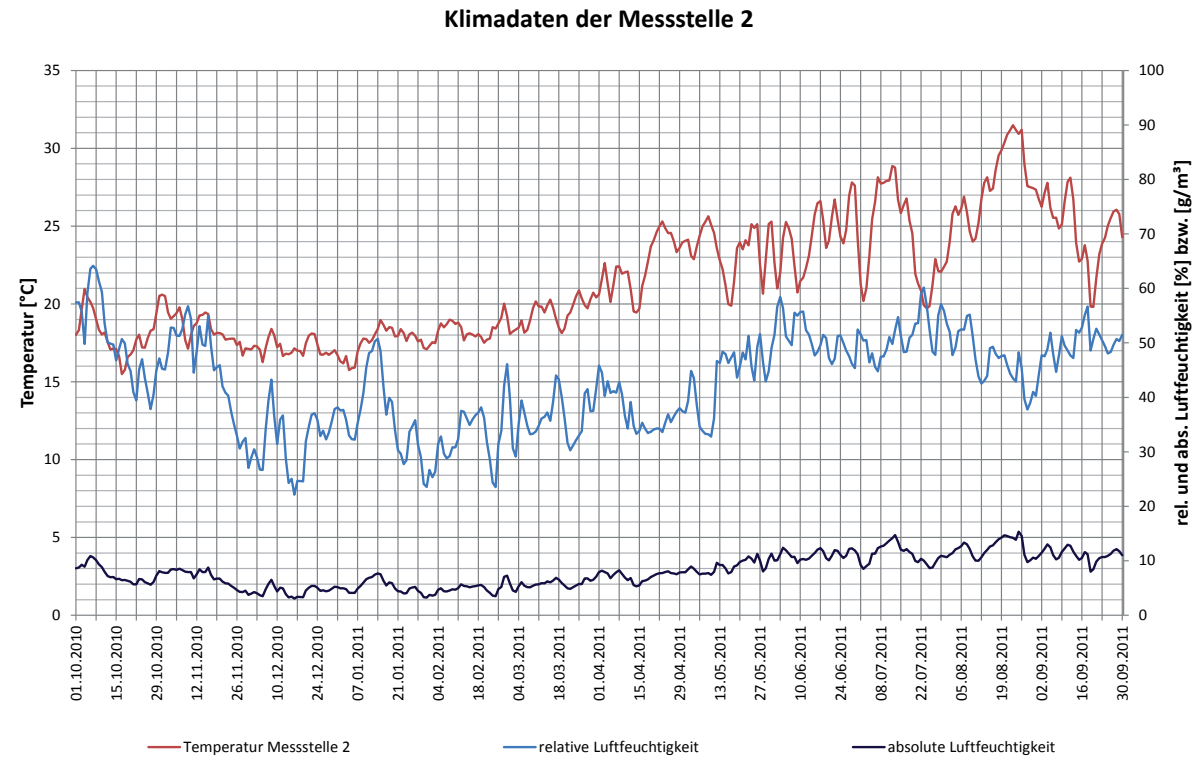




D2 Turnhalle der Volksschule Benediktbeuern

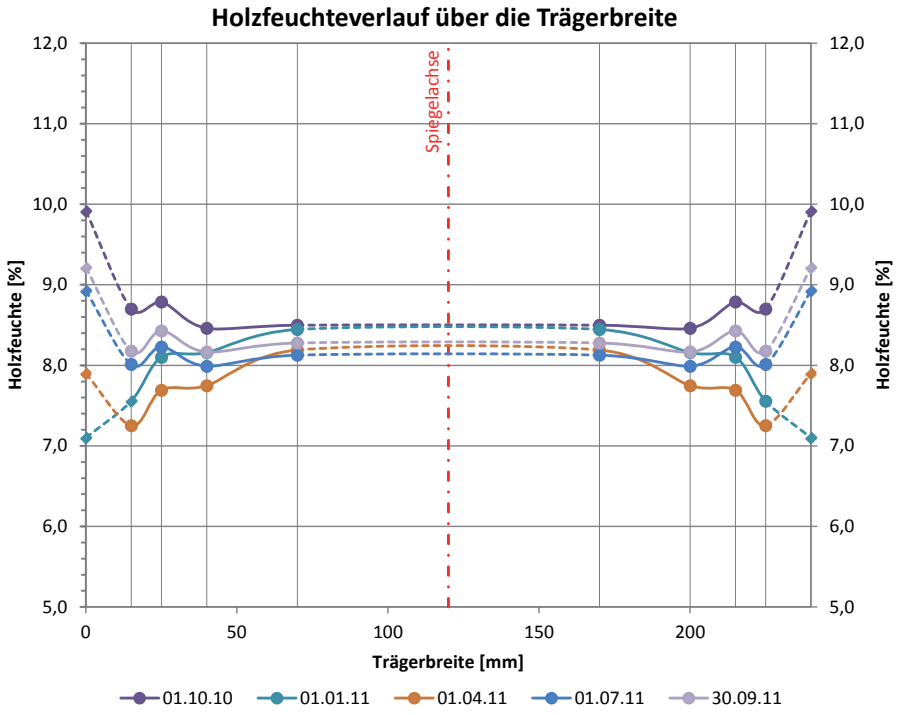
Messstelle 2: Traufseite über dem Spielfeld im Bereich des Lichtbands

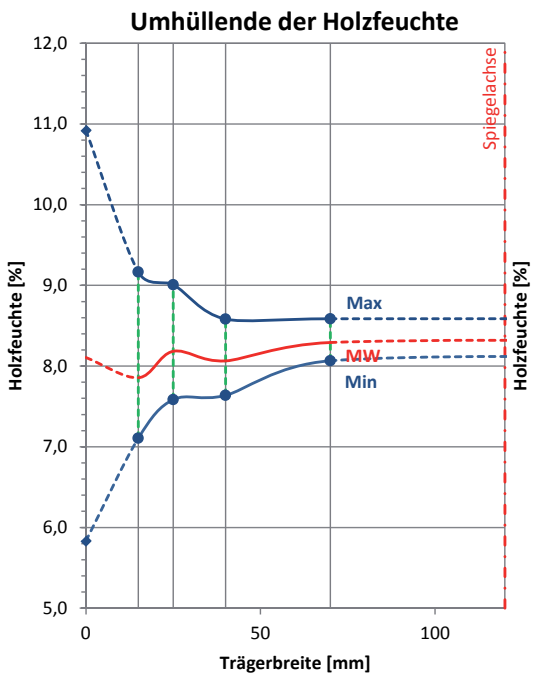


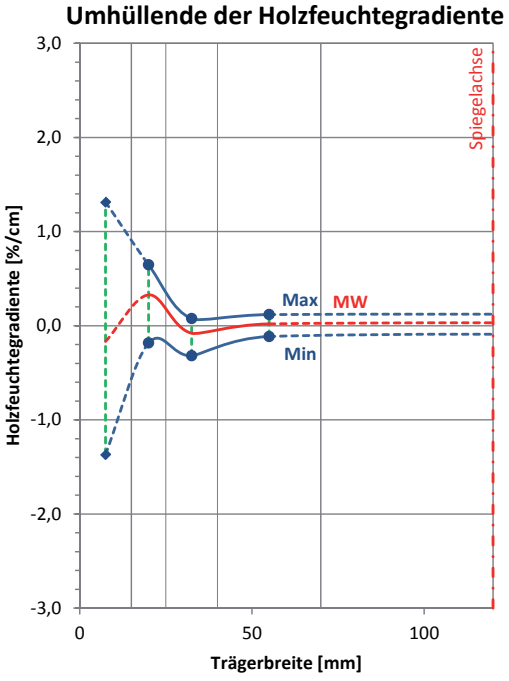


D2 Turnhalle der Volksschule Benediktbeuern

Messstelle 2: Traufseite über dem Spielfeld im Bereich des Lichtbands







D3 Turnhalle Gebeleschule München

Anschrift: Gebelestraße 2
81679 München

Ansprechpartner: Herr Fischer (vor Ort)

Anwesende vor Ort: Andreas Gamper, Manuel Waidelich, Herr Fischer

Installationsdatum: 01.10.2010, 13:30 - 16:00
Letztes Auslesedatum: 13.10.2011, 13:00 – 14:00

Umgebungsbedingungen: Allseitig geschlossener, beheizter, energetisch gedämmter Raum

Temperatur: 21,9°C; Luftfeuchte: 61,3 % (z.Zt. d. Installation)

Messstelle 1: In der Feldmitte über Spielfeld
(Erfassung des Regelbereichs)

Messstelle 2: Am Auflager bei Empore
(Erfassung des Randbereichs mit eventueller Beeinflussung durch Empore, Referenz zur Messstelle 1)

Sensor	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte GANN [%]	Messwert Mugrauer [10lg(Ω)]	Einstellwerte GANN	
u1	15	11,6	93,6	x–y: 6–5; 20°	Messstelle 1
u2	25	11,8	93,1	gemessene	
u3	40	11,8	93,5	Temperatur	
u4	70	11,5	94,3	t_1: 21,7°C	
u5	15	11,3	94,7	x–y: 6–5; 20°	Messstelle 2
u6	25	11,3	94,8	gemessene	
u7	40	11,4	94,3	Temperatur	
u8	70	11,3	94,9	t_2: 22,7°C	

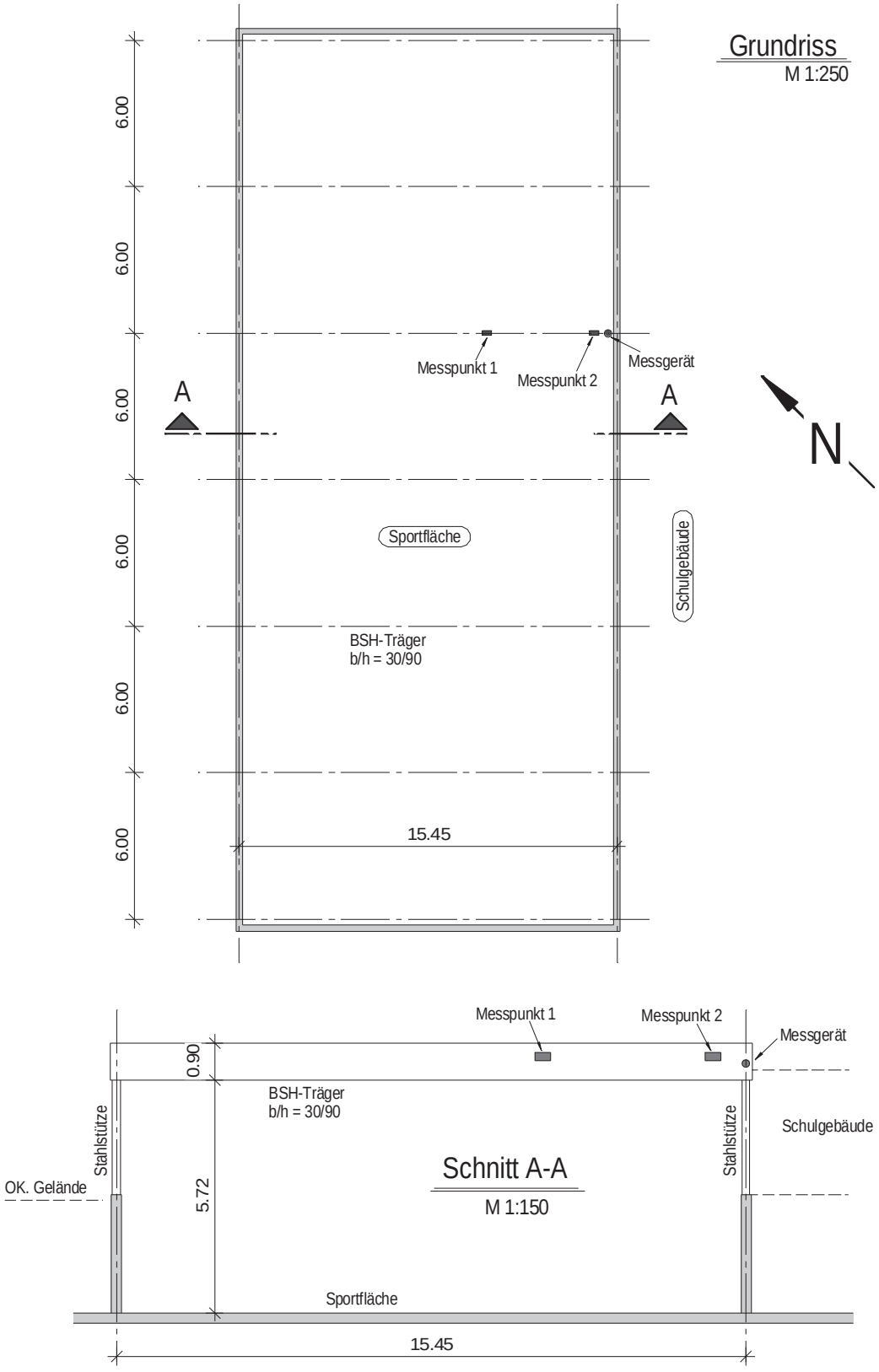
Tragsystem: Einfeldträger, Trägerspannweite ℓ =15,45 m

Trägerabmessungen b/h = 30/90 cm^2

Lamellenstärke t = 40 mm

Offenporiger Anstrich

Skizzen:


Grundriss
M 1:250
6.00
6.00
6.00
6.00
6.00
6.00
Messpunkt 1
Messpunkt 2
Messgerät
A
A
N
Sportfläche
Schulgebäude
BSH-Träger
b/h = 30/90
15.45
Messpunkt 1
Messpunkt 2
Messgerät
0.90
BSH-Träger
b/h = 30/90
Stahlstütze
Stahlstütze
Schulgebäude
OK. Gelände
5.72
Schnitt A-A
M 1:150
Sportfläche
15.45

Bilder:

Abbildung D3-1: Ansicht Tragwerk

Abbildung D3-2: Ansicht Messstation

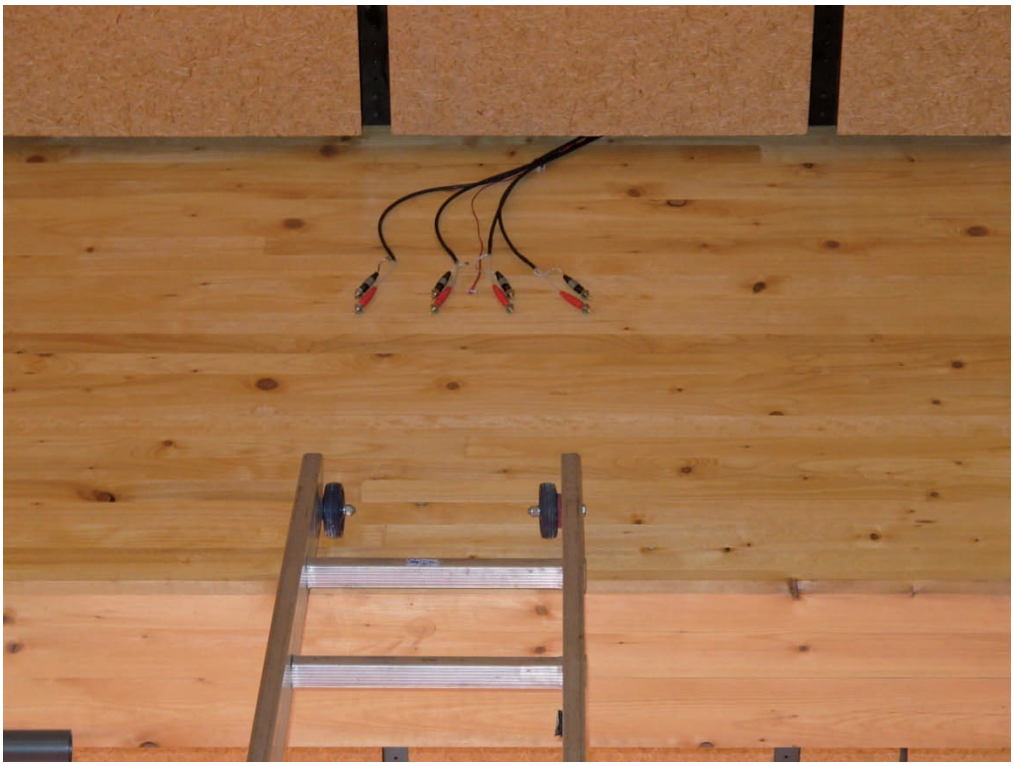


Abbildung D3-3: Ansicht Messstelle 1

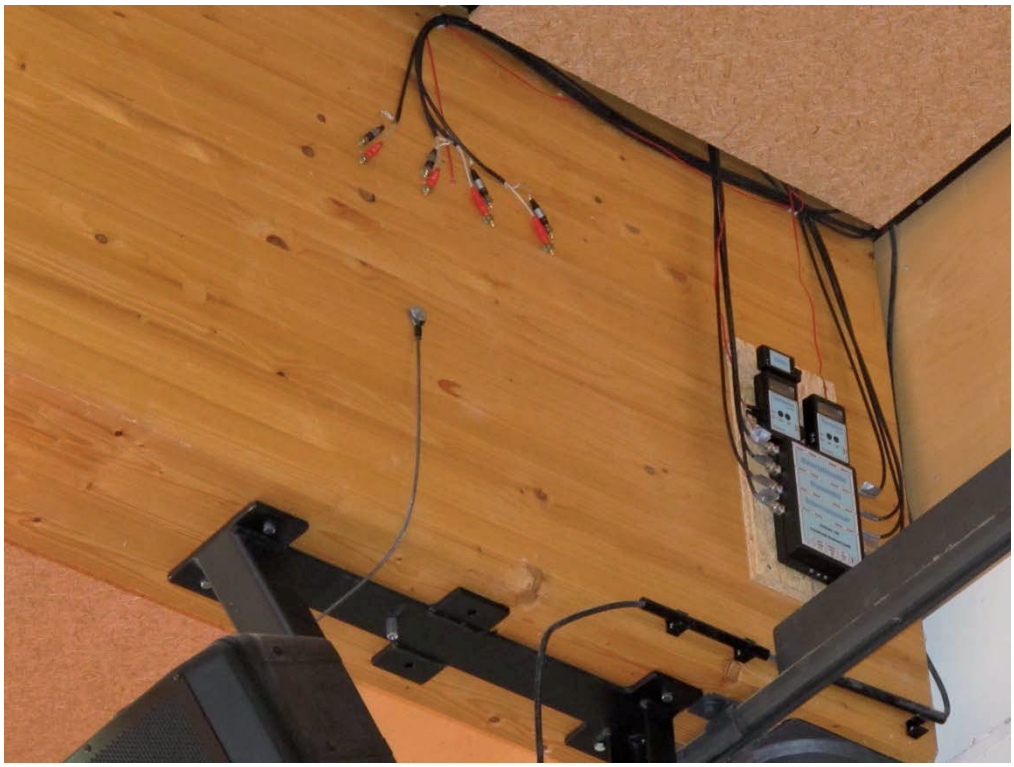
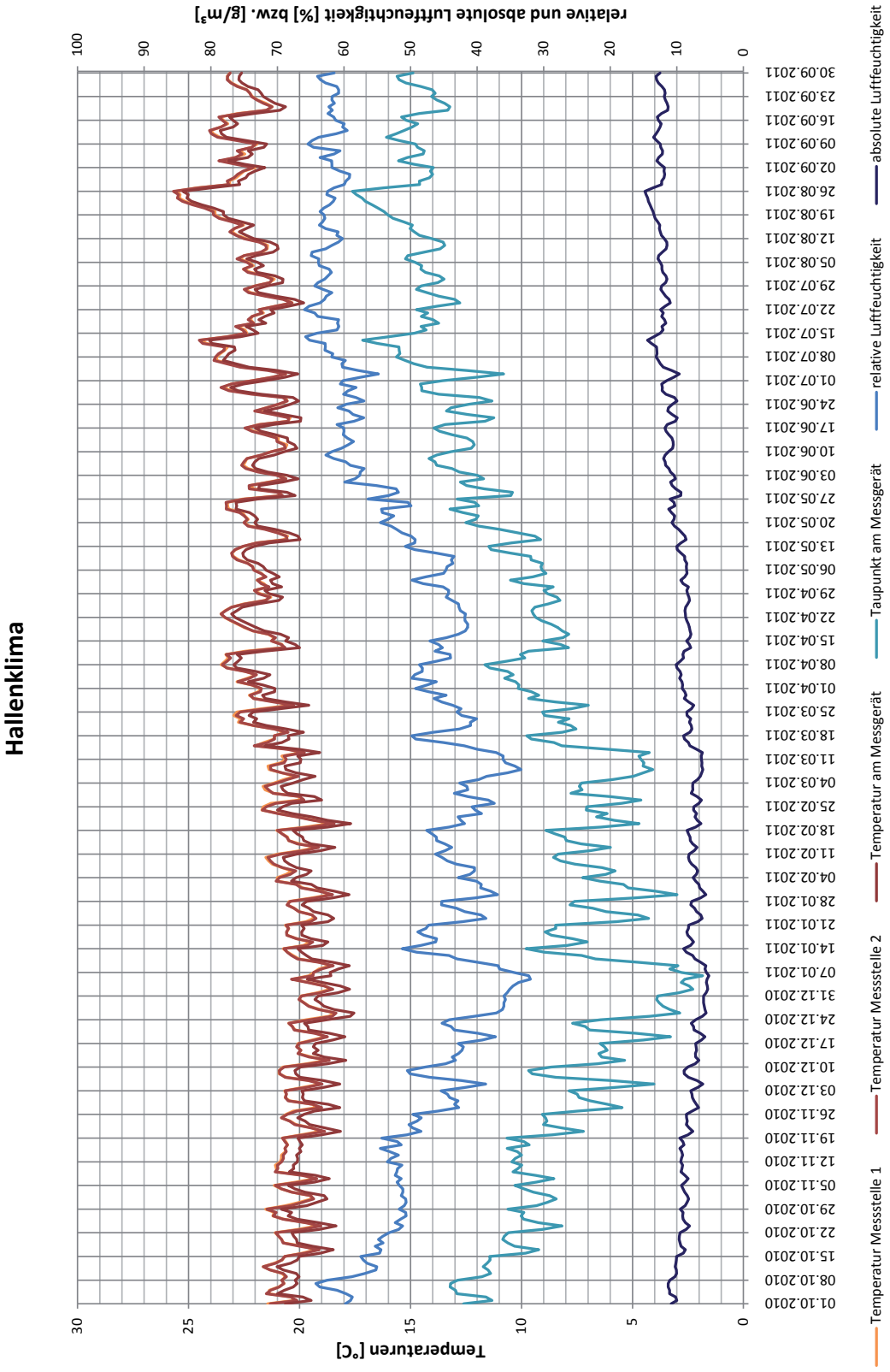


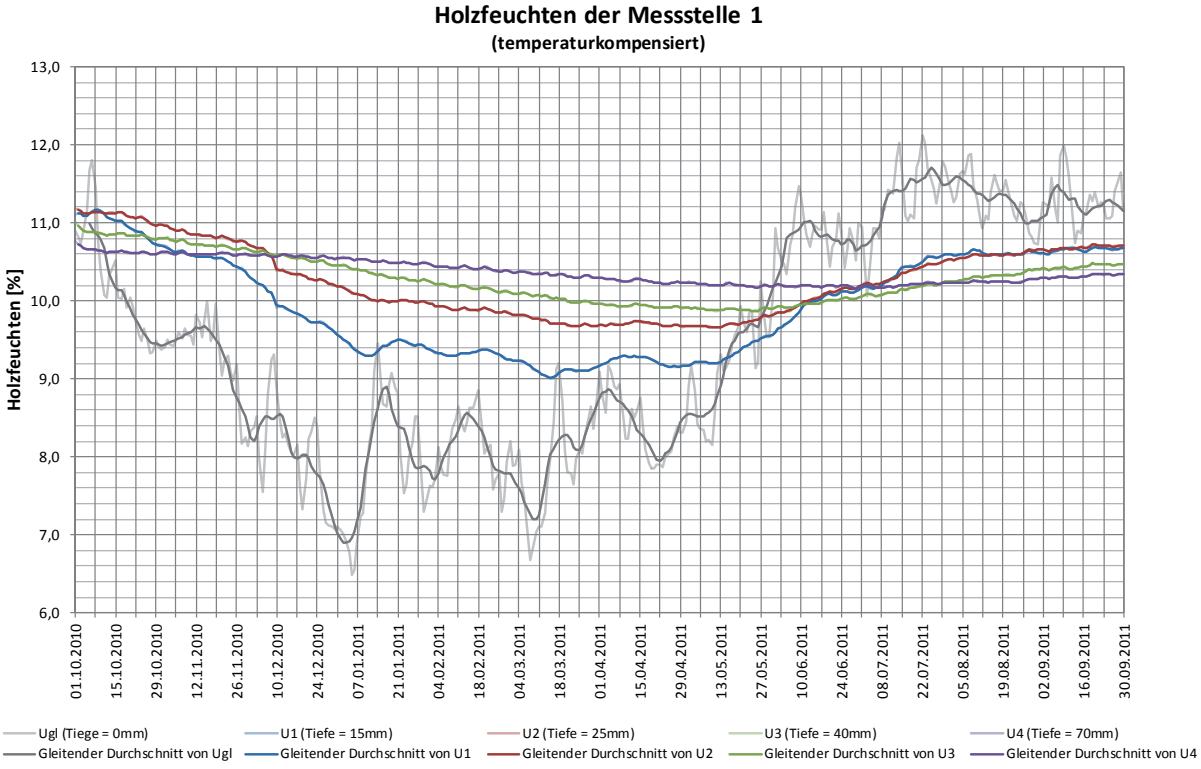
Abbildung D3-4: Ansicht Messstelle 2

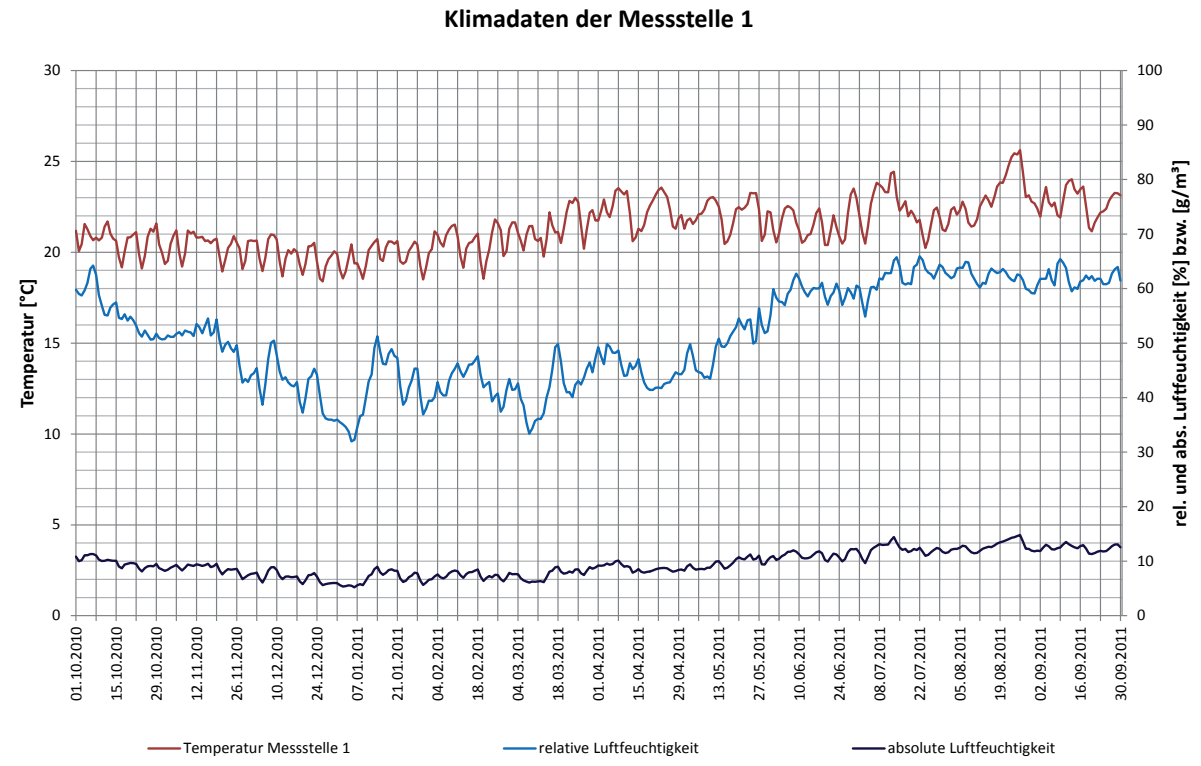
D3 Turnhalle Gebeleschule



D3 Turnhalle Gebeleschule München

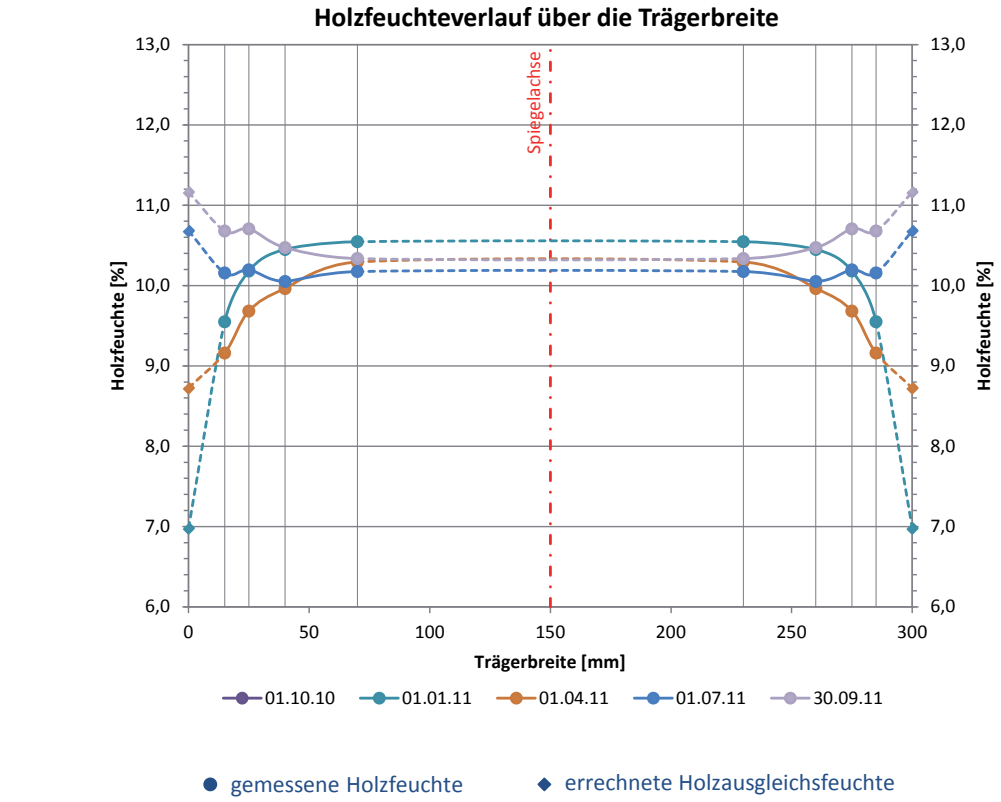
Messstelle 1: In der Feldmitte über Spielfeld

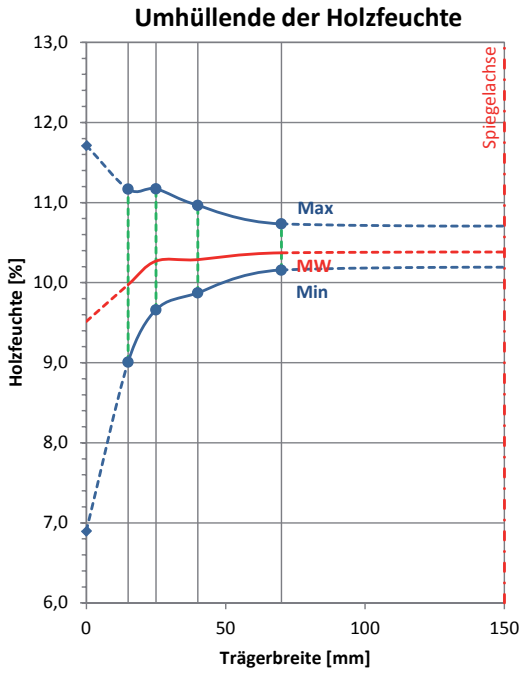


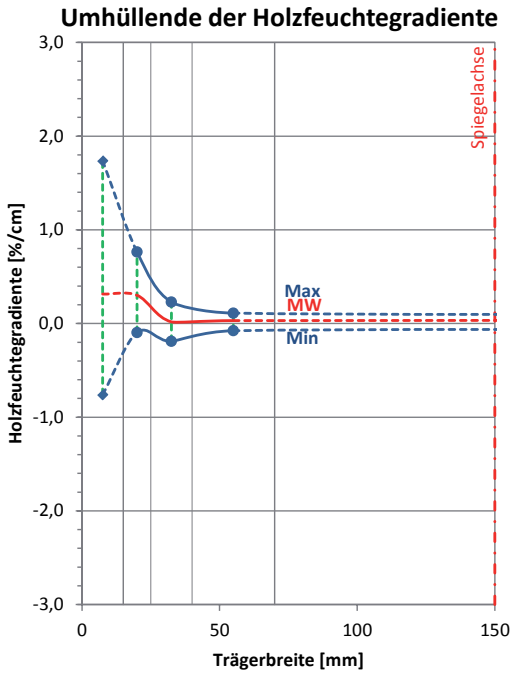


D3 Turnhalle Gebeleschule München

Messstelle 1: In der Feldmitte über Spielfeld

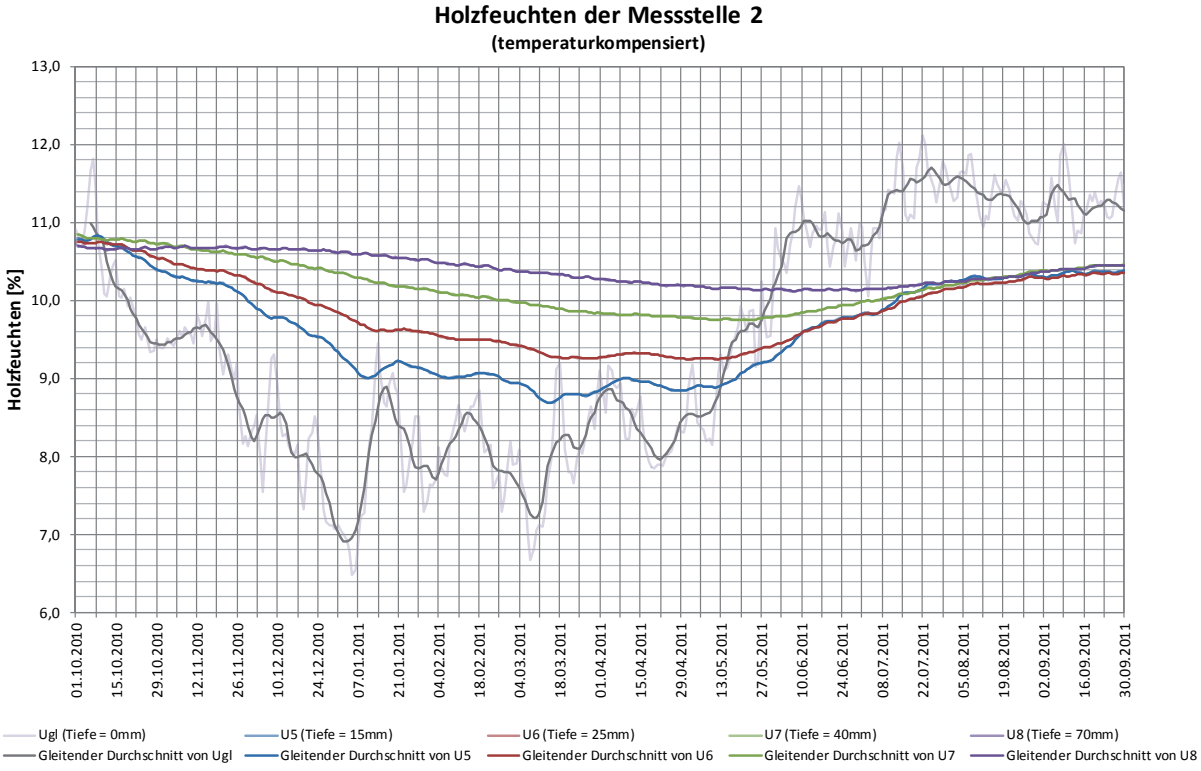


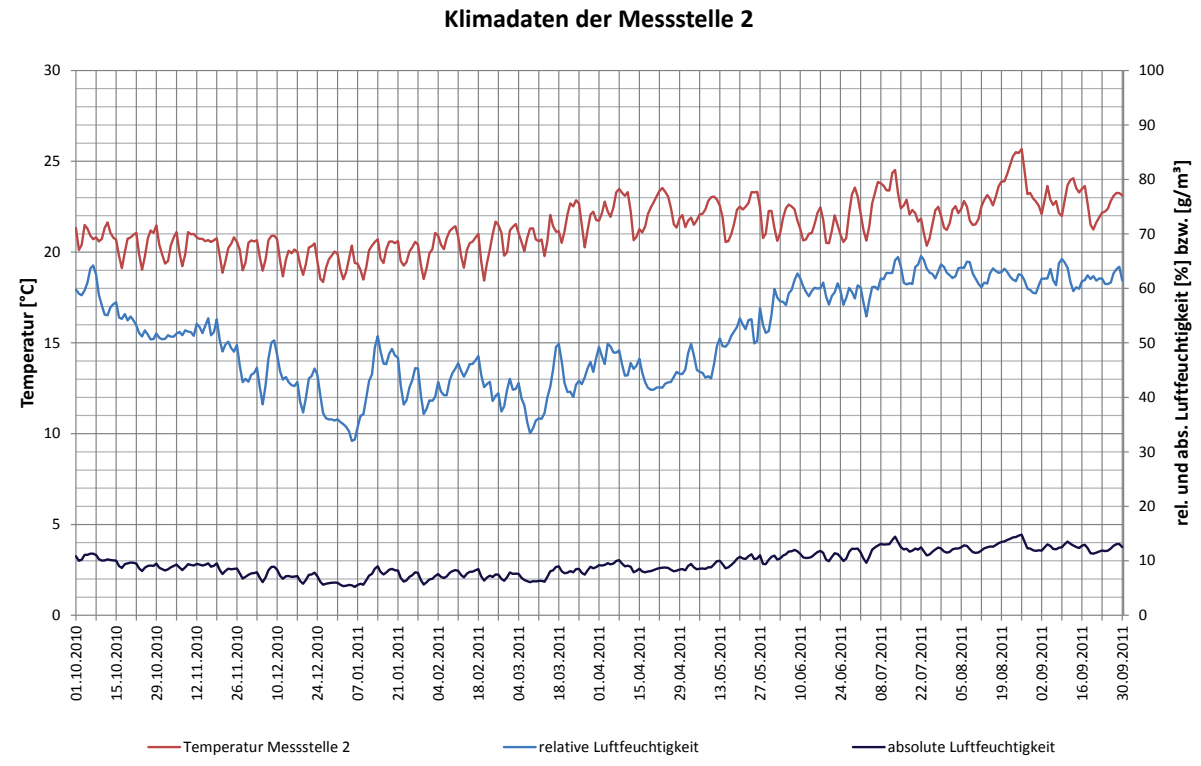




D3 Turnhalle Gebeleschule München

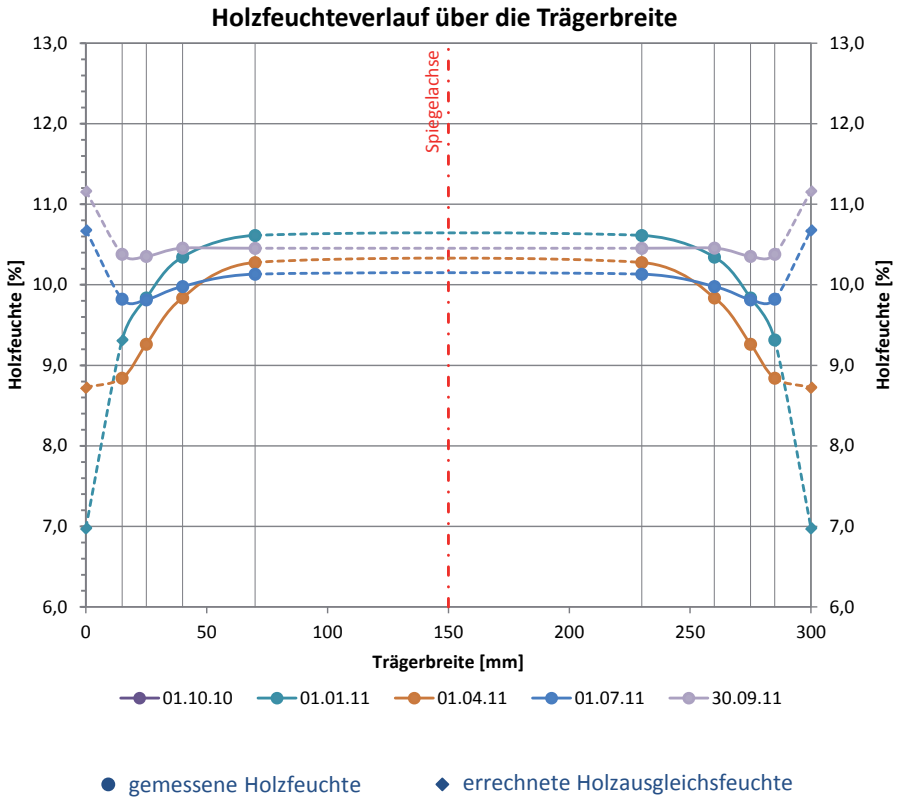
Messstelle 2: Am Auflager bei Empore

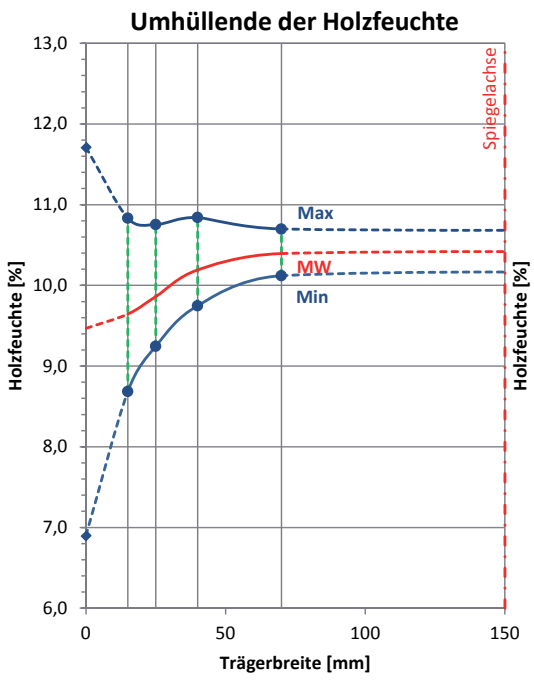


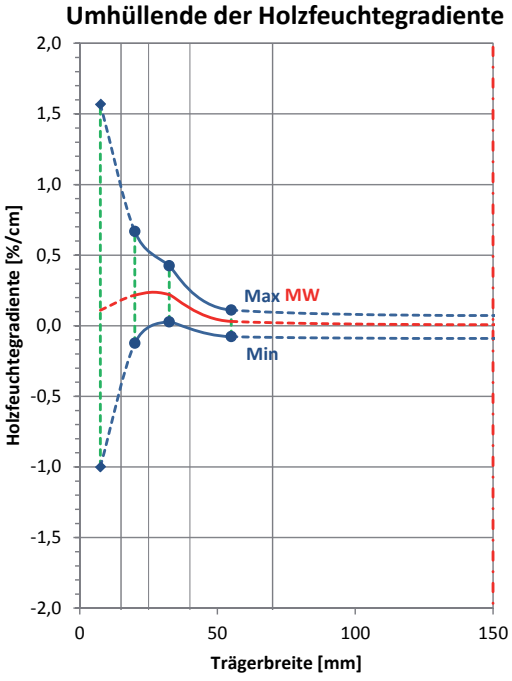


D3 Turnhalle Gebeleschule München

Messstelle 2: Am Auflager bei Empore







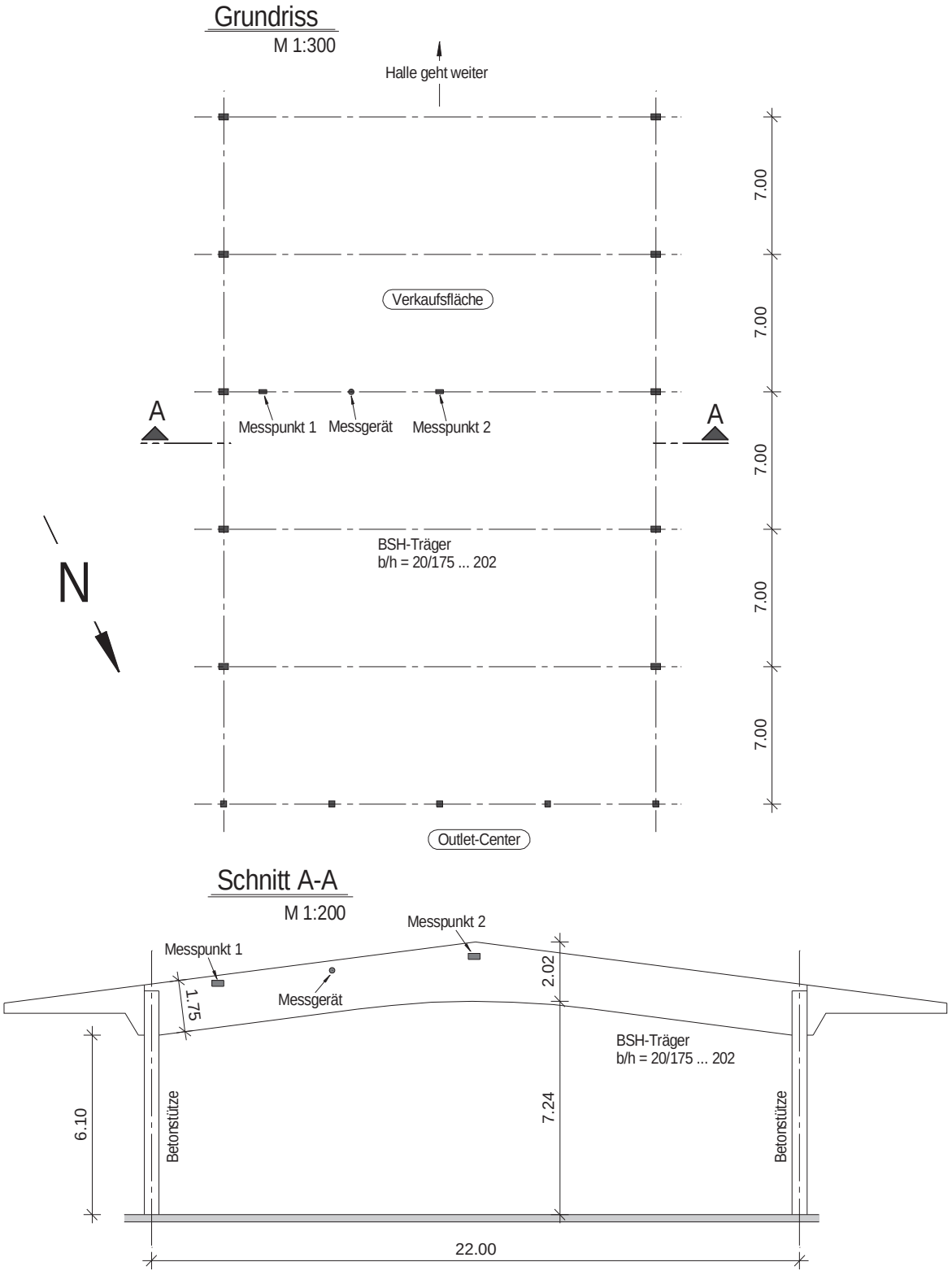
E1 Verkaufshalle Sportmarkt Füssen

Anschrift:	Schäfflerstr. 15 87629 Füssen
Ansprechpartner:	Herr Fritz Schweiger (Besitzer)
Anwesende vor Ort:	Andreas Gamper, Manuel Waidelich, Herr Schweiger
Installationsdatum: Letztes Auslesedatum:	28.09.2010, 13:30 - 16:00 27.10.2011, 08:00 – 09:00
Umgebungsbedingungen:	Allseitig geschlossener, beheizter, konstruktiv gedämmter Raum (bis Winter Produktionshalle metallverarbeitender Betrieb, danach Verkaufshalle Sportmarkt) Temperatur: 19,1°C; Luftfeuchte: 48,8 % (z.Zt. d. Installation)
Messstelle 1:	Im Traufbereich des Satteldachbinders (Regelbereich)
Messstelle 2:	Im Firstbereich des Satteldachbinders (Regelbereich, Referenz zu Messstelle 1)

Sensor	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte GANN [%]	Messwert Mugrauer [10lg(Ω)]	Einstellwerte GANN	
u1	15	8,7	104,3	x–y: 6–5; 20°	Messstelle 1
u2	25	8,7	103,8	gemessene	
u3	40	8,4	104,8	Temperatur	
u4	70	7,8	106,9	t_1: 20,2°C	
u5	15	8,7	103,6	x–y: 6–5; 20°	Messstelle 2
u6	25	8,6	103,8	gemessene	
u7	40	8,2	105,5	Temperatur	
u8	70	7,6	107,4	t_2: 19,3°C	

Tragsystem:	Unten gekrümmter Satteldachträger als Einfeldträger, Spannweite ℓ = 22,00 m 6 Achsen mit einem Binderachsabstand e = 7,0 m Trägerabmessungen b/h = 20/175 …202 cm^2 Lamellenstärke t = 32 mm Bauteile unbehandelt (vorbehaltlich eines nicht mehr erkennbaren, farblosen, offenporigen Anstrichs)
Hinweis:	Die Halle wird bis zum Winter als Produktionshalle eines metallverarbeitenden Betriebs genutzt, anschließend umgebaut um als zusätzliche Verkaufshalle des angrenzenden Sport-Marktes zu dienen.

