

Stefan Winter, Robert Pawlowski, Klaudius Henke

**Kontinuierliche
Verformungsüberwachung
weitgespannter Hallentragwerke auf
der Basis digitaler Bildverarbeitung**

F 2828

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

2012

ISBN 978-3-8167-8765-5

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/tauforschung



Abschlussbericht für das Forschungsvorhaben:

Kontinuierliche Verformungsüberwachung weitgespannter Hallentragwerke auf der Basis digitaler Bildverarbeitung

Forschungsstellen:

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

Hochschule Karlsruhe
Technik und Wirtschaft
Prof. Dr.-Ing. Robert Pawlowski
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe

Projektleitung:

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Klaudius Henke
Prof. Dr.-Ing. Robert Pawlowski

unterstützt durch:

Impuls Bildanalyse GmbH
Bahnhofstraße 40
86807 Buchloe

Landratsamt Garmisch-Partenkirchen
Olympiastraße 10
82467 Garmisch-Partenkirchen

Sommer GmbH & Co. KG
Straßenhäuser 27
6842 Koblach, Österreich

gefördert von:

Forschungsinitiative Zukunft Bau
Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
Deichmanns Aue 31-37
53179 Bonn

Das Forschungsvorhaben wurde aus Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung gefördert.

(Aktenzeichen: Z6-10.08.18.7-08.18/II2-F20-08-20)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.

München / Karlsruhe, 30. September 2011



Zusammenfassung

Um ein einfaches, robustes, redundantes und kostengünstiges Verfahren zur kontinuierlichen Verformungsüberwachung von Hallentragwerken zu entwickeln, wurden die Methoden der industriellen Bildverarbeitung ins Bauwesen übertragen: Ausgewählte Punkte des Tragwerks werden mit elektronischen Kameras periodisch erfasst und ihre Abbildungen im digitalen Bild vermessen.

Durch Vorversuche im Labor konnte gezeigt werden, dass mit Hilfe der digitalen Bildverarbeitung Bewegungen von Zielpunkten auch über Distanzen im Gebäudemassstab millimetergenau erfasst werden können.

Die Praxistauglichkeit des Verfahrens wurde im Rahmen eines Pilotprojektes nachgewiesen. In einer Halle mit einem weit gespannten Dachtragwerk aus Holz wurden unterschiedliche Varianten von Bildverarbeitungssystemen erprobt. Um störende Einflüsse aus Umgebungslicht auszublenden, dienen als Mess- und Referenzpunkte LEDs, deren Strahlung im Infrarotbereich liegt. Die Kameras sind entsprechend auf diesen Spektralbereich eingestellt. Das Bildverarbeitungssystem wird durch einfache Warnsysteme ergänzt. Mit einem zusätzlich fest eingebauten Lasermesssystem können Kontrollmessungen durchgeführt werden. Außerdem wurde ein Schneemesssystem installiert, um die Korrelation zwischen Einwirkung aus Schnee und Verformung beobachten zu können. Als Objekt wurde die Dreifachturnhalle des Staffelseegymnasiums in Murnau im Landkreis Garmisch-Partenkirchen ausgewählt.

Durch das Pilotprojekt konnte der Nachweis erbracht werden, dass die vorgeschlagene Messtechnik geeignet ist, Tragwerksverformungen auf hohem Genauigkeitsniveau zu erfassen. Um die aktuellen Entwicklungen auf der Hardware- und Softwareseite (neue Kamera- und Bildverarbeitungstechniken, energieautarke Systeme, web cloud, neue Mobilgeräte wie Tablet-PC's, Smartphones) nutzen zu können, ist auch weiterhin Entwicklungsarbeit notwendig.



Abstract

Industrial image processing techniques were applied to the construction industry with the aim of developing a simple, robust, redundant and economical monitoring system for detecting deformation in wide-span roof structures: selected points of the structure are captured by electronic cameras at regular intervals and their position is measured in the digital image.

Preliminary tests in the laboratory showed that by using digital image processing it is possible to track targets at a large scale and over distances typical for building structures, within a matter of millimetres.

The suitability of the method for daily use was verified in a pilot project. In a building with a wide-span timber roof structure different systems of digital image processing were tested. The cameras and LED-targets used for measuring operate in the infrared range, which means that the quality of the images is not affected by the lighting conditions. The digital image processing system is complemented by simple alarming devices. Reference measurements can be taken with a build-in laser gauge. In addition, snow cushions were installed on the roof in order to observe the correlation between snow load and deformation. As a pilot project, the gym of the Staffelsee High School in Murnau in the district of Garmisch-Partenkirchen was selected

Through the pilot project it could be proven that the measuring technique proposed is suited to gauge deformations of building structures on a high level of accuracy. To be able to benefit from actual developments concerning hard- and software (new cameras and digital image processing techniques, self-sufficient systems, web cloud, new mobile devices as tablet-pc's and smart phones), further research will be necessary.



Vorwort

Den Anstoß zu dieser Arbeit gaben die zahlreichen Halleneinstürze im Winter 2005/2006. Um einen sicheren Betrieb von Bestandsgebäuden - auch bei sich ändernden Einwirkungen z.B. aus Schnee - dauerhaft zu gewährleisten, können neben Maßnahmen zur Nachrüstung von Tragwerkselementen Verfahren zur kontinuierlichen Überwachung verschiedener tragwerksrelevanter Größen eingesetzt werden. Die Erfassung von Verformungen nimmt hierbei eine herausragende Stellung ein. Auf der Suche nach einem geeigneten Verfahren, das hohe Genauigkeiten zu geringen Kosten bereitstellt, entstand am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der Technischen Universität München die Idee, die Methoden der industriellen Bildverarbeitung für die Messung von Verformungen an Gebäuden zu adaptieren.

Dem am 31.3.2008 beim Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) eingereichten Antrag auf Förderung eines entsprechenden Forschungsvorhabens aus Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) wurde mit Bescheid vom 8.9.2008 stattgegeben. Bereits im August 2008 konnte in Abstimmung mit dem BBR die Arbeit an dem Forschungsvorhaben aufgenommen werden.

Während der Laufzeit des Projektes wurde Dr. Robert Pawlowski als Professor an die Hochschule Karlsruhe, Technik und Wirtschaft berufen. Von diesem Zeitpunkt an wurde das Projekt in Kooperation zwischen den beiden Hochschulen weitergeführt.

Als Partner aus der Branche der Bildverarbeitung konnte Herr Dipl.-Ing. Peter Schregle, Geschäftsführer der Impuls computergestützte Bildanalyse GmbH in das Projektteam geholt werden. Er unterstützte das Vorhaben mit Barmitteln, vor allem aber mit seiner großen Kompetenz und beachtlichem Durchhaltevermögen. Die äußerst angenehme Zusammenarbeit und die räumliche Nähe der Firma haben das Projekt wesentlich gefördert.

Die Praxistauglichkeit des Verfahrens sollte im Rahmen eines Pilotprojektes nachgewiesen werden. Der Landkreis Garmisch-Partenkirchen stellte hierfür die Turnhalle des Staffelseegymnasiums in Murnau zur Verfügung und förderte das Projekt zusätzlich auch finanziell. Für die stets reibungslose und unbürokratische Kooperation, insbesondere mit Herrn Andreas Berndaner, sei dem Landratsamt herzlich gedankt. Auch die Unterstützung seitens des Gymnasiums darf nicht unerwähnt bleiben. Stellvertretend seien Herr Gerhard Müller, betreuender Lehrer des EDV Schulnetzwerks und die Hausmeister Thomas Rapp-König, Alois Wagner und Viktor Weber genannt. Für Probelastungen des Hallendaches mit wassergefüllten Behältnissen konnten wir die Hilfe der freiwillige Feuerwehr Murnau in Anspruch nehmen. Ein herzliches Dankeschön an Herrn Michael Hosp, Kommandant, Herrn Carsten Karl, Gerätewart und alle anderen Freiwilligen.