Skizzen:


Grundriss
M 1:300
Halle geht weiter
7.00
7.00
7.00
7.00
7.00
Verkaufsfläche
A
A
Messpunkt 1
Messgerät
Messpunkt 2
N
BSH-Träger
b/h = 20/175 ... 202
Outlet-Center
Schnitt A-A
M 1:200
Messpunkt 2
Messpunkt 1
1.75
Messgerät
2.02
BSH-Träger
b/h = 20/175 ... 202
6.10
Betonstütze
7.24
Betonstütze
22.00

Bilder:

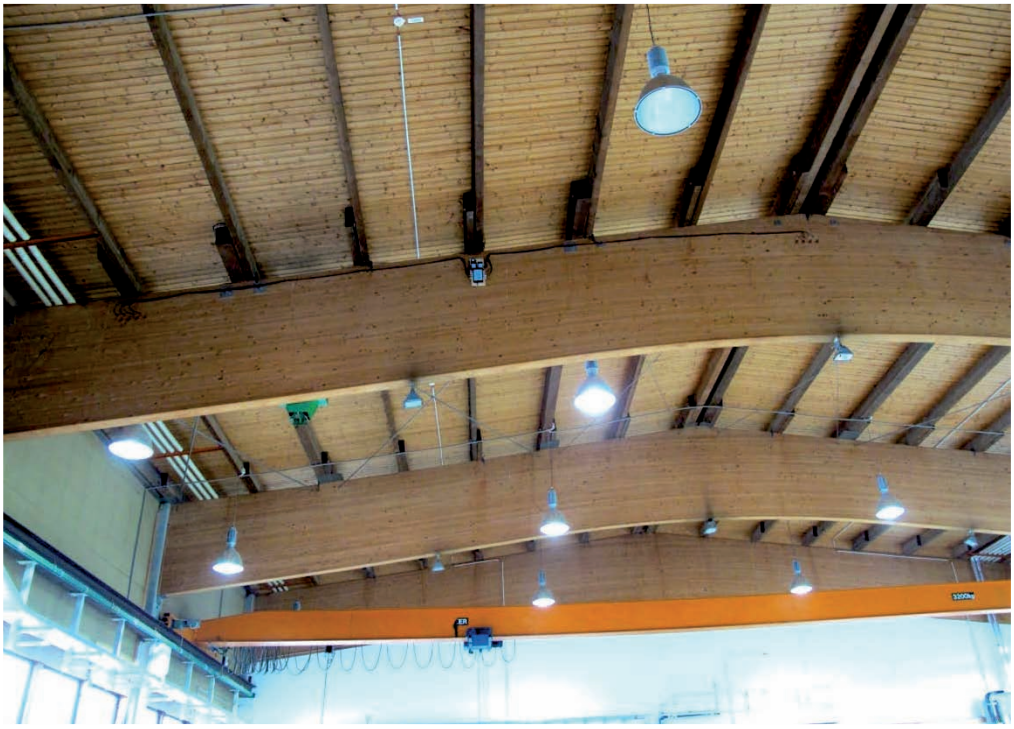


Abbildung E1-1: Ansicht Tragwerk

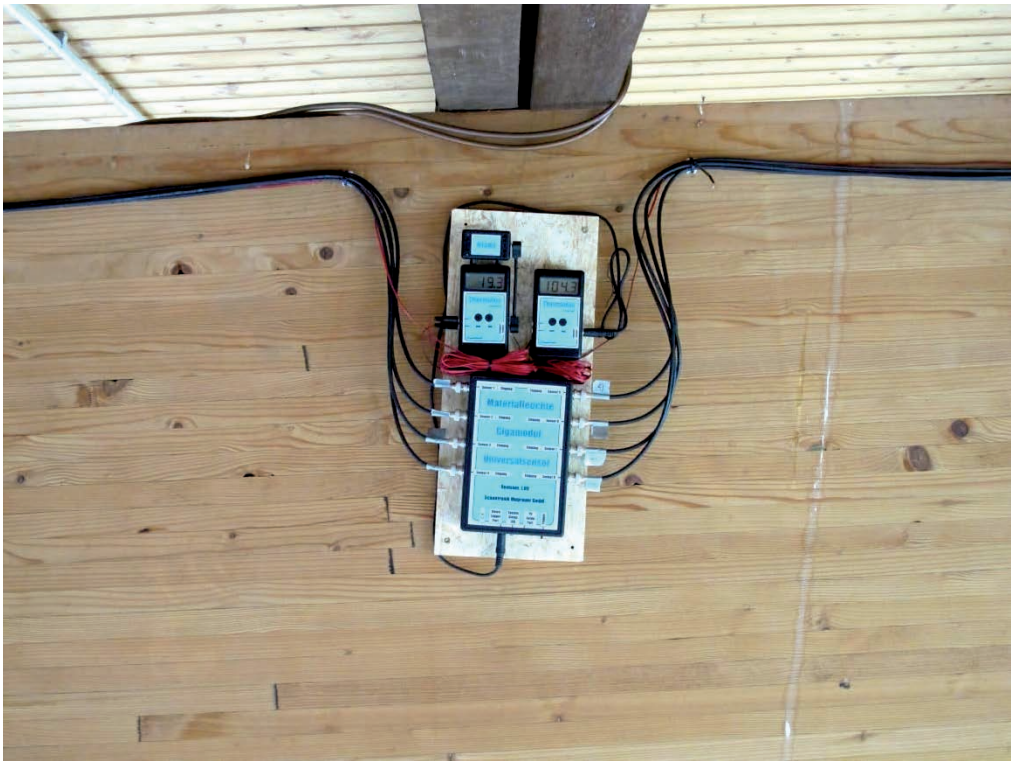


Abbildung E1-2: Ansicht Messstation

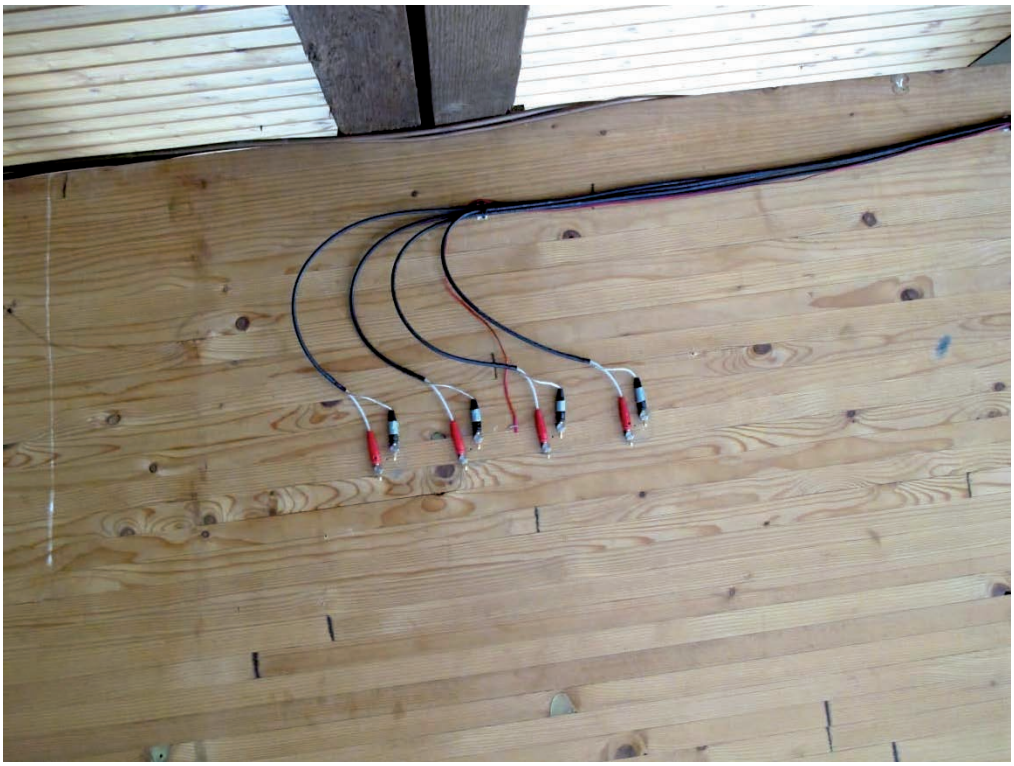


Abbildung E1-3: Ansicht Messstelle 1

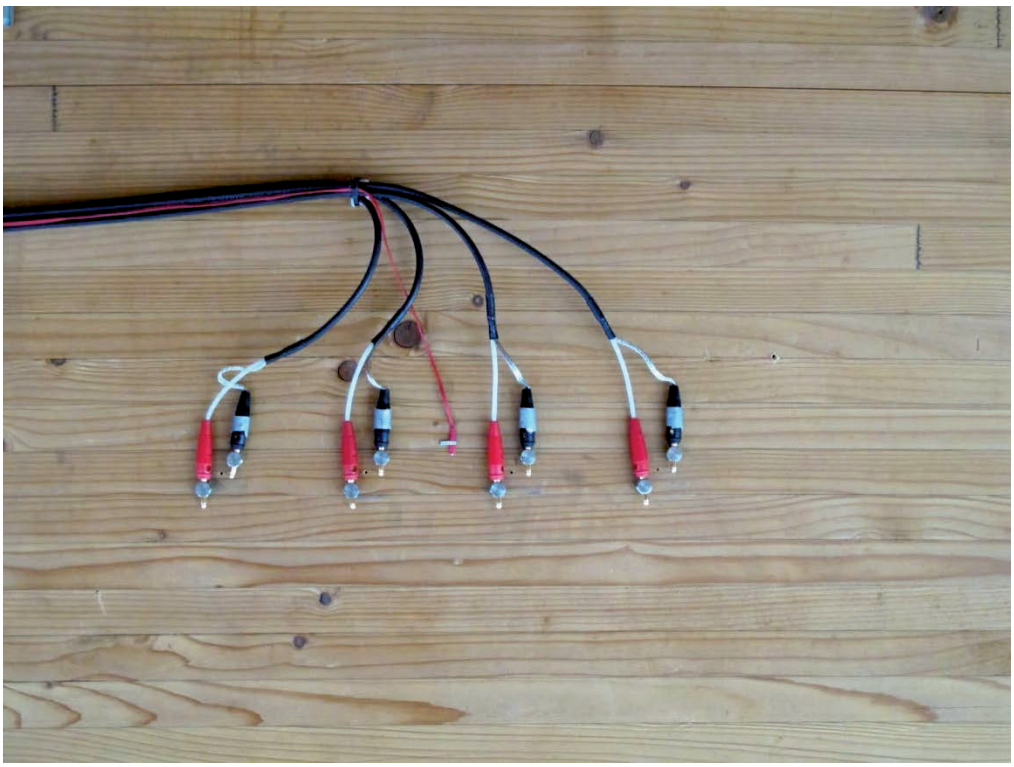
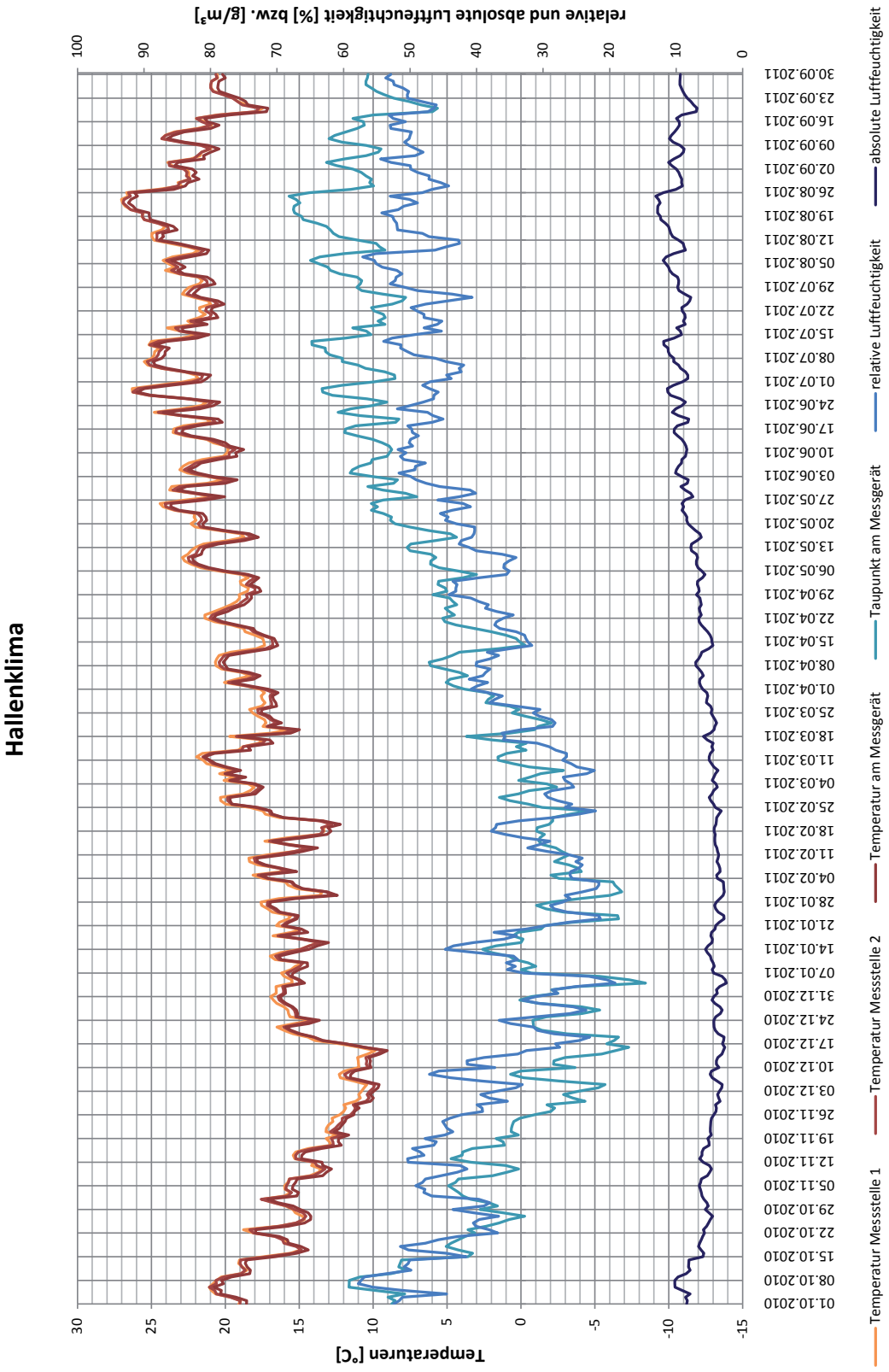


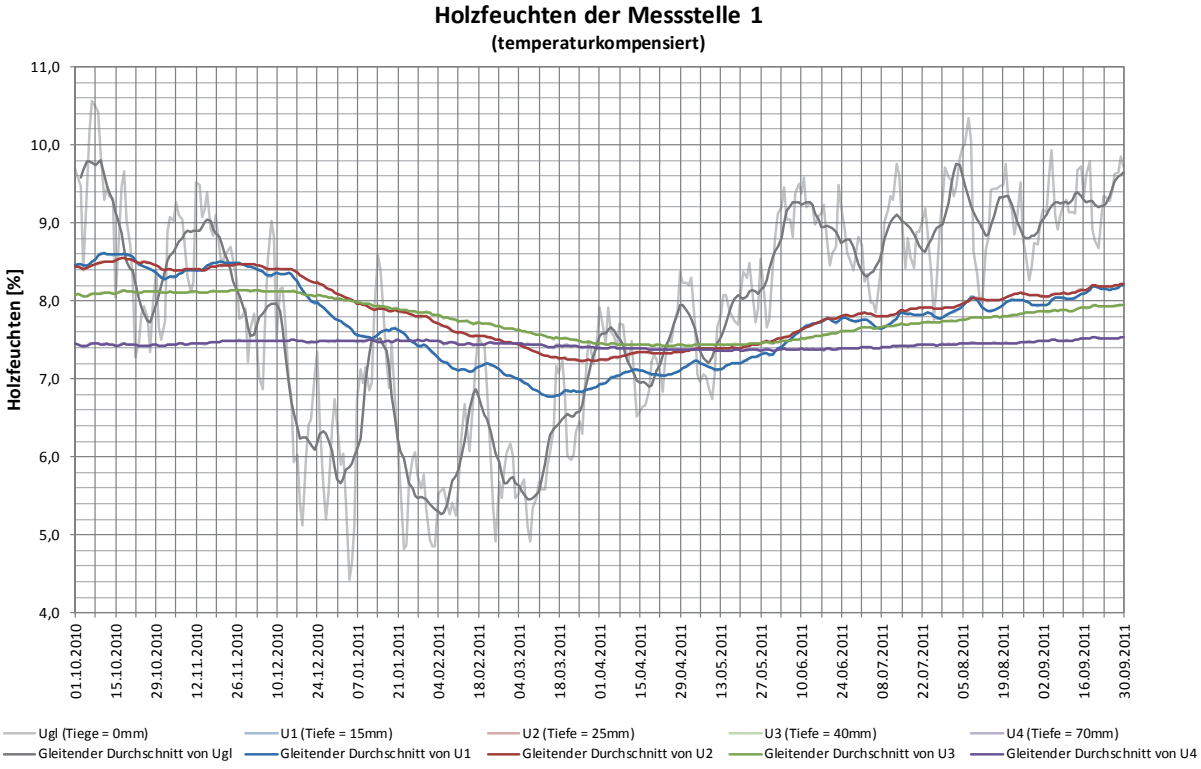
Abbildung E1-4: Ansicht Messstelle 2

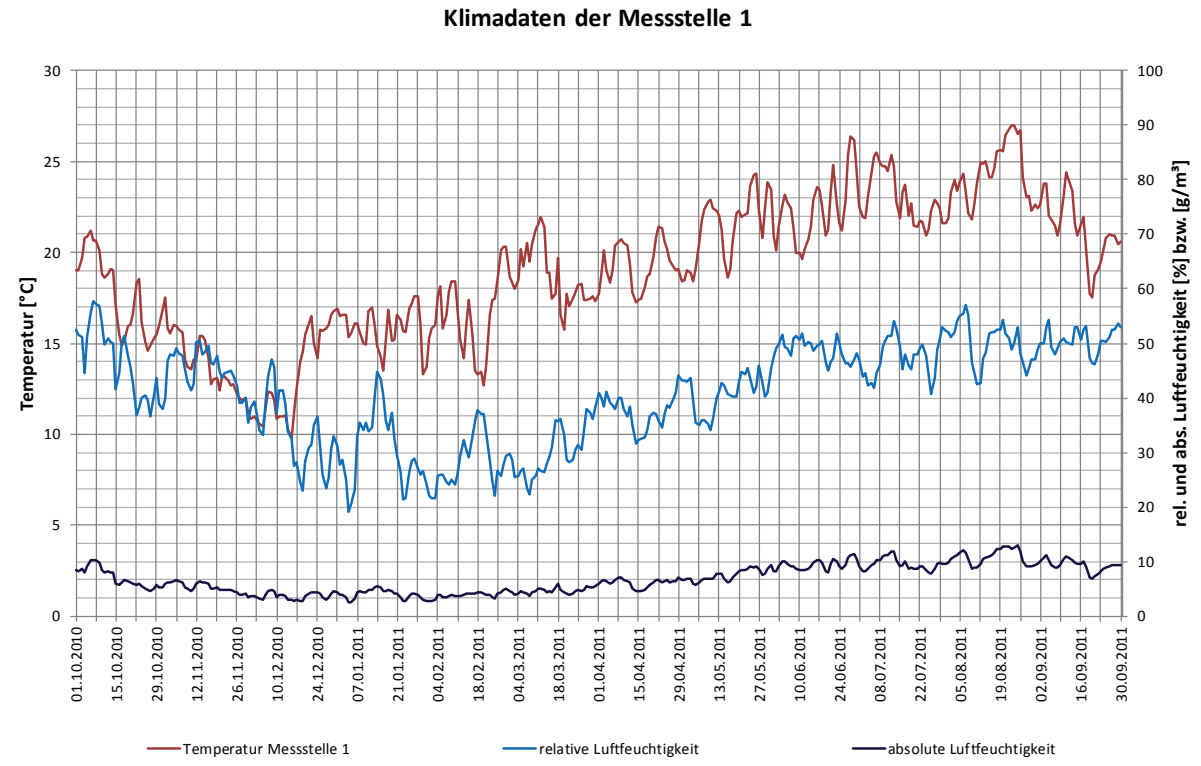
E1 Verkaufshalle Sportmarkt Füssen



E1 Verkaufshalle Sportmarkt Füssen

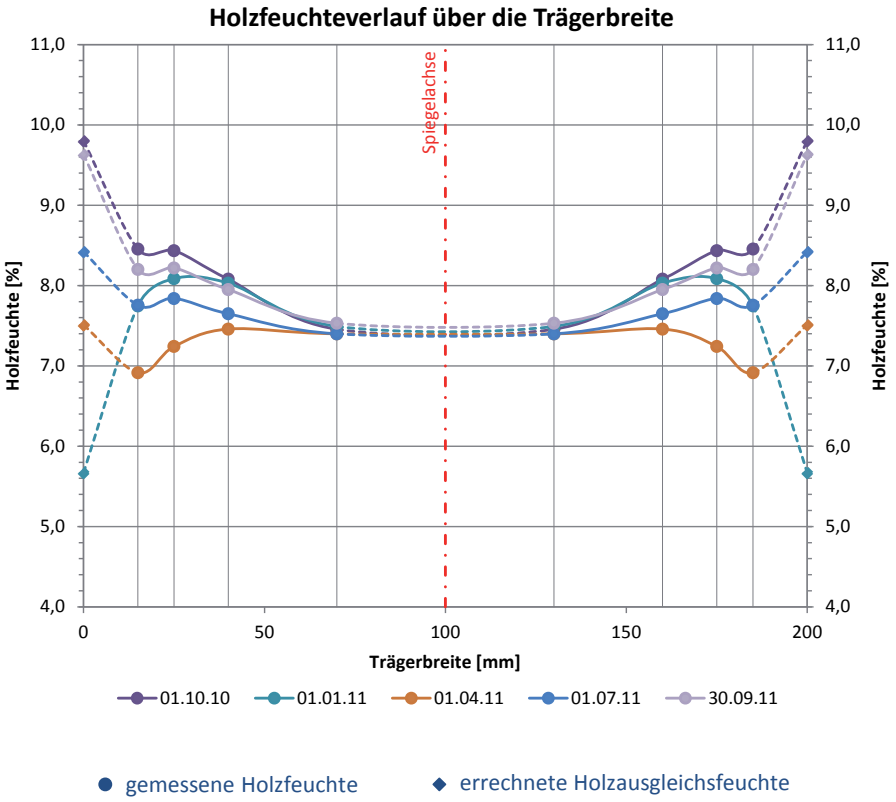
Messstelle 1: Im Traufbereich des Satteldachbinders

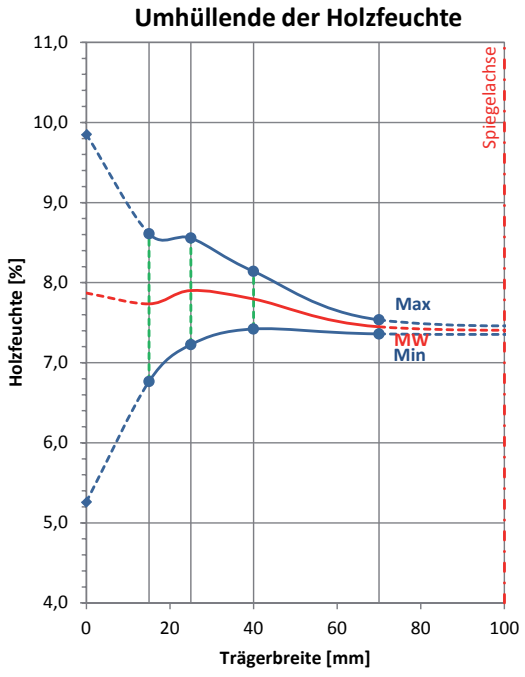


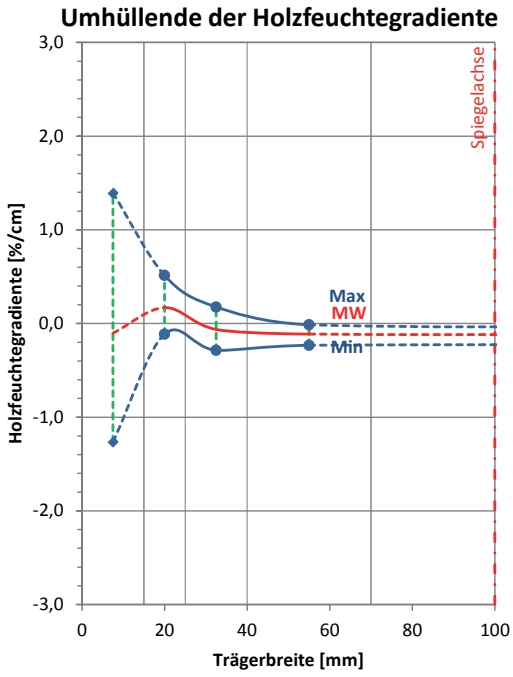


E1 Verkaufshalle Sportmarkt Füssen

Messstelle 1: Im Traufbereich des Satteldachbinders

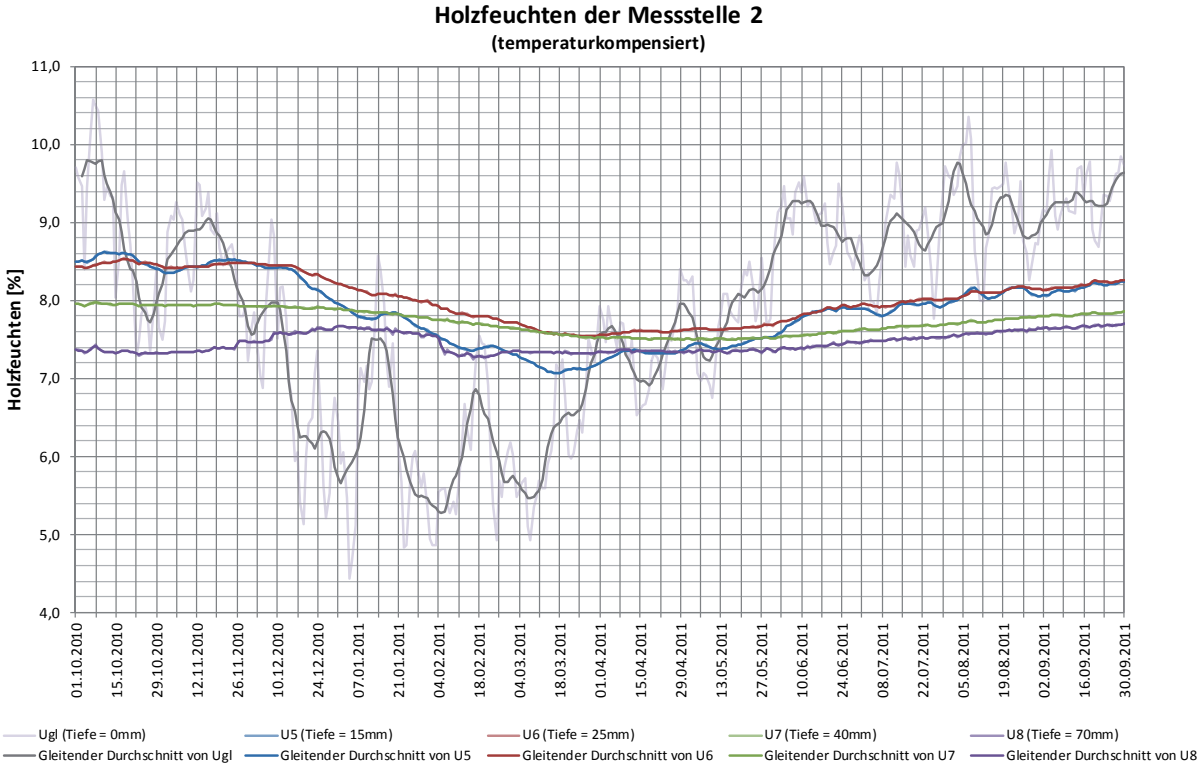


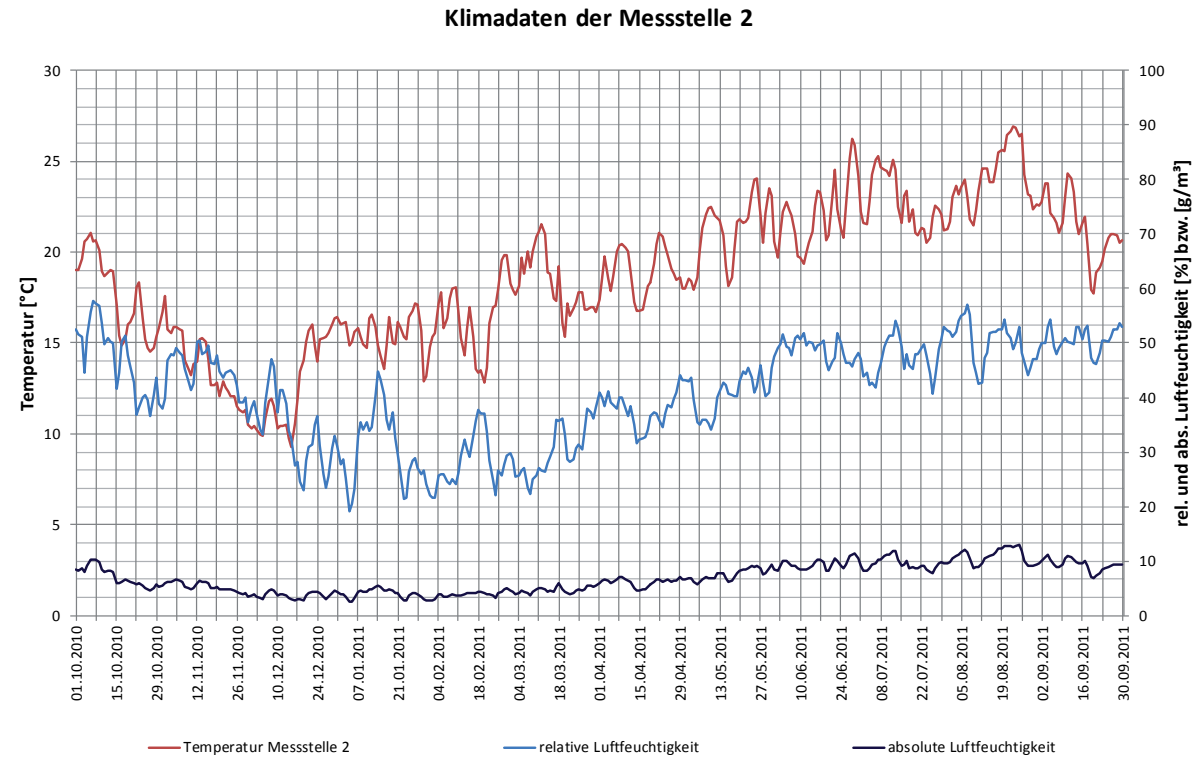




E1 Verkaufshalle Sportmarkt Füssen

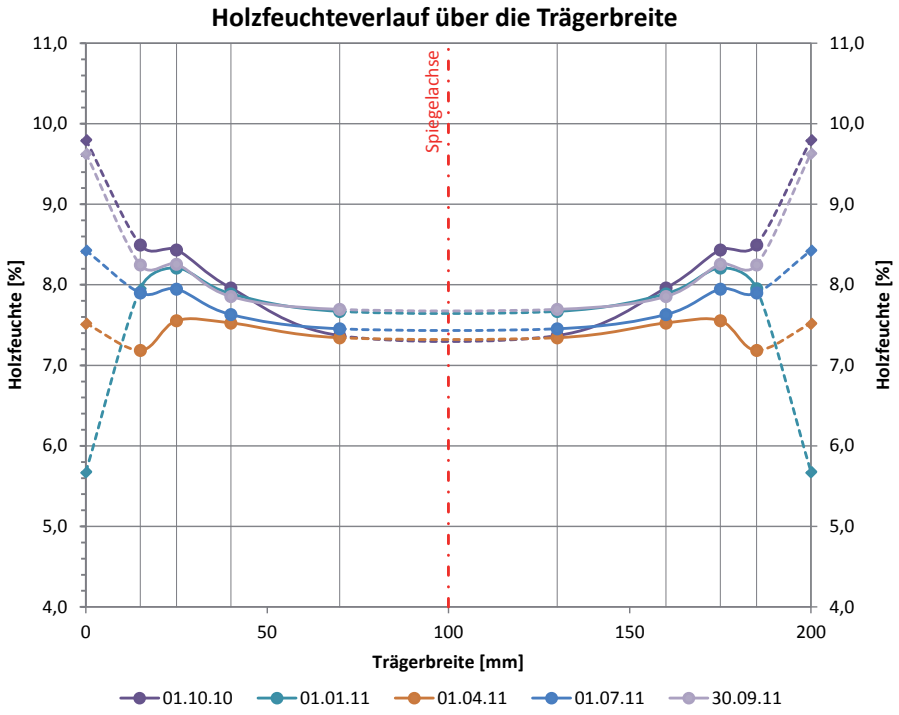
Messstelle 2: Im Firstbereich des Satteldachbinders