Die Firma Sommer GmbH & Co. KG aus Österreich spendierte für das Projekt ein Schneekissen. Unser Dank gilt Herrn Ing. Wolfram Sommer und Herrn Peter Bösch.



Für die projektbegleitende Expertengruppe konnten Frau Dipl.-Ing. Eva Meisner, Baureferat der Landeshauptstadt München, Herr Dipl.-Ing. Christoph Schreyer, Kreisbaumeister am Landratsamt Garmisch-Partenkirchen und Herr Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Wunderlich, Ordinarius des Lehrstuhls für Geodäsie der Technische Universität München gewonnen werden. Bei der Arbeitsgruppensitzung am 6.3.2009 wurde Herr Schreyer von Herrn Andreas Berndaner, Landratsamt Garmisch-Partenkirchen und Herrn Regierungsbaumeister Dipl.-Ing. Georg Bosch, Ingenieurbüro Bosch vertreten. Nicht zuletzt gehörte der Expertengruppe der Emeritus des ehemaligen Fachgebietes Holzbau der Technischen Universität München, Herr Univ.-Prof. i.R. Dr.-Ing. Heinrich Kreuzinger an, der auch bei anderen Gelegenheiten durch sein Mitdenken das Projekt immer wieder vorangetrieben hat. Ihnen allen sei dafür gedankt, dass sie sich trotz stets voller Terminkalender Zeit für die Forschungsarbeit genommen haben.

Zuletzt sei den studentischen Helfern Andreas Röhm, Josef Kraus, Martin Wöhlte, Fritz Heisig, Florian Kornblum, Sergej Maltsev und Suhad Abbas sowie unserem Techniker Ulrich Münchow und unserer Buchhaltungs-Fachfrau Elisabeth Bukowska-Suchy für ihre engagierte und zuverlässige Zuarbeit gedankt.



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	7
2	Forschungsziel, Lösungsweg, Vorversuche an der Technischen Universität München	9
2.1	Forschungsziel und Lösungsweg.....	9
2.2	Vorversuche an der Technischen Universität München.....	9
3	Pilotprojekt Murnau, Hallenbeschreibung	12
3.1	Beschreibung des Bauwerks	12
3.2	Tragsicherheit des Dachtragwerks	13
4	Monitoringsystem für die Turnhalle des Staffelseegymnasiums in Murnau.....	15
4.1	Systemübersicht	15
4.2	Verformungsmessung Bildverarbeitung.....	17
4.2.1	Vorversuche in der Turnhalle in Murnau	17
4.2.2	Kameras und Leuchtdioden.....	20
4.2.3	Montage des Bildverarbeitungssystems.....	21
4.2.4	Kalibrierung der Perspektive.....	25
4.2.5	Berücksichtigung der Verdrehung	26
4.2.6	Referenz-Kompensation	27
4.2.7	Software zur Verformungsmessung.....	30
4.2.8	Testmessungen mit simulierter Verformung	31
4.3	Verformungsmessung Laser	33
4.4	Wetterstation mit Schneekissen	36
4.5	PC, USV, sicherer Betrieb.....	39
4.6	Datenübertragung, Fernzugang	40
4.7	Datenauswertung	40
4.8	Alarmsystem.....	44
4.8.1	Kriterien für Grenzwerte	45
4.8.2	Betriebs- und Alarmstufen	47
5	Messungen unter künstlicher Last	48
5.1	Verformungsmessung unter künstlicher Last	48
5.2	Messungen mit Schneekissen unter künstlicher Last.....	52



6	Besondere Ereignisse während der ersten Testperiode	55
6.1	LED-ähnliche Blendeffekte.....	55
6.2	Ungewöhnliche Ausschläge in den Verformungsdiagrammen	56
6.3	negative Werte gemessener Schneelasten.....	57
6.4	häufige Stromausfälle in Murnau	57
6.5	Einschränkungen bei der Datenübertragung und der Datenanalyse	57
7	Fazit.....	59
8	Anhänge	60
8.1	Datenbank des Bildverarbeitungssystems.....	60
8.1.1	Tabelle configure_cameras	60
8.1.2	Tabelle log.....	63
8.1.3	Tabelle measurements.....	63
8.1.4	Tabelle raw_measurements	64
8.1.5	Backup und Restore	65
8.1.6	Stellung des Systems auf 0-Position	67
8.1.7	Ursprüngliche Datenbank Konfiguration.....	68
8.1.8	Softwareversionen	71
8.2	Software zur Messdatenauswertung	73
8.2.1	Hauptformular	73
8.2.2	Aufbau des Programms	82
8.2.3	Einstellungen.....	84
9	Literaturverzeichnis	91
10	Abbildungsverzeichnis	92
11	Tabellenverzeichnis	97



1 Einleitung

Die zahlreichen Halleneinstürze der vergangenen Winter in Deutschland und dem benachbarten Ausland [vgl. Winter 2007, Dietsch u. Winter 2009] führten unter anderem zu dem Wunsch nach besseren Möglichkeiten für die Überwachung von Hallentragwerken als vorbeugende Maßnahme.

Darüber hinaus machten die veränderten Klimabedingungen und die europaweite Einführung des Sicherheitskonzepts auf der Basis der Teilsicherheitsbeiwerte (DIN 1055-100:2001-03) eine Überarbeitung der relevanten Einwirkungsnormen notwendig. So sind zum Beispiel die Wind- und Schneelastnormen (DIN 1055-5:2005-03, Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 4: Windlasten, DIN 1055-5:2005-07, Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 5: Schneelasten) in ihren neuen Fassungen bereits deutschlandweit als Technische Baubestimmungen eingeführt. Daraus resultieren zum Teil erheblich größere Lasten, die für die Nachweise der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit anzusetzen sind. Ein Beispiel dafür ist die Anwendung der Schneelastnorm DIN 1055-5:2005-07 in alpennahen Gebieten, für die sich eine wesentliche Vergrößerung der Schneelast auf bis zu 200% und mehr im Vergleich zu der bis zum 31.12.2007 geltenden DIN 1055-5:1975-06 ergibt. Die Tragsicherheit bzw. die Gebrauchstauglichkeit vieler Bestandsgebäude bei Auftreten der neuen Lasten ist nicht mehr gewährleistet, die Gebäude entsprechen nicht den gegenwärtigen Technischen Baubestimmungen.

Der Betrieb der Bestandsgebäude kann auf der Grundlage des Bestandschutzes weiterhin erfolgen. Dabei liegt es in der Verantwortung des Hallenbetreibers sicher zu stellen, dass der tatsächlich auf dem Dach liegende Schnee nicht zur Überschreitung der Grenzzustände der Tragsicherheit bzw. Gebrauchstauglichkeit oder nicht zu einer Verringerung des Sicherheitsniveaus führt. Gewöhnlich erfolgt das durch die Benennung einer für manuelle Schneelastmessungen auf dem Gebäudedach verantwortlichen Person und das Festlegen einer Grenzsneelast, ab der das Dach zu räumen ist. Da der Erfolg dieser Vorgehensweise primär durch die Zuverlässigkeit der verantwortlichen Personen bestimmt wird, weist sie ein erhöhtes Risikopotential auf. Eine denkbare Alternative ist es, die Einwirkungen auf das Tragwerk sowie die dazugehörigen Verformung von einem automatisch arbeitenden System kontinuierlich überwachen zu lassen, welches beim Erreichen definierter Werte entsprechende Warnungen ausgibt. Ergänzend können durch eine Kombination der kontinuierlichen Messungen und der Wettervorhersage ggf. frühzeitige und damit weniger kostenintensive Maßnahmen (z.B. Räumen bereits vorhandenen Frischschnees) ergriffen werden.

Die Vorteile eines kontinuierlich und automatisch arbeitenden Überwachungssystems liegen in der Reduzierung des Risikopotentials und Erhöhung der Wirtschaftlichkeit für den Gebäudebetrieb. Unter Umständen können Überwachungssysteme als Alternative zur kostenintensiven Verstärkungsmaßnahmen an Bestandsgebäuden eingesetzt werden. Ebenfalls ist es sinnvoll, Neubauten mit Überwachungssystemen zu bestücken.

Diese Umstände legen verstärkte Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen im Bereich des Tragwerksmonitorings nahe. Verfügbare Systeme zur Verformungsmessung sind teils sehr



kostenintensiv, teils nur warnend und nicht kontinuierlich messend, teils auch ungeeignet zum Einsatz in genutzten Hallen [Riedner 2007 u. Wöhlte 2008]. Ein einfaches, robustes, redundantes und kostengünstiges Überwachungsverfahren zur kontinuierlichen Verformungs- und Einwirkungsüberwachung von Hallentragwerken ist noch zu entwickeln. Die technischen Voraussetzungen auf den Gebieten der Elektronik und Informatik sind bereits vorhanden. Der vorliegende Forschungsvorschlag soll die Grundlagenarbeit unter besonderer Beachtung der Aspekte der Verformungsmessung leisten.

2 Forschungsziel, Lösungsweg, Vorversuche an der Technischen Universität München

2.1 Forschungsziel und Lösungsweg

Ziel ist die Entwicklung eines einfachen, robusten, redundanten und kostengünstigen Verfahrens zur Überwachung der Verformung von Hallentragwerken. Verschiedene Technologien, die zur Anwendung bei dieser Aufgabenstellung in Frage kommen, wurden auf ihre Tauglichkeit hierfür untersucht. Die größten Potentiale verspricht die so genannte industrielle Bildverarbeitung, wie sie vor allem in der industriellen Fertigung zur Qualitätskontrolle eingesetzt wird. Das Prinzip dieses Verfahrens besteht darin, die von elektronischen Kameras gelieferten Bilder mittels Datenverarbeitung automatisch auszuwerten. Objekte im Bild können erkannt, Vergleichsanalysen erstellt und Maße genommen werden. Diese Systeme verbinden hohe Genauigkeit und Geschwindigkeit mit geringen Anschaffungskosten. Sie sind jedoch zunächst auf die Erfassung kleiner Objekte unter Werkstattbedingungen (z.B. gleich bleibendes Licht) ausgelegt und müssen deshalb für den Einsatz in genutzten Gebäuden modifiziert werden. Diese Arbeit soll mit diesem Projekt geleistet werden.

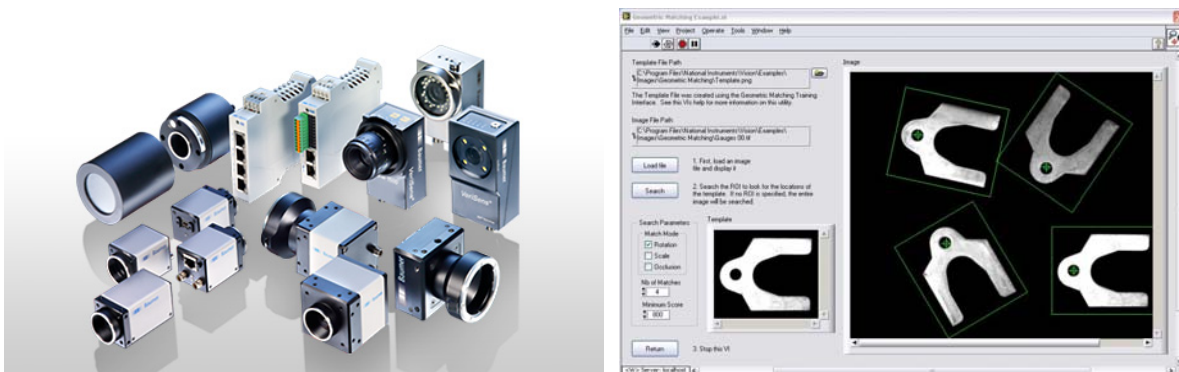


Abbildung 1: Industrielle Bildverarbeitung: Industriekameras [Baumer 2011] (links) und Bildverarbeitungssoftware [National Instruments 2011] (rechts)

2.2 Vorversuche an der Technischen Universität München

Zur Überprüfung der Eignung der Methoden der industriellen Bildverarbeitung für den Einsatz bei Verformungsmessungen im Bauwesen wurden an der Technischen Universität München Laborversuche durchgeführt, bei denen eine denkbare reale Anordnung der Systemkomponenten simuliert wurde (s. Abbildung 2). Als Kamera wurde das Modell mvBlueFox des Herstellers maxtrix-vision verwendet. Das Objektiv mit einer Brennweite von 100 mm wurde durch einen 3-fach-Konverter auf 300 mm verlängert. Ein Messpunkt (M) wurde in Form einer LED in einer Entfernung von 15,0 m von der Kamera (K) positioniert und vertikal bewegt. Als Referenzpunkt (R) wurde eine weitere LED in einer Entfernung von 30,0 m von der Kamera angeordnet.

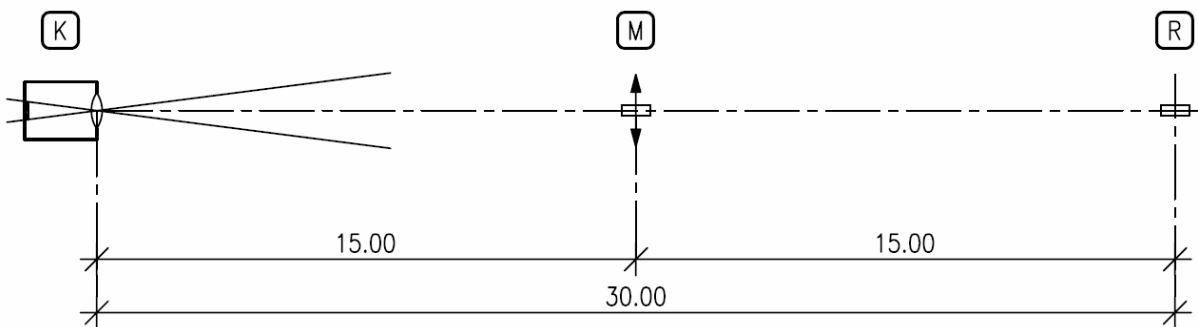


Abbildung 2: Laborversuche an der TUM: Versuchsanordnung

Um störende Einflüsse aus Umgebungslicht (s. Abbildung 3A) auszublenden, wurden LEDs verwendet, deren Strahlung im Infrarotbereich liegt. Bei der Kamera wurde der standardmäßig eingebaute Infrarot-Sperrfilter entfernt. Bei vollständig geschlossener Blende ist die Schärfentiefe ausreichend, um sowohl Messpunkt als auch Referenz als scharf umrissene Lichtpunkte abzubilden. Abbildung 3D macht deutlich, dass die Messungen im Infrarotbereich auch bei starkem Umgebungslicht im sichtbaren Bereich sehr gut dazu geeignet sind, die Positionen einzelner LEDs genau zu bestimmen.