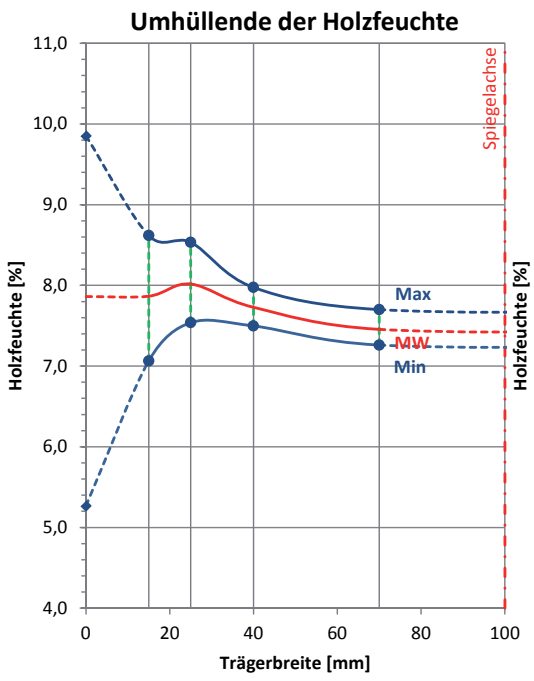


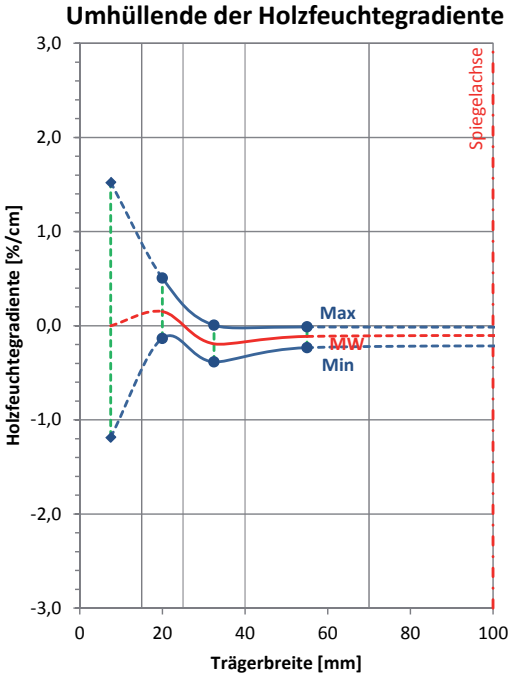


E1 Verkaufshalle Sportmarkt Füssen

Messstelle 2: Im Firstbereich des Satteldachbinders







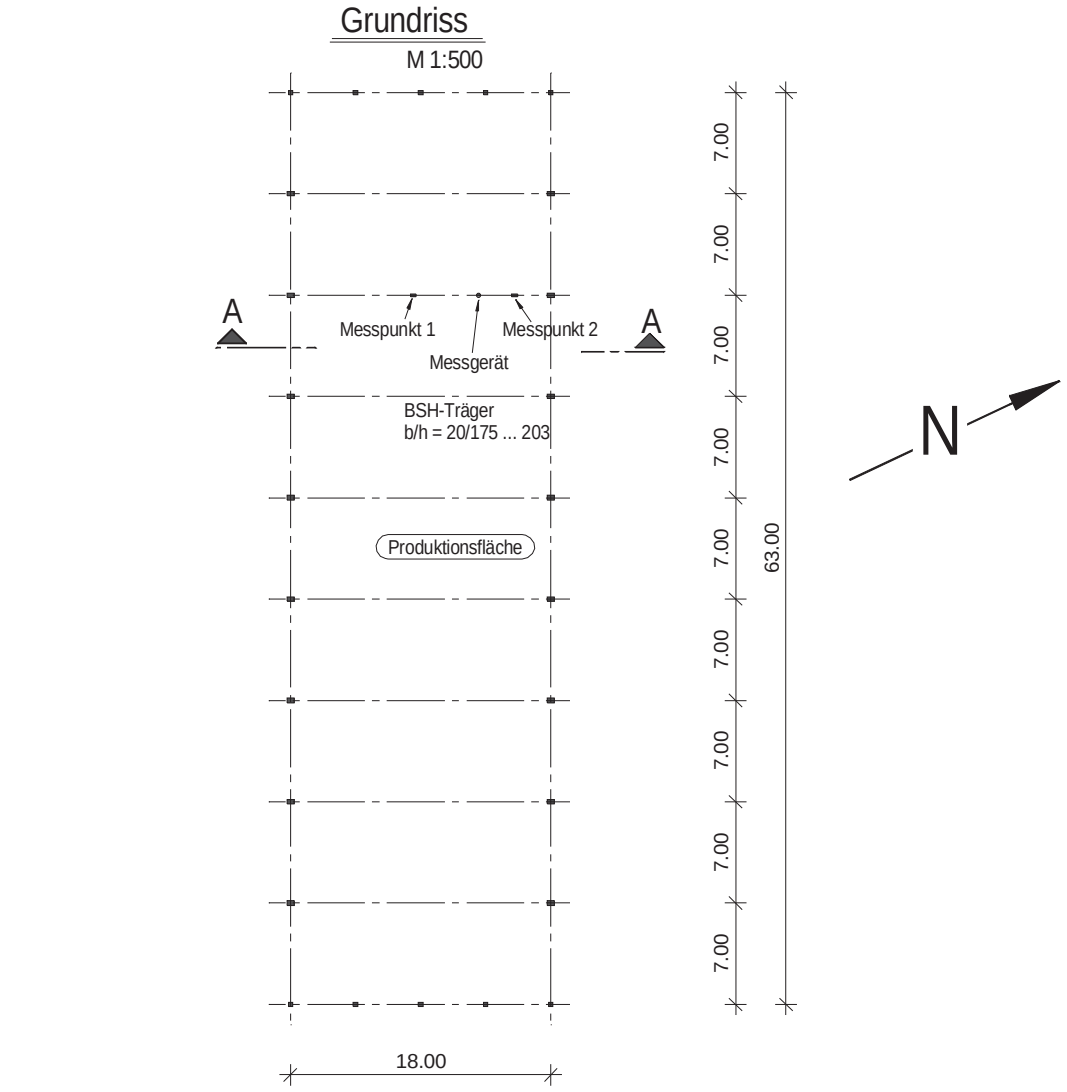
E2 Produktionshalle MW Racing Füssen

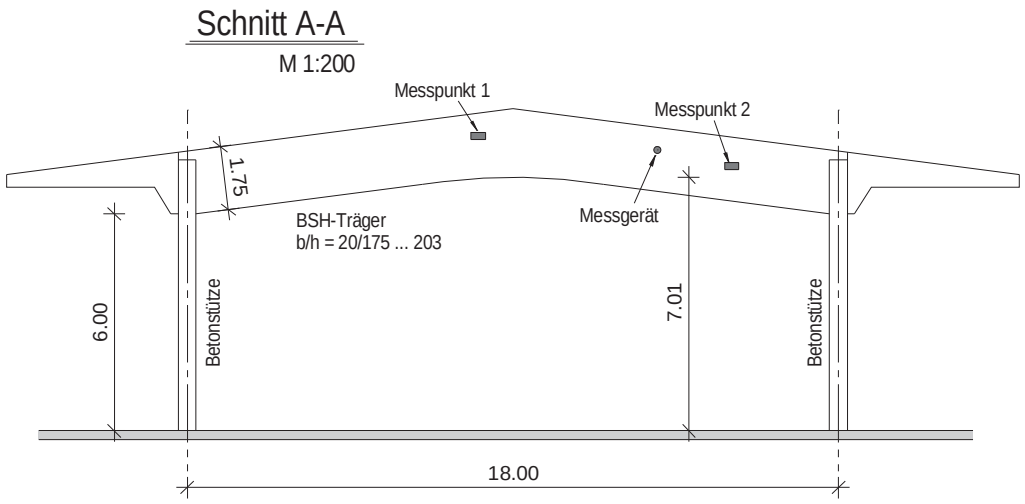
Anschrift:	Schäfflerstr. 15 87629 Füssen
Ansprechpartner:	Herr Fritz Schweiger (Besitzer)
Anwesende vor Ort:	Michael Merk, Andreas Gamper, Herr Schweiger
Installationsdatum: Letztes Auslesedatum:	08.09.2010, 09:00 - 12:00 25.10.2011, 14:00 – 15:00
Umgebungsbedingungen:	Allseitig geschlossener, beheizter, konstruktiv gedämmter Raum, Schmiedewerkzeuge sowie Metallvergütung, daraus folgend sehr hohe Temperaturen Temperatur: 28,6°C; Luftfeuchte: 42,7 % (z.Zt. d. Installation)
Messstelle 1:	Im Firstbereich des Satteldachbinders (Über dem Schmiedewerkzeug, direkter Einflussbereich)
Messstelle 2:	Im Traufbereich des Satteldachbinders (Regelbereich außerhalb des Einflussbereichs des Schmiedewerkzeugs, Referenz zu Messstelle 1)

Sensor	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte GANN [%]	Messwert Mugrauer [10lg(Ω)]	Einstellwerte GANN	
u1	15	5,0	111,5	x–y: 6–5; 30°	Messstelle 1
u2	25	5,5	109,9	gemessene	
u3	40	5,1	112,0	Temperatur	
u4	70	5,1	112,0	t_1: 28,9°C	
u5	15	4,9	112,5	x–y: 6–5; 30°	Messstelle 2
u6	25	5,0	112,6	gemessene	
u7	40	5,3	112,0	Temperatur	
u8	70	5,3	111,4	t_2: 28,6°C	

Tragsystem:	Einfeldträger, Spannweite ℓ = 18,0 m 10 Achsen mit einem Trägerachsabstand e = 7,0 m Trägerabmessungen b/h = 20/175 …203 cm^2 Bauteile unbehandelt (vorbehaltlich eines nicht mehr erkennbaren, farblosen, offenporigen Anstrichs)

Skizzen:


Grundriss
M 1:500
A
A
Messpunkt 1
Messpunkt 2
Messgerät
BSH-Träger
b/h = 20/175 ... 203
Produktionsfläche
7.00
7.00
7.00
7.00
7.00
7.00
7.00
7.00
63.00
18.00
N


Schnitt A-A
M 1:200
Messpunkt 1
Messpunkt 2
1.75
BSH-Träger
b/h = 20/175 ... 203
Messgerät
6.00
Betonstütze
7.01
Betonstütze
18.00

Bilder:

Abbildung E2-1: Ansicht Tragwerk

Abbildung E2-2: Ansicht Messstation

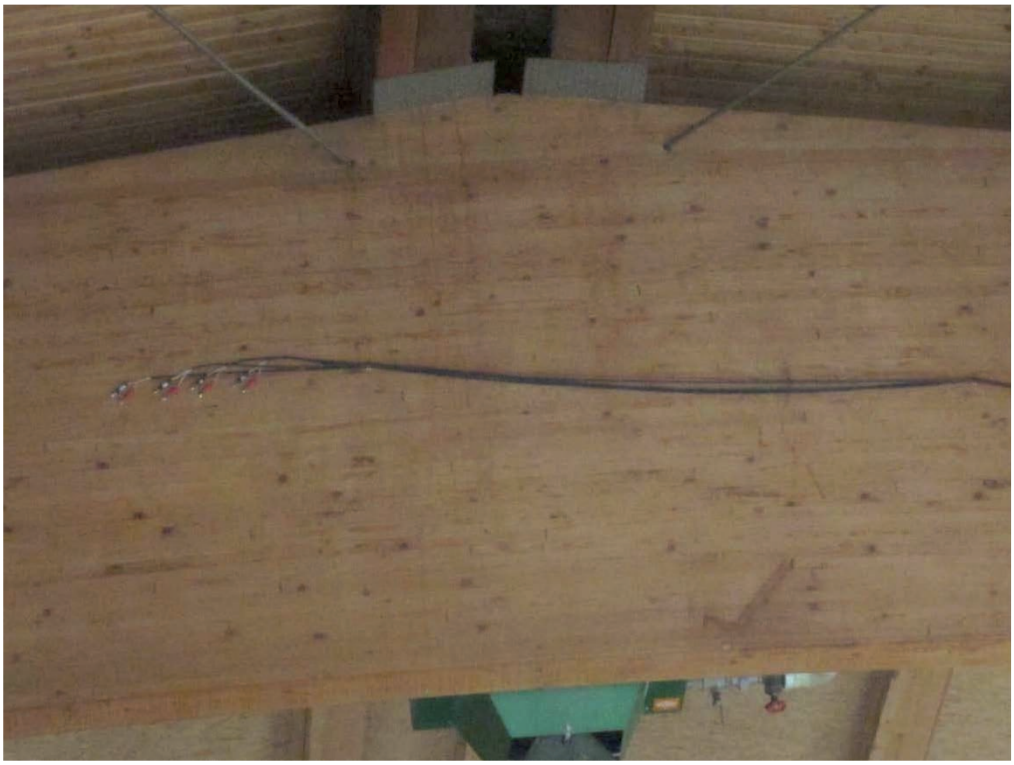
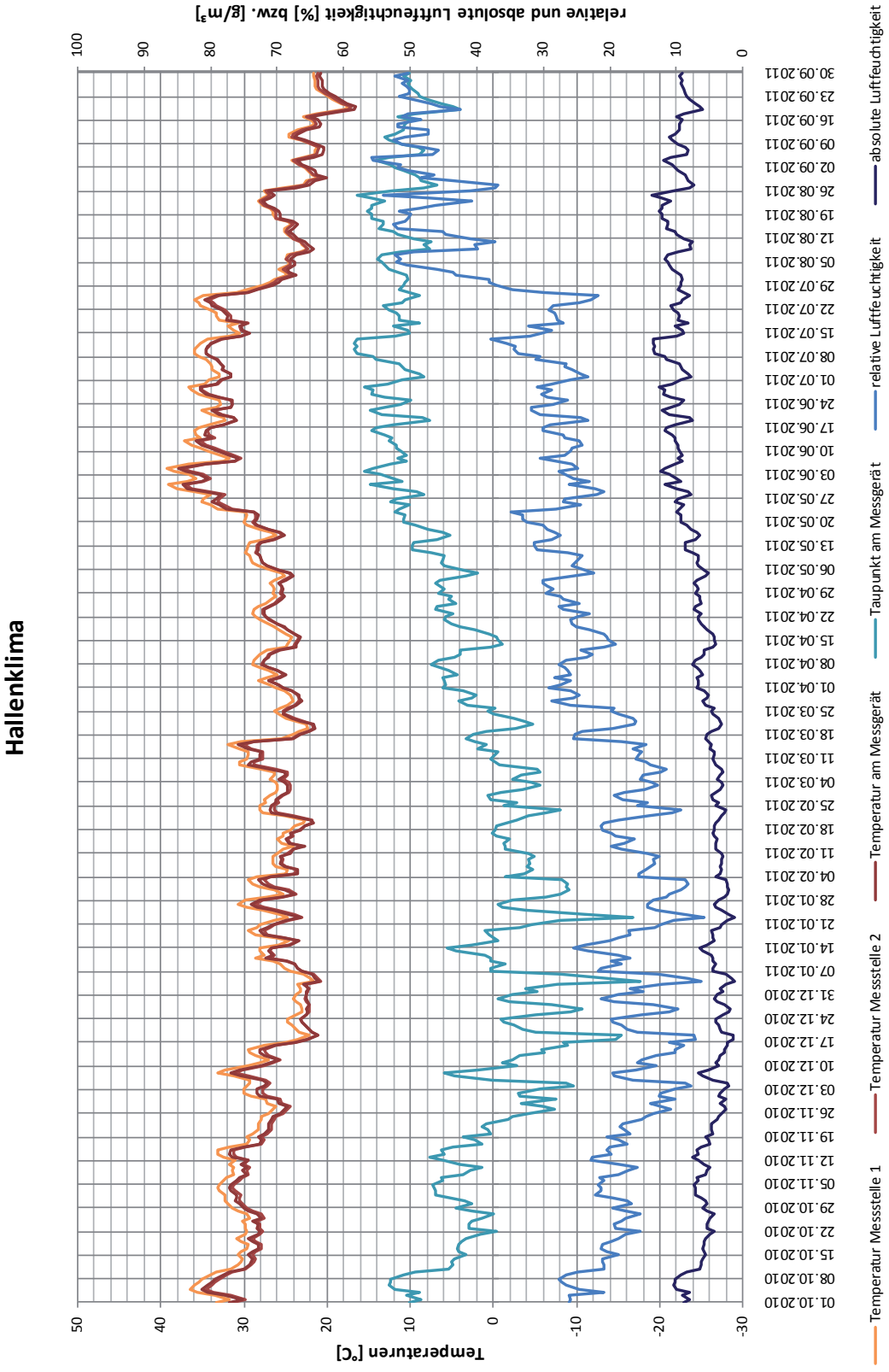


Abbildung E2-3: Ansicht Messstelle 1

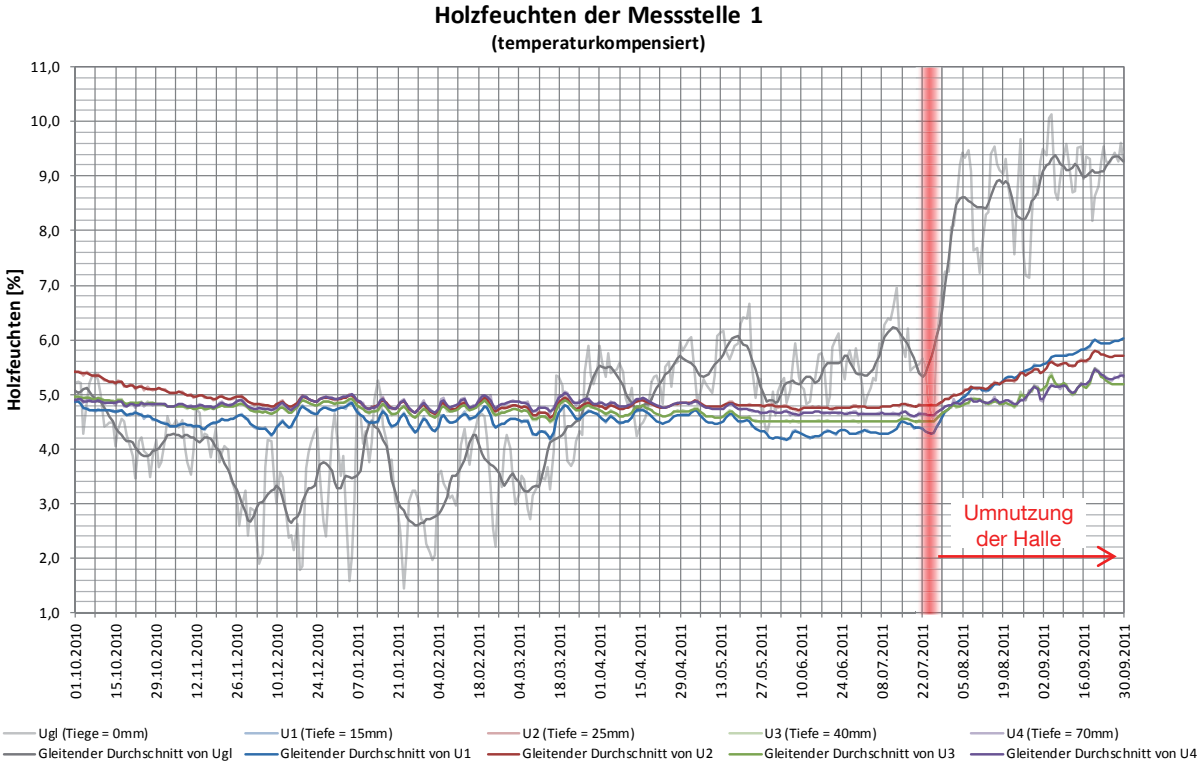
Abbildung E2-4: Ansicht Messstelle 2

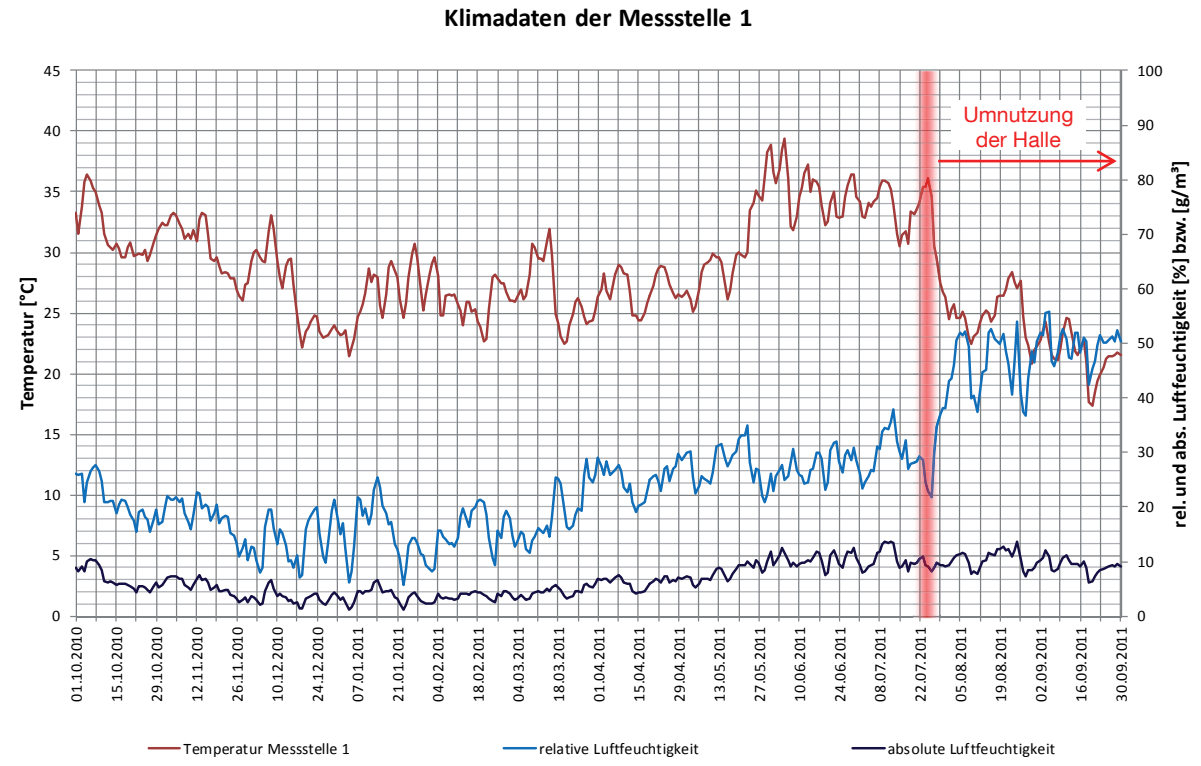
E2 Produktionshalle MW Racing Füssen



E2 Produktionshalle MW Racing Füssen

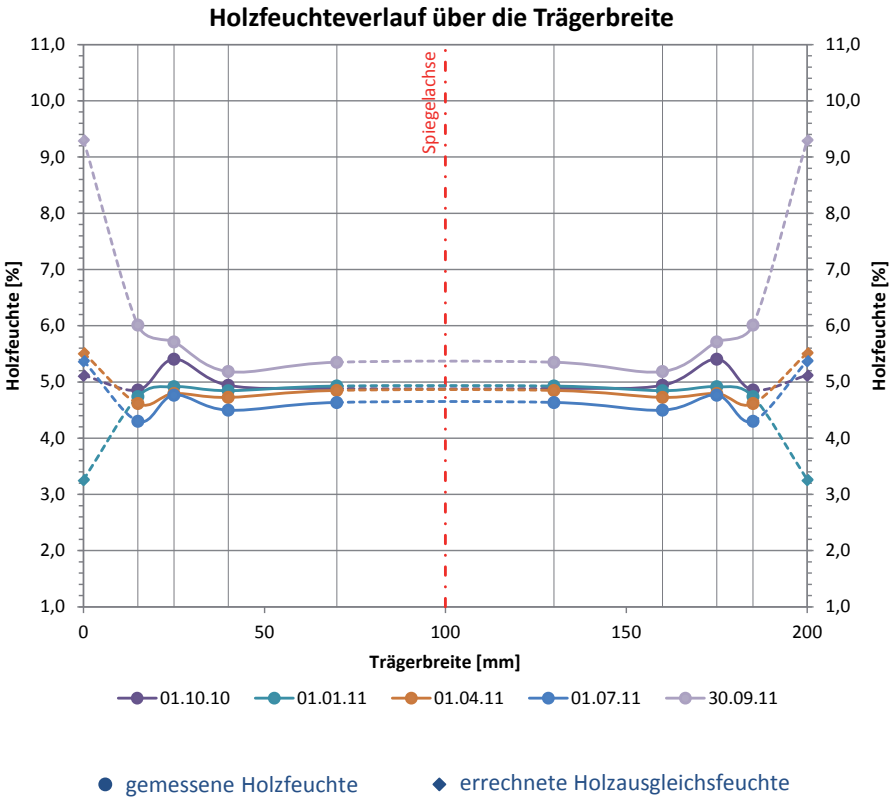
Messstelle 1: Im Firstbereich des Satteldachbinders

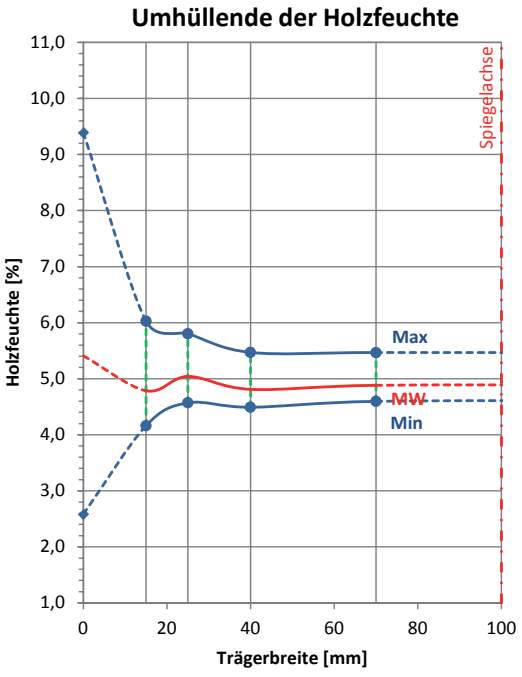


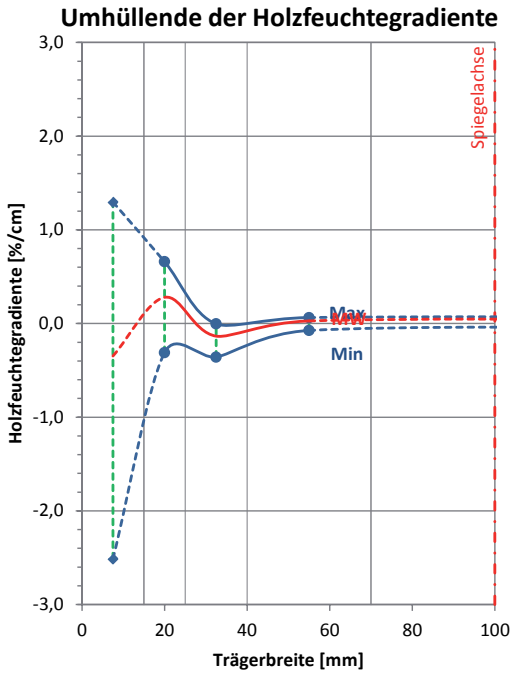


E2 Produktionshalle MW Racing Füssen

Messstelle 1: Im Firstbereich des Satteldachbinders

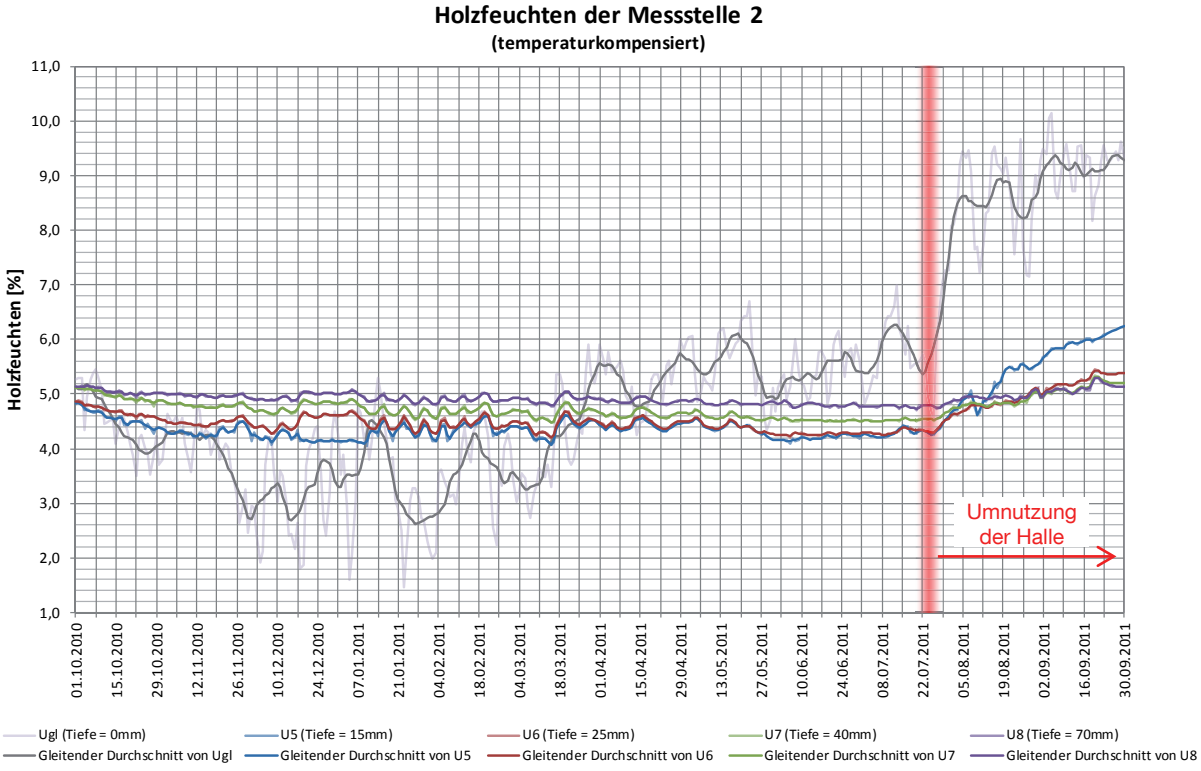


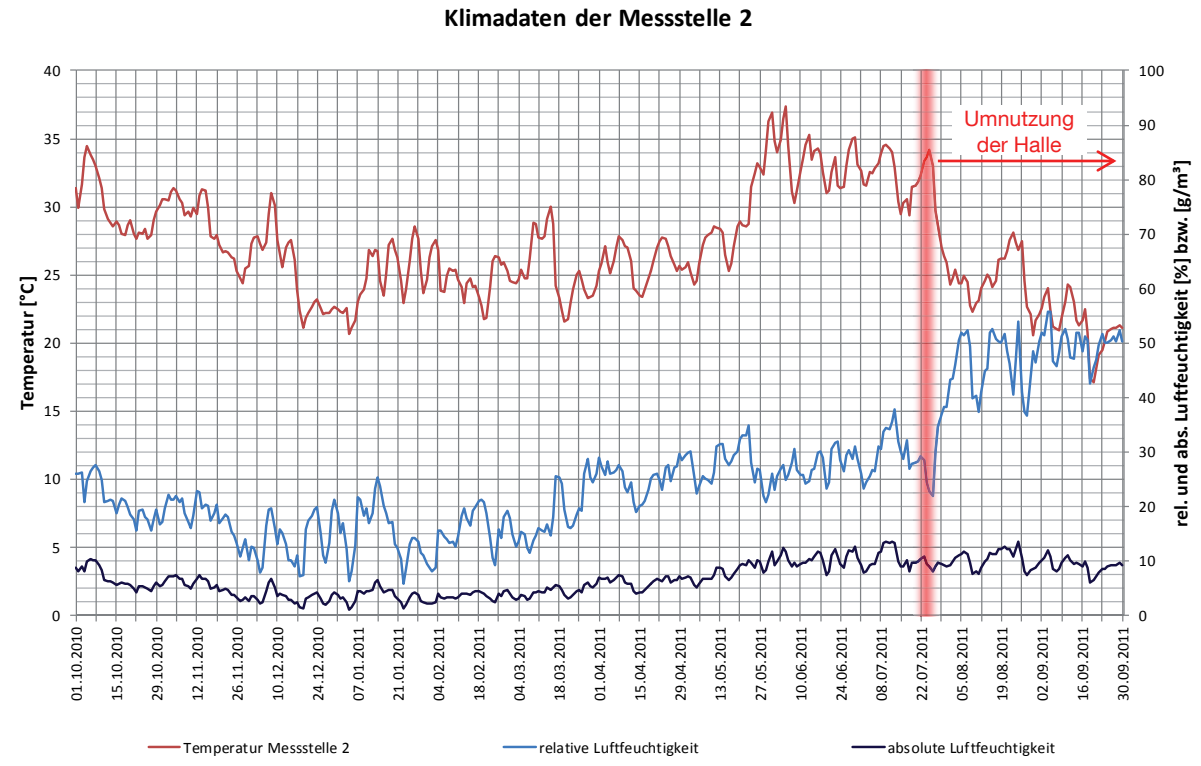




E2 Produktionshalle MW Racing Füssen

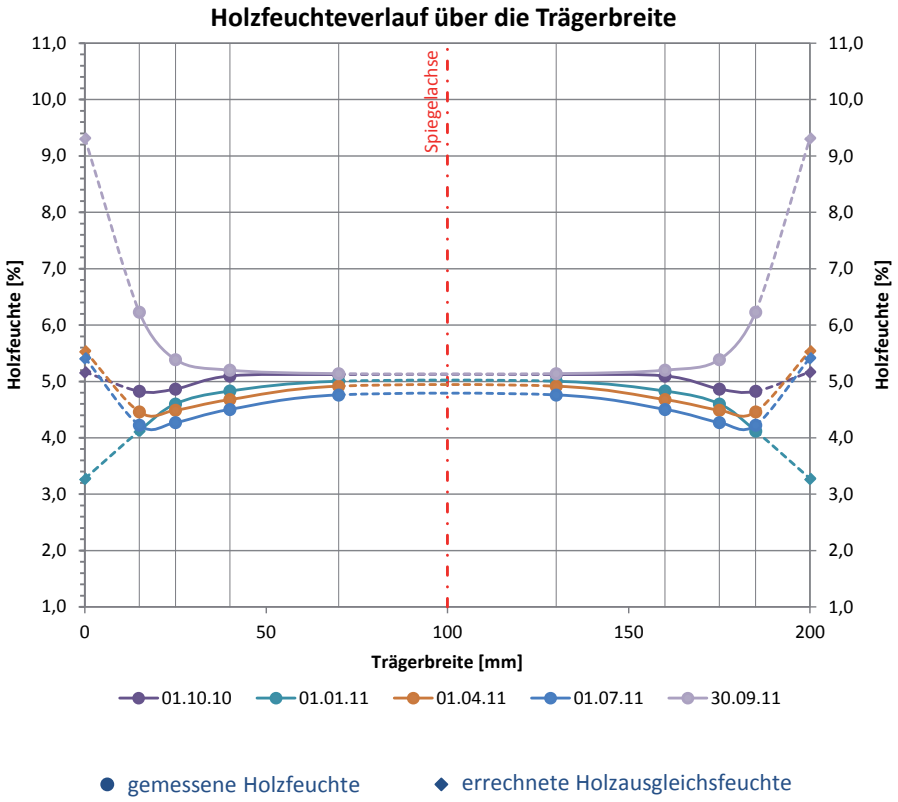
Messstelle 2: Im Traufbereich des Satteldachbinders

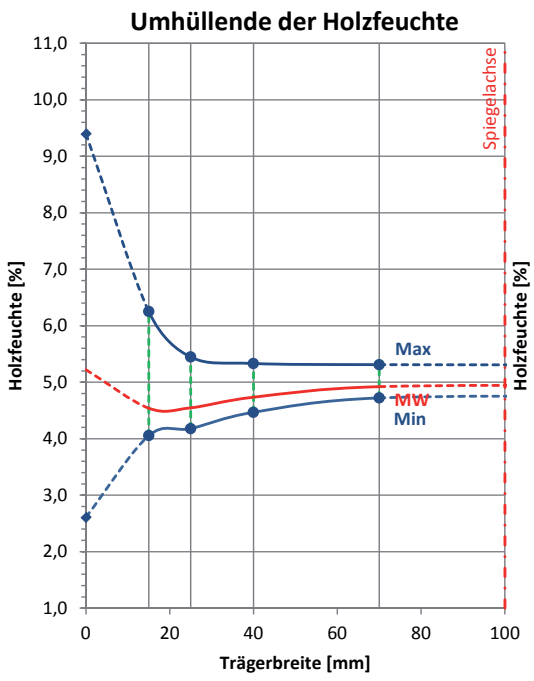


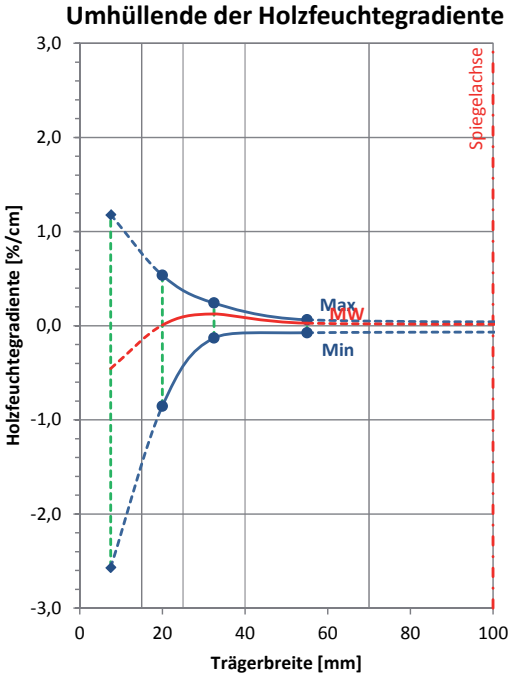


E2 Produktionshalle MW Racing Füssen

Messstelle 2: Im Traufbereich des Satteldachbinders







F1 Landwirtschaftsbetrieb Greis Roßhaupten

Anschrift: Fischhaus 5
87672 Roßhaupten

Ansprechpartner: Hr. Greis (vor Ort)

Anwesende vor Ort: Michael Merk, Andreas Gamper, Hr. Greis jun.

Installationsdatum: 07.09.2010, 12:30 - 14:15
Letztes Auslesedatum: 10.10.2011, 14:00 – 15:00

Umgebungsbedingungen: Einseitig offene Halle, ungeheizter, konstruktiv gedämmter Raum

Temperatur: 19,1°C; Luftfeuchte: 70,6 % (z.Zt. d. Installation)

Messstelle 1: Im Firstbereich
(Über Futtertisch im Einflussbereich des öffenbaren Lichtbandes)

Messstelle 2: Im Bereich der Zwischenauflager
(Über den Stallungen des Jungviehs zur Beurteilung des Einflusses des Feuchteeintrages durch das Vieh)

Sensor	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte GANN [%]	Messwert Mugrauer [10lg(Ω)]	Einstellwerte GANN	
u1	15	16,8	77,6	x–y: 6–5; 20°	Messstelle 1
u2	25	15,8	79,8	gemessene	
u3	40	15,6	81,2	Temperatur	
u4	70	14,8	84,1	t_1: 18,8°C	
u5	15	16,8	76,6	x–y: 6–5; 20°	Messstelle 2
u6	25	15,6	80,2	gemessene	
u7	40	14,1	85,0	Temperatur	
u8	70	14,2	85,1	t_2: 18,8°C	

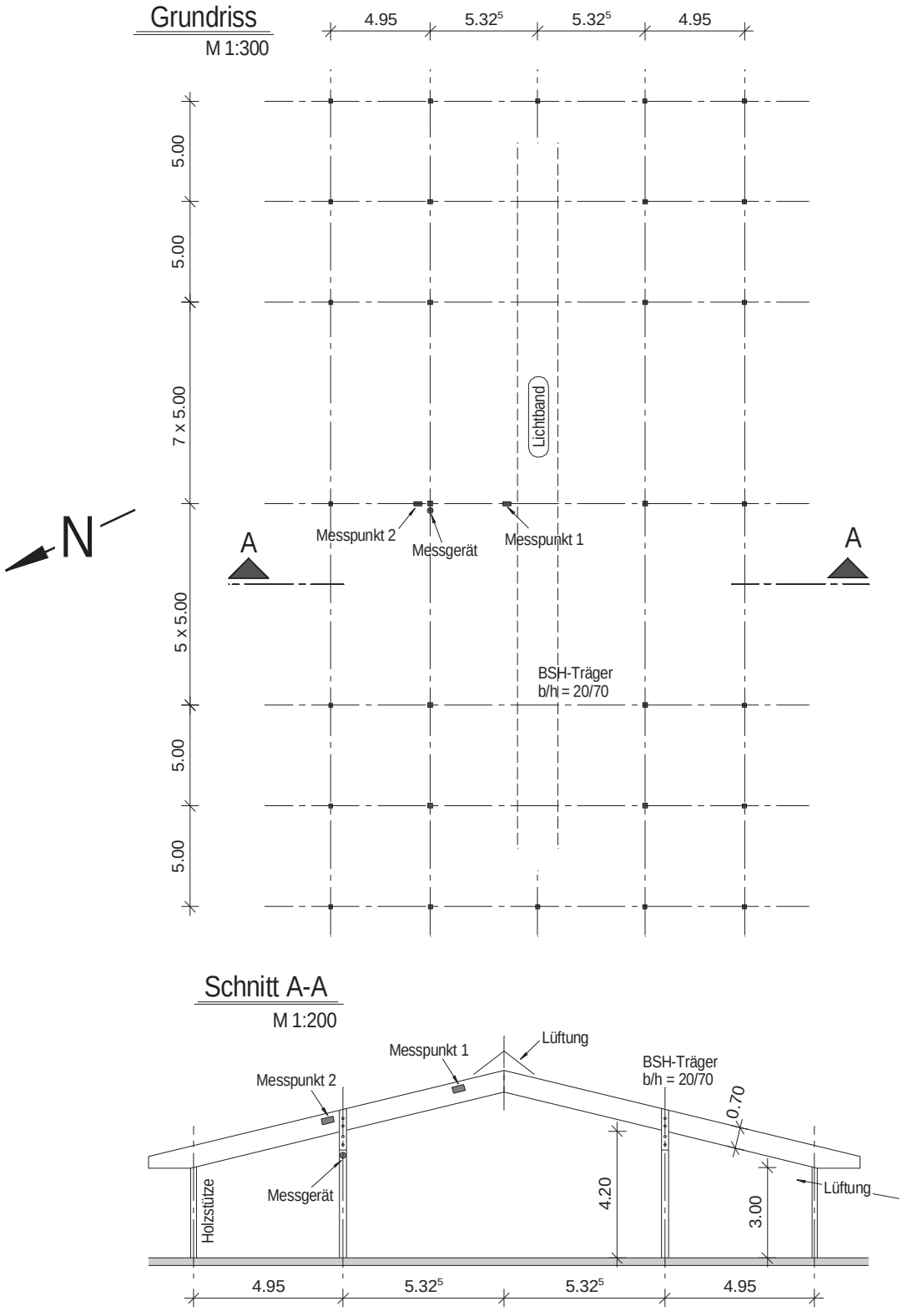
Tragsystem: Durchlaufträger, Feldlänge $\ell_1 = \ell_4 = 4{,}95$ m (im Grundmaß),
Feldlänge $\ell_2 = \ell_3 = 5{,}375$ m (im Grundmaß)

17 Achsen mit einem Trägerachsabstand $e = 5{,}0$ m

Trägerabmessungen $b/h = 20/70$ cm^2

Bauteile unbehandelt
(vorbehaltlich eines nicht mehr erkennbaren, farblosen, offenporigen Anstrichs)

Skizzen:


Grundriss
M 1:300
4.95
5.32⁵
5.32⁵
4.95
5.00
5.00
7 x 5.00
5 x 5.00
5.00
5.00
Lichtband
N
A
A
Messpunkt 2
Messgerät
Messpunkt 1
BSH-Träger
b/h = 20/70
Schnitt A-A
M 1:200
Messpunkt 1
Lüftung
Messpunkt 2
BSH-Träger
b/h = 20/70
0.70
Messgerät
Holzstütze
4.20
3.00
Lüftung
4.95
5.32⁵
5.32⁵
4.95

Bilder:

Abbildung F1-1: Ansicht Tragwerk

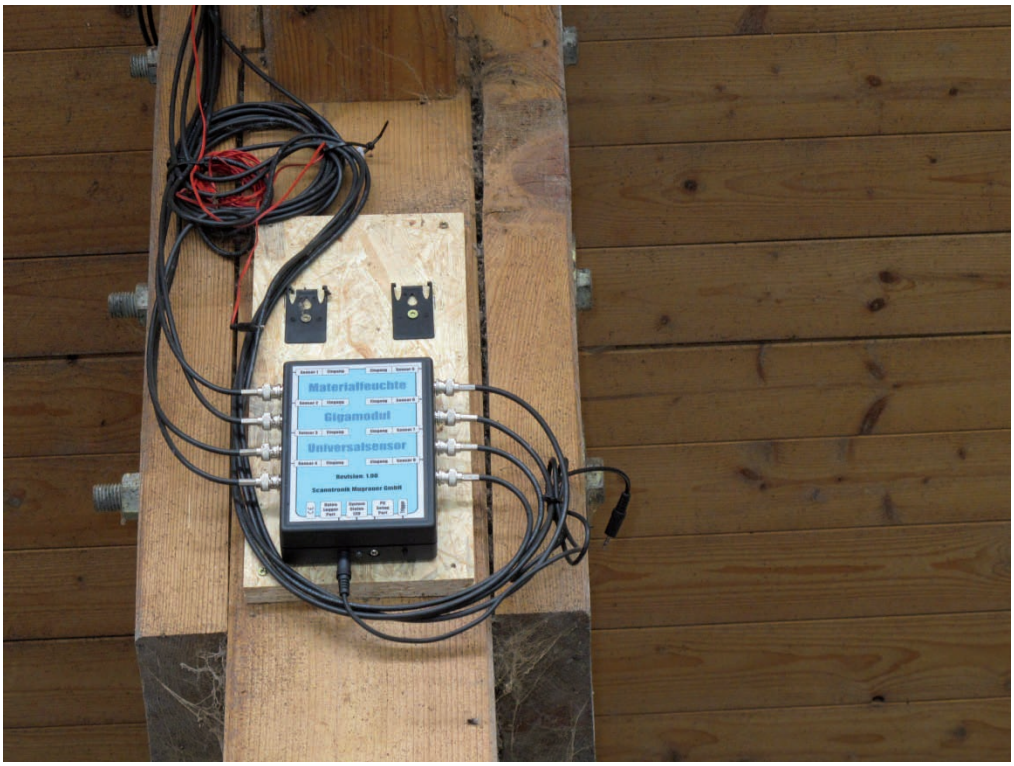


Abbildung F1-2: Ansicht Messstation

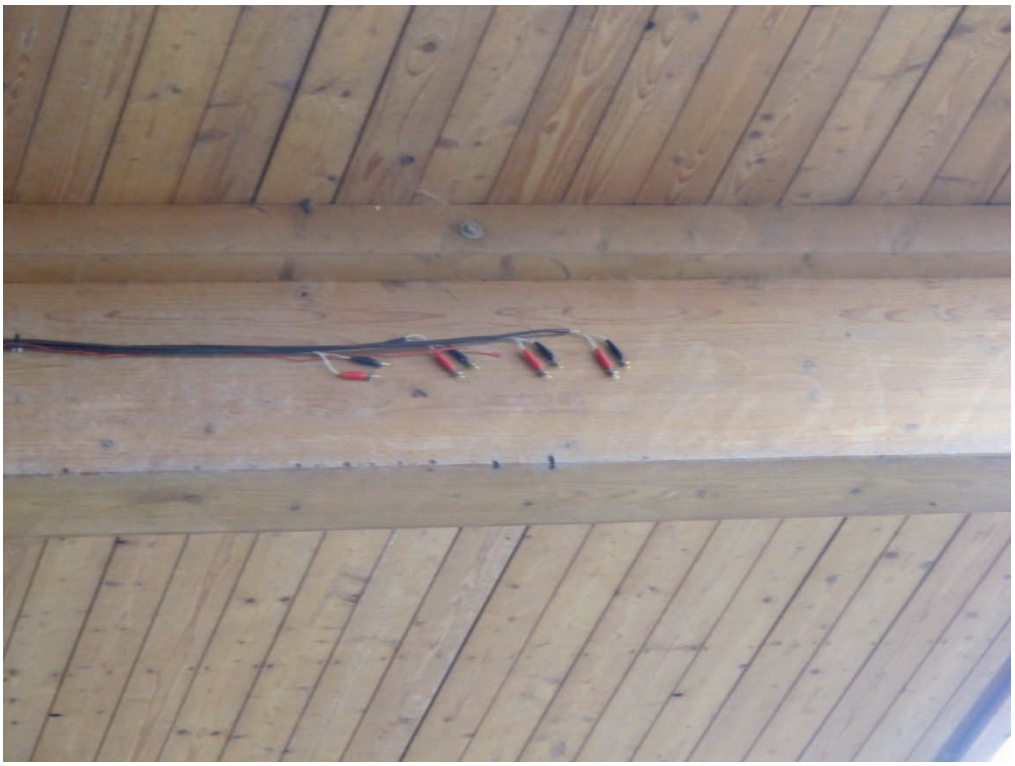


Abbildung F1-3: Ansicht Messstelle 1

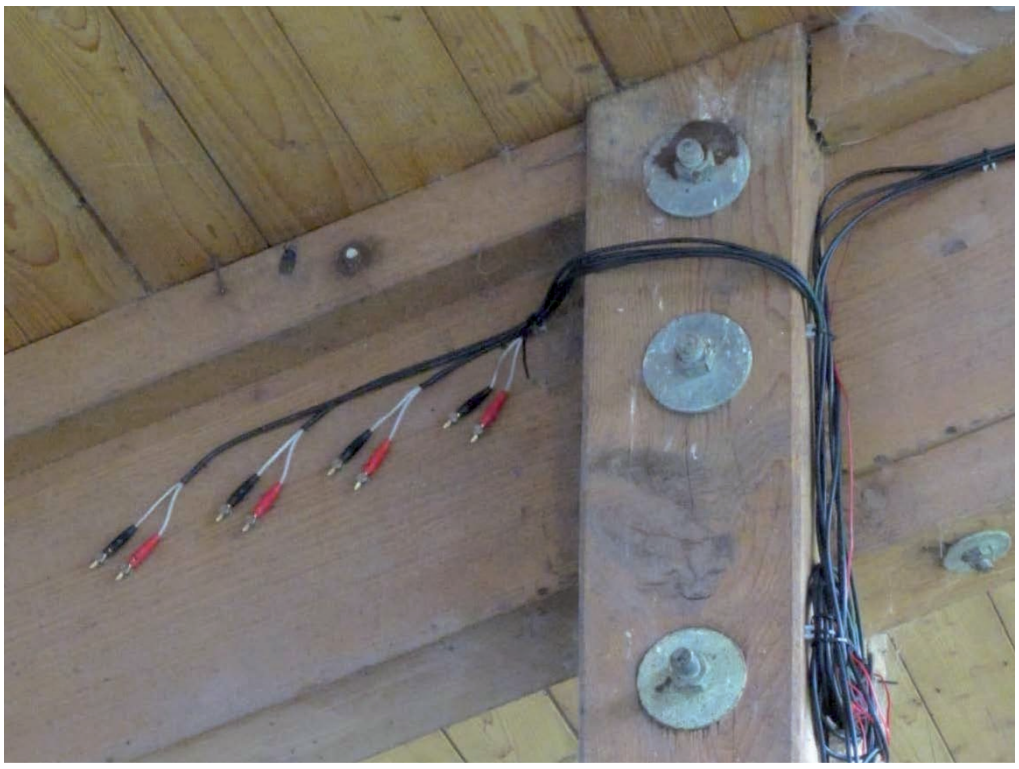
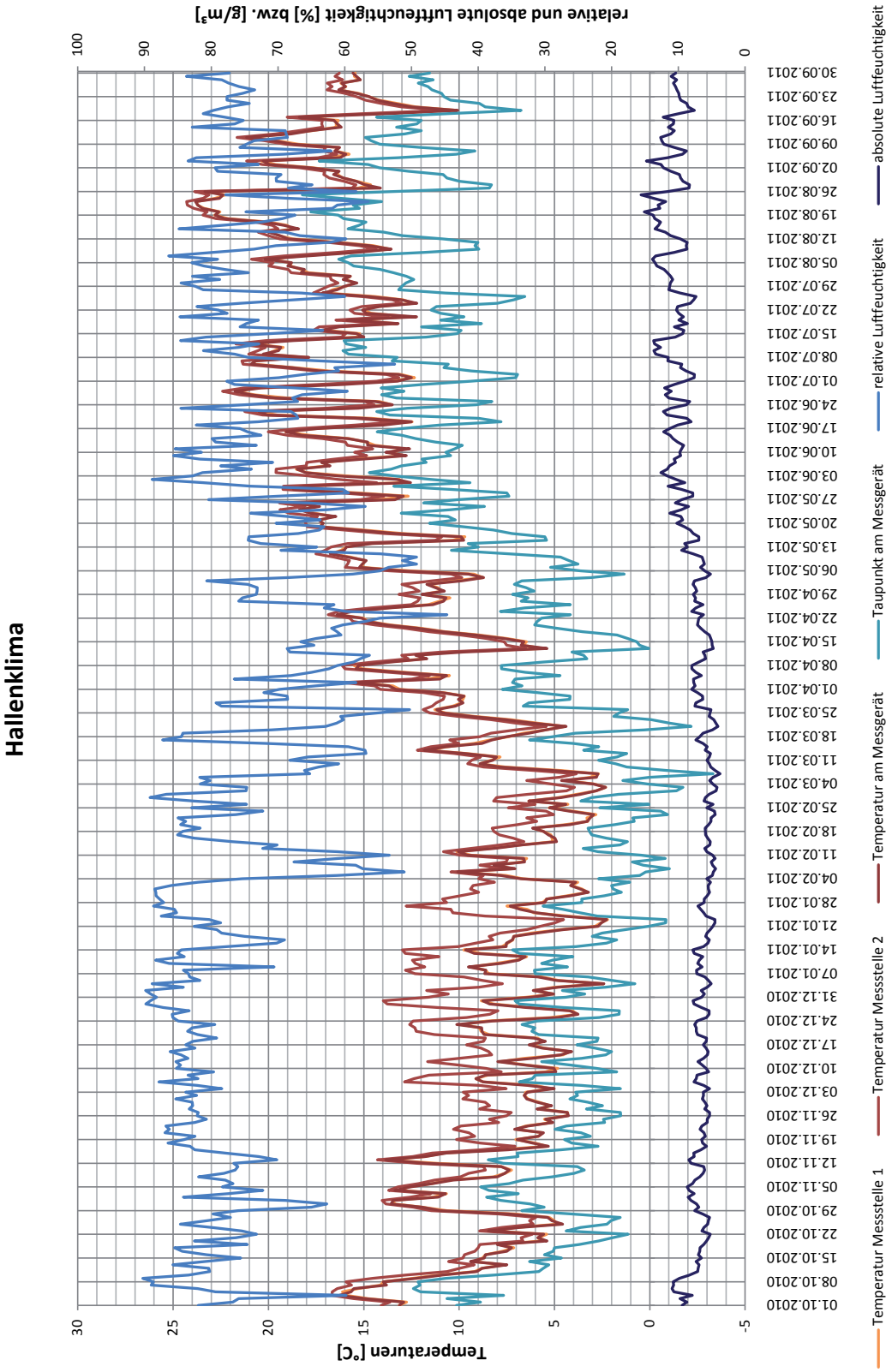


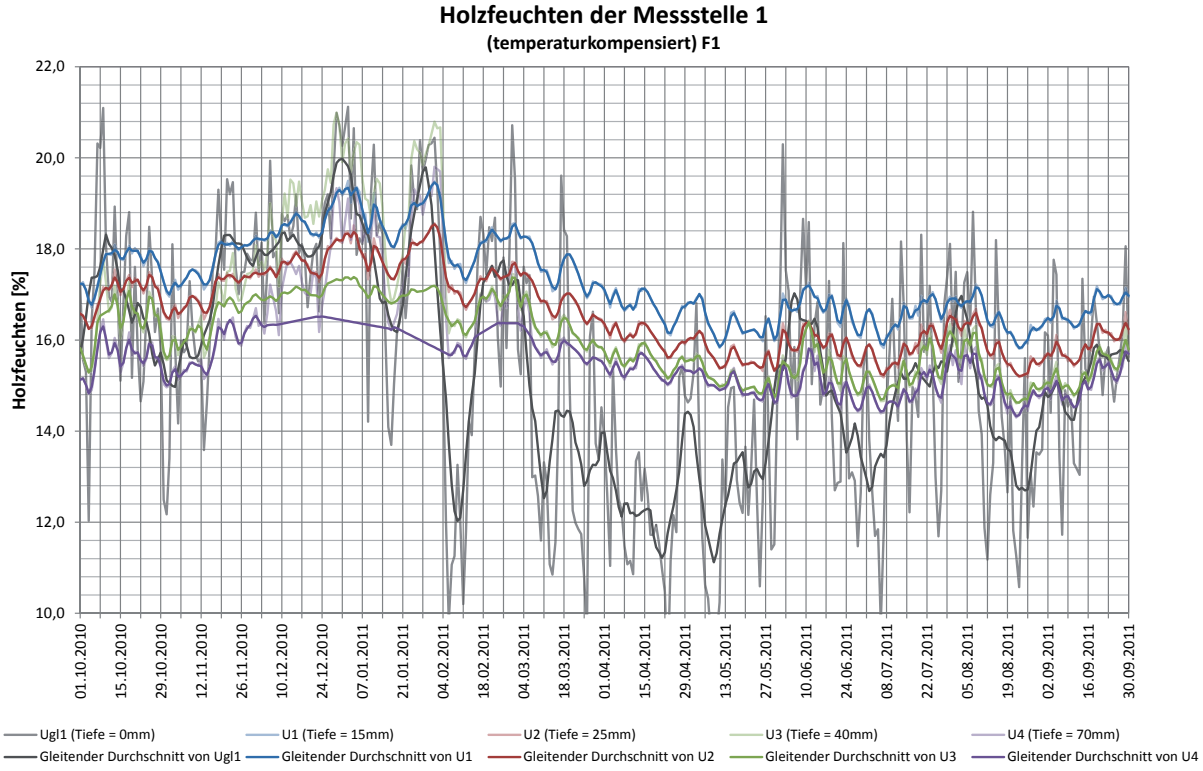
Abbildung F1-4: Ansicht Messstelle 2

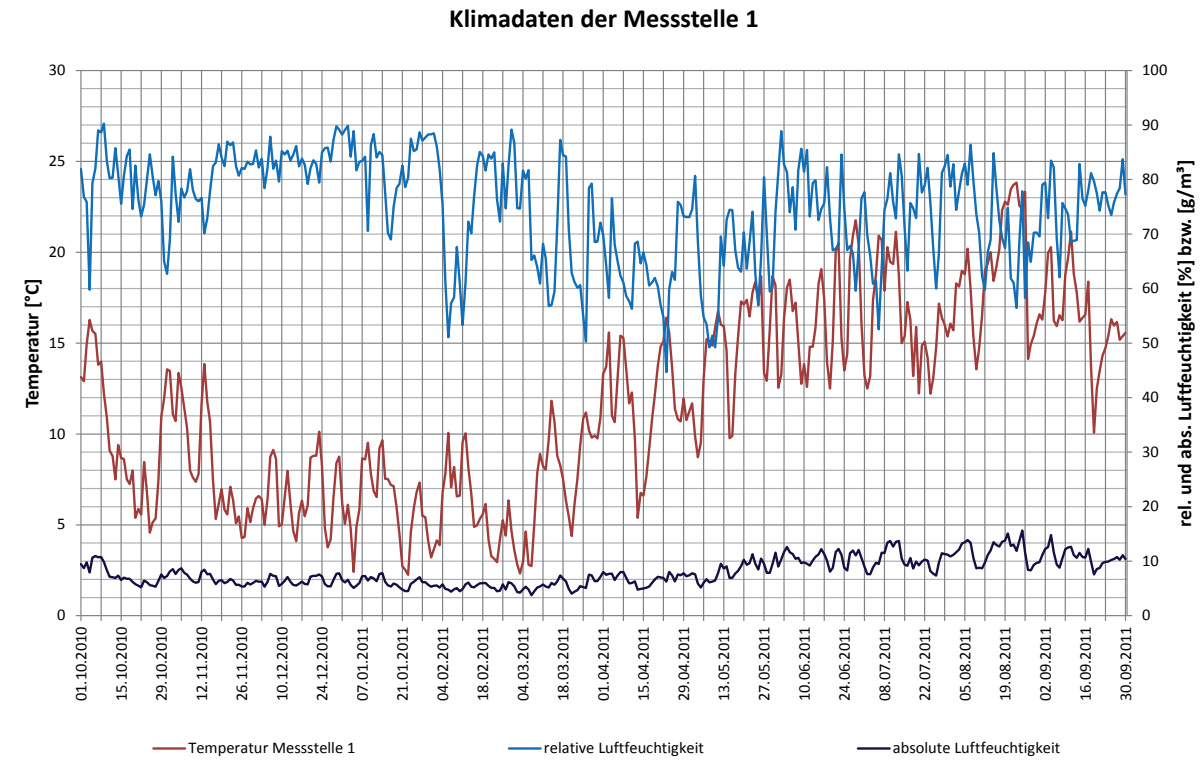
F1 Landwirtschaftsbetrieb Greis Roßhaupten



F1 Landwirtschaftsbetrieb Greis Roßhaupten

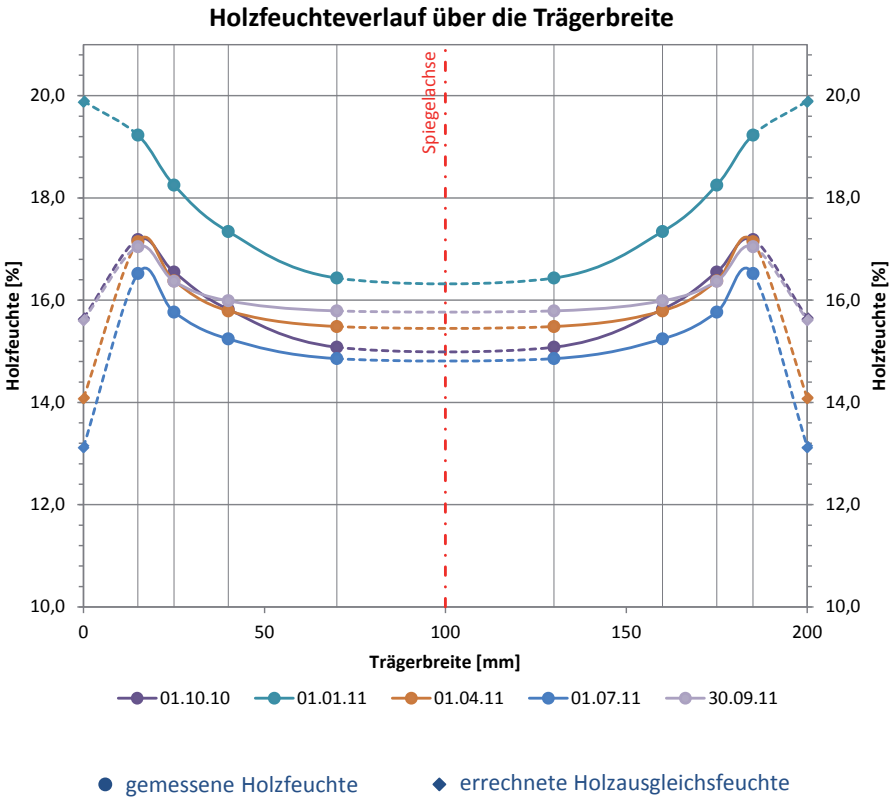
Messstelle 1: Im Firstbereich

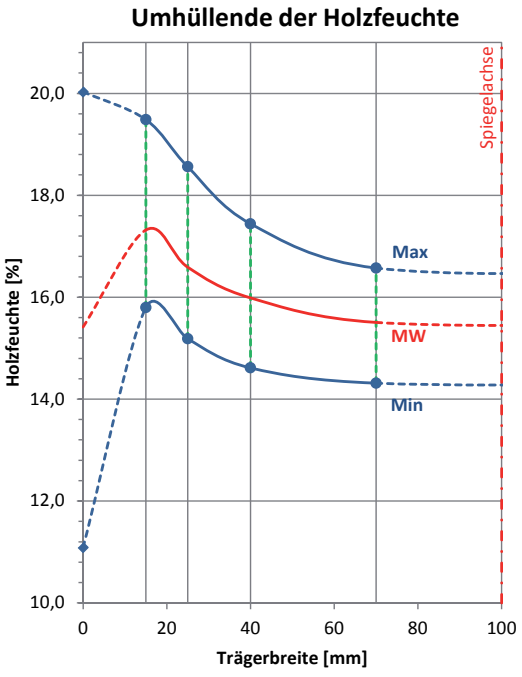


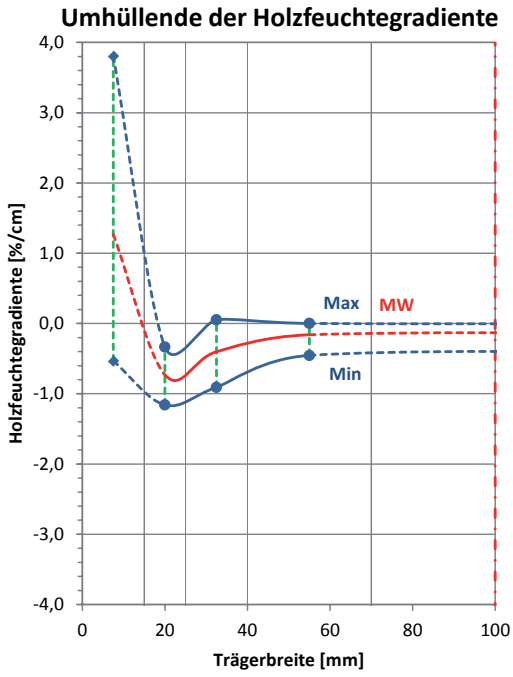


F1 Landwirtschaftsbetrieb Greis Roßhaupten

Messstelle 1: Im Firstbereich

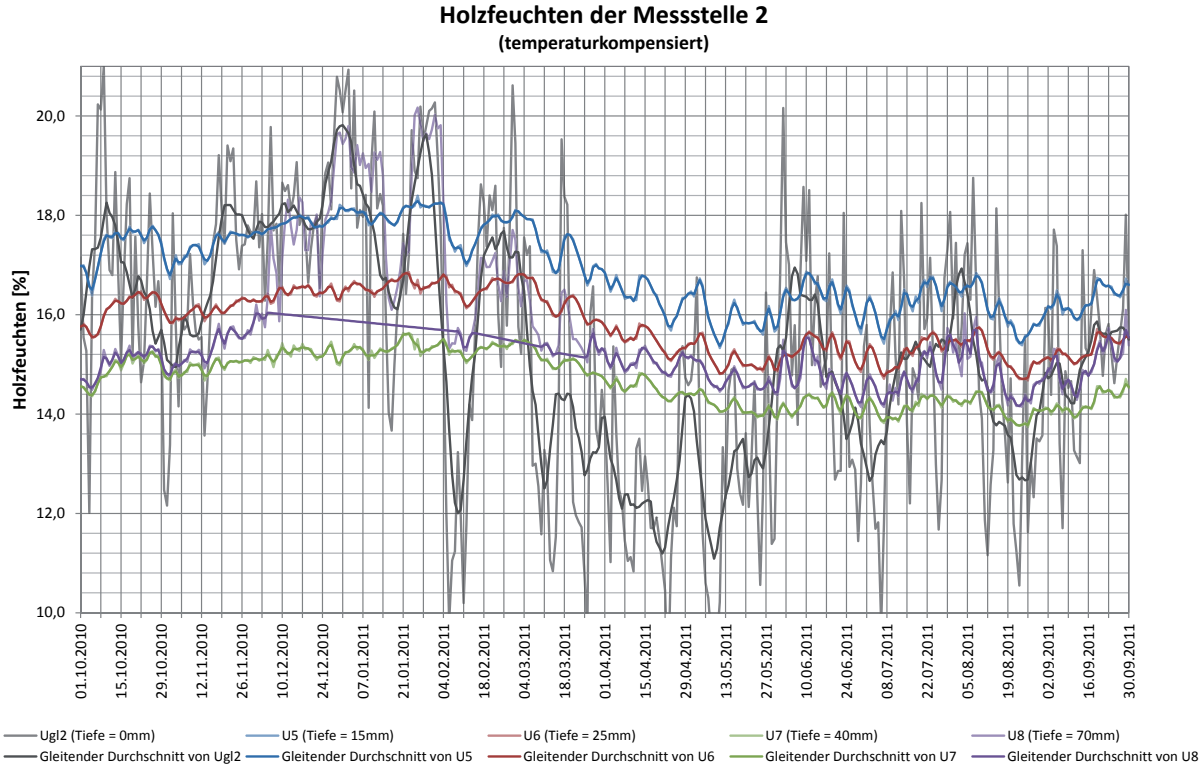


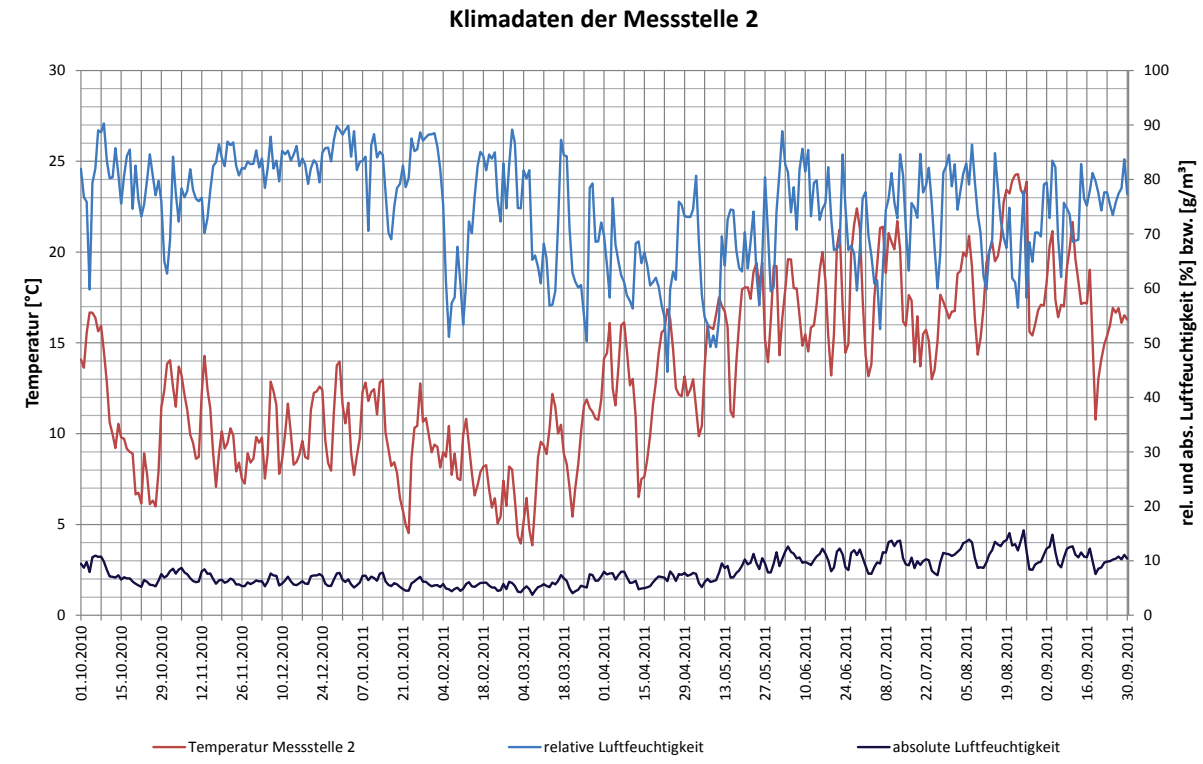




F1 Landwirtschaftsbetrieb Greis Roßhaupten

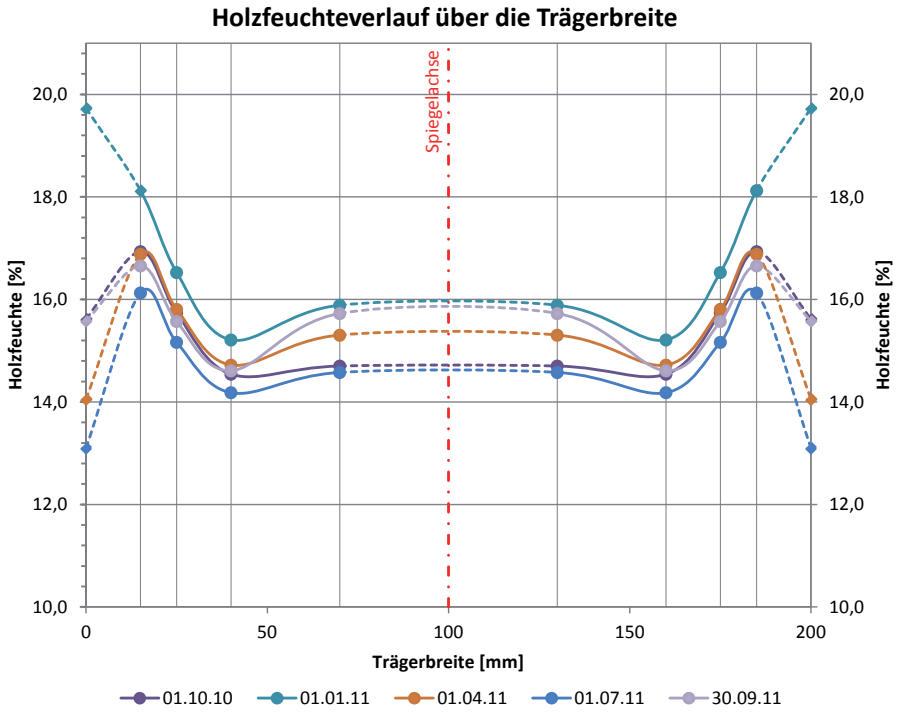
Messstelle 2: Im Bereich der Zwischenauflager

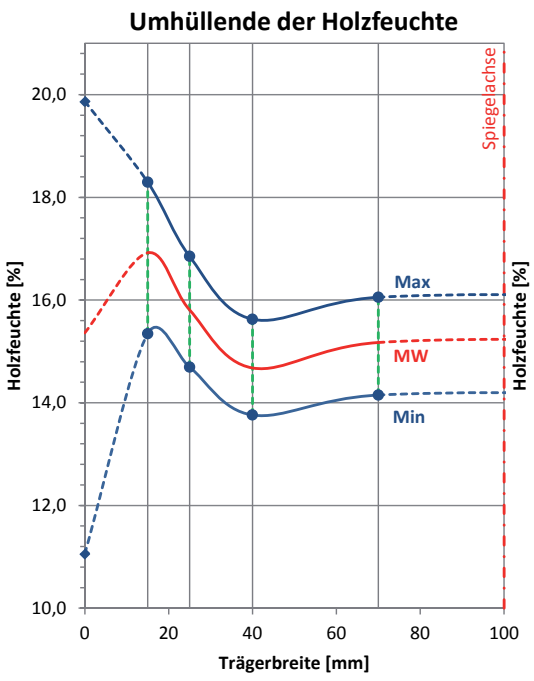


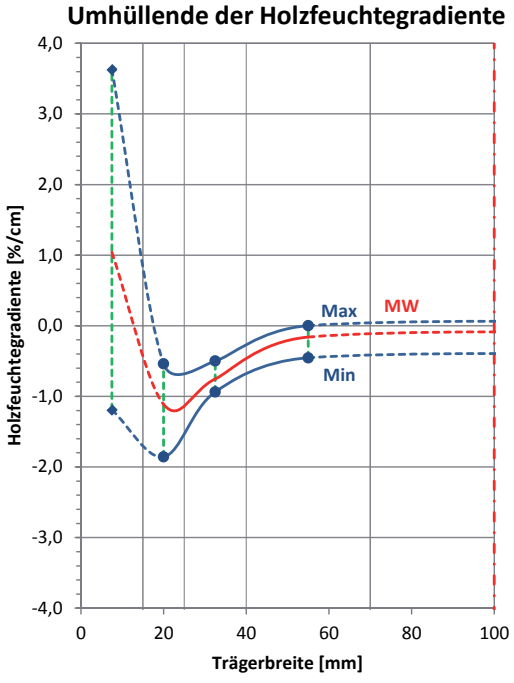


F1 Landwirtschaftsbetrieb Greis Roßhaupten

Messstelle 2: Im Bereich der Zwischenauflager







F2 Landwirtschaftsbetrieb Mair Roßhaupten

Anschrift: Tiefenbruggerstr. 10
87672 Roßhaupten

Ansprechpartner: Hr. Christian Mair (vor Ort)

Anwesende vor Ort: Michael Merk, Andreas Gamper, Hr. Mair

Installationsdatum: 07.09.2010, 12:30 - 14:30
Letztes Auslesedatum: 10.10.2011, 12:00 – 13:00

Umgebungsbedingungen: Einseitig offene Halle, ungeheizter, konstruktiv gedämmter Raum

Temperatur: 16,5°C; Luftfeuchte: 86,2 % (z.Zt. d. Installation)

Messstelle 1: Im Firstbereich, unter Lichtband im Bereich der Lüftungsöffnungen (Direkt über den Stallungen des Viehs, in Einflussbereich des Lichtbandes das auch zur Lüftung genutzt wird)

Messstelle 2: Zwischen den Zwischenabstützungen, 5 m über dem Futtertisch (Regelbereich über Futtertisch, Referenz zu Messstelle 2)

Sensor	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte GANN [%]	Messwert Mugrauer [10lg(Ω)]	Einstellwerte GANN	
u1	15	15,9	79,4	x–y: 6–5; 15°	Messstelle 1
u2	25	14,0	85,6	Gemessene	
u3	40	13,9	86,1	Temperatur	
u4	70	13,4	88,2	t_1: 16,4°C	
u5	15	15,8	82,5	x–y: 6–5; 20°	Messstelle 2
u6	25	15,7	83,0	gemessene	
u7	40	15,3	84,0	Temperatur	
u8	70	15,1	85,1	t_2: 19,3°C	

Tragsystem: Durchlaufträger
Feldlänge ℓ_1 = 5,65 m (im Grundmaß); ℓ_2 = 5,40 m (im Grundmaß)
Feldlänge ℓ_3 = 6,50 m (im Grundmaß); ℓ_4 = 12,75 m (im Grundmaß)

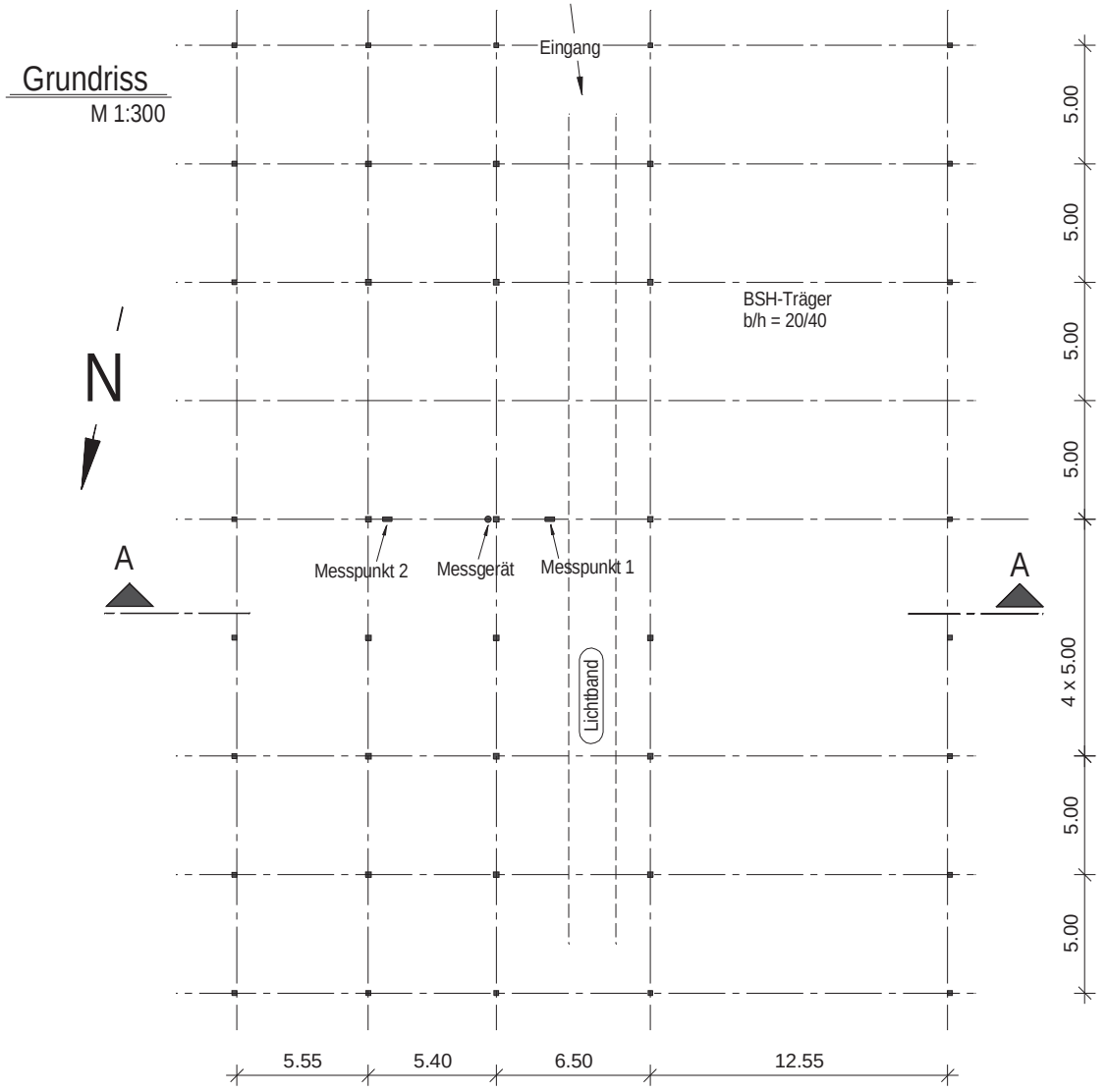
11 Achsen mit einem Trägerachsabstand e = 5,00

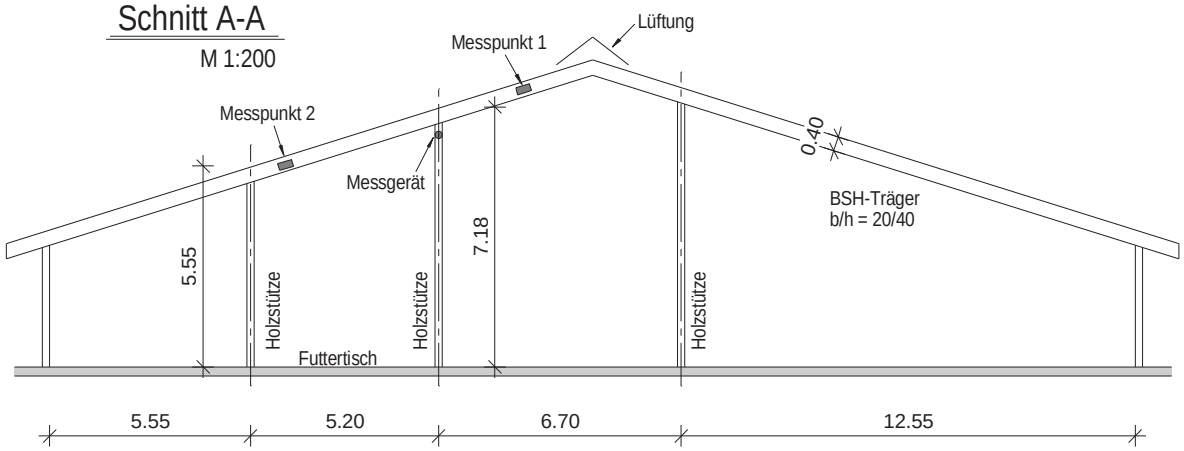
Lamellenstärke t = 40 mm

Trägerabmessungen b/h = 20/40

Bauteile unbehandelt
(vorbehaltlich eines nicht mehr erkennbaren, farblosen, offenporigen Anstrichs)

Skizzen:


Grundriss
M 1:300
Eingang
BSH-Träger
b/h = 20/40
N
A
A
Messpunkt 2
Messgerät
Messpunkt 1
Lichtband
5.00
5.00
5.00
5.00
4 x 5.00
5.00
5.00
5.55
5.40
6.50
12.55


Schnitt A-A
M 1:200
Lüftung
Messpunkt 1
Messpunkt 2
Messgerät
0.40
BSH-Träger
b/h = 20/40
5.55
7.18
Holzstütze
Holzstütze
Holzstütze
Futtertisch
5.55
5.20
6.70
12.55

Bilder:

Abbildung F2-1: Ansicht Tragwerk

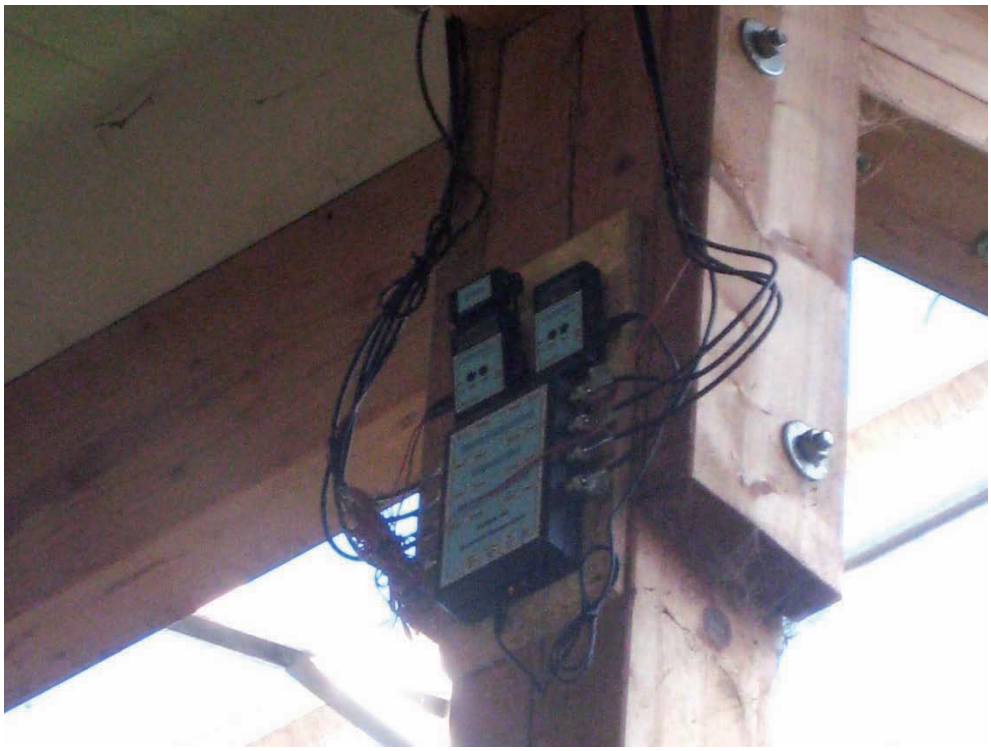


Abbildung F2-2: Ansicht Messstation

Abbildung F2-3: Ansicht Messstelle 1

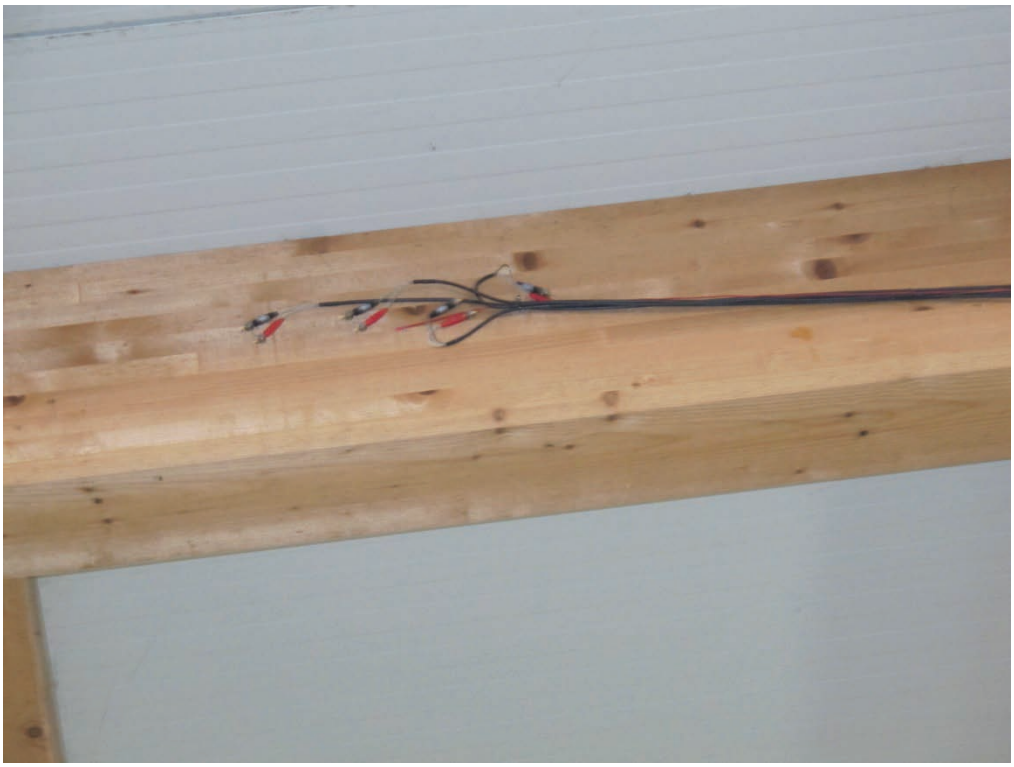
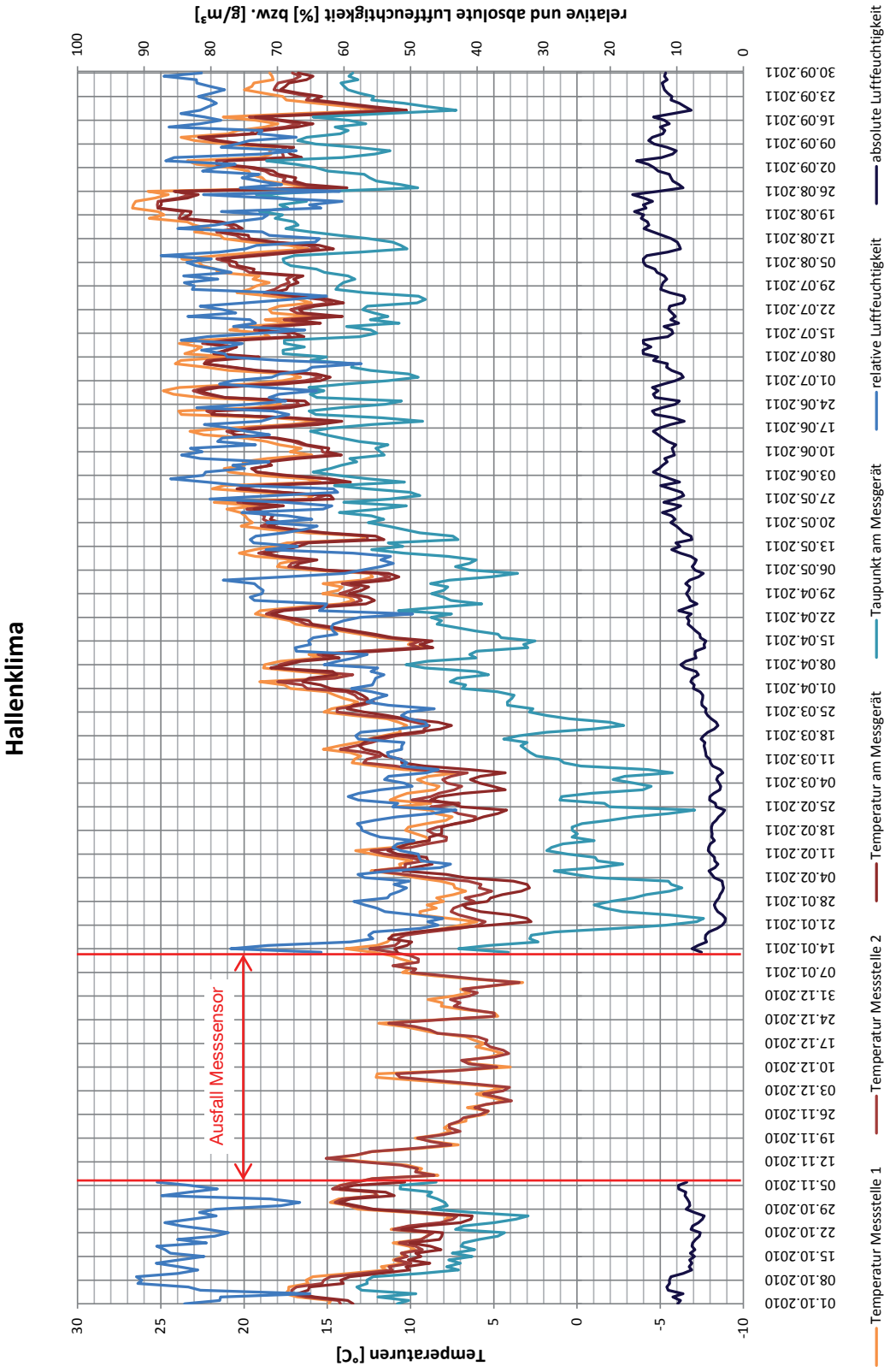


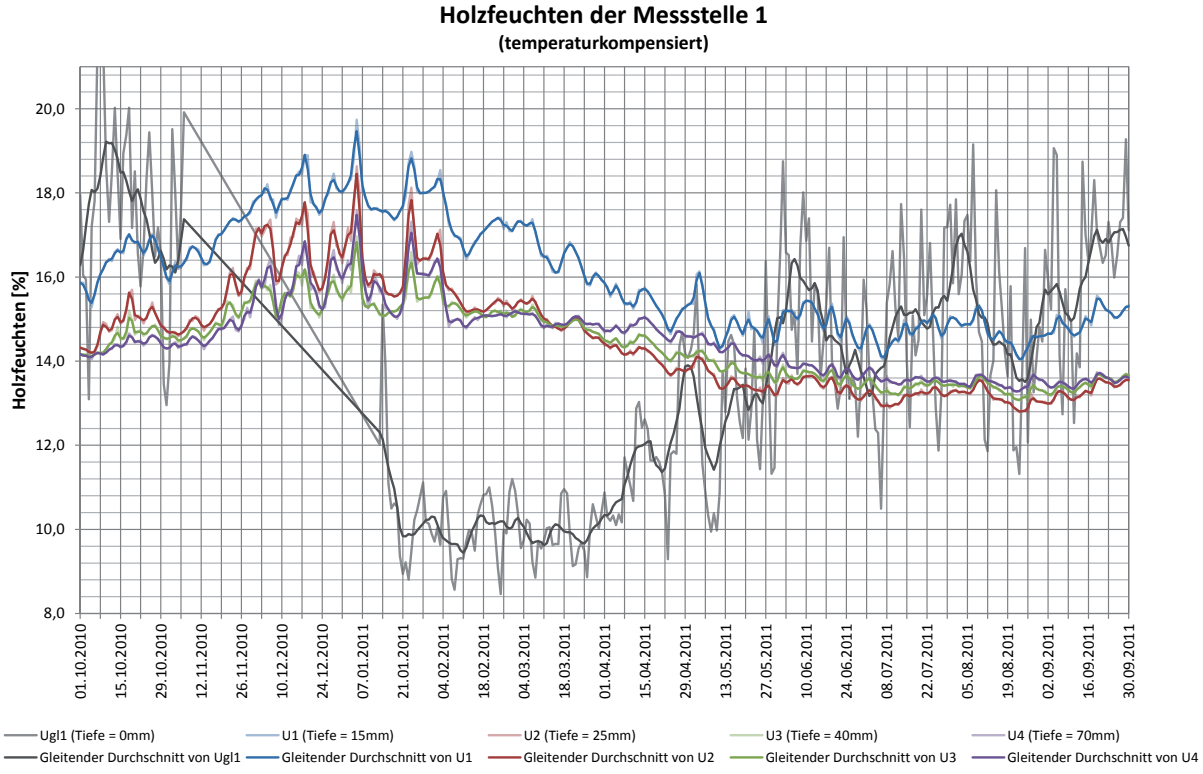
Abbildung F2-4: Ansicht Messstelle 2

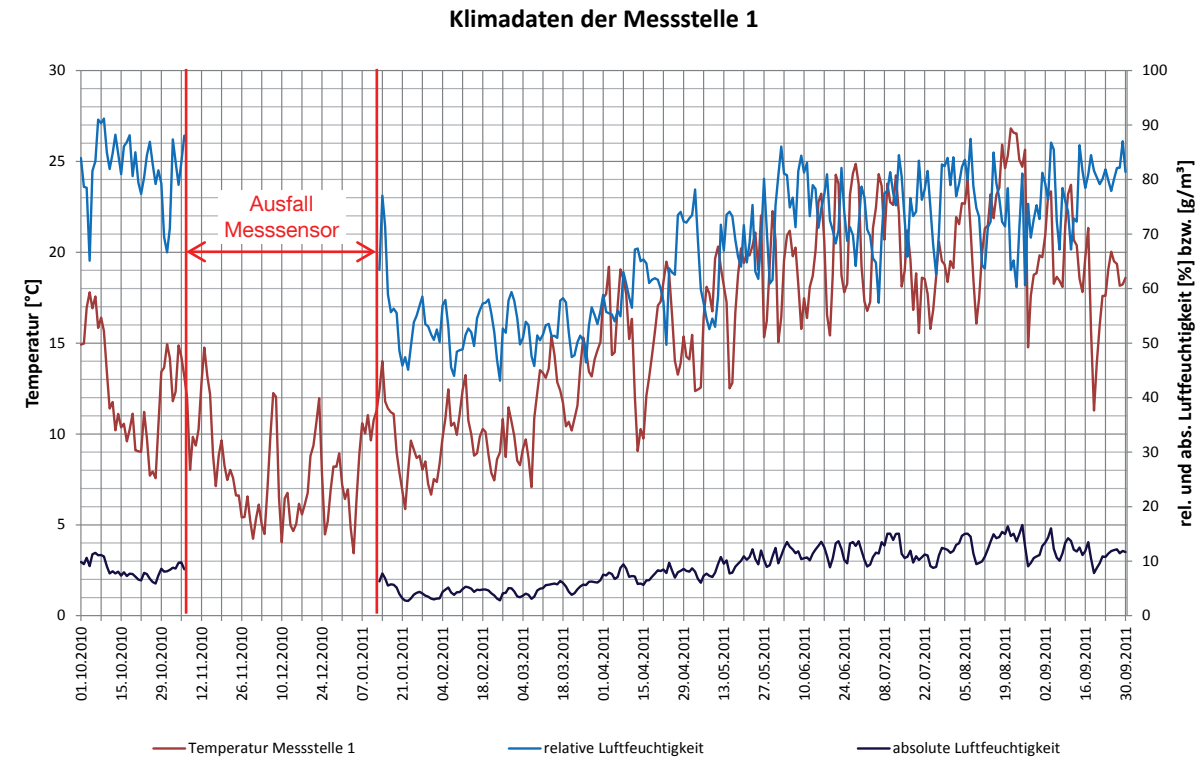
F2 Landwirtschaftsbetrieb Mair Roßhaupten



F2 Landwirtschaftsbetrieb Mair Roßhaupten

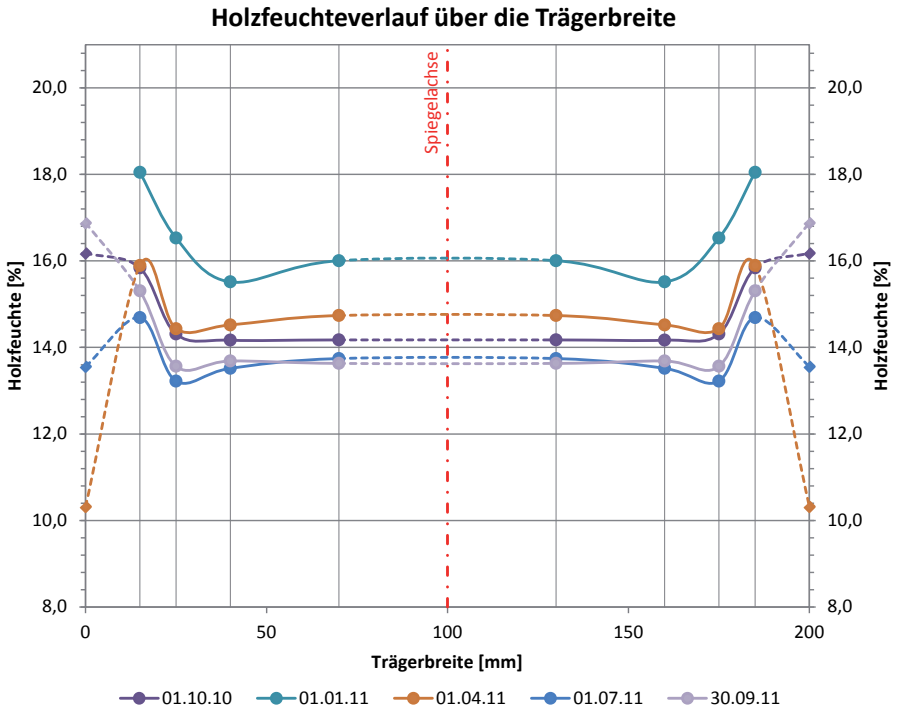
Messstelle 1: Im Firstbereich, unter Lichtband im Bereich Lüftung

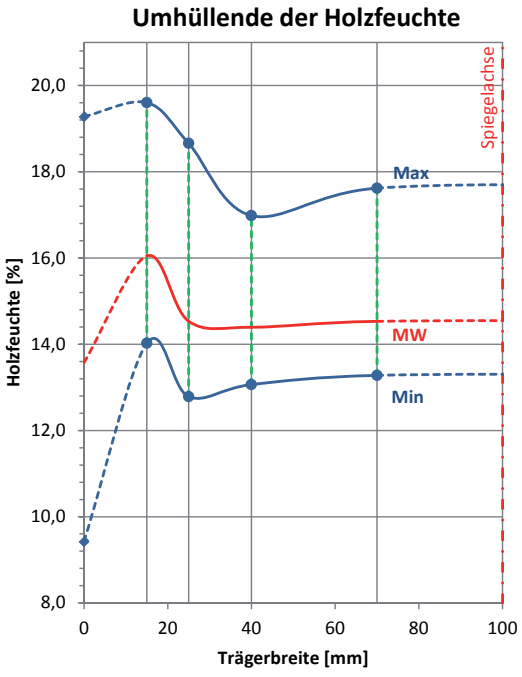


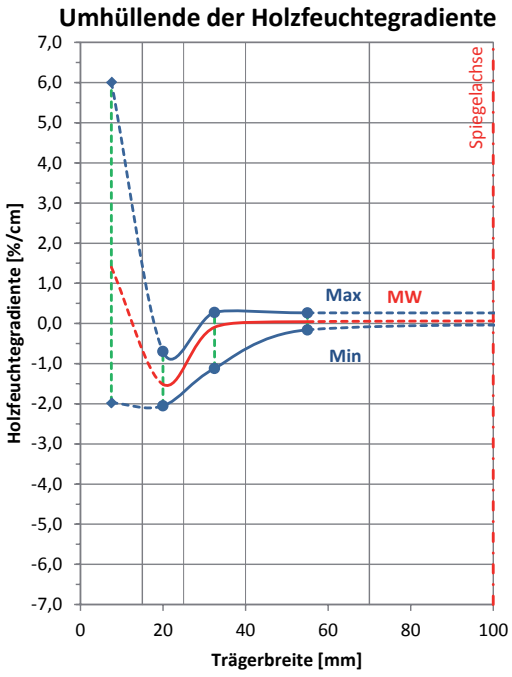


F2 Landwirtschaftsbetrieb Mair Roßhaupten

Messstelle 1: Im Firstbereich, unter Lichtband im Bereich Lüftung

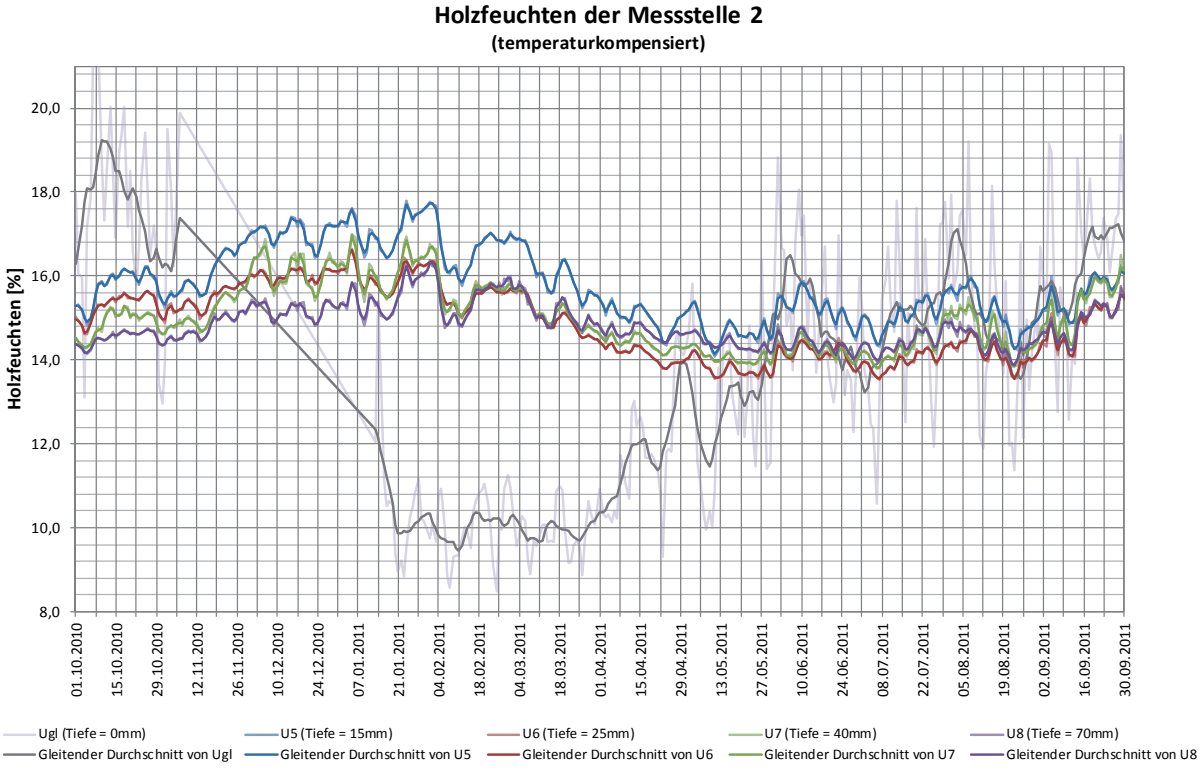


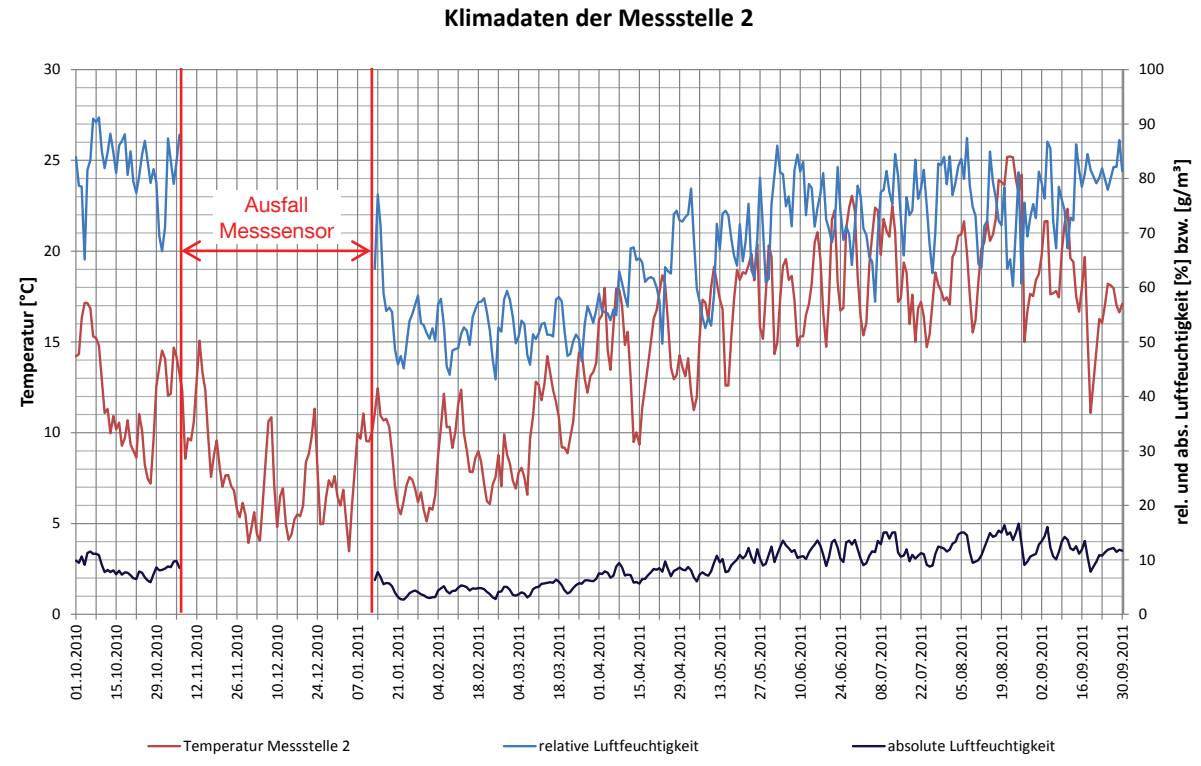




F2 Landwirtschaftsbetrieb Mair Roßhaupten

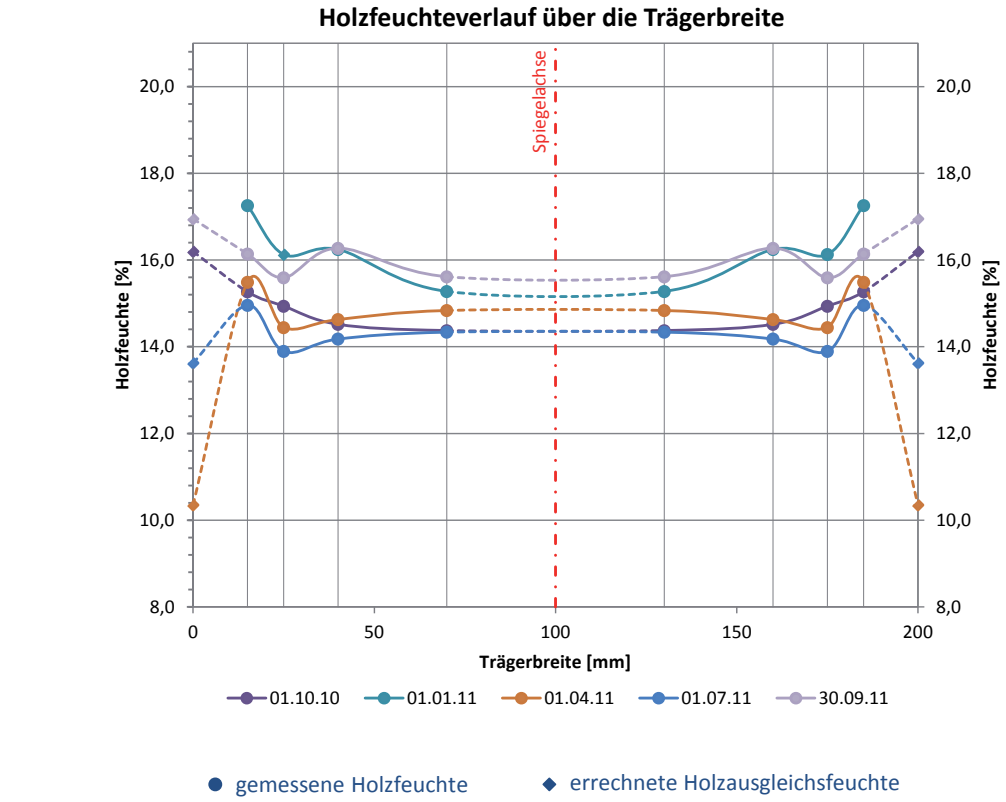
Messstelle 2: Zwischen den Zwischenabstützungen, 5 m über dem Futtertisch

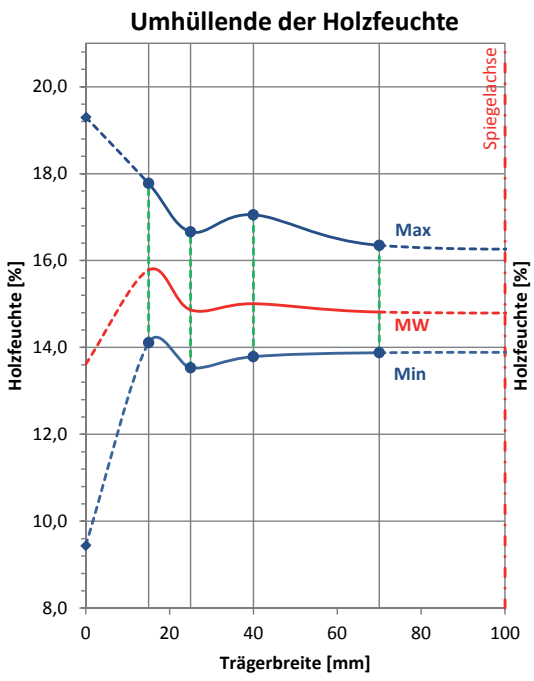


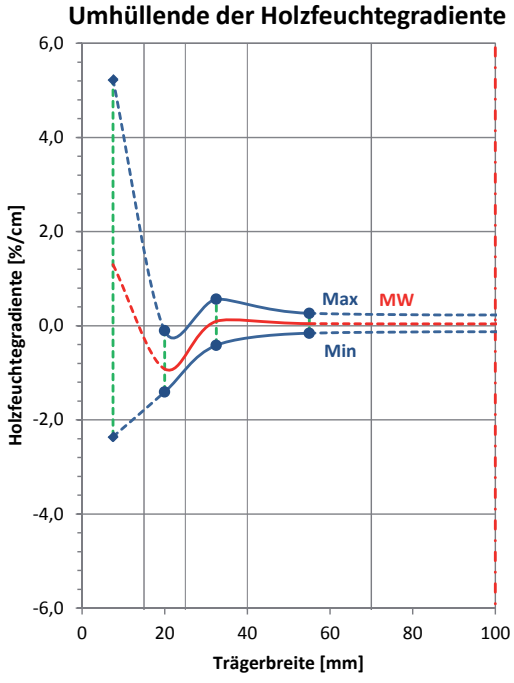


F2 Landwirtschaftsbetrieb Mair Roßhaupten

Messstelle 2: Zwischen den Zwischenabstützungen, 5 m über dem Futtertisch







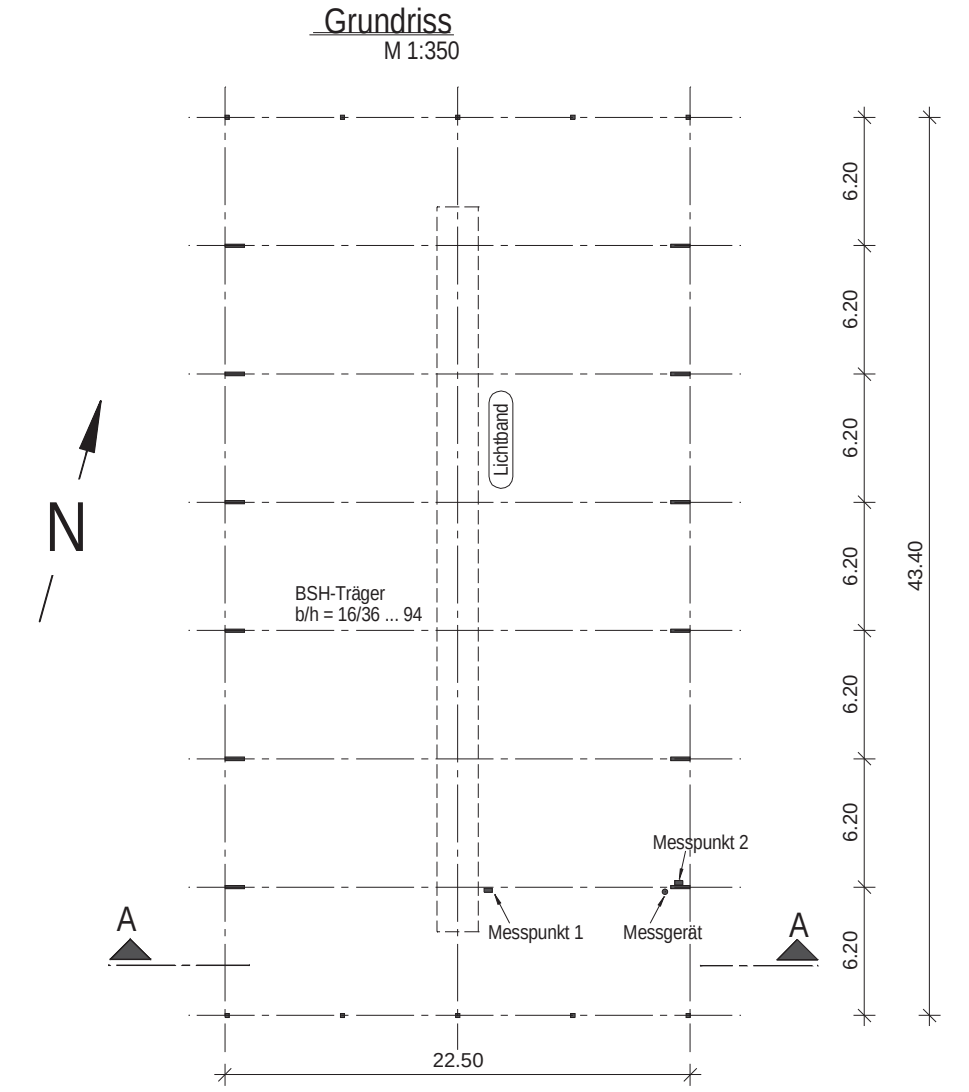
F3 Schmitz – Kälberzentrum Buchloe

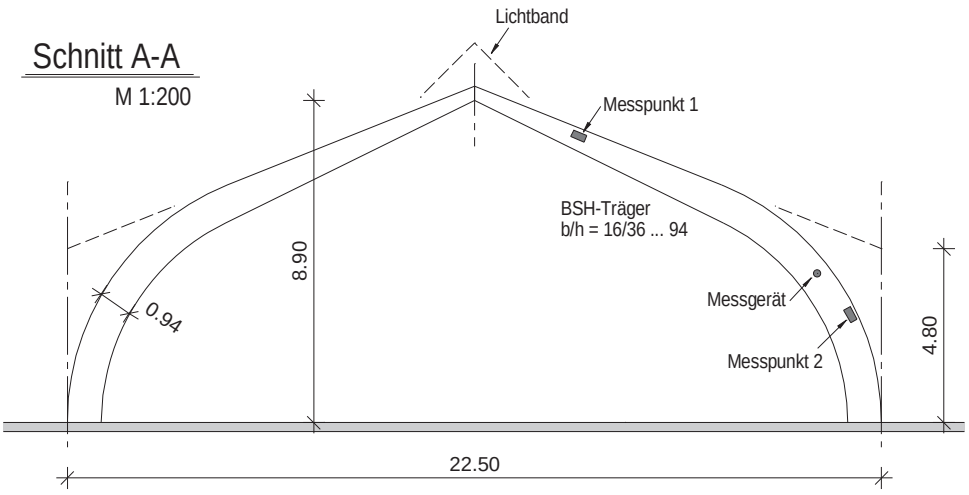
Anschrift:	Joh.-Jos.-Schmitz-Straße 1 86807 Buchloe
Ansprechpartner:	Herr Andreas Schmitz
Anwesende vor Ort:	Philipp Dietsch, Andreas Gamper, Herr Andreas Schmitz
Installationsdatum: Letztes Auslesedatum:	01.09.2010, 13:00 - 16:00 10.10.2011, 08:00 – 08:30
Umgebungsbedingungen:	Allseitig geschlossene, konstruktiv gedämmte Halle, Tore jedoch häufig geöffnet Temperatur: 15,6°C; Luftfeuchte: 57,0 % (z.Zt. d. Installation)
Messstelle 1:	Im Firstbereich, Nähe Lampenaufhängung; (Zur Erfassung des Regelbereiches über den Stallungen des Viehs)
Messstelle 2:	In Traufbereich, beim Tor an Rückseite des Trägers neben Tor; (möglicher Einfluss der Toröffnung, Referenz zu Messstelle 1)

Sensor	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte GANN [%]	Messwert Mugrauer [10lg(Ω)]	Einstellwerte GANN	
u1	15	16,5	80,2	x–y: 6–5; 15°	Messstelle 1
u2	25	14,6	86,1	gemessene	
u3	40	13,5	89,7	Temperatur	
u4	70	13,1	90,9	t_1: 15,9°C	
u5	15	17,2	77,6	x–y: 6–5; 15°	Messstelle 2
u6	25	15,6	82,4	gemessene	
u7	40	14,4	86,6	Temperatur	
u8	70	14,1	87,5	t_2: 15,6°C	

Statisches System:	Dreigelenkbogen, Spannweite ℓ = 22,50 m 8 Achsen mit einem Trägerachsabstand e = 6,20 m Trägerabmessungen b/h = 16/36 … 94 cm² Lamellenstärke t = 30 mm Bauteile unbehandelt (vorbehaltlich eines nicht mehr erkennbaren, farblosen, offenporigen Anstrichs)

Skizzen:


Grundriss
M 1:350
N
Lichtband
BSH-Träger
b/h = 16/36 ... 94
Messpunkt 2
Messpunkt 1
Messgerät
A
A
6.20
6.20
6.20
6.20
6.20
6.20
43.40
22.50


Schnitt A-A
M 1:200
Lichtband
Messpunkt 1
BSH-Träger
b/h = 16/36 ... 94
Messgerät
Messpunkt 2
0.94
8.90
4.80
22.50

Bilder:

Abbildung F3-1: Ansicht Tragwerk

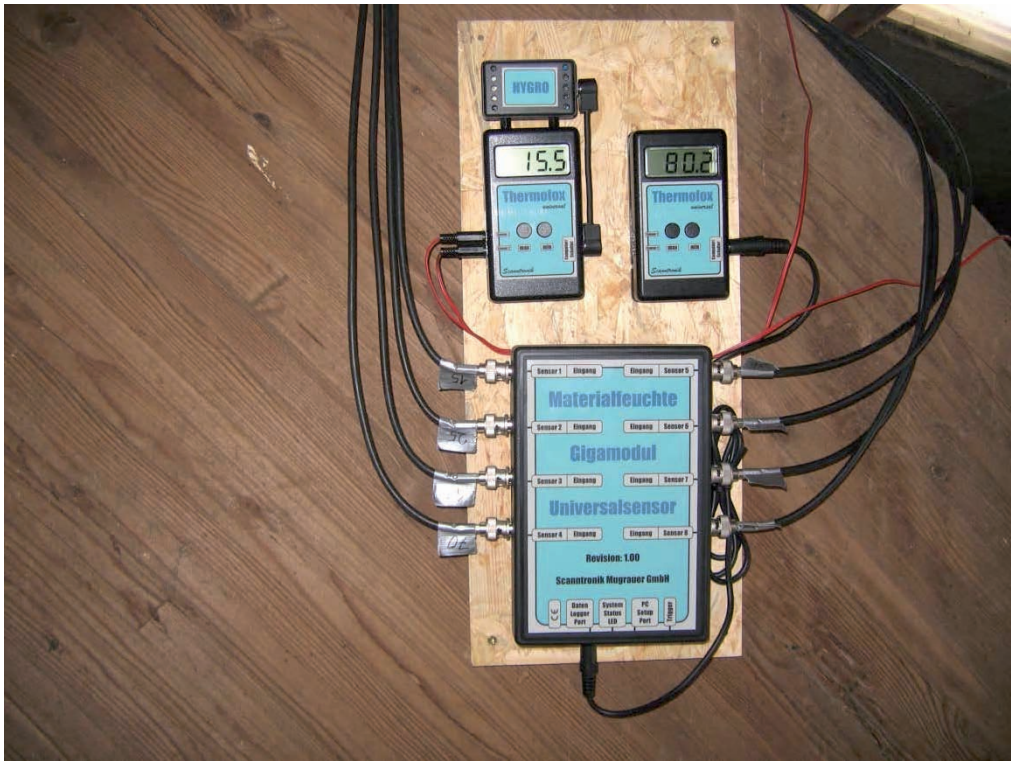
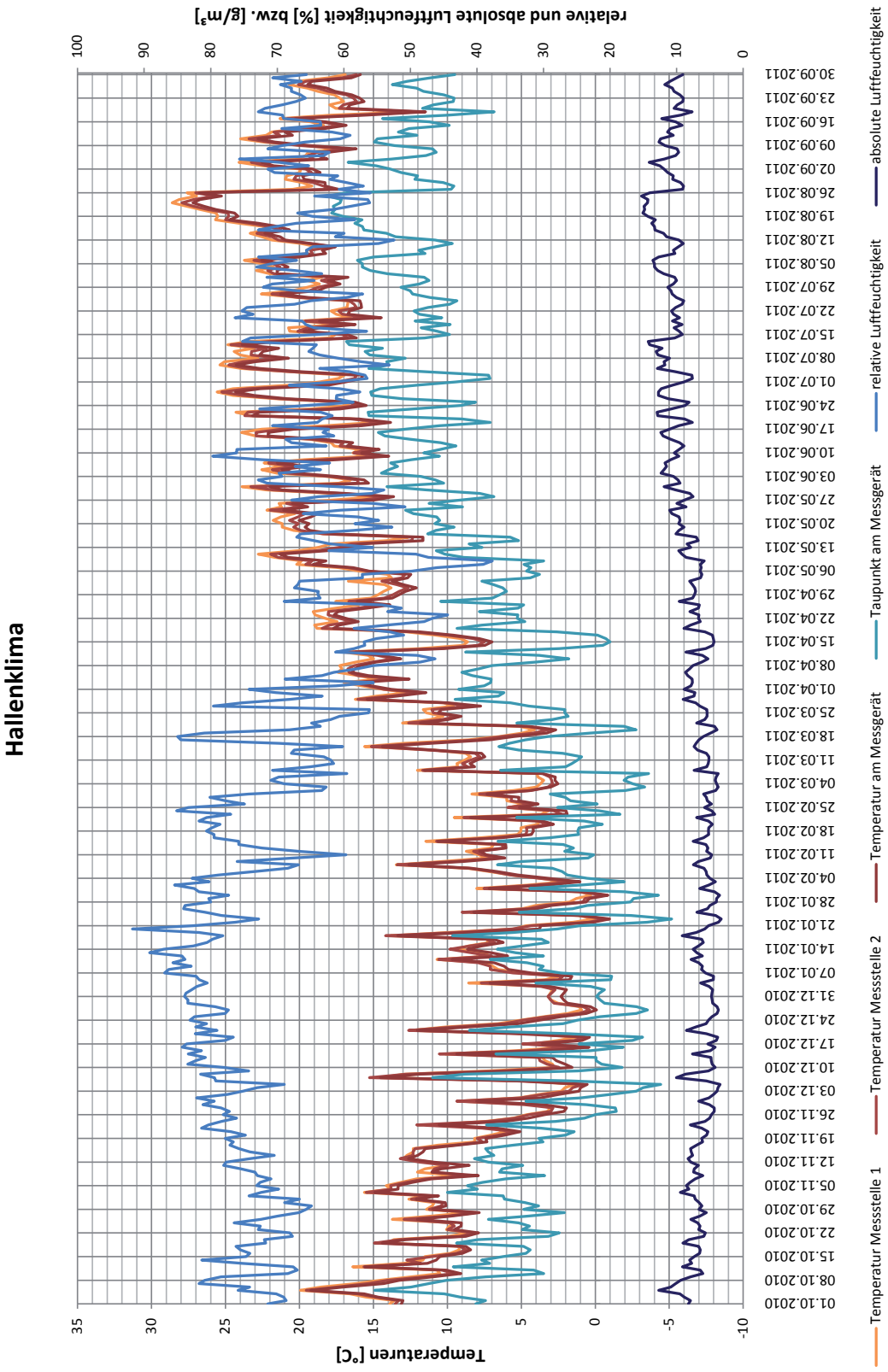


Abbildung F3-2: Ansicht Messstation

Abbildung F3-3: Ansicht Messstelle 1

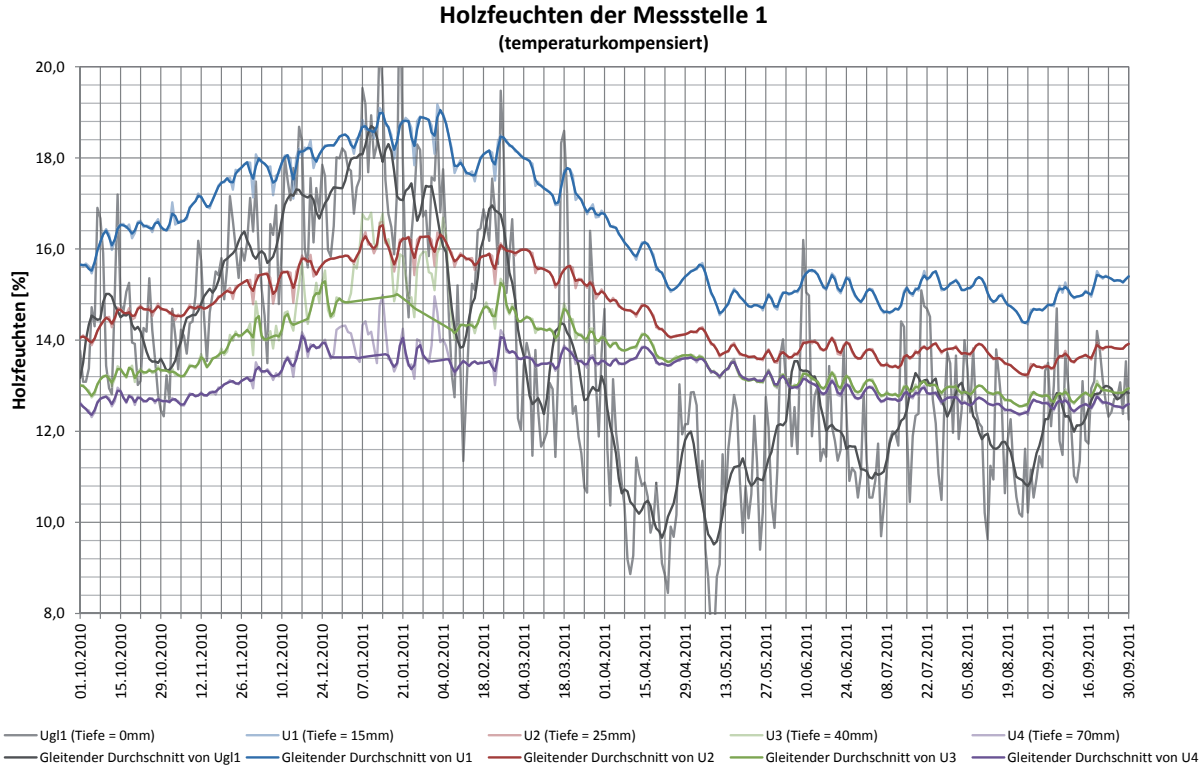
Abbildung F3-4: Ansicht Messstelle 2

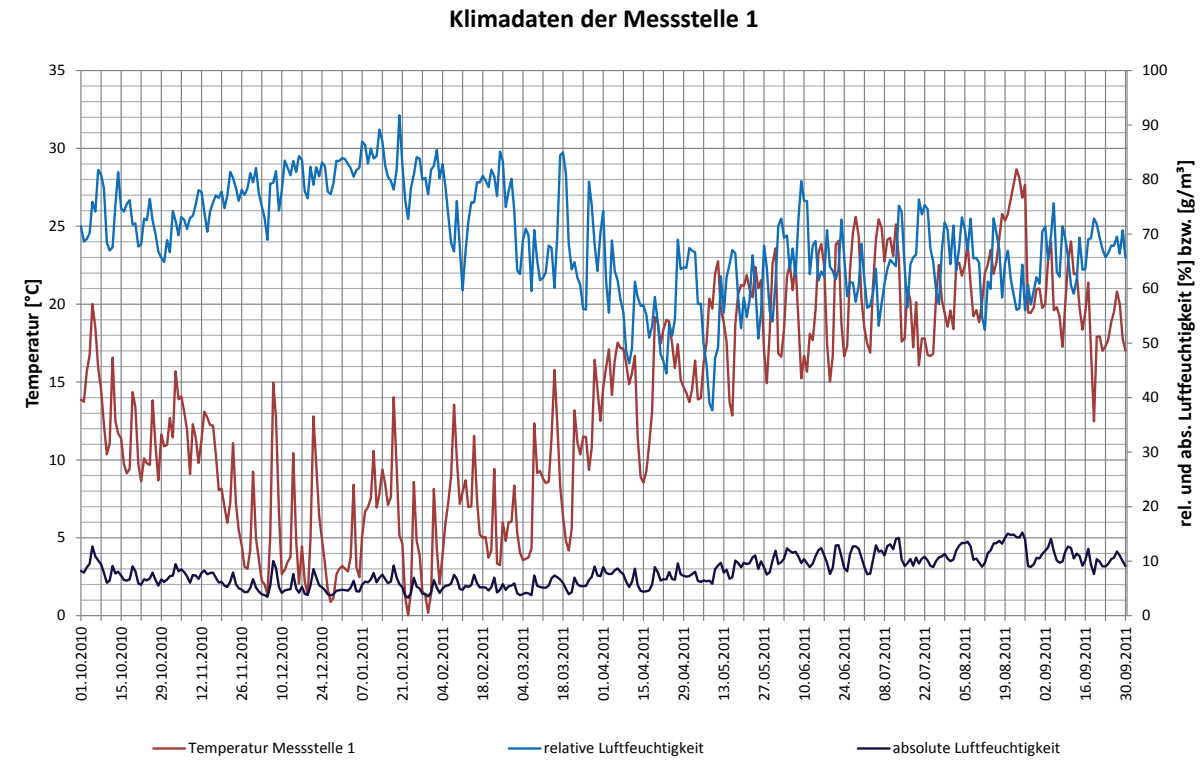
F3 Schmitz – Kälberzentrum Buchloe



F3 Schmitz – Kälberzentrum Buchloe

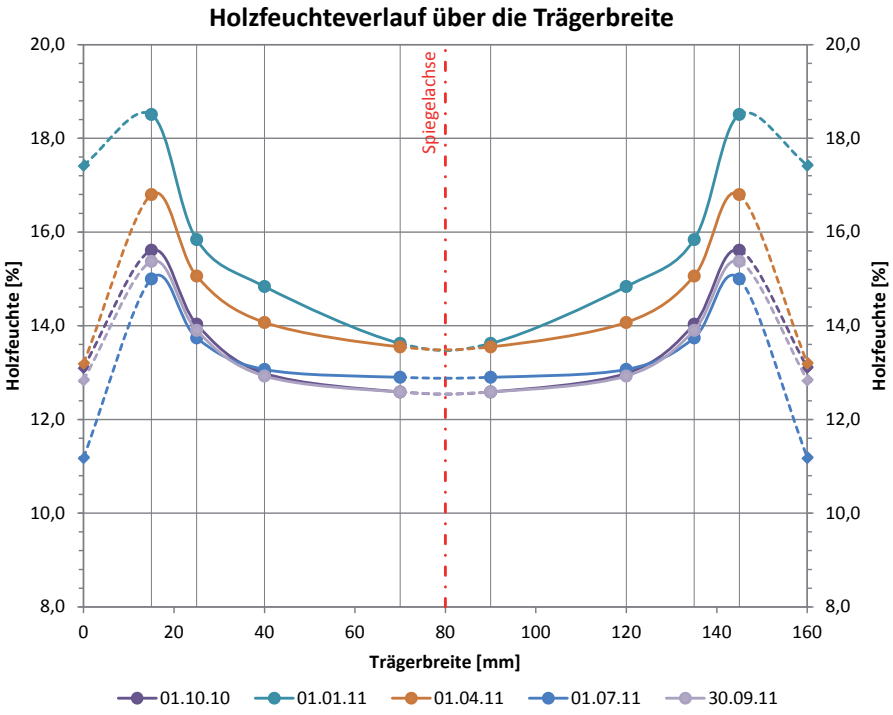
Messstelle 1: Im Firstbereich, Nähe Lampenaufhängung