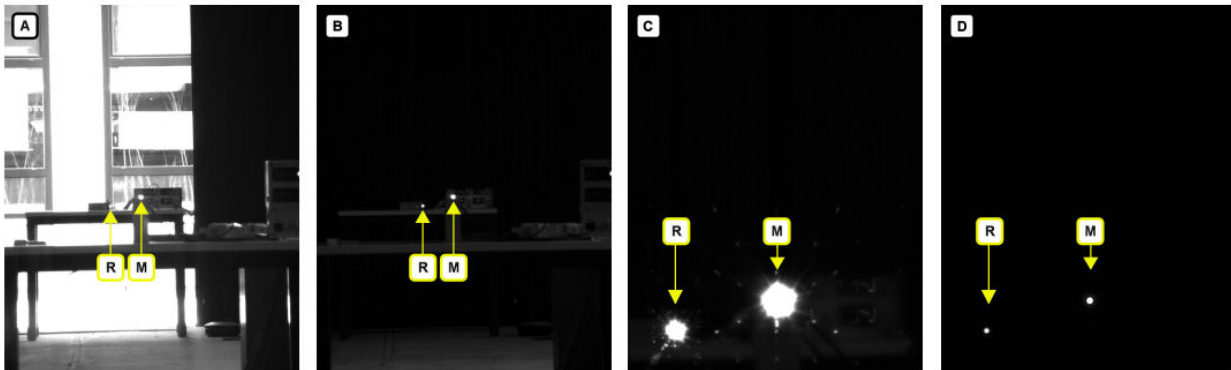


Abbildung 3: Laborversuche an der TUM: Unterschiedliche Lichtverhältnisse, Filter und Blendenöffnungen

A) Aufnahme am Tag im Spektrum des sichtbaren Lichts, mit Infrarotsperrfilter, starke Gegenlichtquelle, geschlossene Blende.

B) Aufnahme mit sehr schwachem Licht, Simulation der Lichtverhältnisse in der Nacht im Spektrum des sichtbaren Lichts, mit Infrarotsperrfilter, offene Blende.

C) Aufnahme im Infrarotbereich, ohne Infrarotsperrfilter, offene Blende.

D) Aufnahme im Infrarotbereich, ohne Infrarotsperrfilter, geschlossene Blende. Die Position der LEDs kann Millimeter genau bestimmt werden.

Außerdem wurden zur Abschätzung des Einflusses einer ungenauen Winkelausrichtung der Messpunkte die LEDs horizontal gedreht. Da Winkelabweichungen nicht zu einer Änderung der Lage der Mess- bzw. Referenzpunkte führen und ausschließlich eine Reduzierung der Lichtstärke dieser Punkte verursachen, können Abweichungen von bis zu 15 Grad ohne wesentlichen Verschlechterung der Ergebnisse hingenommen werden. Die Abbildung 4 zeigt die Unempfindlichkeit des Messsystems auf Abweichungen in der Ausrichtung der LEDs.

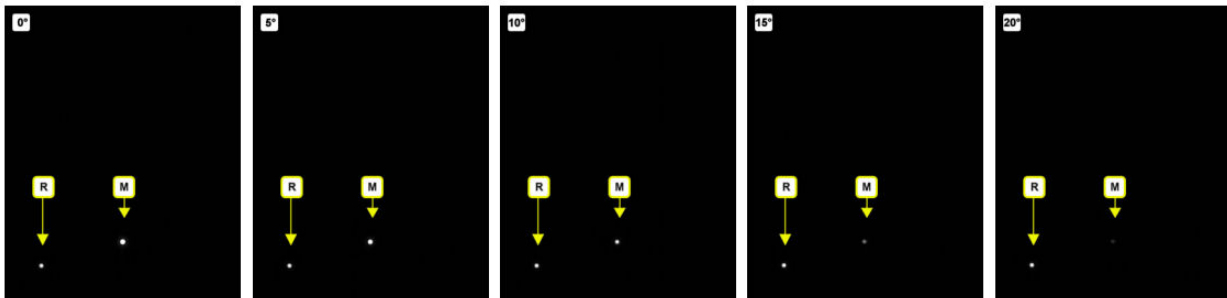


Abbildung 4: Laborversuche an der TUM: Aufnahmen mit imperfekter Anordnung der LED (M), Winkelabweichungen von der Achse Kamera – LED: 0°, 5°, 10°, 15° und 20°

Bei den Laborversuchen an der TUM konnte gezeigt werden, dass mit den oben beschriebenen Mitteln die Änderung der Lage des Messpunktes (M) mit einer Genauigkeit im Millimeterbereich ermittelt werden kann [Pawlowski e.a. 2008a und 2008b].

3 Pilotprojekt Murnau, Hallenbeschreibung

Die Praxistauglichkeit des Verfahrens wurde im Rahmen eines Pilotprojektes nachgewiesen. In einer Halle mit einem weit gespannten Dachtragwerk aus Holz wurden unterschiedliche Varianten von Bildverarbeitungssystemen erprobt. Diese wurden mit einem einfachen Warnsystem kombiniert und werden durch Lasermesssysteme kontrolliert. Zudem wurden eine Wetterstation mit Schneemesssystem installiert, um die Korrelation zwischen Einwirkung aus Schnee und Verformung beobachten und gleichzeitig überprüfen zu können.

Als Objekt wurde die Dreifachturnhalle des Staffelseegymnasiums in Murnau, Landkreis Garmisch-Partenkirchen ausgewählt (s. Abbildung 5).



Abbildung 5: Turnhalle in Murnau, Landkreis Garmisch-Partenkirchen

3.1 Beschreibung des Bauwerks

Die Außenabmessungen der Halle betragen: $B / L / H = 31,55 / 46,08 / 10,00$ m.

Das Dachtragwerk der Halle besteht aus folgenden Tragwerkselementen:

Dachplatten, Pos. H1:

Holzwerkstoffplatten FPP nach DIN 68763, Dicke $d = 38$ mm.

Nebenträger, Pos. H2:

Brettschichtholz BS14 (GL28c), Querschnittsabmessungen $b/h = 145 / 650$ bis 1400 mm, Stützweite (Einfeldträger) $L = 13,01$ bis $14,20$ m, Achsabstand $e = 1,25$ m.

Hauptträger, Pos. H3:

Brettschichtholz BS14 (GL28c), Querschnittsabmessungen $b/h = 300 / 2650$ mm, Stützweite (Einfeldträger) $L = 31,25$ m.