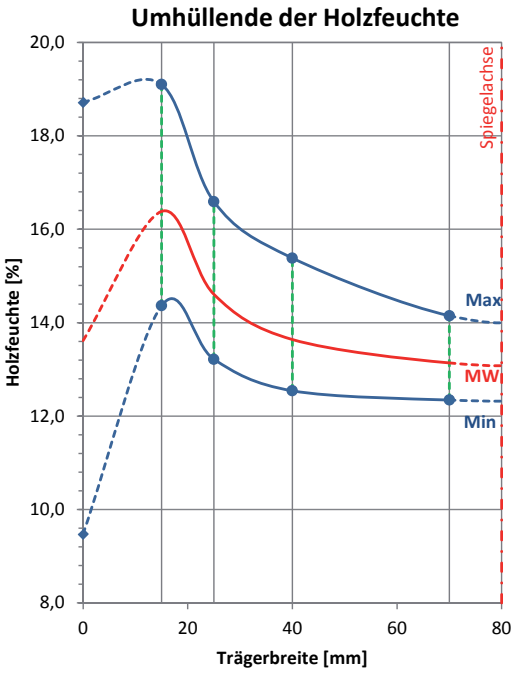


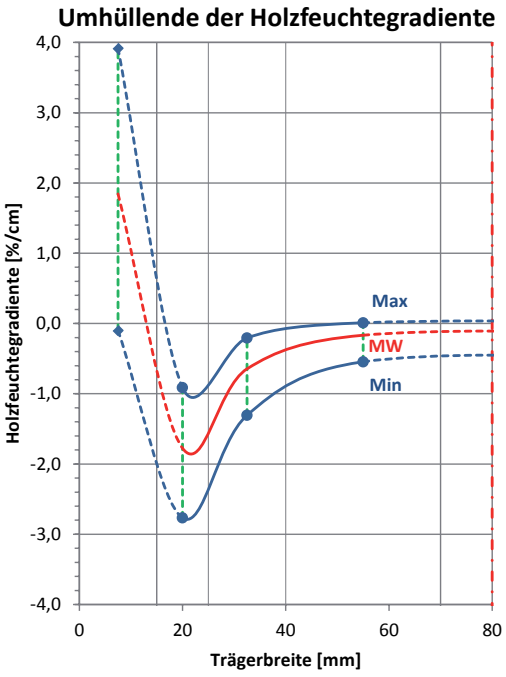


F3 Schmitz – Kälberzentrum Buchloe

Messstelle 1: Im Firstbereich, Nähe Lampenaufhängung

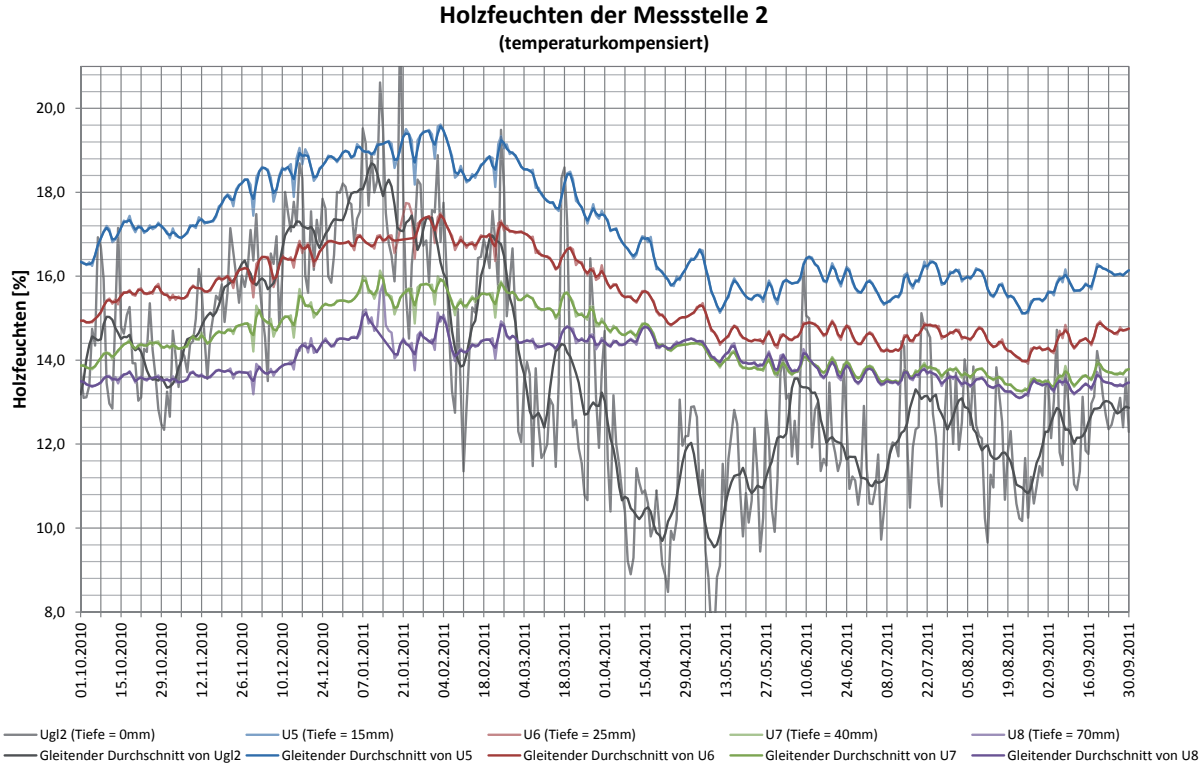


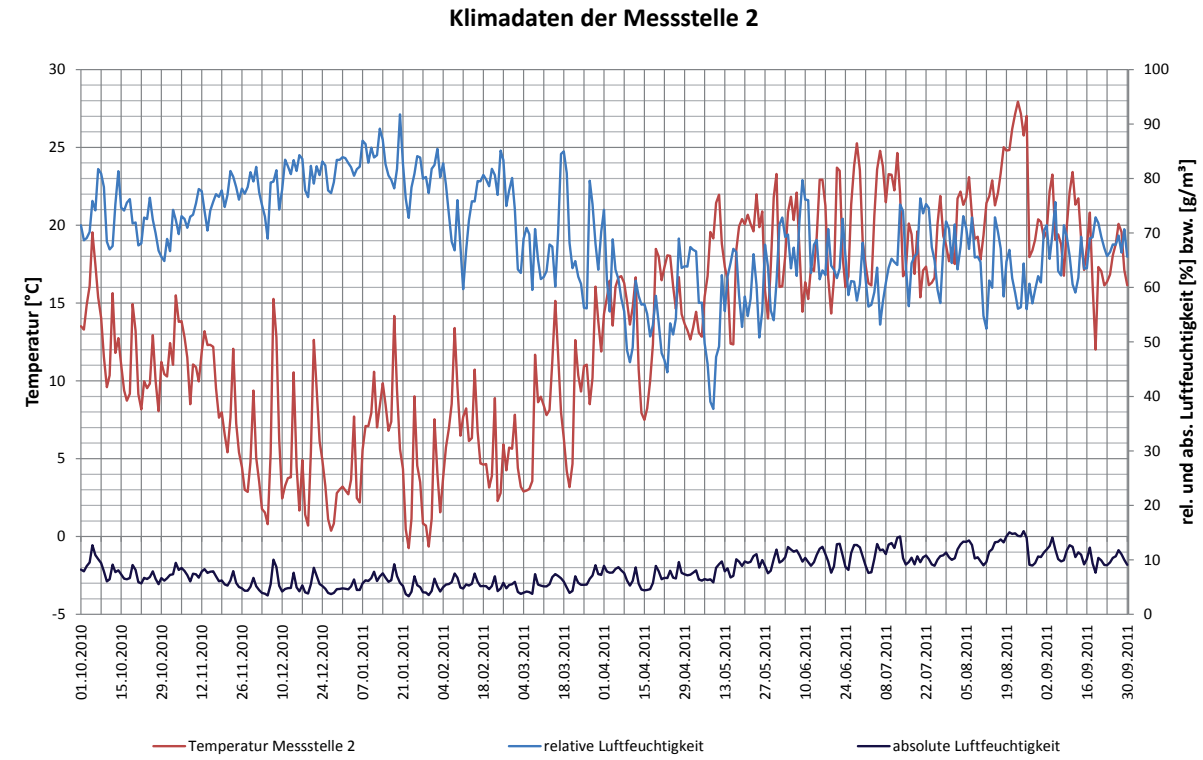




F3 Schmitz – Kälberzentrum Buchloe

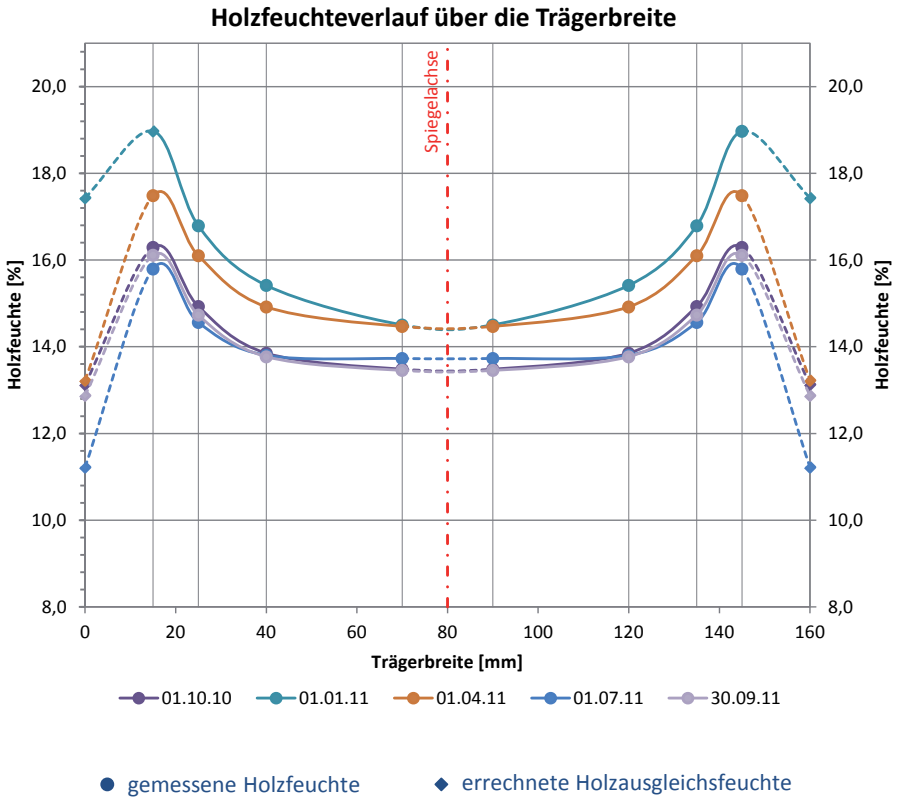
Messstelle 2: In Traufbereich, an der Rückseite des Trägers neben dem Tor

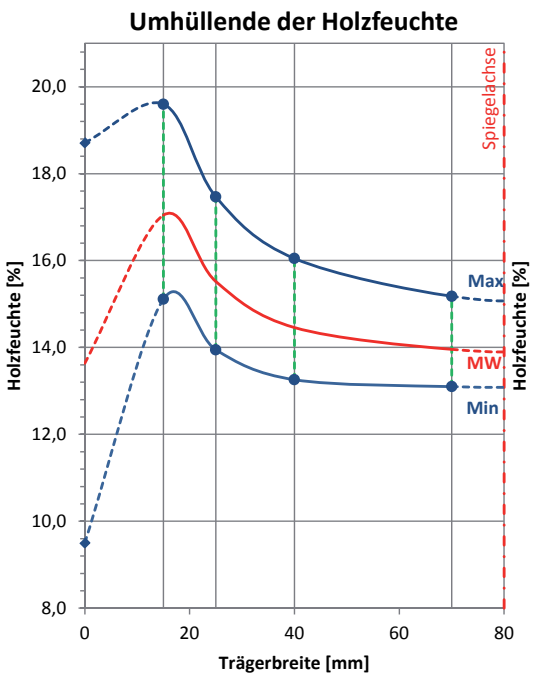


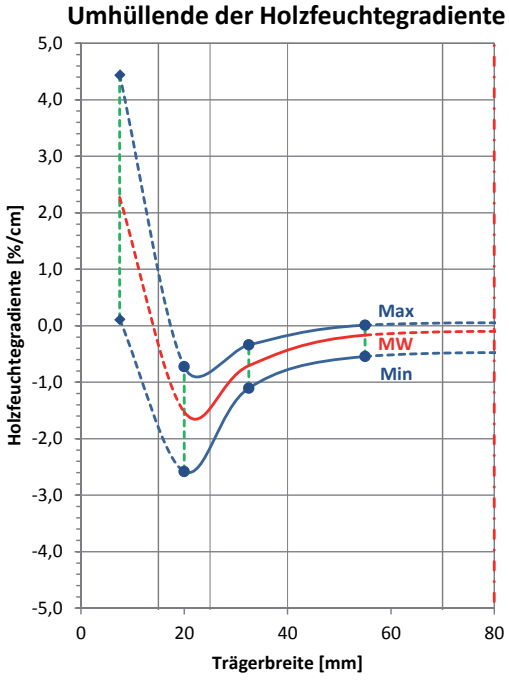


F3 Schmitz – Kälberzentrum Buchloe

Messstelle 2: In Traufbereich, an der Rückseite des Trägers neben dem Tor







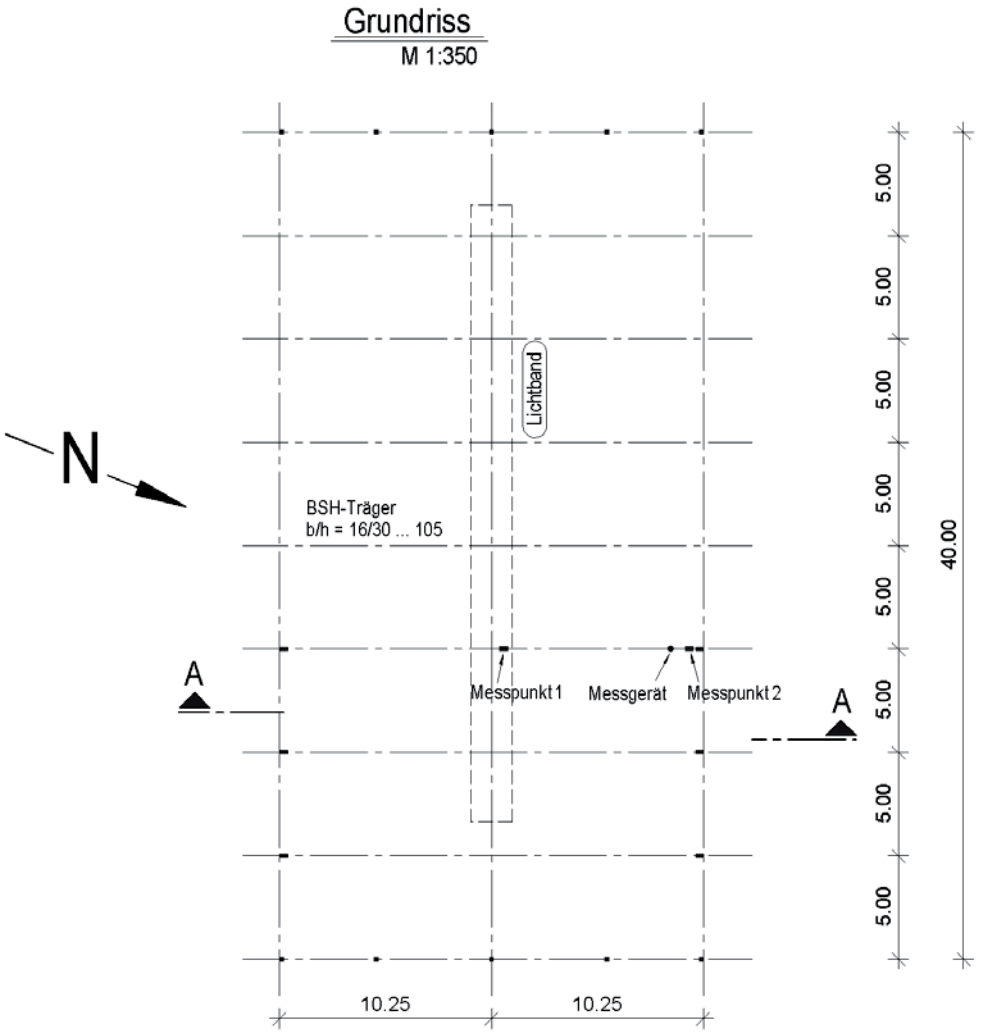
G1 Pflanzenhalle Willibaldstraße München

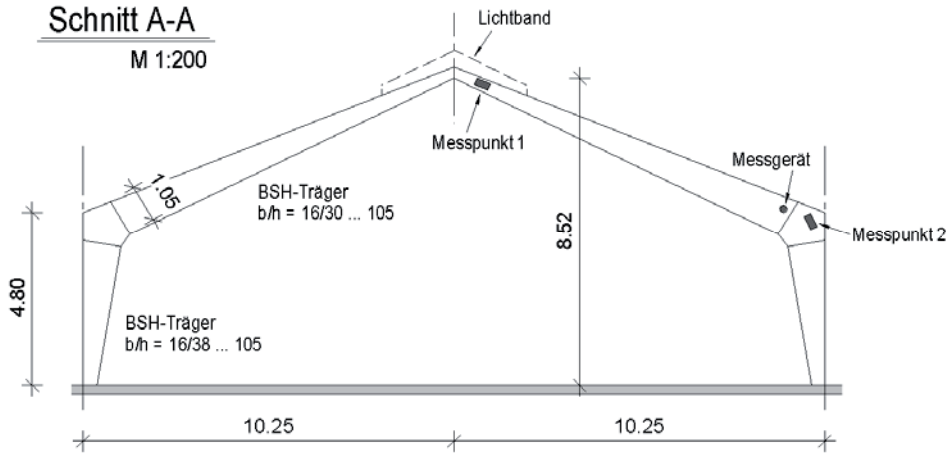
Anschrift:	Willibaldstraße 70 80689 München
Ansprechpartner:	Herr Polomski (vor Ort)
Anwesende vor Ort:	Andreas Gamper, Michael Kraus, Herr Polomski
Installationsdatum: Letztes Auslesedatum:	01.09.2010, 14:30 - 16:30 11.10.2011, 11:00 – 12:00
Umgebungsbedingungen:	Allseitig geschlossene Halle, ungeheizter, konstruktiv gedämmter Raum Temperatur: 26,8°C; Luftfeuchte: 44,7 % (z.Zt. d. Installation)
Messstelle 1:	Im Firstbereich unter Lichtband; (Erfassung des Einflusses des Lichtbandes und der direkten Sonnenstrahlung)
Messstelle 2:	Im Traufbereich bei Lufteinlässen Fassade; (Regelbereich, Referenz zu Messstelle 1)

Sensor	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte GANN [%]	Messwert Mugrauer [10lg(Ω)]	Einstellwerte GANN	
u1	15	10,2	91,4	x–y: 6–5; 35°	Messstelle 1
u2	25	10,3	91,1	Gemessene	
u3	40	10,2	91,5	Temperatur	
u4	70	9,7	93,8	t_1: 48,0°C	
u5	15	13,1	85,5	x–y: 6–5; 25°	Messstelle 2
u6	25	12,9	86,2	Gemessene	
u7	40	12,8	86,6	Temperatur	
u8	70	12,3	88,3	t_2: 25,6°C	

Tragsystem:	Dreigelenkrahmen, Spannweite ℓ = 20,50 m 9 Achsen mit einem Binderachsabstand e = 5,0 m Trägerabmessungen b/h = 16/30…105 cm² Lamellenstärke t = 32 mm Bauteile unbehandelt (vorbehaltlich eines nicht mehr erkennbaren, farblosen, offenporigen Anstrichs)

Skizzen:


Grundriss
M 1:350
N
Lichtband
BSH-Träger
b/h = 16/30 ... 105
A
A
Messpunkt 1
Messgerät
Messpunkt 2
5.00
5.00
5.00
5.00
5.00
5.00
5.00
40.00
10.25
10.25


Schnitt A-A
M 1:200
Lichtband
Messpunkt 1
Messgerät
Messpunkt 2
1.05
BSH-Träger
b/h = 16/30 ... 105
8.52
4.80
BSH-Träger
b/h = 16/38 ... 105
10.25
10.25

Bilder:

Abbildung G1-1: Ansicht Tragwerk

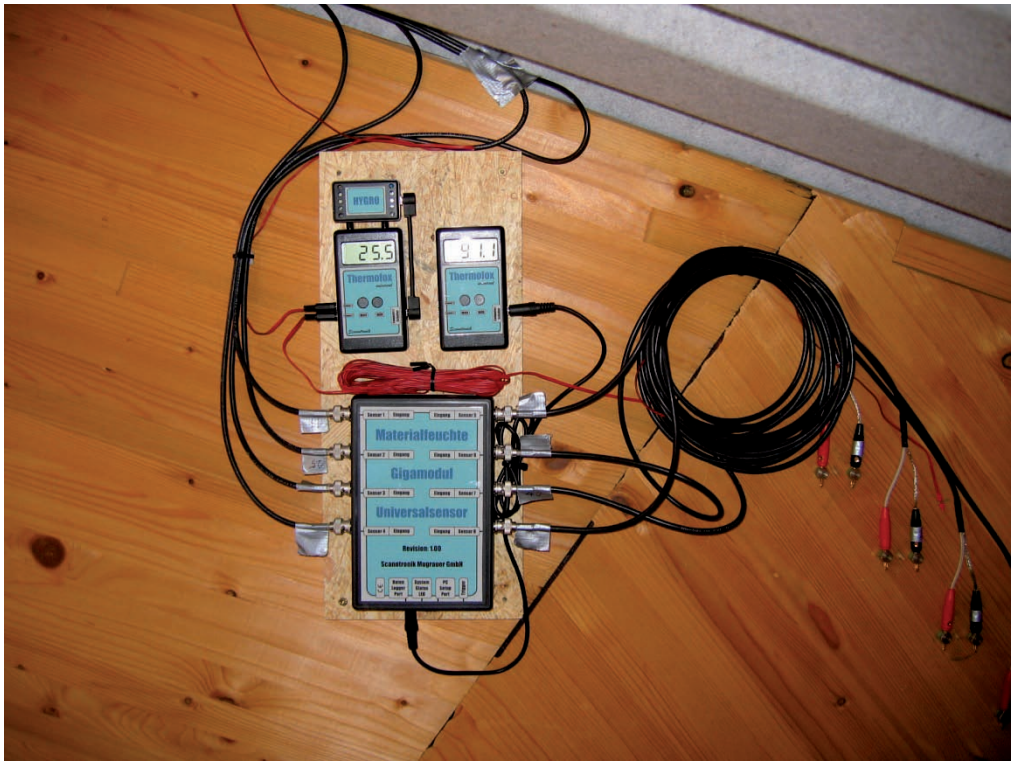


Abbildung G1-2: Ansicht Messstation

Abbildung G1-3: Ansicht Messstelle 1

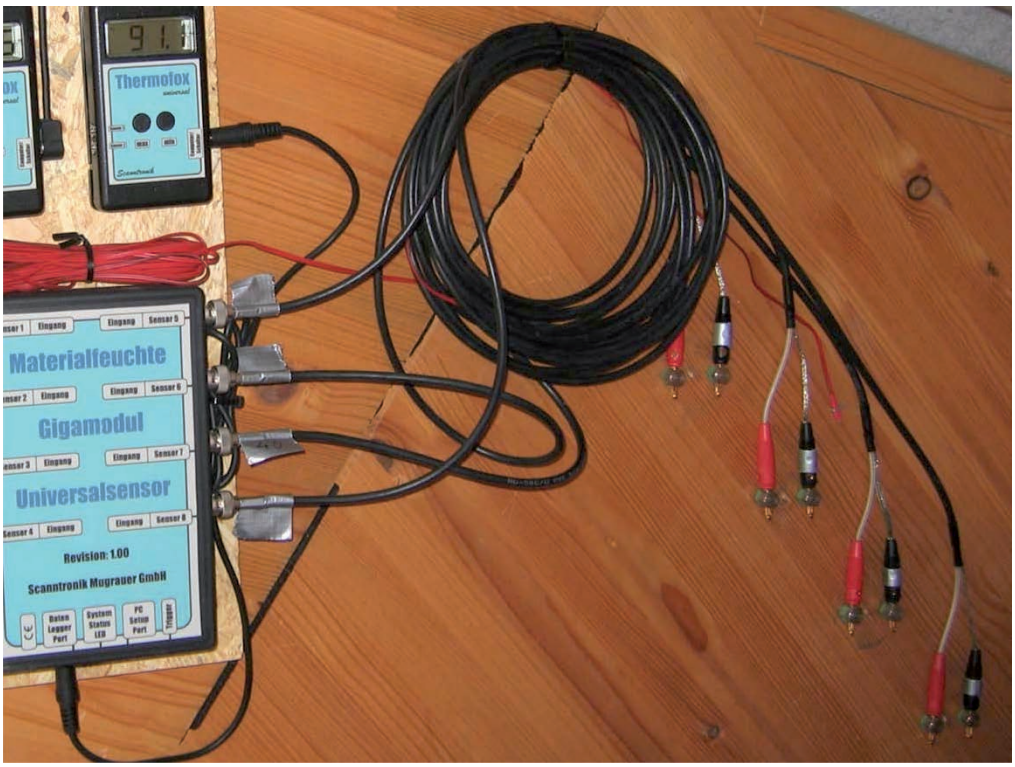
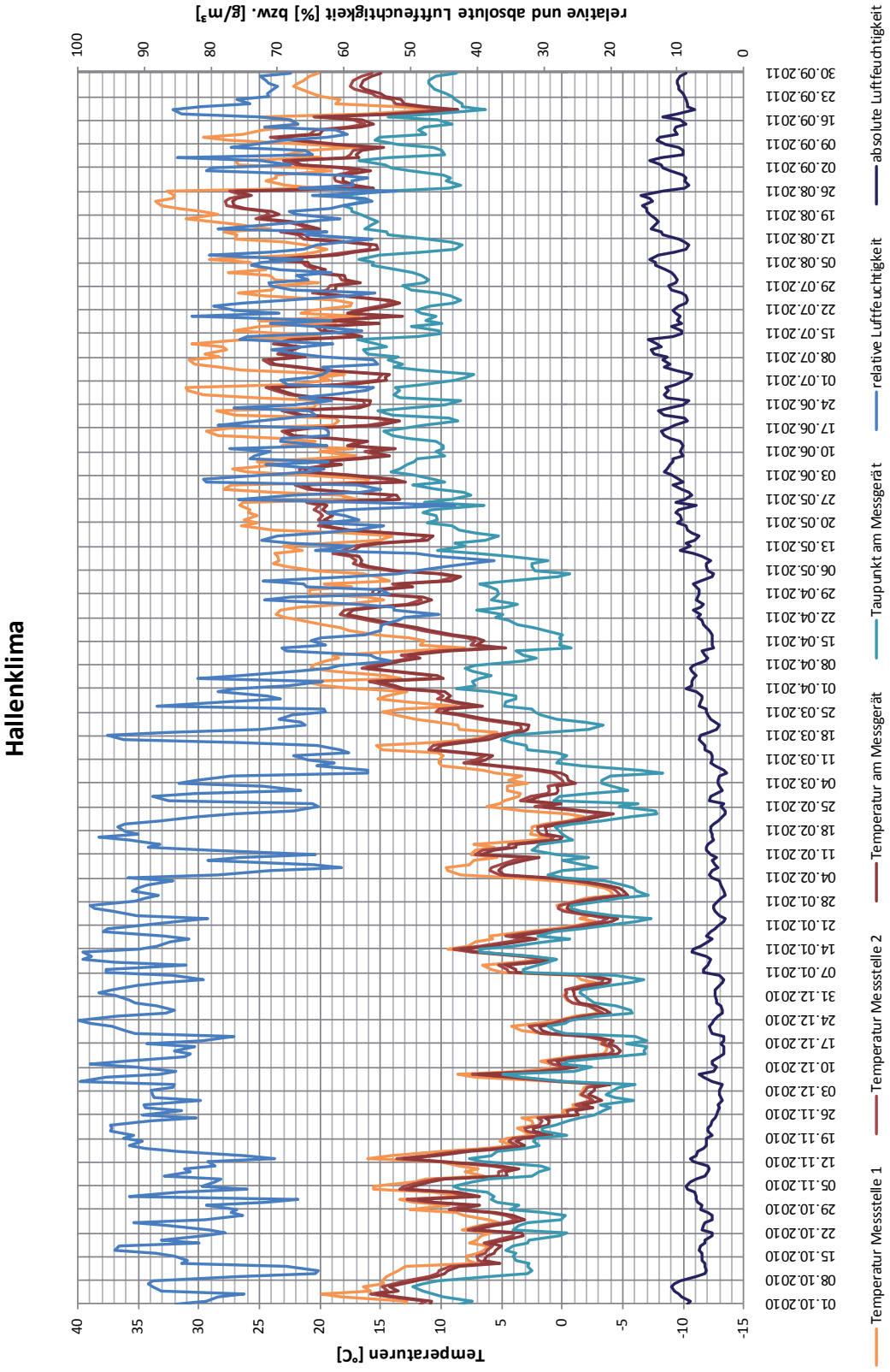


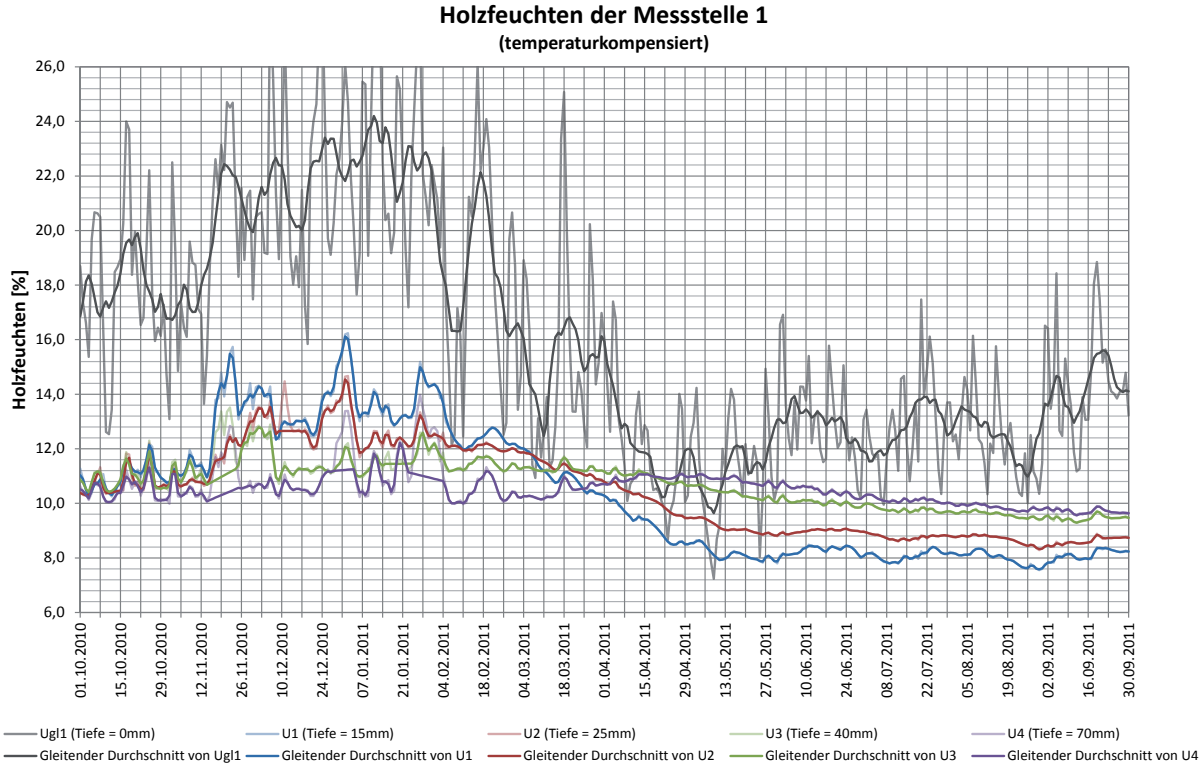
Abbildung G1-4: Ansicht Messstelle 2

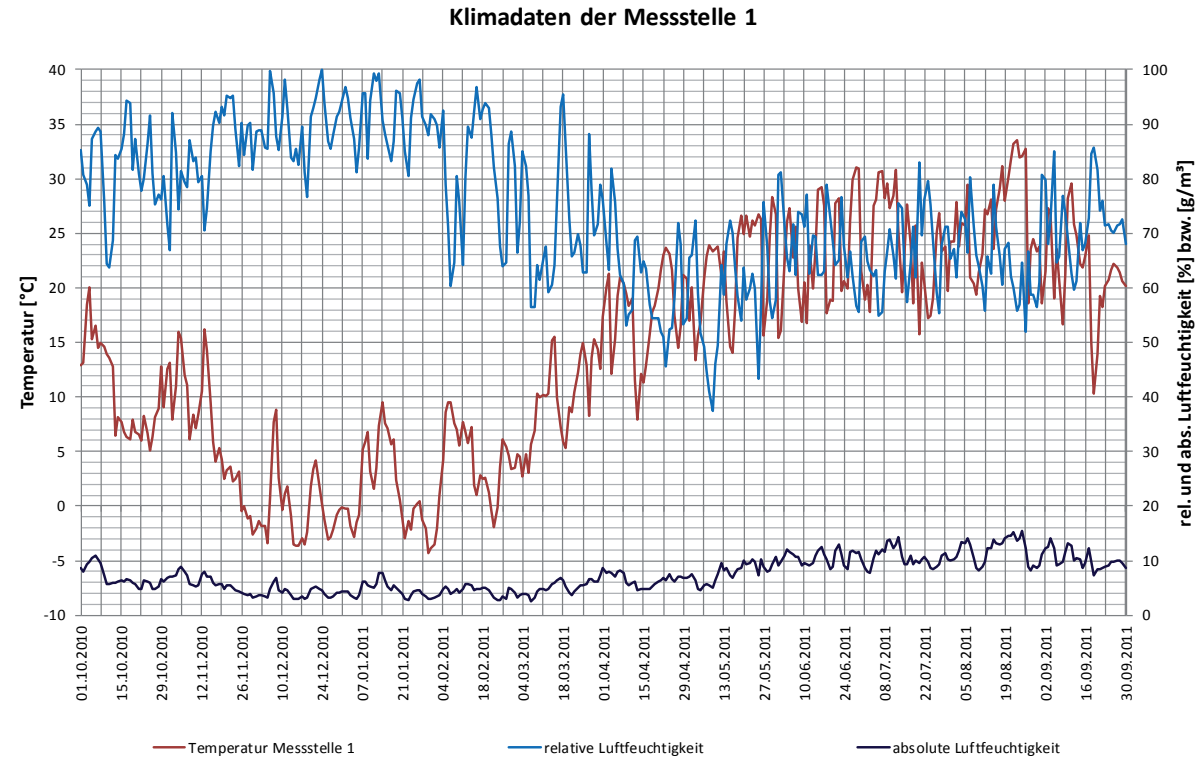
G1 Pflanzenhalle Willibaldstraße München



G1 Pflanzenhalle Willibaldstraße München

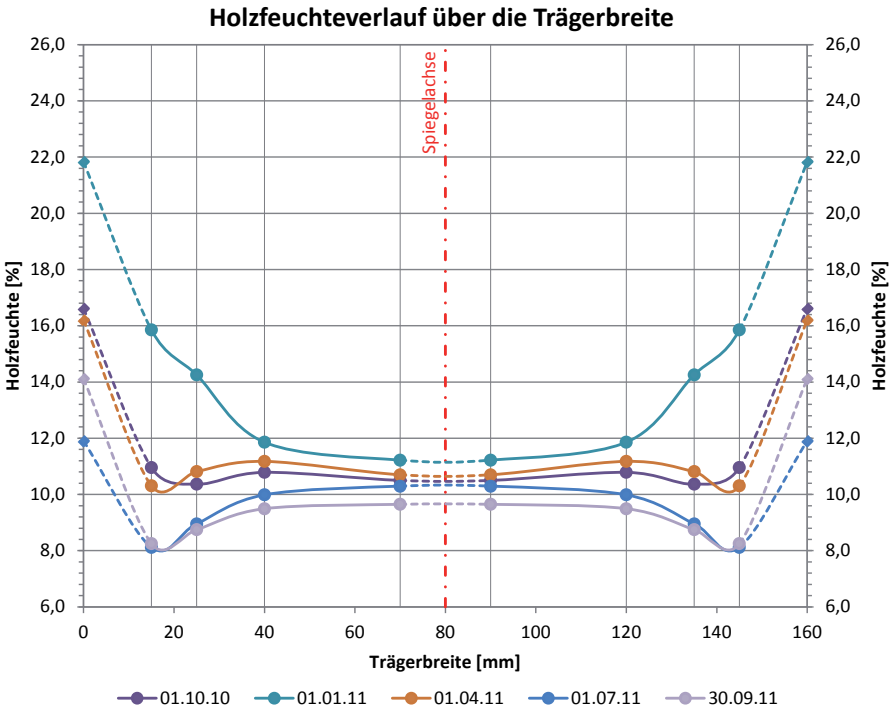
Messstelle 1: Im Firstbereich unter Lichtband

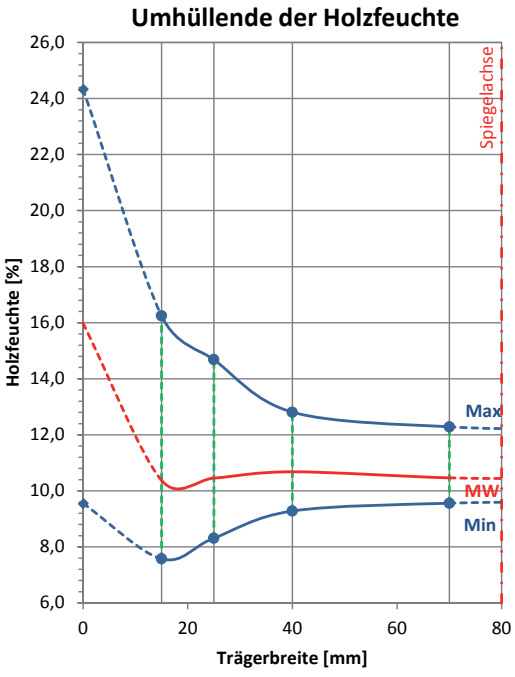


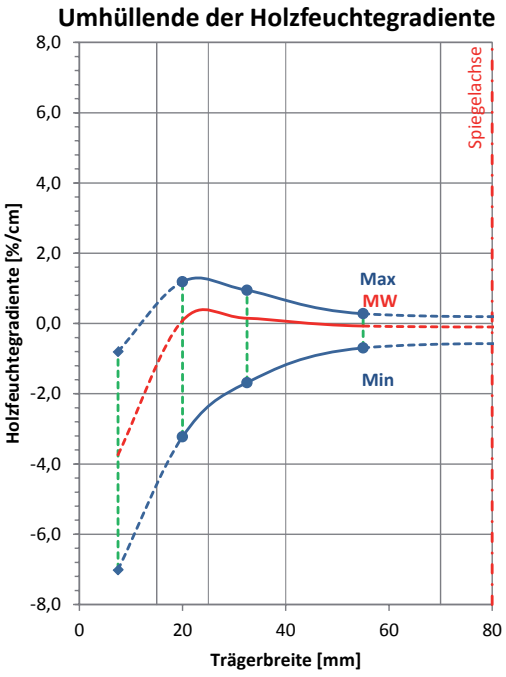


G1 Pflanzenhalle Willibaldstraße München

Messstelle 1: Im Firstbereich unter Lichtband

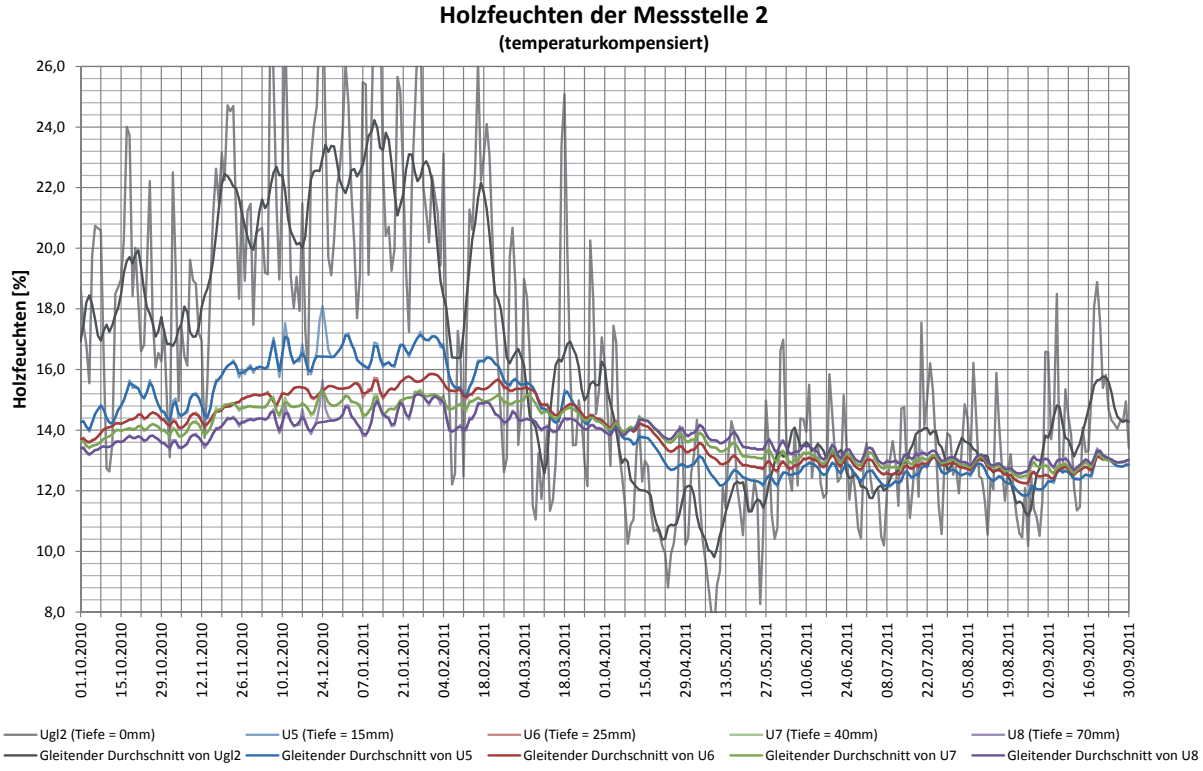


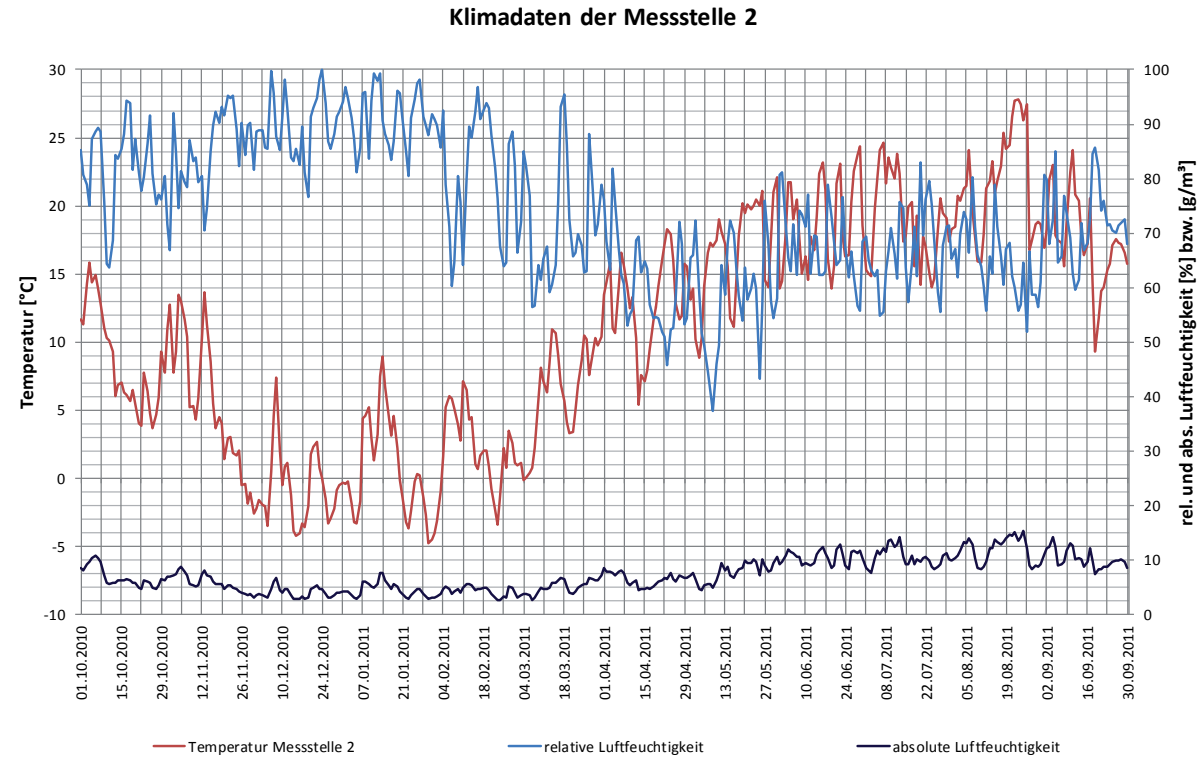




G1 Pflanzenhalle Willibaldstraße München

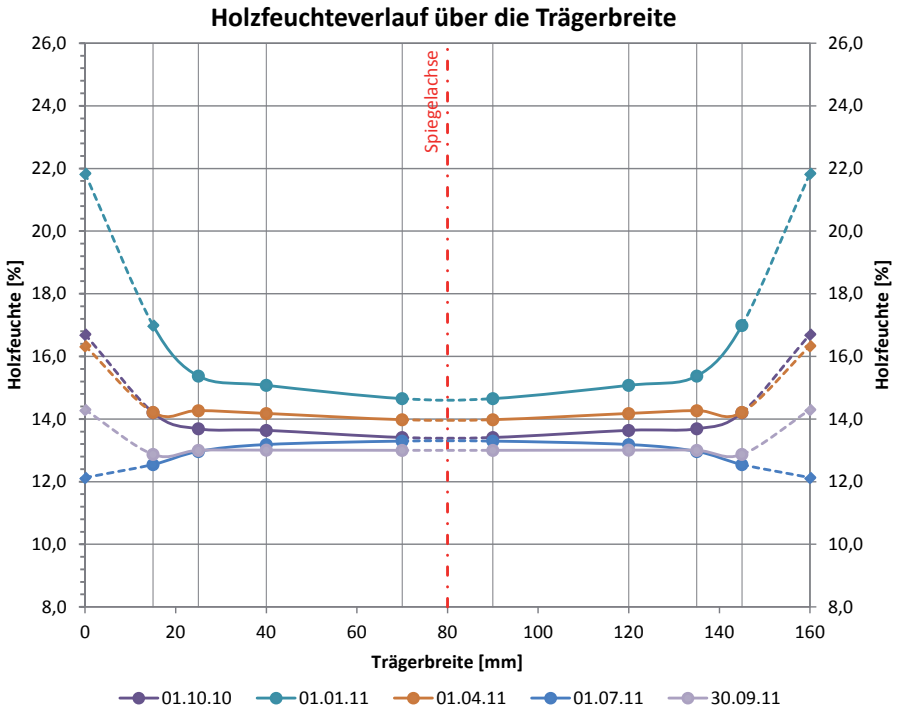
Messstelle 2: Im Traufbereich bei Lufteinlässen Fassade

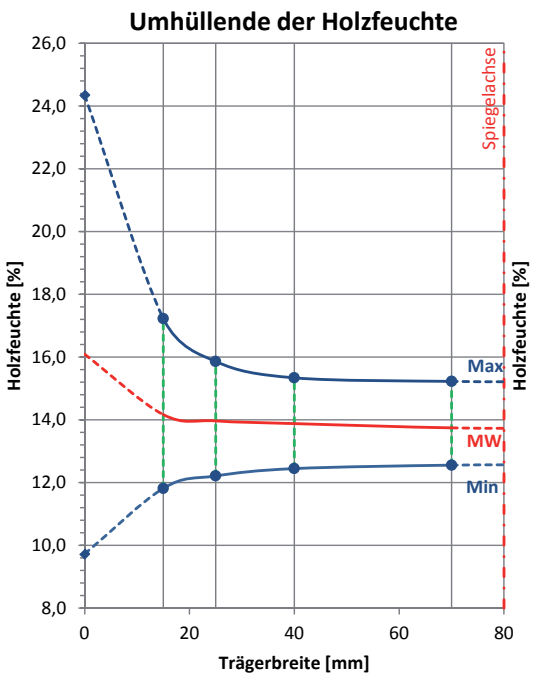


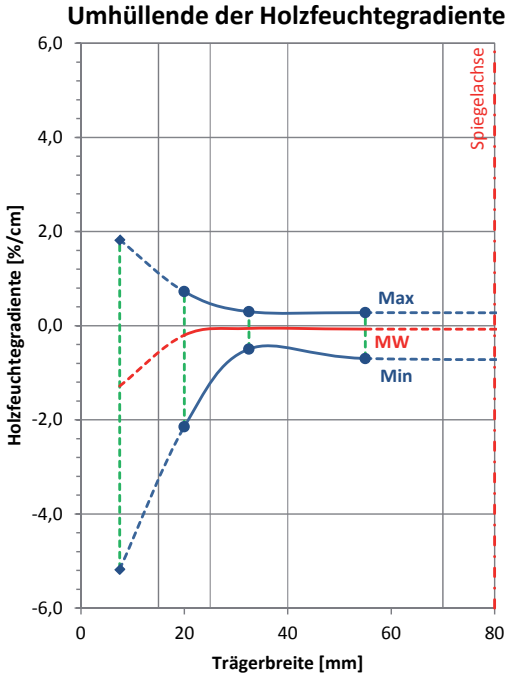


G1 Pflanzenhalle Willibaldstraße München

Messstelle 2: Im Traufbereich bei Lufteinlässen Fassade







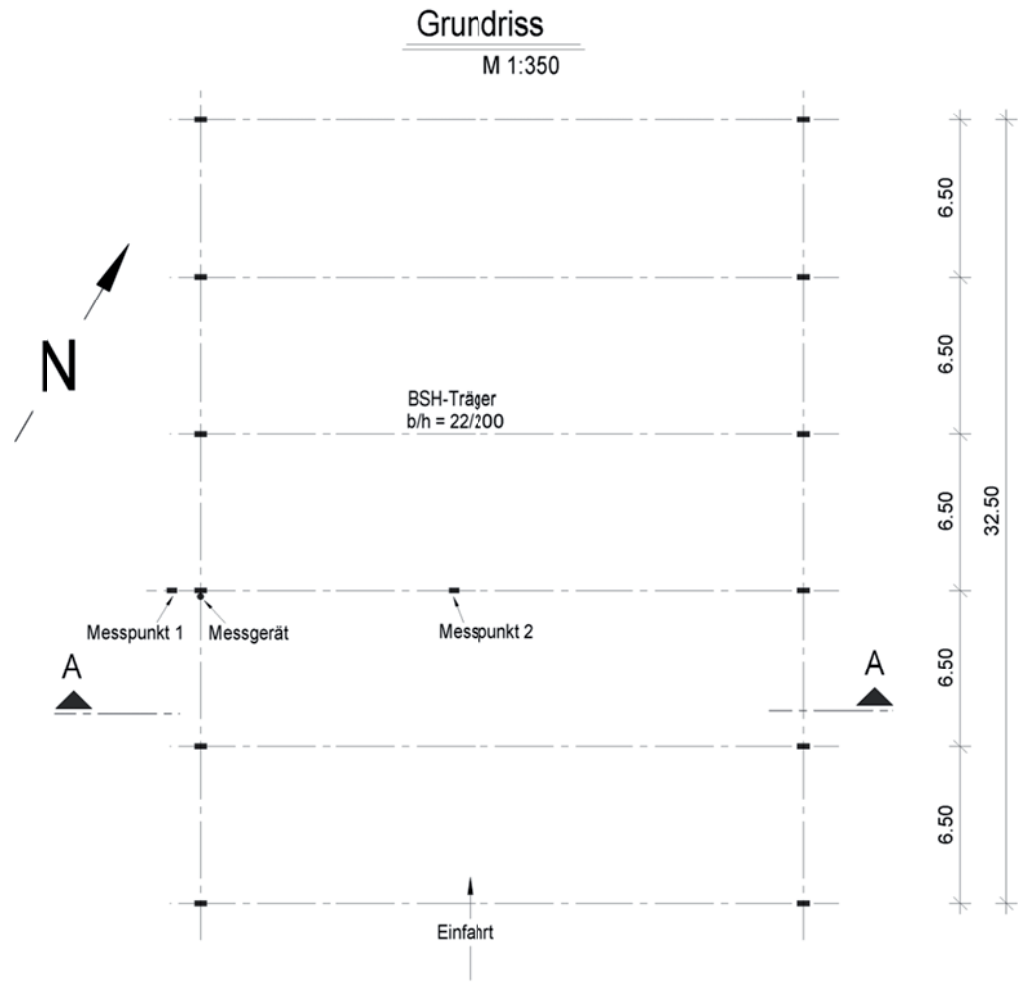
G2 Lagerhalle Gebr. Heißerer Prem

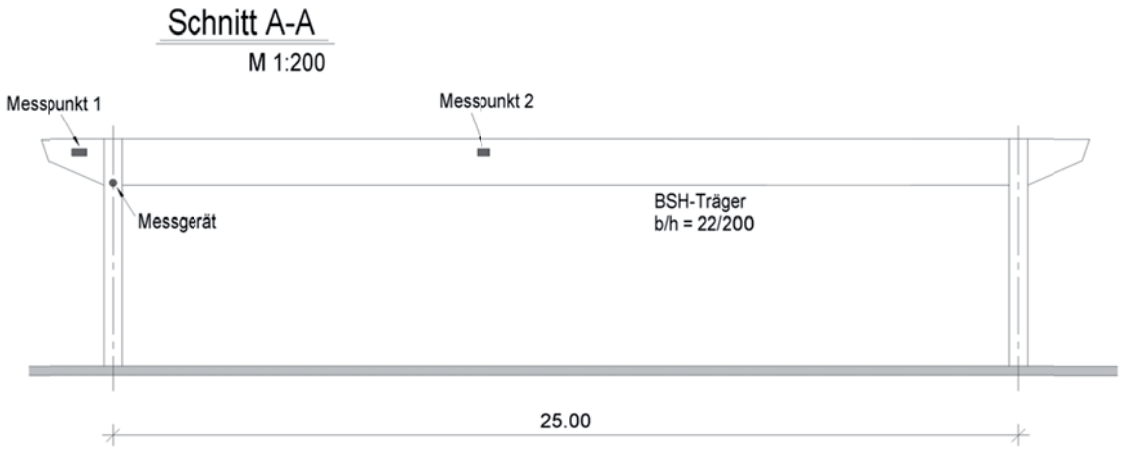
Anschrift:	Schwerblmühle 4 86984 Prem
Installationsort:	Lusse 4 87672 Roßhaupten
Ansprechpartner:	Hr. Heinloth (vor Ort)
Anwesende vor Ort:	Michael Merk, Andreas Gamper, Herr Heisserer Jr.
Installationsdatum: Letztes Auslesedatum:	07.09.2010, 10:00 – 12:30 10.10.2011, 15:00 – 16:00
Umgebungsbedingungen:	Einseitig offene, ungeheizte, konstruktiv gedämmte Lagerhalle Temperatur: 16,6 °C; Luftfeuchte: 73 % (z.Zt. d. Installation)
Messstelle 1:	Außen am Kragarm, unter Vordach; (Referenz zum Regelbereich im Halleninneren zur Unterscheidung des Einflusses von Innen- und Außenklima)
Messstelle 2:	Im Hallenbereich, Nähe Feldmitte; (Regelbereich)

Sensor	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte GANN [%]	Messwert Mugrauer [10lg(Ω)]	Einstellwerte GANN	
u1	15	14,2	87,6	x–y: 6–5; 15°	Messstelle 1
u2	25	13,8	88,9	gemessene	
u3	40	13,1	90,7	Temperatur	
u4	70	12,4	93,7	t_1: 17,8°C	
u5	15	13,6	89,6	x–y: 6–5; 15°	Messstelle 2
u6	25	13,0	91,7	gemessene	
u7	40	12,7	92,7	Temperatur	
u8	70	12,2	94,8	t_2: 16,6°C	

Tragsystem:	Einfeldträger mit 2 Kragarmen, Spannweite ℓ = 25,00 m 6 Achsen, Achsabstand e = 6,50 m Trägerabmessungen b/h = 22/200 mm² Lamellenstärke t = 30 mm Bauteile unbehandelt (vorbehaltlich eines nicht mehr erkennbaren, farblosen, offenporigen Anstrichs)

Skizzen:


Grundriss
M 1:350
N
BSH-Träger
b/h = 22/200
Messpunkt 1
Messgerät
Messpunkt 2
A
A
6.50
6.50
6.50
6.50
6.50
32.50
Einfahrt


Schnitt A-A
M 1:200
Messpunkt 1
Messpunkt 2
Messgerät
BSH-Träger
b/h = 22/200
25.00

Bilder:

Abbildung G2-1: Ansicht Tragwerk

Abbildung G2-2: Ansicht Messstation

Abbildung G2-3: Ansicht Messstelle 1

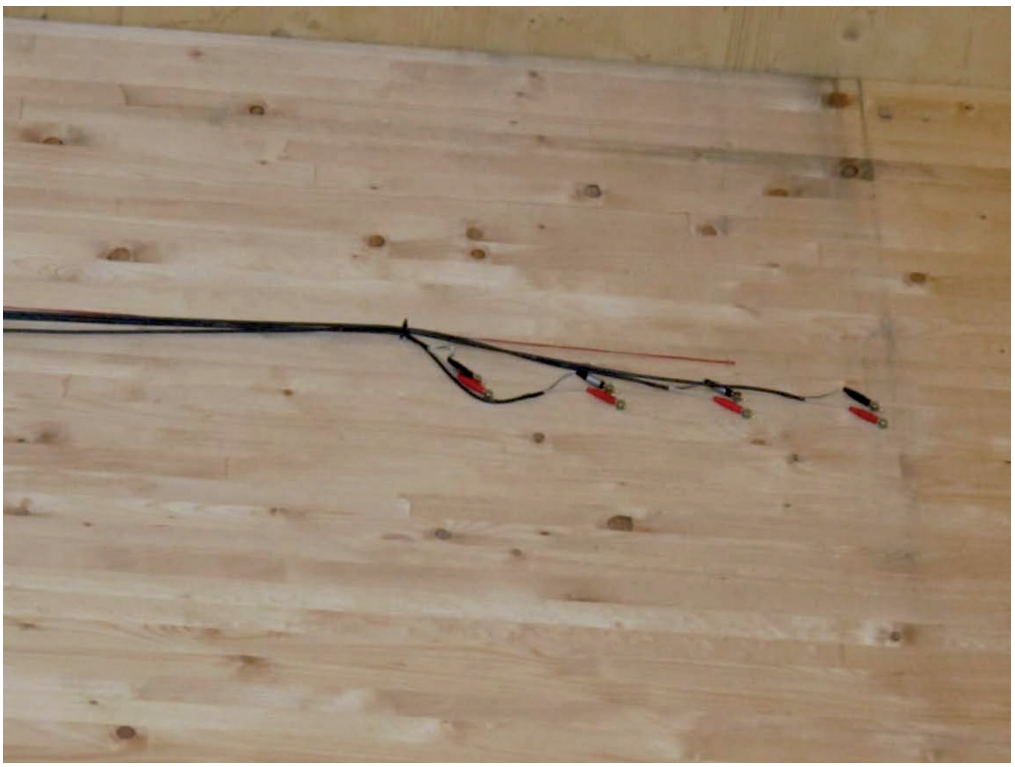
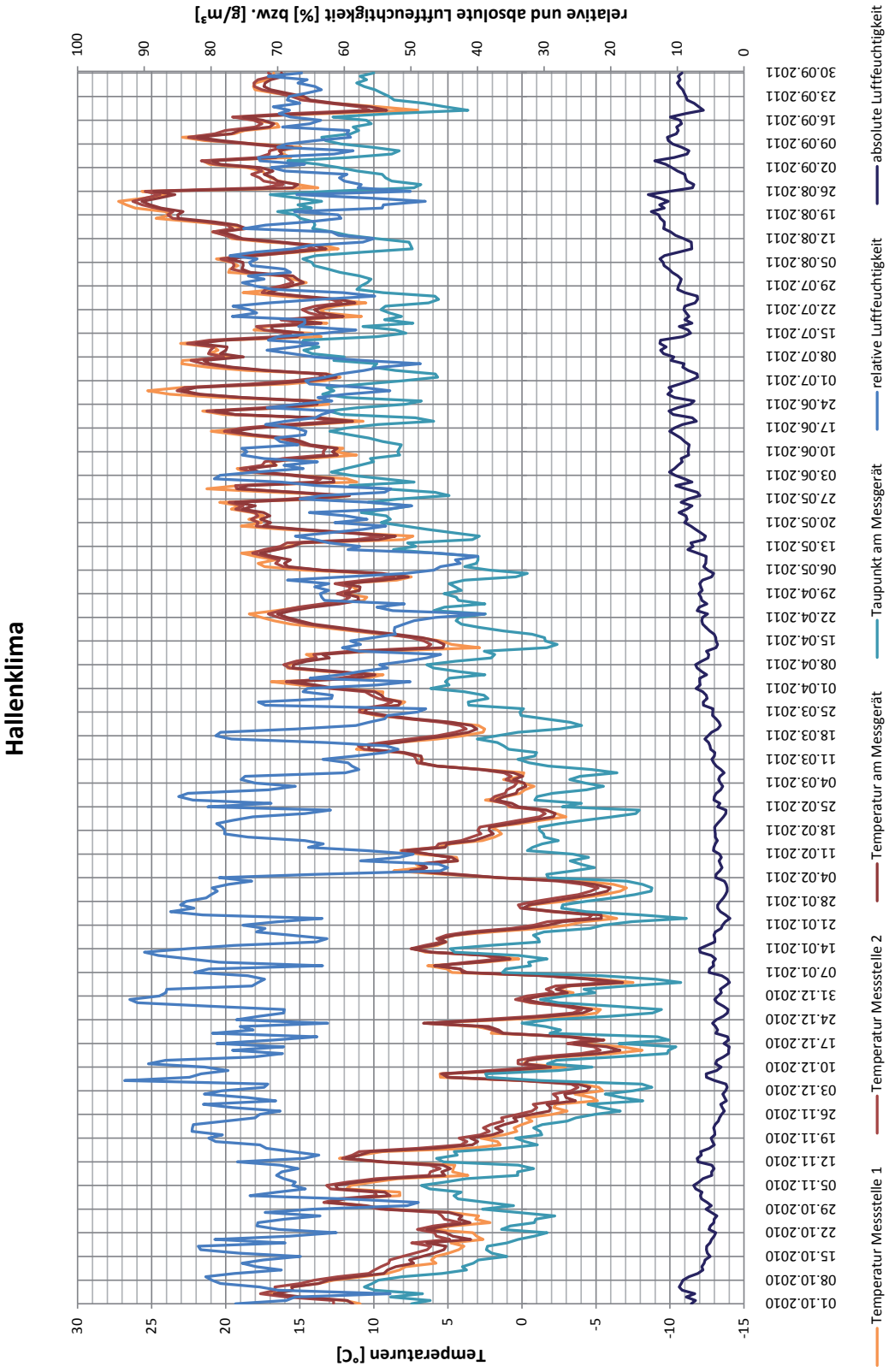


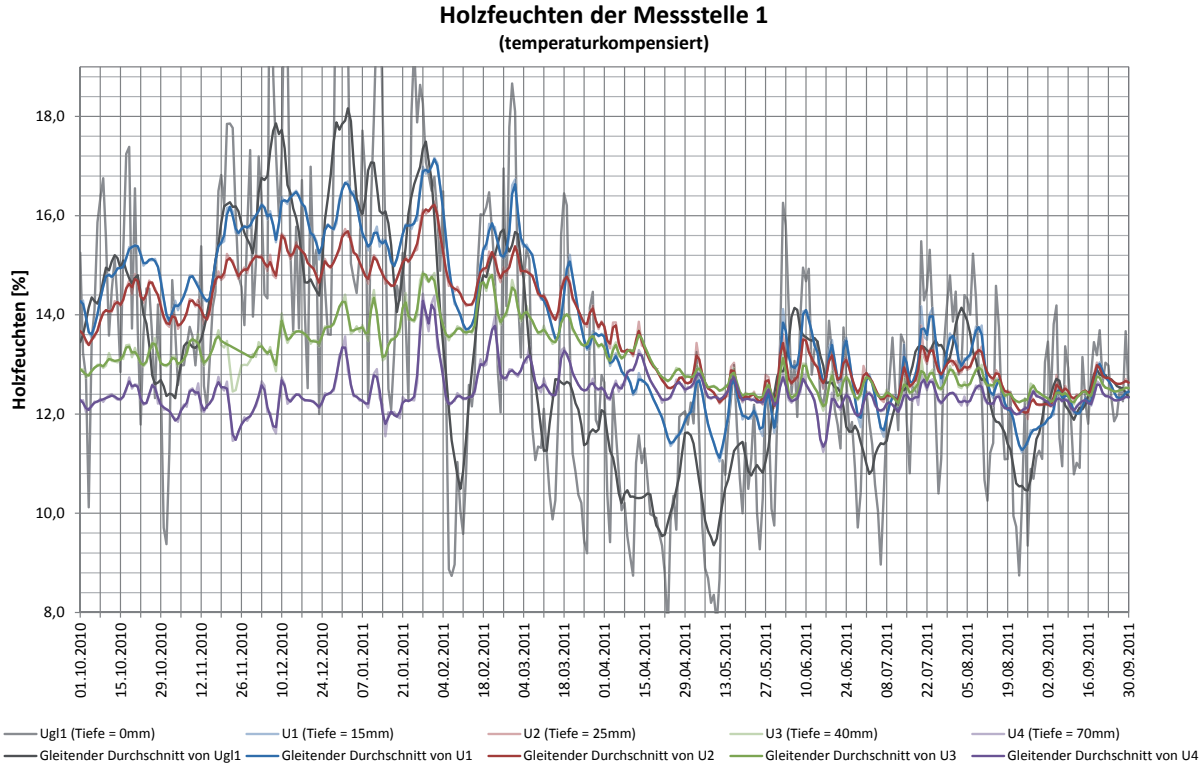
Abbildung G2-4: Ansicht Messstelle 2

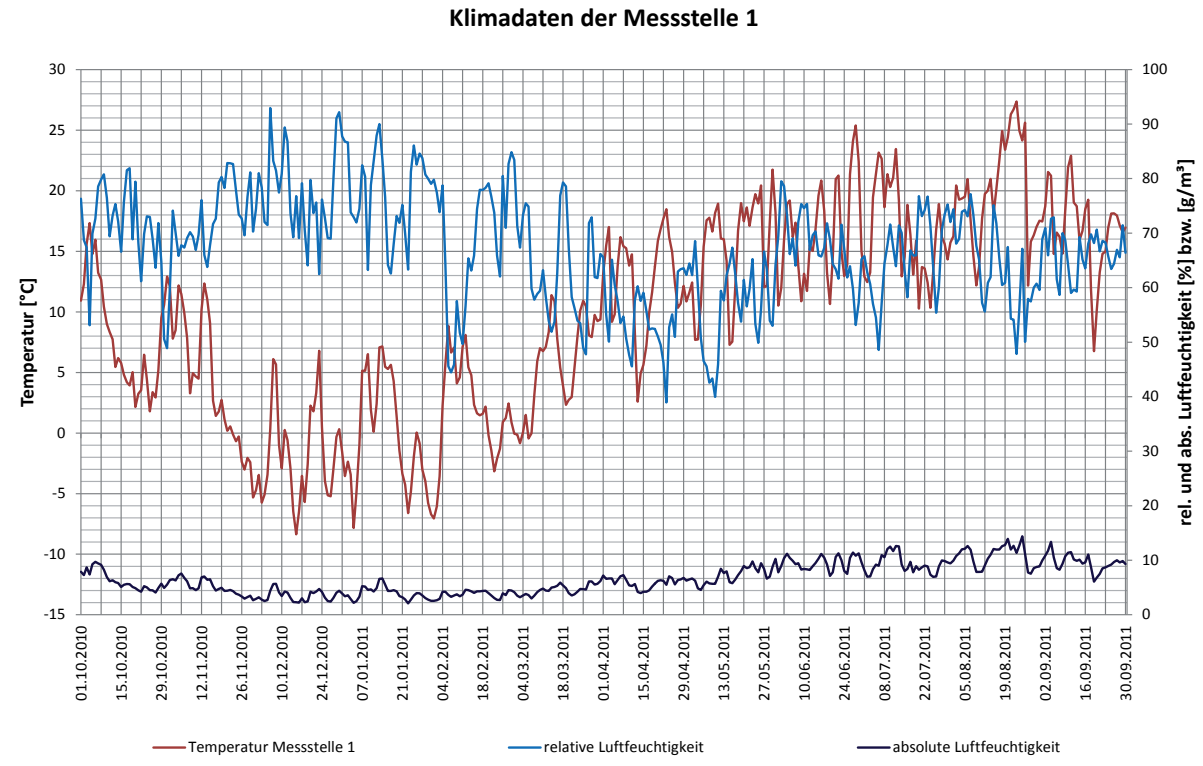
G2 Lagerhalle Heisserer Prem



G2 Lagerhalle Gebr. Heißerer Prem

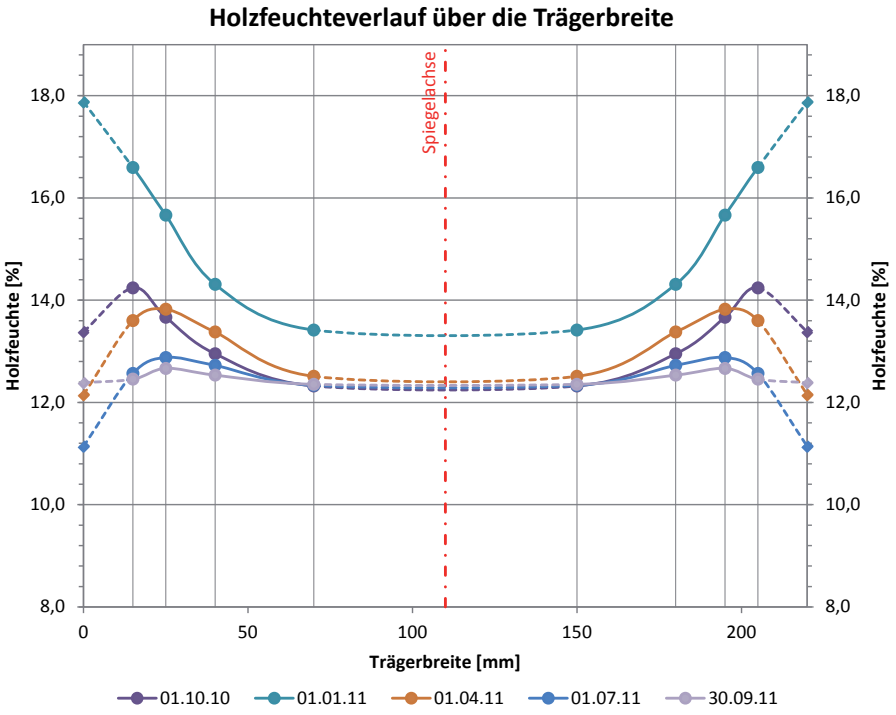
Messstelle 1: Außen am Kragarm, unter Vordach

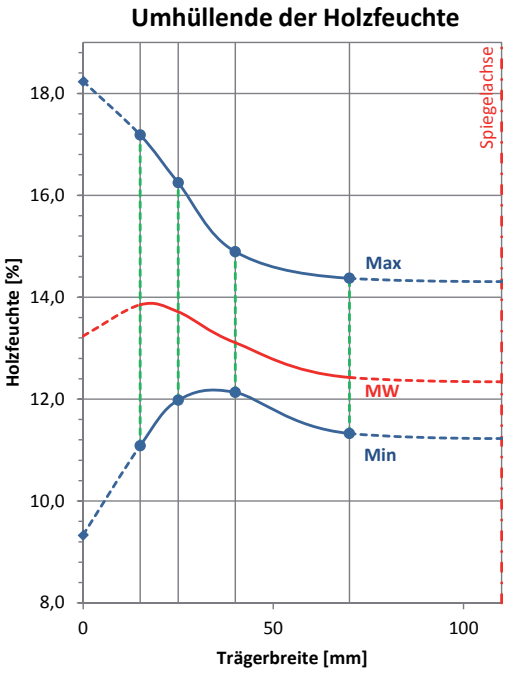


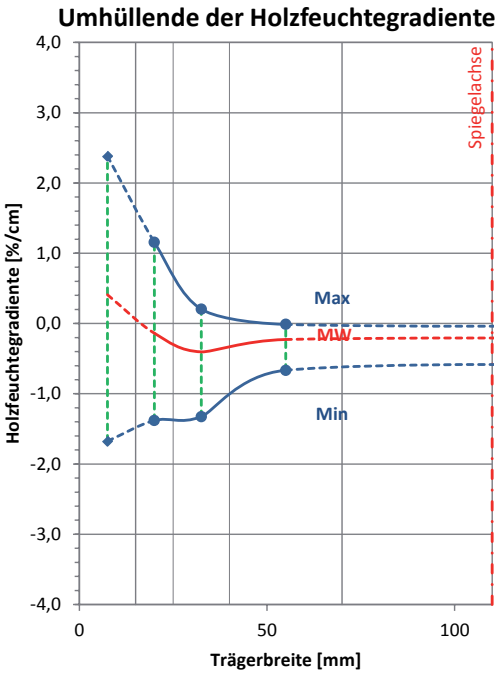


G2 Lagerhalle Gebr. Heißerer Prem

Messstelle 1: Außen am Kragarm, unter Vordach

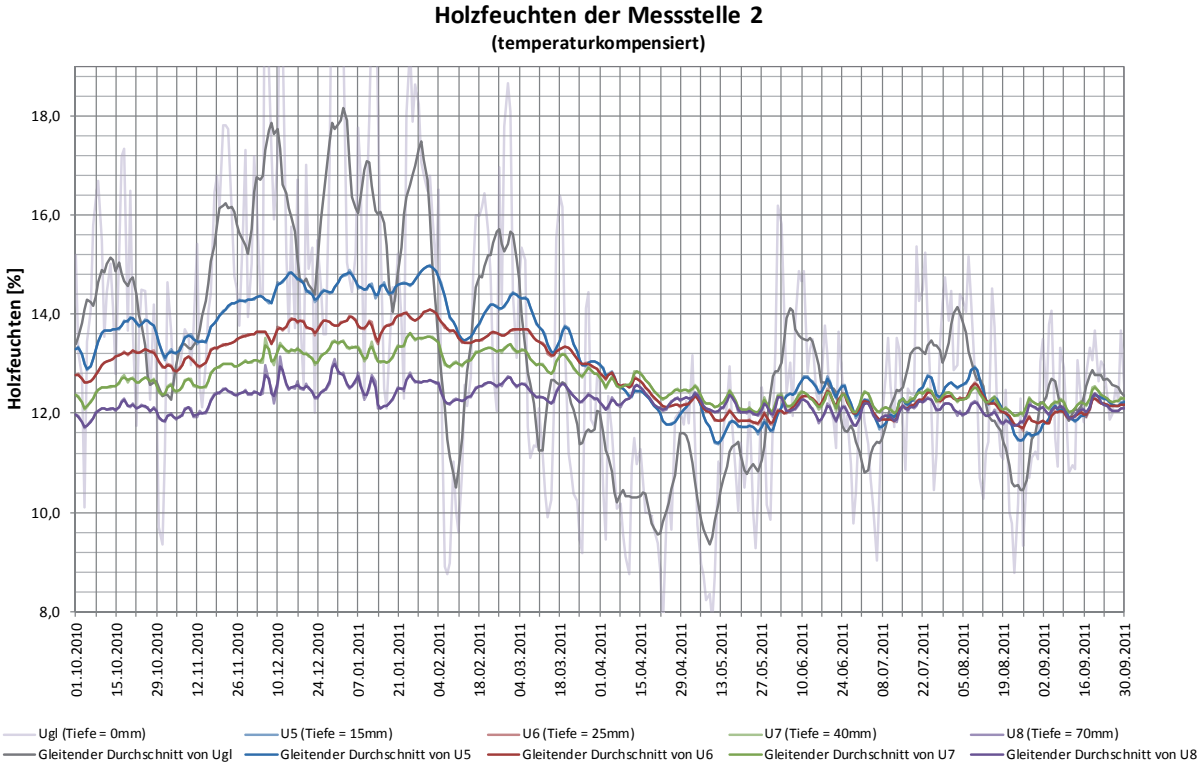


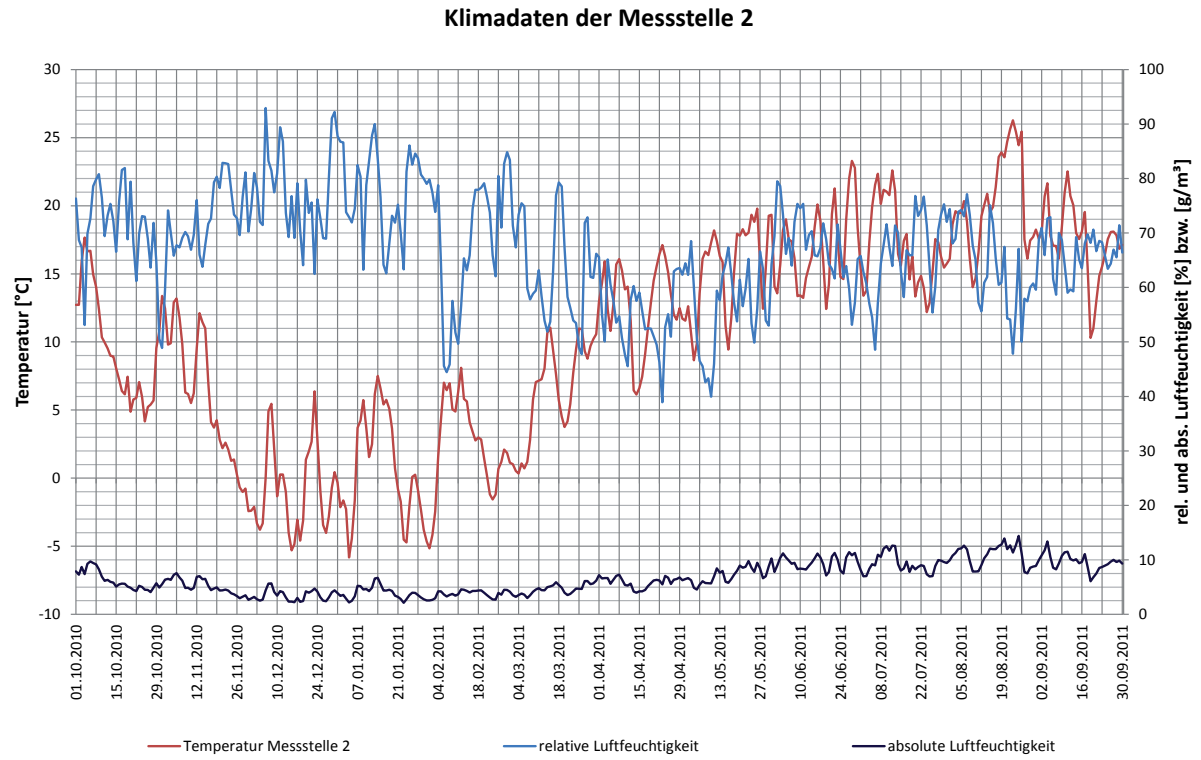




G2 Lagerhalle Gebr. Heißerer Prem

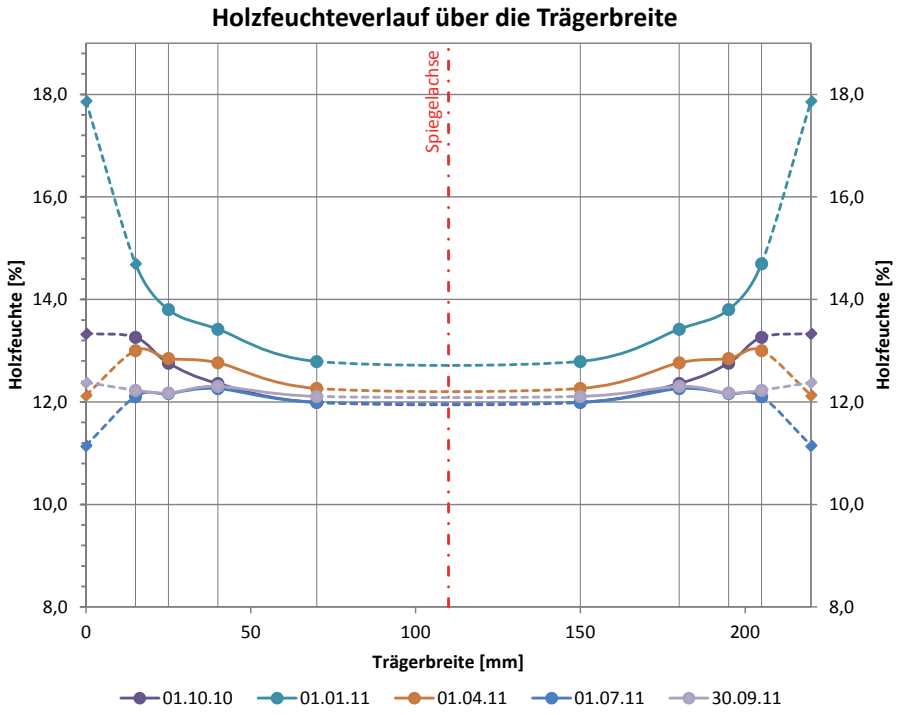
Messstelle 2: Im Hallenbereich, Nähe Feldmitte