Die maßgebende Schneelast ist seit dem 1.1.2007 wesentlich erhöht worden:

Schneelast nach DIN 1055-5:1975-06 (gültig bis zum 31.12.2006): $s_0 = 1,50$ kN/m²

Schneelast nach DIN 1055-5:2005-07 (gültig ab dem 01.01.2007): $s_k = 3,78$ kN/m²

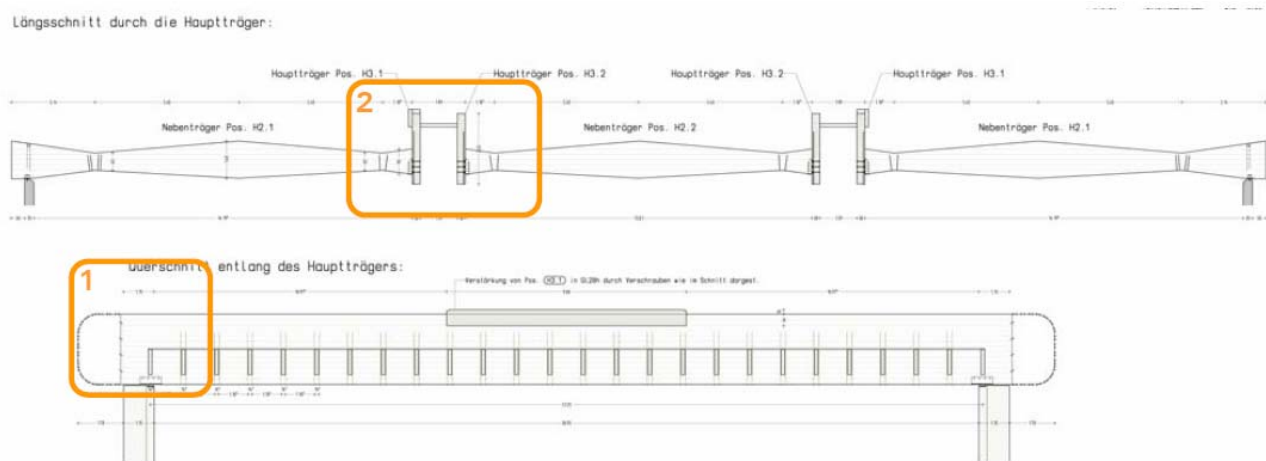


Abbildung 6: Turnhalle in Murnau, Landkreis Garmisch-Partenkirchen: Längs- und Querschnitt mit Angabe der weiter unten beschriebenen Details 1 und 2

3.2 Tragsicherheit des Dachtragwerks

Unter Berücksichtigung der neuen Schneelasten nach der DIN 1055-5:2005-07 von $s_k = 3,78$ kN/m² ergeben sich folgende Ausnutzungsgrade der wichtigsten Elemente des Dachtragwerks der Turnhalle:

Hauptträgerauflager:

Der Nachweis für das Auflager des Hauptträgers (Pos. H 3.1) konnte nach der zum Zeitpunkt der statischen Prüfung geltenden DIN 1052:2004-08 nicht erbracht werden. Die rechnerische Ausnutzung am Auflager beträgt unter Berücksichtigung der in der Verbindung vorhandenen Stabdübel (4 SDü $\varnothing 20$ mm, S 235) $\eta = 1,60 > 1,00$. Demgegenüber wird der Nachweis nach der mittlerweile geltenden DIN 1052:2008-12 mit $\eta = 0,90 < 1,00$ erbracht:

Hauptträger (Pos. H 3.1 und H 3.2):

Für die volle Schneelast auf der Dachfläche und auf den höher angeordneten Hauptträgern Pos. H 3 liegt die Ausnutzung des Hauptträgers bei $\eta = 1,09 > 1,00$.

Nebenträger (Pos. H 2.1 und H 2.2):

Die Ausnutzung des Nebenträgers liegt bei $\eta = 1,00$.

Daraus folgt, dass die Tragsicherheit des Dachtragwerks der Turnhalle für die in Deutschland seit dem 1.1.2007 geltenden Schneelasten nicht ausreichend ist.

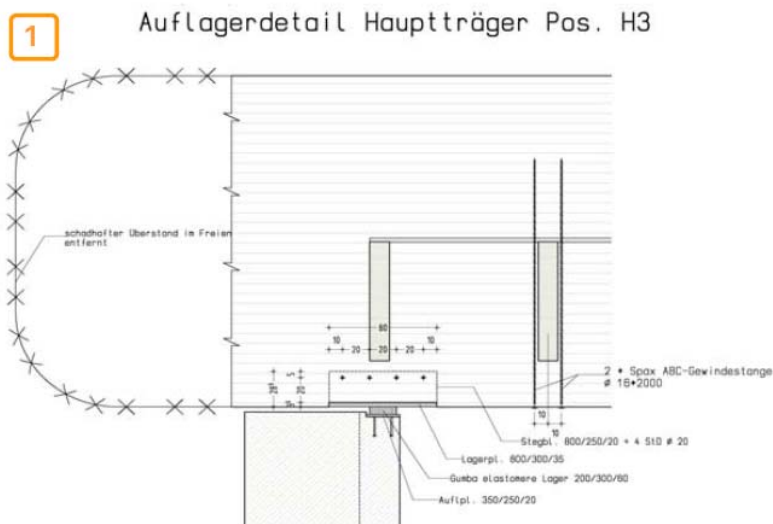


Abbildung 7: Turnhalle in Murnau, Landkreis Garmisch-Partenkirchen: Hauptträger Pos. H3 - Auflagerdetail

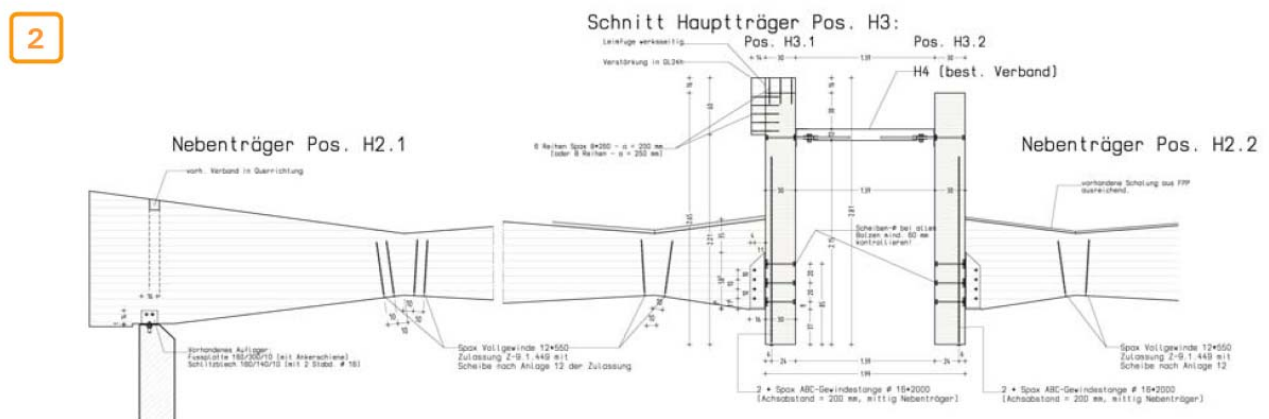


Abbildung 8: Turnhalle in Murnau, Landkreis Garmisch-Partenkirchen: Hauptträger Pos. H3 - Querschnitt mit Anschluss Nebenträger Pos. H3

4 Monitoringsystem für die Turnhalle des Staffelseegymnasiums in Murnau

Um den tatsächlichen Zustand der Tragsicherheit des Dachtragwerks zuverlässig bestimmen zu können, wurde ein Monitoringverfahren entwickelt. Dabei wird ein kontinuierlich messendes, elektronisches System zur Ermittlung der Schneelast in Verbindung mit einem elektronischen Überwachungsverfahren zur Messung der Tragwerksverformungen auf der Basis der digitalen Bildverarbeitung eingesetzt.