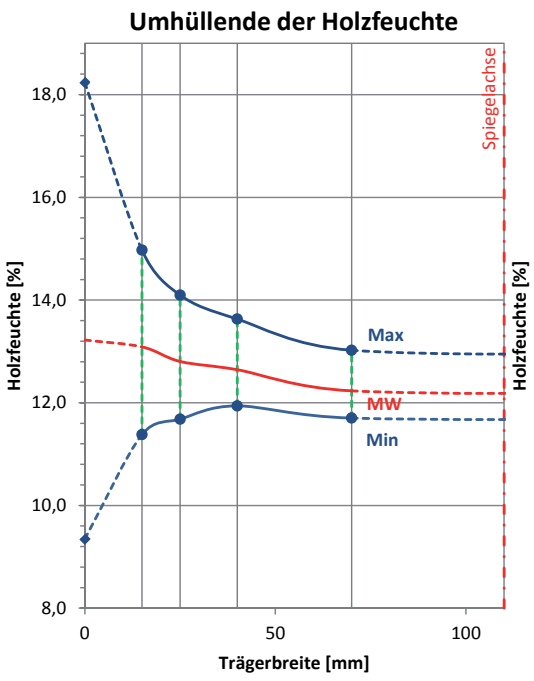


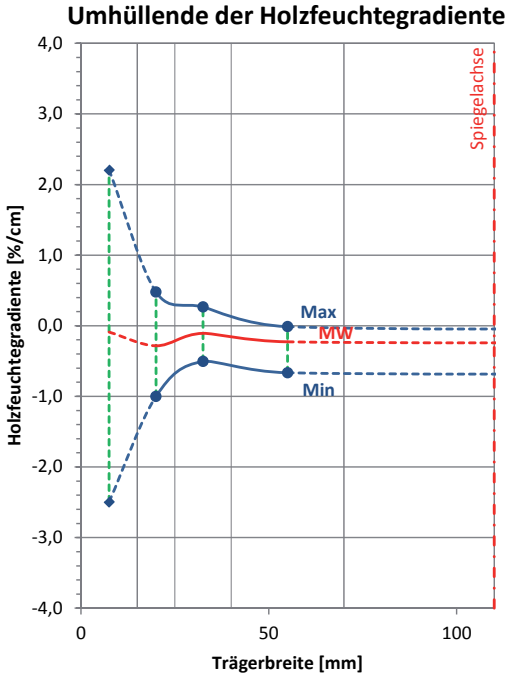


G2 Lagerhalle Gebr. Heißerer Prem

Messstelle 2: Im Hallenbereich, Nähe Feldmitte







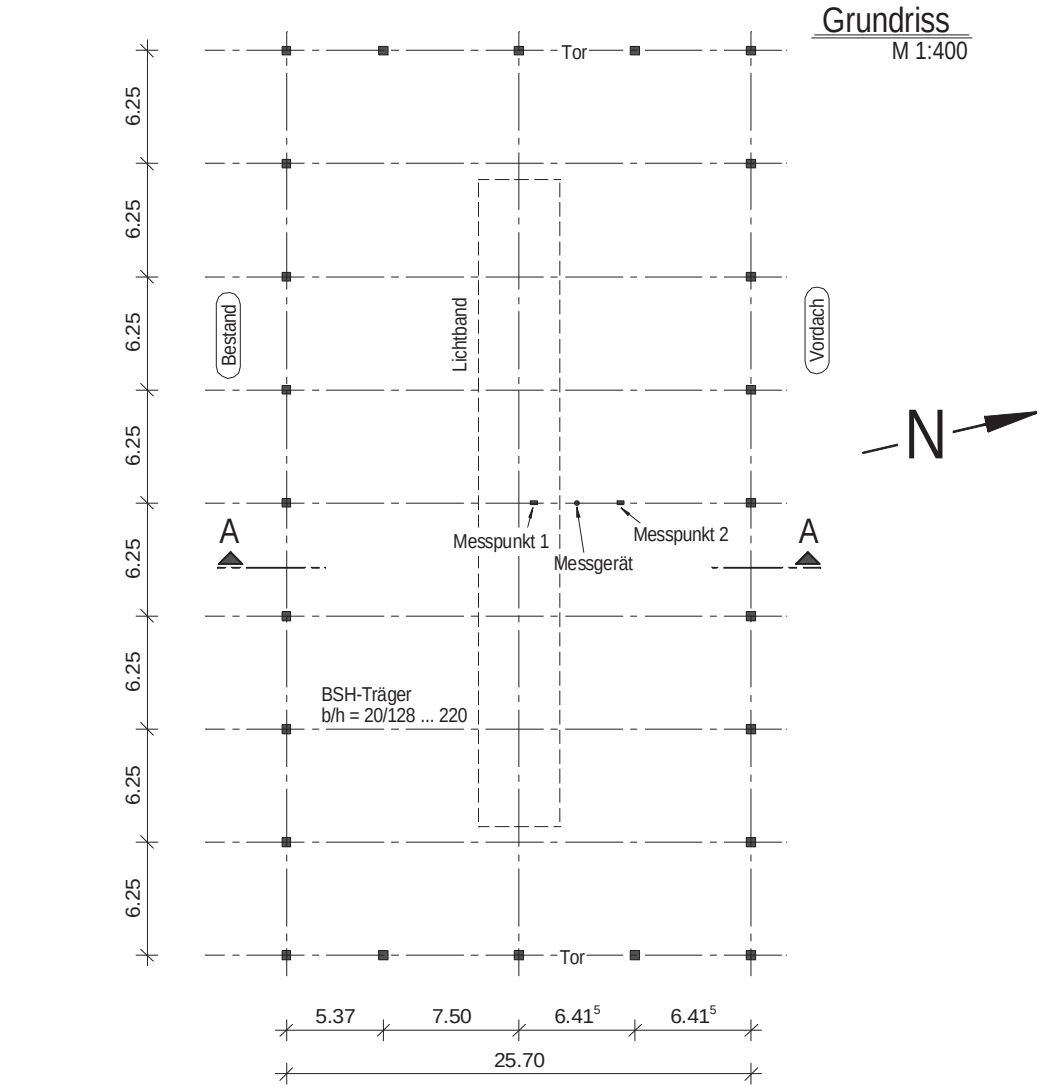
G3 Zimmerei Hubert Schmid Marktoberdorf

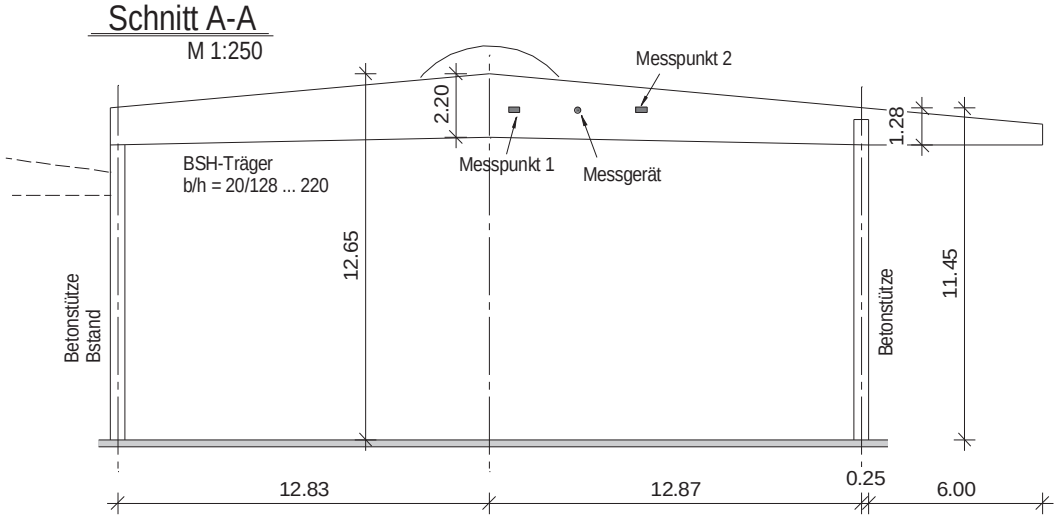
Anschrift:	Röntgenring 20-28 87616 Marktoberdorf
Ansprechpartner:	Herr Florian Schmid
Anwesende vor Ort:	Michael Merk, Andreas Gamper, Florian Schmid
Installationsdatum: Letztes Auslesedatum:	06.09.2010, 16:00 - 17:30 28.10.2011, 17:00 – 18:00
Umgebungsbedingungen:	Geschlossene, ungeheizte, konstruktiv gedämmte Lagerhalle mit großen Toren Temperatur: 20,6 °C; Luftfeuchte: 49 % (z.Zt. d. Installation)
Messstelle 1:	Im Firstbereich, unter der Lichtkuppel (Erfassung des Einflusses der Lichtkuppel als Referenz zu Messstelle 2)
Messstelle 2:	Am Viertelspunkt, zwischen First und Traufe; (Regelbereich in der Mitte der Lagerhalle)

Sensor	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte GANN [%]	Messwert Mugrauer [10lg(Ω)]	Einstellwerte GANN	
u1	15	11,6	93,8	x–y: 6–5; 20°	Messstelle 1
u2	25	11,8	92,7	Gemessene	
u3	40	11,6	93,3	Temperatur	
u4	70	11,4	93,6	t_1: 21,0°C	
u5	15	11,2	91,2	x–y: 6–5; 20°	Messstelle 2
u6	25	12,0	91,9	gemessene	
u7	40	11,9	92,2	Temperatur	
u8	70	11,5	93,4	t_2: 19,6°C	

Tragsystem:	Satteldachträger mit geradem UG als Einfeldträger mit Kragarm Spannweite ℓ = 25,70 m, Firsthöhe h = 12,65 m 9 Achsen, Achsabstand e = 6,25 m Trägerabmessungen b/h = 20/128 … 220 cm^2 Bauteile unbehandelt (vorbehaltlich eines nicht mehr erkennbaren, farblosen, offenporigen Anstrichs)

Skizzen:


Grundriss
M 1:400
Tor
Tor
Bestand
Lichtband
Vordach
N
A
A
Messpunkt 1
Messpunkt 2
Messgerät
BSH-Träger
b/h = 20/128 ... 220
6.25
6.25
6.25
6.25
6.25
6.25
6.25
6.25
5.37
7.50
6.41⁵
6.41⁵
25.70


Schnitt A-A
M 1:250
Messpunkt 2
2.20
1.28
BSH-Träger
b/h = 20/128 ... 220
Messpunkt 1
Messgerät
12.65
11.45
Betonstütze
Bstand
Betonstütze
12.83
12.87
0.25
6.00

Bilder:

Abbildung G3-1: Ansicht Tragwerk

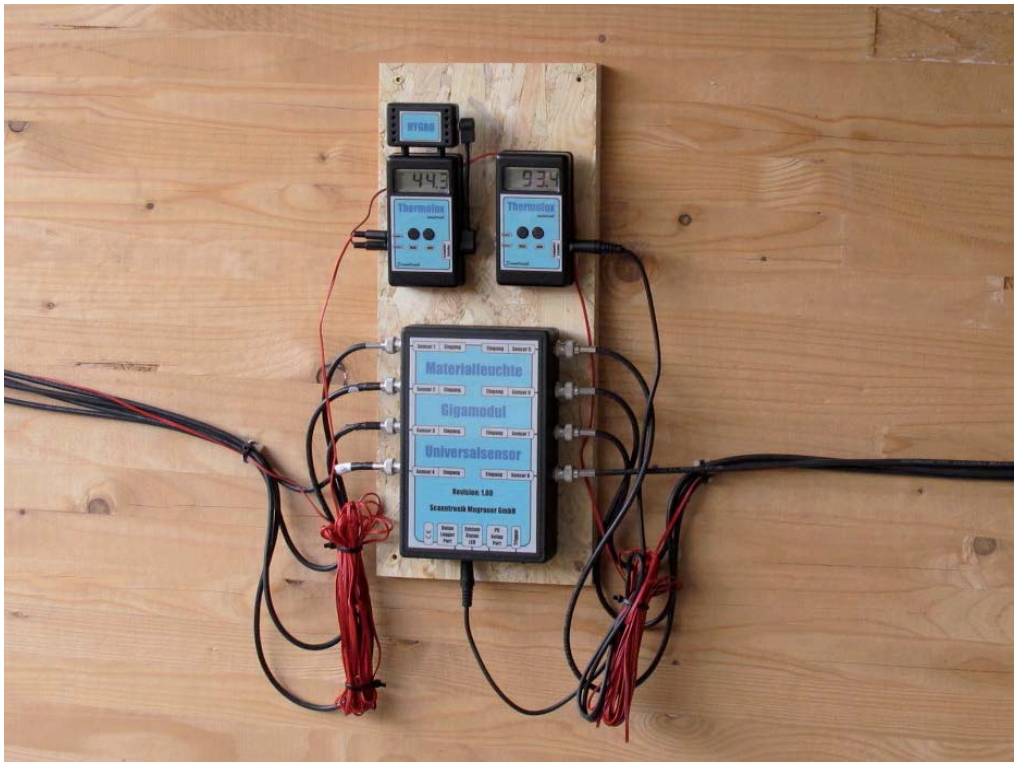


Abbildung G3-2: Ansicht Messstation

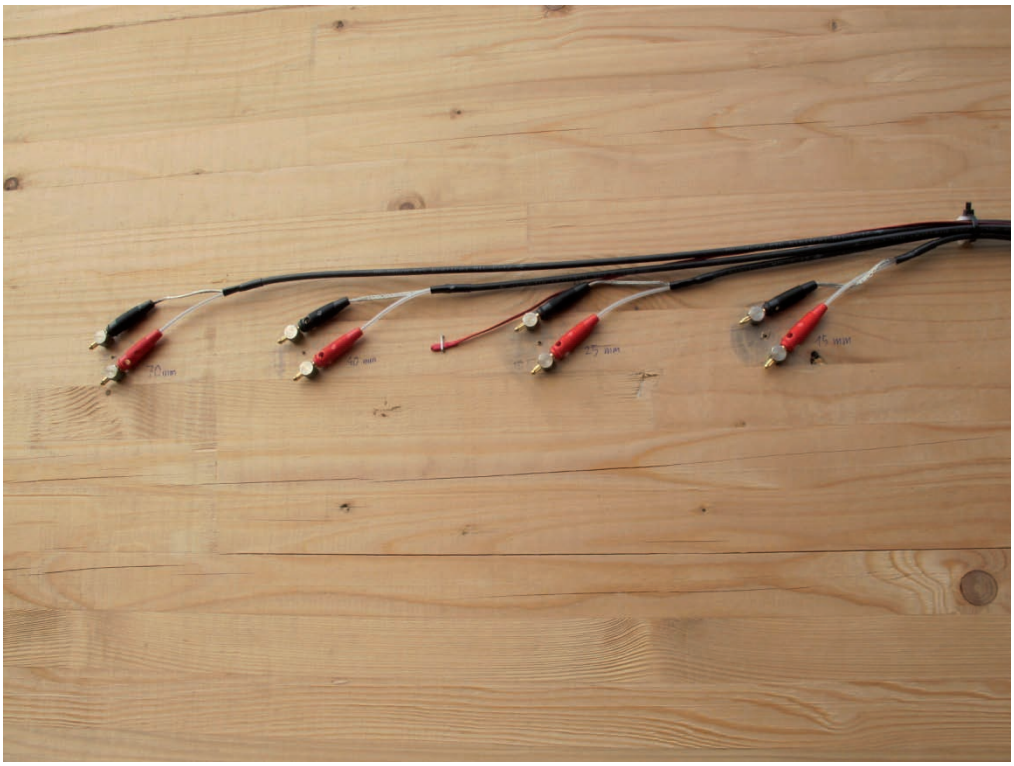
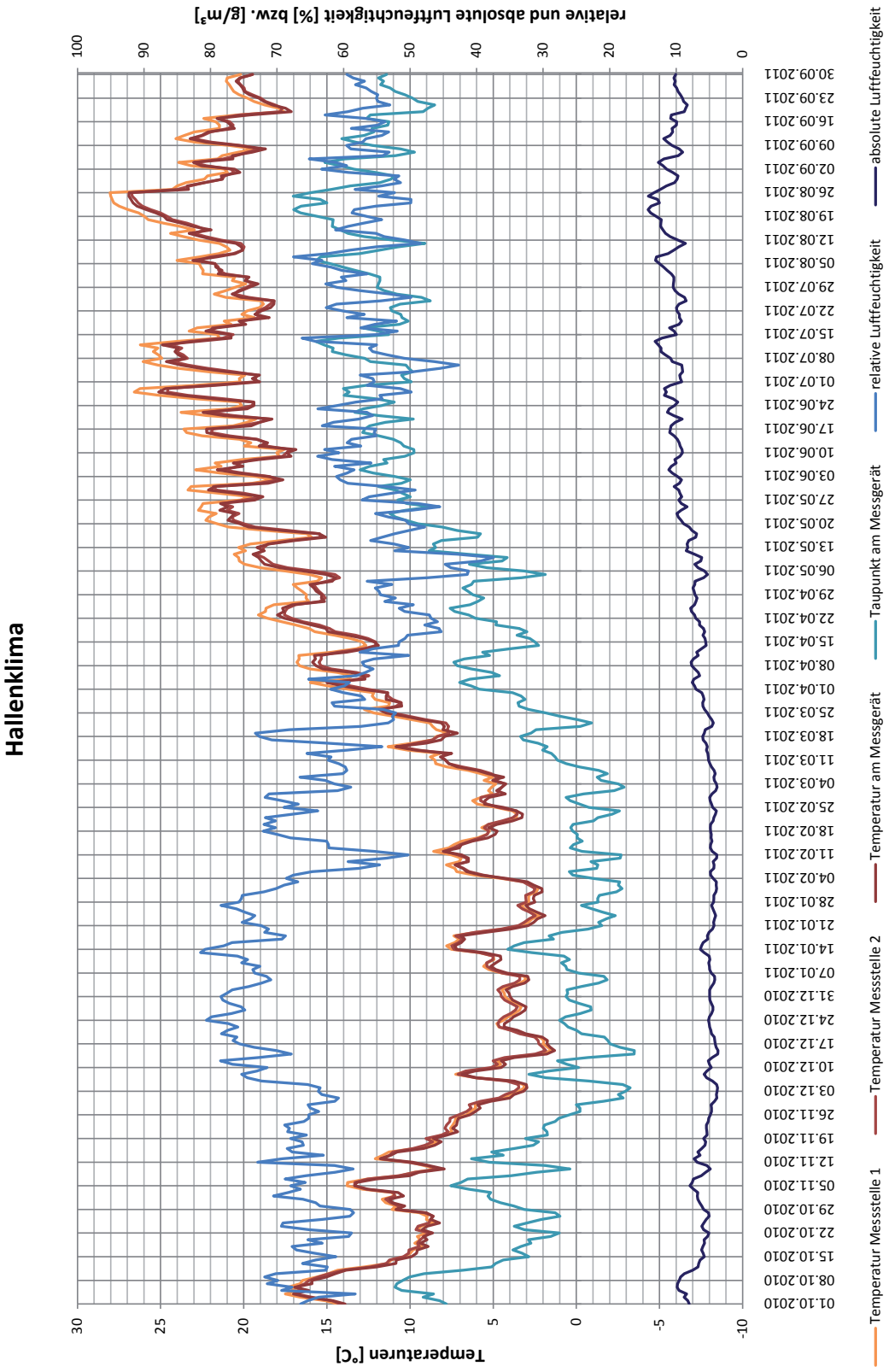


Abbildung G3-3: Ansicht Messstelle 1

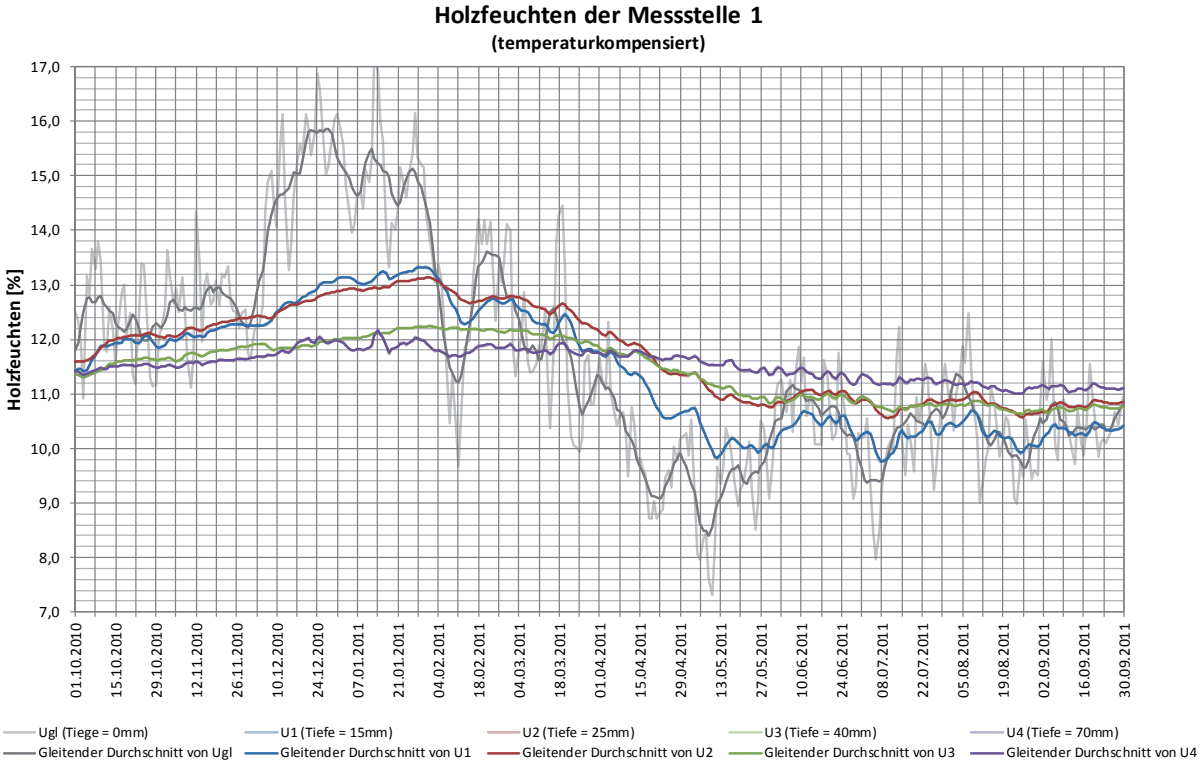
Abbildung G3-4: Ansicht Messstelle 2

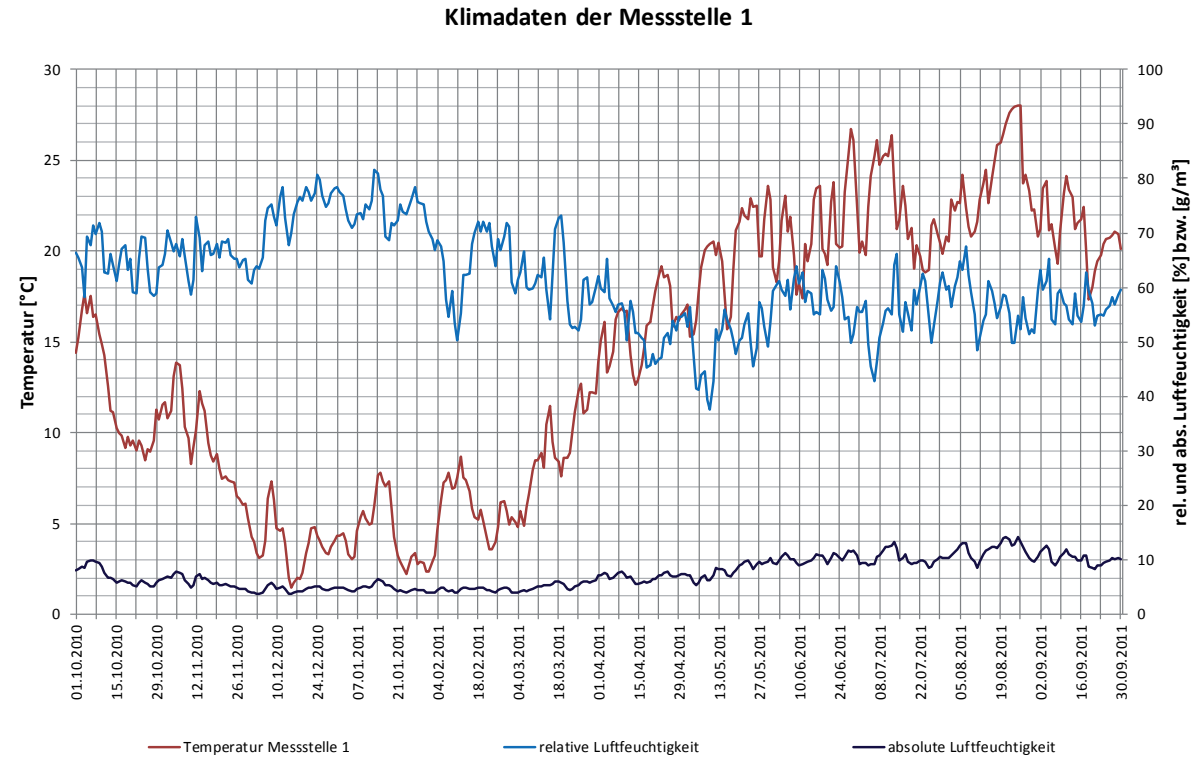
G3 Zimmerei Hubert Schmid Marktoberdorf



G3 Zimmerei Hubert Schmid Marktoberdorf

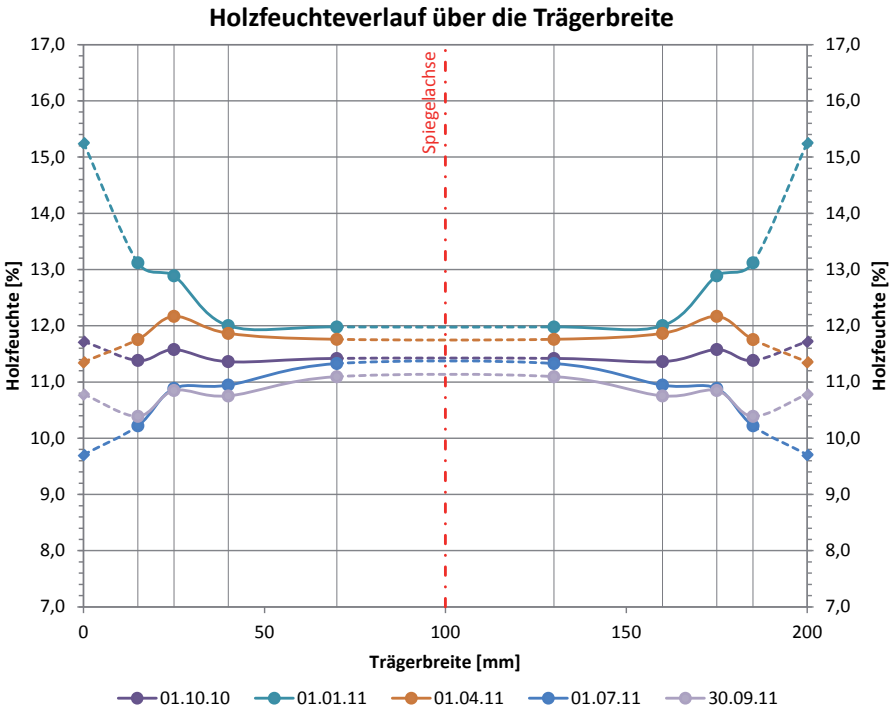
Messstelle 1: Im Firstbereich, unter der Lichtkuppel

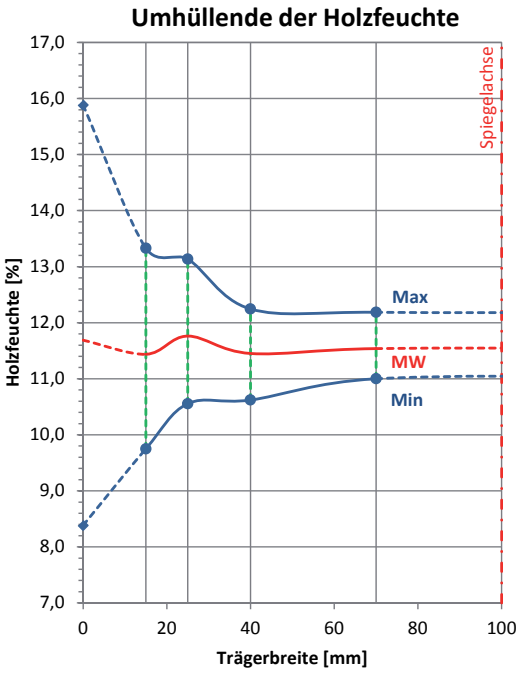


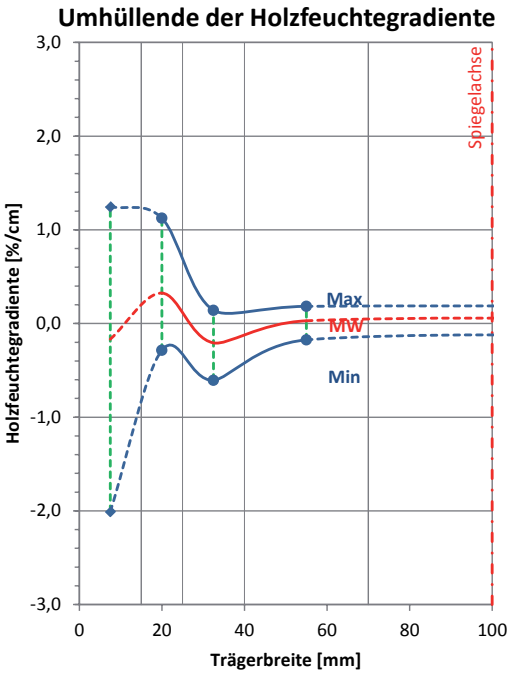


G3 Zimmerei Hubert Schmid Marktoberdorf

Messstelle 1 Im Firstbereich, unter der Lichtkuppel

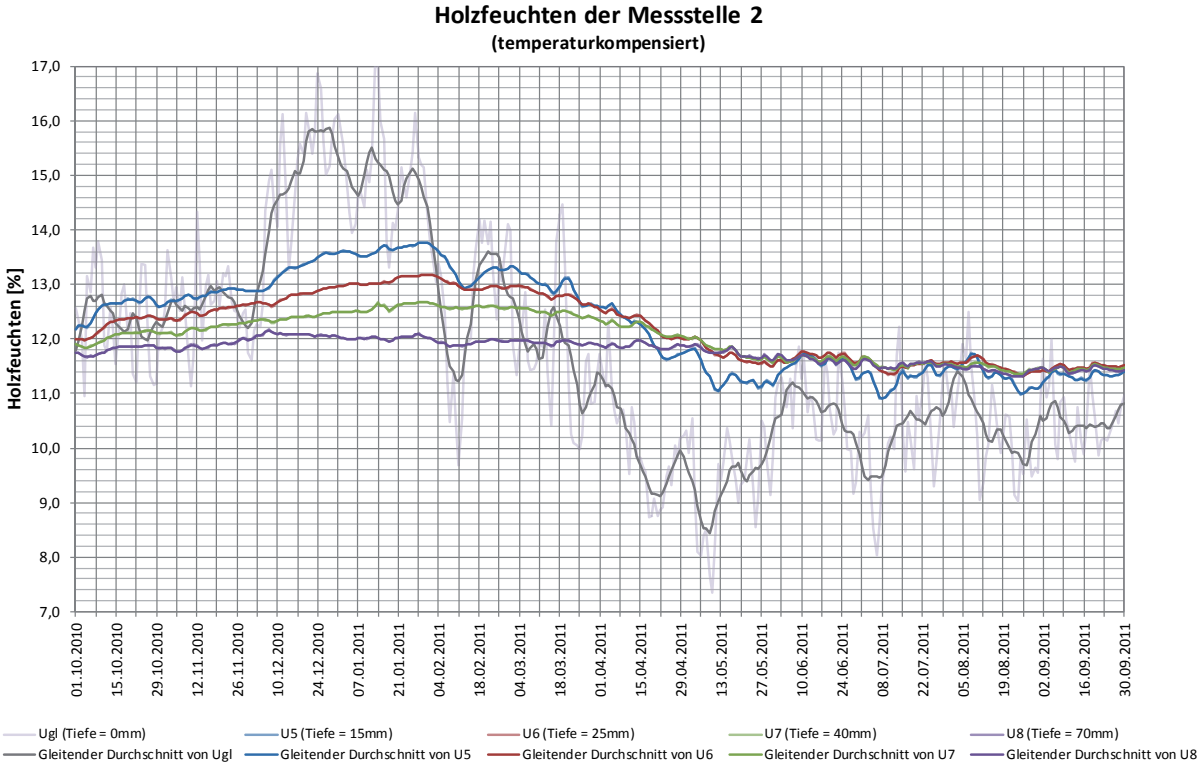


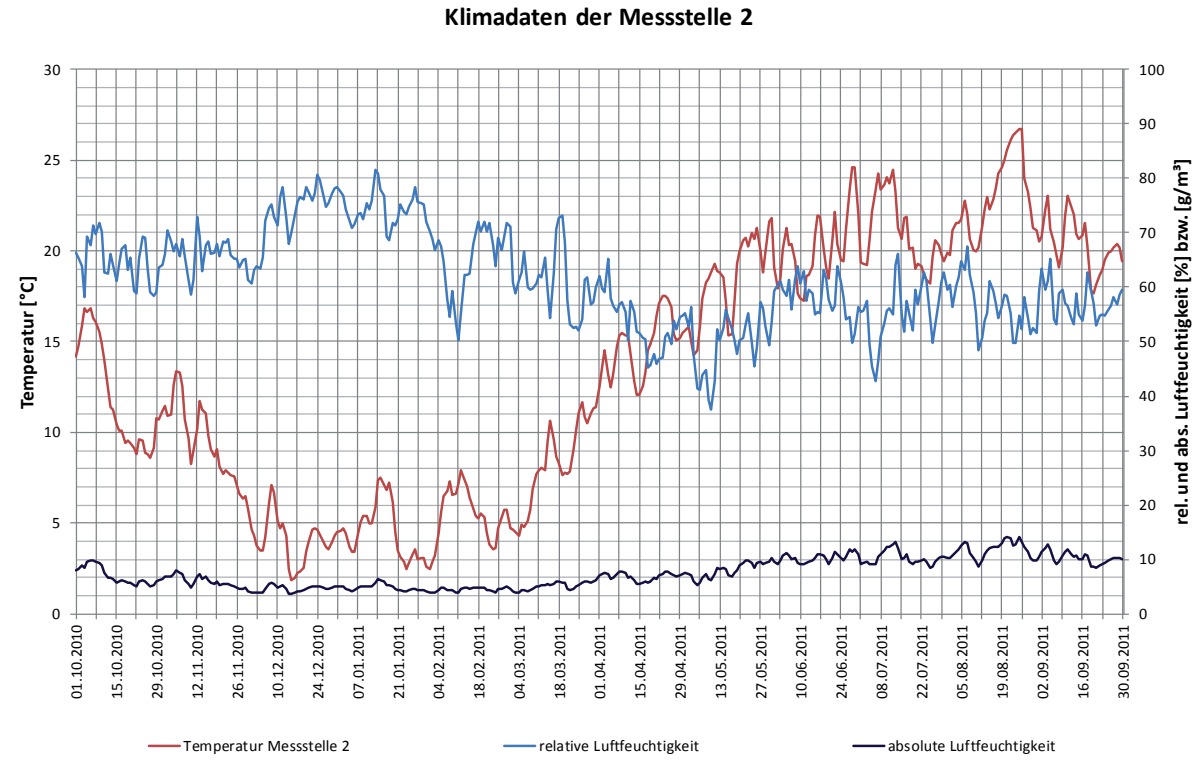




G3 Zimmerei Hubert Schmid Marktoberdorf

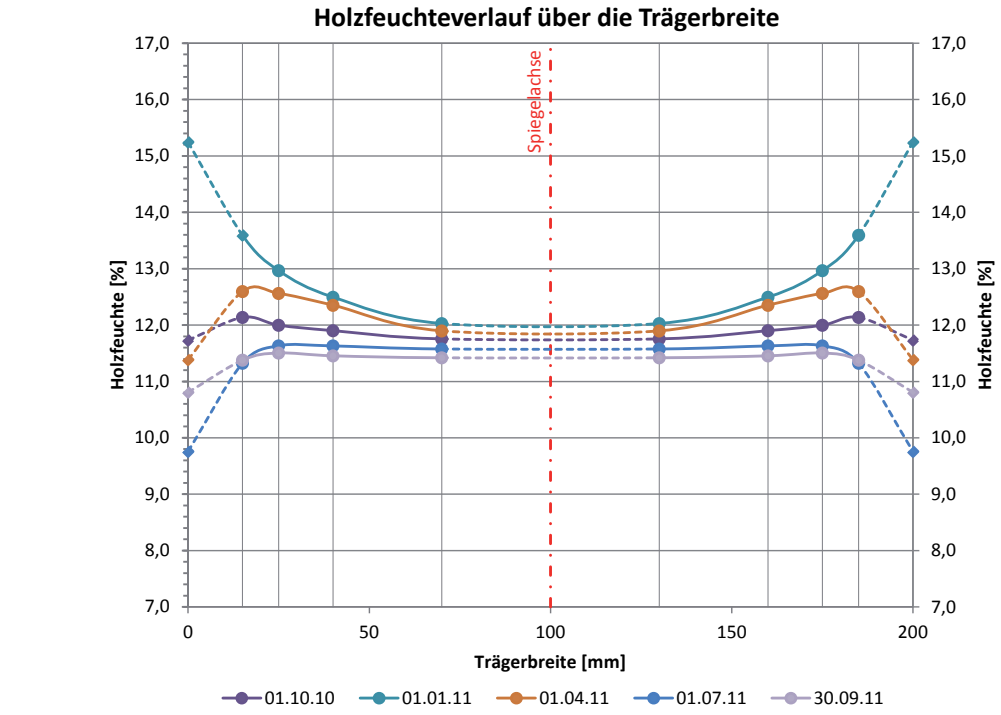
Messstelle 2: Am Viertelspunkt, zwischen First und Traufe

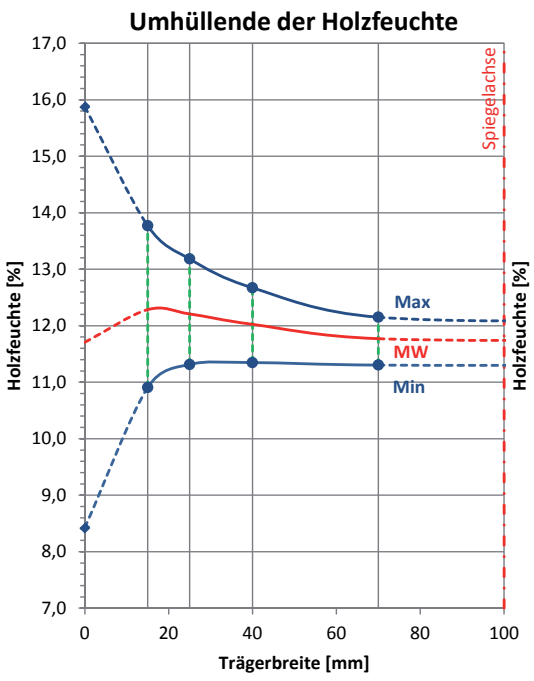


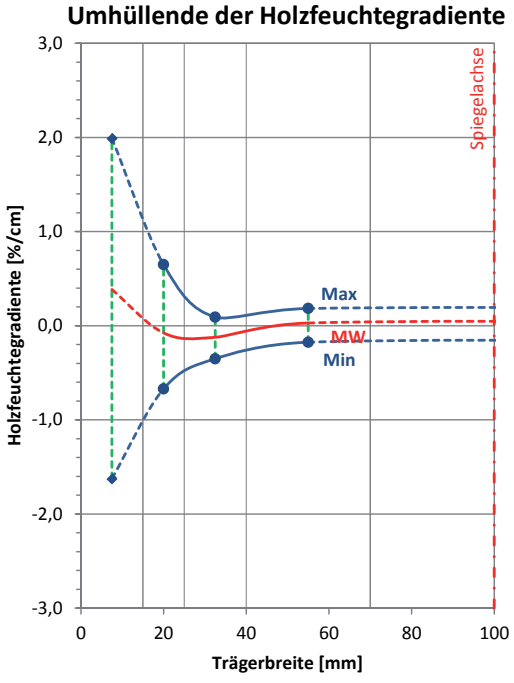


G3 Zimmerei Hubert Schmid Marktoberdorf

Messstelle 2 Am Viertelspunkt, zwischen First und Traufe







Abbildungsverzeichnis

Abbildung A1-1: Ansicht Tragwerk A-5
Abbildung A1-2: Ansicht Messstation A-5
Abbildung A1-3: Ansicht Messstelle 1 ..... A-6
Abbildung A1-4: Ansicht Messstelle 2 ..... A-6
Abbildung A2-1: Ansicht Tragwerk A-15
Abbildung A2-2: Ansicht Messstation A-15
Abbildung A2-3: Ansicht Messstelle 1 ..... A-16
Abbildung A2-4: Ansicht Messstelle 2 ..... A-16
Abbildung A3-1: Ansicht Tragwerk A-25
Abbildung A3-2: Ansicht Messstation A-25
Abbildung A3-3: Ansicht Messstelle 1 ..... A-26
Abbildung A3-4: Ansicht Messstelle 2 ..... A-26
Abbildung B1-1: Ansicht Tragwerk A-35
Abbildung B1-2: Ansicht Messstation A-35
Abbildung B1-3: Ansicht Messstelle 1 ..... A-36
Abbildung B1-4: Ansicht Messstelle 2 ..... A-36
Abbildung B2-1: Ansicht Tragwerk A-45
Abbildung B2-2: Ansicht Messstation A-45
Abbildung B2-3: Ansicht Messstelle 1 ..... A-46
Abbildung B2-4: Ansicht Messstelle 2 ..... A-46
Abbildung B3-1: Ansicht Tragwerk A-55
Abbildung B3-2: Ansicht Messstation A-55
Abbildung B3-3: Ansicht Messstelle 1 ..... A-56

Abbildung B3-4: Ansicht Messstelle 2 ..... A-56

Abbildung B4-1: Ansicht Tragwerk A-65

Abbildung B4-2: Ansicht Messstation A-65

Abbildung B4-3: Ansicht Messstelle 1 ..... A-66

Abbildung B4-4: Ansicht Messstelle 2 ..... A-66

Abbildung C1-1: Ansicht Tragwerk A-75

Abbildung C1-2: Ansicht Messstation A-75

Abbildung C1-3: Ansicht Messstelle 1 ..... A-76

Abbildung C1-4: Ansicht Messstelle 2 ..... A-76

Abbildung C2-1: Ansicht Tragwerk A-85

Abbildung C2-2: Ansicht Messstation A-85

Abbildung C2-3: Ansicht Messstelle 1 ..... A-86

Abbildung C2-4: Ansicht Messstelle 2 ..... A-86

Abbildung C3-1: Ansicht Tragwerk A-95

Abbildung C3-2: Ansicht Messstation A-95

Abbildung C3-3: Ansicht Messstelle 1 ..... A-96

Abbildung C3-4: Ansicht Messstelle 2 ..... A-96

Abbildung D1-1: Ansicht Tragwerk A-105

Abbildung D1-2: Ansicht Messstation A-105

Abbildung D1-3: Ansicht Messstelle 1 ..... A-106

Abbildung D1-4: Ansicht Messstelle 2 ..... A-106

Abbildung D2-1: Ansicht Tragwerk A-115

Abbildung D2-2: Ansicht Messstation A-115

Abbildung D2-3: Ansicht Messstelle 1 ..... A-116

Abbildung D2-4: Ansicht Messstelle 2 ..... A-116
Abbildung D3-1: Ansicht Tragwerk A-125
Abbildung D3-2: Ansicht Messstation A-125
Abbildung D3-3: Ansicht Messstelle 1 ..... A-126
Abbildung D3-4: Ansicht Messstelle 2 ..... A-126
Abbildung E1-1: Ansicht Tragwerk A-135
Abbildung E1-2: Ansicht Messstation A-135
Abbildung E1-3: Ansicht Messstelle 1 ..... A-136
Abbildung E1-4: Ansicht Messstelle 2 ..... A-136
Abbildung E2-1: Ansicht Tragwerk A-145
Abbildung E2-2: Ansicht Messstation A-145
Abbildung E2-3: Ansicht Messstelle 1 ..... A-146
Abbildung E2-4: Ansicht Messstelle 2 ..... A-146
Abbildung F1-1: Ansicht Tragwerk A-155
Abbildung F1-2: Ansicht Messstation A-155
Abbildung F1-3: Ansicht Messstelle 1 ..... A-156
Abbildung F1-4: Ansicht Messstelle 2 ..... A-156
Abbildung F2-1: Ansicht Tragwerk A-165
Abbildung F2-2: Ansicht Messstation A-165
Abbildung F2-3: Ansicht Messstelle 1 ..... A-166
Abbildung F2-4: Ansicht Messstelle 2 ..... A-166
Abbildung F3-1: Ansicht Tragwerk A-175
Abbildung F3-2: Ansicht Messstation A-175
Abbildung F3-3: Ansicht Messstelle 1 ..... A-176

Abbildung F3-4: Ansicht Messstelle 2 .....A-176

Abbildung G1-1: Ansicht Tragwerk.....A-185

Abbildung G1-2: Ansicht Messstation A-185

Abbildung G1-3: Ansicht Messstelle 1 .....A-186

Abbildung G1-4: Ansicht Messstelle 2 .....A-186

Abbildung G2-1: Ansicht Tragwerk.....A-195

Abbildung G2-2: Ansicht Messstation A-195

Abbildung G2-3: Ansicht Messstelle 1 .....A-196

Abbildung G2-4: Ansicht Messstelle 2 .....A-196

Abbildung G3-1: Ansicht Tragwerk.....A-205

Abbildung G3-2: Ansicht Messstation A-205

Abbildung G3-3: Ansicht Messstelle 1 .....A-206

Abbildung G3-4: Ansicht Messstelle 2 .....A-206