Die für den Entwurf von Monitoringsystemen relevanten Aspekte sind in Abbildung 9 dargestellt. Die für das Monitoringsystem in Murnau relevanten Größen sind orange markiert.

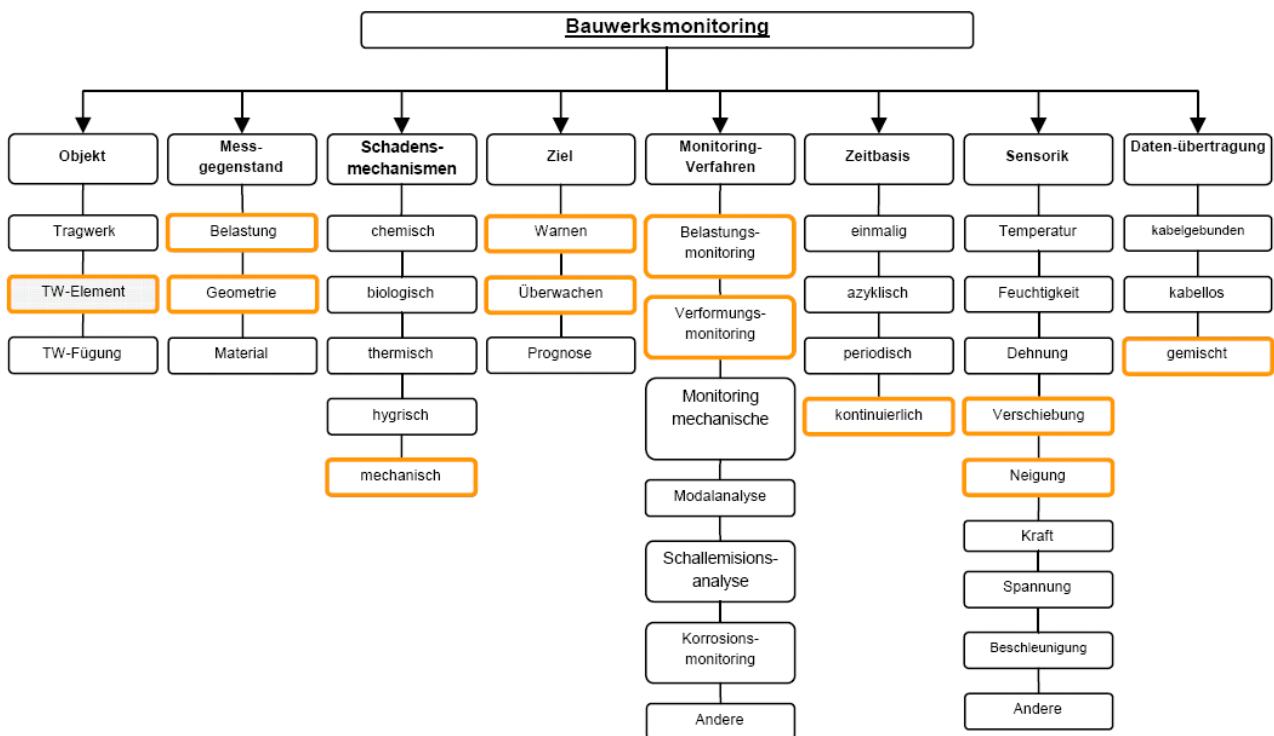


Abbildung 9: Monitoringsystematik [nach Heisig 2007]

4.1 Systemübersicht

Das Bildverarbeitungssystem zur Verformungsmessung besteht aus Kameraeinheiten (K), Messpunkten (M) und Referenzpunkten (R). Zusammen mit den Sensoren zur Schneelastmessung (Schneekissen) bildet es das Herz des Monitoringsystems. Das Gesamtsystem ist in Abbildung 10, die Anordnung seiner Hauptkomponenten in Abbildung 11 sowie in Abbildung 17 dargestellt.

Um die Ergebnisse der Verformungsmessung mit Bildverarbeitung (s. Kapitel 4.2) überprüfen zu können, wird das System um ein fest eingebautes Laser-Distanz-Messgerät (Bodenlaser) ergänzt (s. Kapitel 4.3). Die Schneekissen (S) sind an eine Wetterstation mit weiteren Sensoren zur Messung von verschiedenen Klimaparametern angeschlossen (s. Kapitel 4.4). Alle Daten werden

über Kabelverbindungen zum zentralen Mess-PC (Server) geleitet (s. Kapitel 4.5), auf den über das Internet zugegriffen werden kann (s. Kapitel 4.6). Auf dem Server werden die Daten abgelegt und mit spezieller Messsoftware ausgewertet (s. Kapitel 4.7). Durch Definition von Verformungsgrenzen werden Warnstufen für den Betrieb der Turnhalle festgelegt. Bei Überschreitung dieser Grenzen wird Alarm ausgelöst (s. Kapitel 4.8).

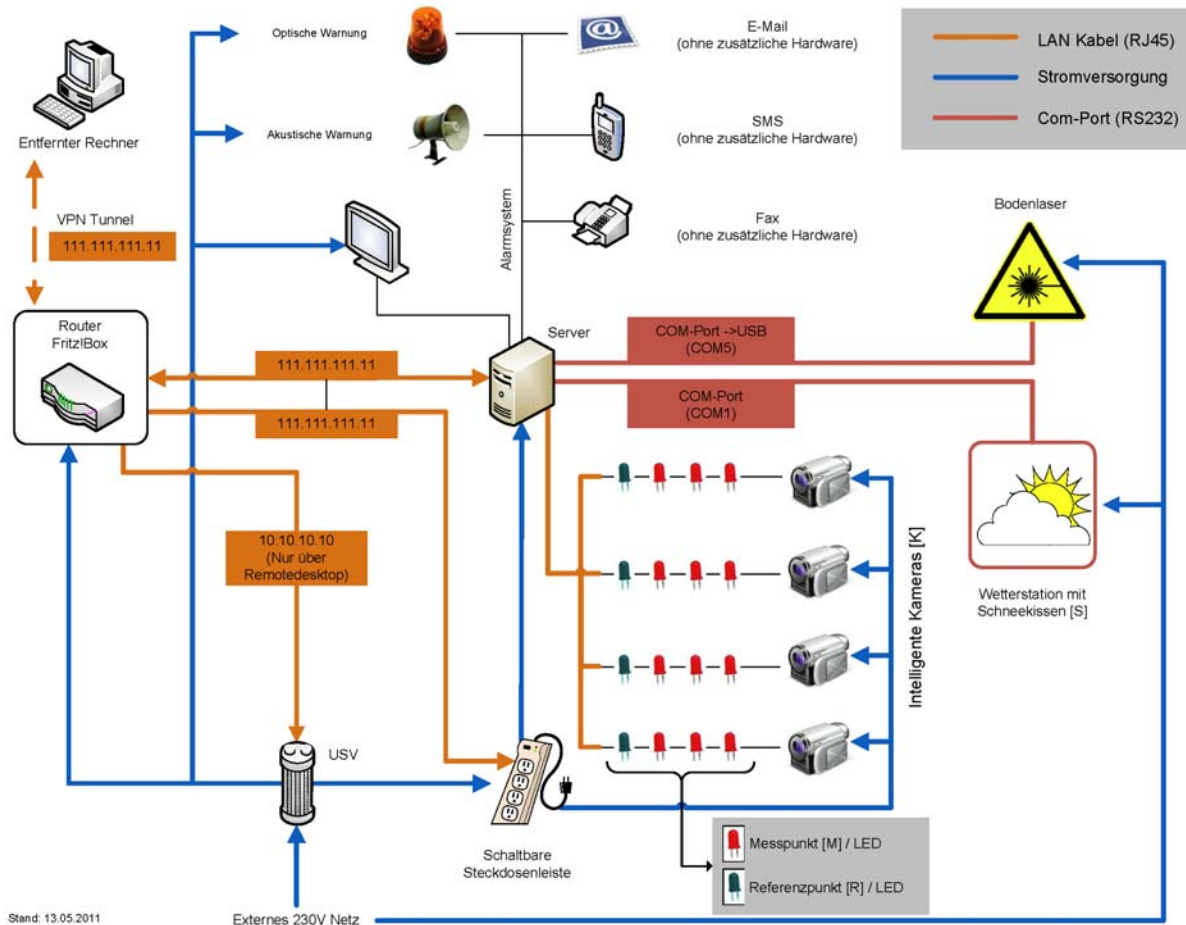


Abbildung 10: Monitoringsystem für die Turnhalle in Murnau: Systemübersicht - Gesamtsystem

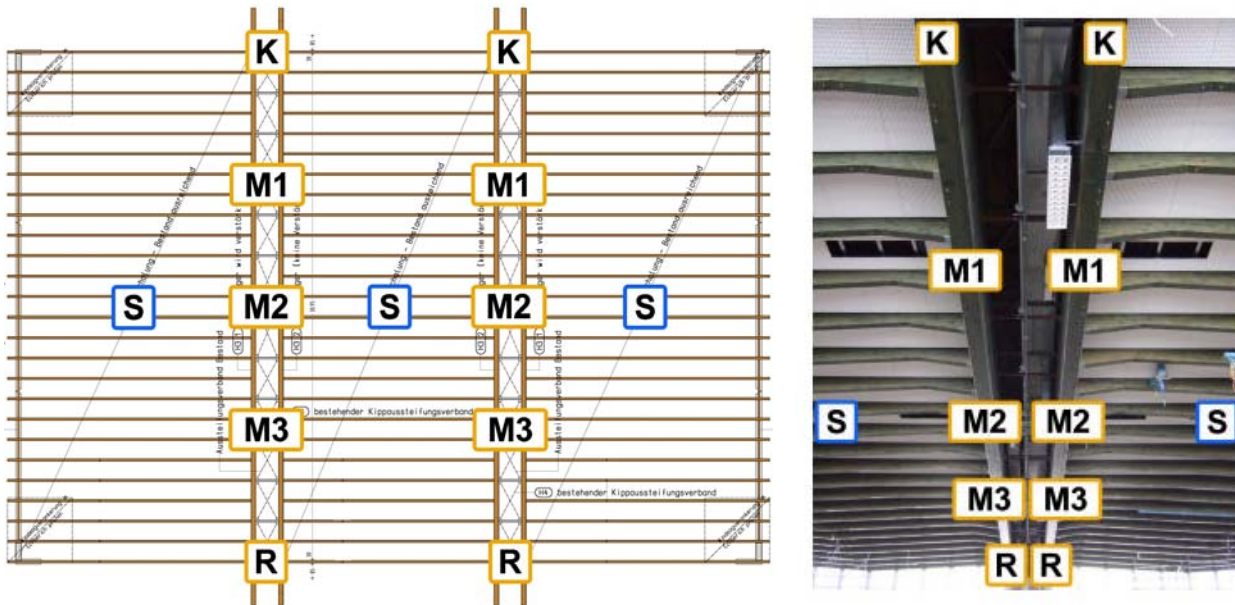


Abbildung 11: Monitoringssystem für die Turnhalle in Murnau: Systemübersicht - schematische Darstellung der Anordnung von Schneelastmesseinrichtungen (S) sowie Verformungsmess-einrichtungen bestehend aus Kameraeinheiten (K), Messpunkten (M) und Referenzpunkten (R)

4.2 Verformungsmessung Bildverarbeitung

Die Messung der Verformung erfolgt auf der Basis digitaler Bildverarbeitung: Definierte Punkte des Tragwerks werden mit digitalen Kameras erfasst. Bewegungen dieser Punkte im Raum resultieren in Bewegungen ihrer Abbildungen in der Bildebene. Letztere werden subpixelgenau vermessen. Aus den so gewonnenen Werten kann auf der Basis von Perspektivberechnungen auf Bewegung der Punkte selbst geschlossen werden.

Als Zielpunkte wurden Leuchtdioden gewählt, welche Licht im Infrarotbereich ausstrahlen. Die Kameras wurden entsprechend auf diesen Spektralbereich eingestellt. Dadurch ist es möglich, Messungen unabhängig von der Lichtsituation in der Halle durchzuführen. Zusätzlich zu den Zielpunkten an den Trägern wurden Referenzpunkte an den Stützen markiert. Um eventuelle Bewegungen der Kameras zu kompensieren, werden die Bewegungen der Zielpunkte relativ zu den Referenzpunkten gemessen.

4.2.1 Vorversuche in der Turnhalle in Murnau

Um die Funktionsweise des Systems vor Ort studieren zu können und um die Anordnung der Komponenten zu optimieren wurden in der Turnhalle des Staffelseegymnasiums in Murnau Vorversuche durchgeführt (s. Abbildung 12). Der Versuchsaufbau erfolgte analog den Laborversuchen an der TUM in München (s. Kapitel 2.2).

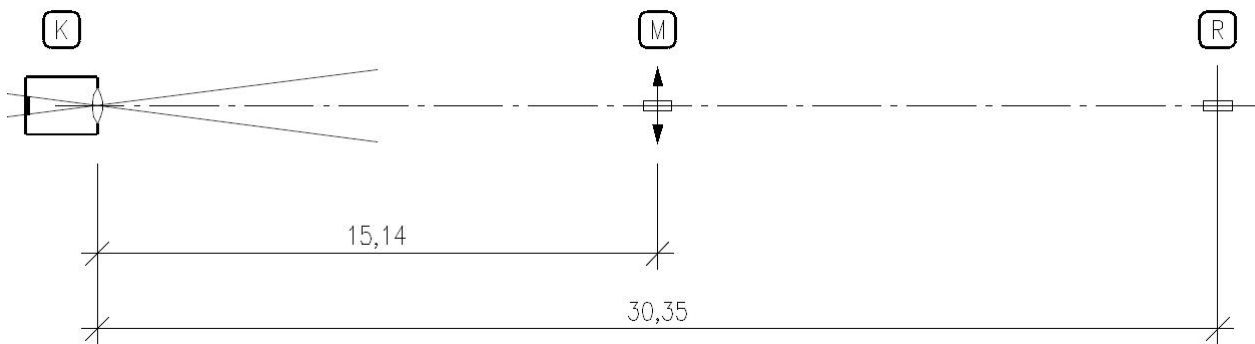


Abbildung 12: Vorversuche in der Turnhalle in Murnau: Versuchsanordnung

Hierzu wurden eine Kamera (K) und eine Referenz-LED (R) an den beiden gegenüberliegenden Auflagern eines der vier Hauptträger provisorisch befestigt. In Feldmitte des Trägers wurde eine Mess-LED (M) mit einer Vorrichtung angebracht, die es erlaubt, die vertikale Position der LED millimetergenau zu verändern (s. Abbildung 13). Anschließend wurden Bilder mit unterschiedlicher Lage der Mess-LED aufgenommen.



Abbildung 13: Vorversuche in der Turnhalle in Murnau: Kamera (links), verschiebliche Mess-LED (Mitte) und Referenz-LED (rechts)

Die so simulierten Vertikalverschiebungen wurden sowohl visuell direkt an der Messskala der verschieblichen Vorrichtung der Mess-LED abgelesen als auch digital mit der Kamera gemessen (s. Abbildung 14). Die digital ermittelten Verschiebungen sind millimetergenau (s. Abbildung 15). Die mit den beiden Verfahren ermittelten Werte weisen einen linearen Zusammenhang auf (s. Abbildung 16).

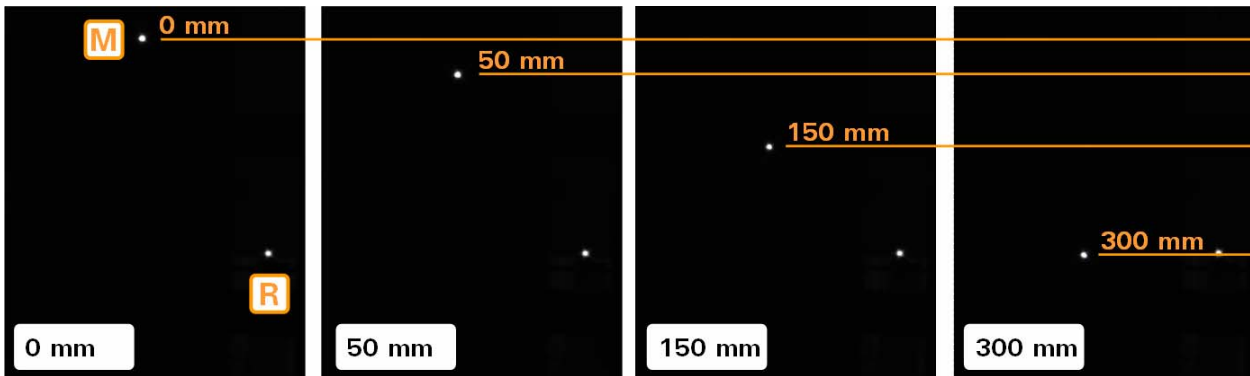


Abbildung 14: Vorversuche in der Turnhalle in Murnau: Digitale Messung der simulierten Vertikalverschiebung der Mess-LED (M)

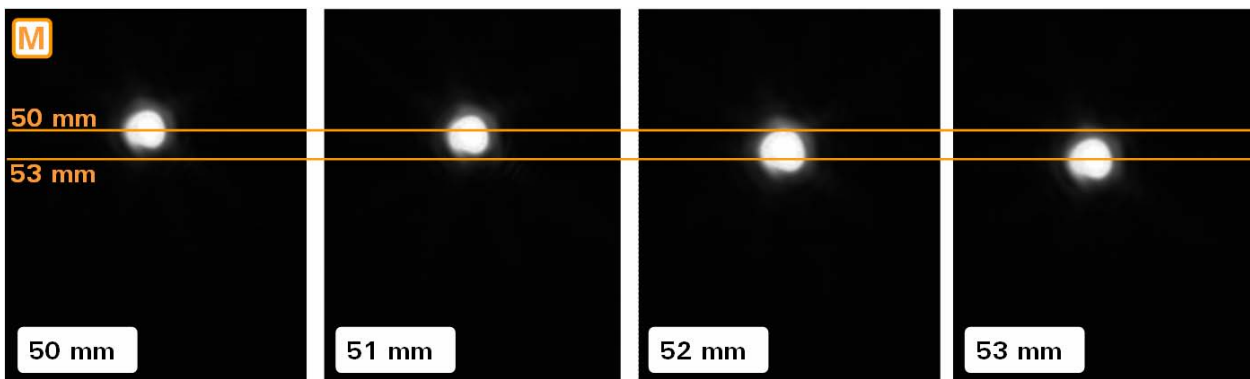


Abbildung 15: Vorversuche in der Turnhalle in Murnau: Die digital gemessenen Verschiebungen sind millimetergenau

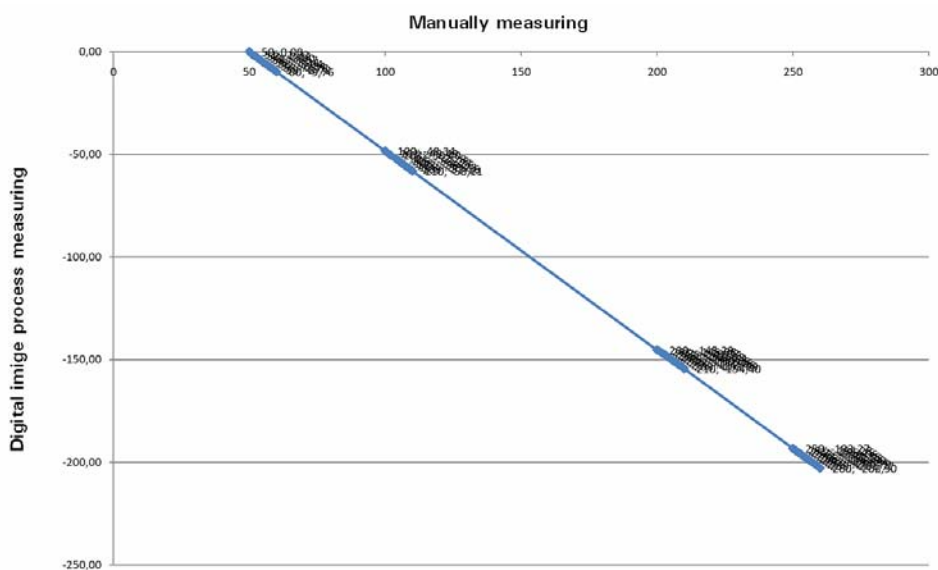


Abbildung 16: Vorversuche in der Turnhalle in Murnau: Linearer Zusammenhang zwischen visuell und digital gemessenen Verschiebungen



4.2.2 Kameras und Leuchtdioden

Bei den eingesetzten Kameras (K) handelt es sich um sog. „intelligente“ Kameras (d.h. mit integriertem Prozessor) vom Typ Matrix Vision, mvBlueCOUGAR-P mit einem 1/2“ CMOS-Sensor, mit einer geometrischen Auflösung von 1280x1024 Pixeln und einer Bildfrequenz von bis zu 30 Bildern pro Sekunde. Sie sind mit Objektiven der Brennweite 100 mm ausgestattet. Bei den Kameras wurde der Infrarotsperfilter entfernt und ein spezieller Tageslichtsperfilter eingebaut, sodass sie nur im nahen Infrarot-Spektrum empfindlich sind.

Die zu erfassenden Tragwerkspunkte (M1-M3) wurden mit Leuchtdioden (LEDs) mit einem Durchmesser von 5 mm bestückt.

Um den Einfluss von Ungenauigkeiten bei der Montage und von eventuellen im Betrieb entstehenden Verschiebungen der Kameras zu reduzieren, ist für jeden Träger zusätzlich zu den drei Mess-LEDs (M1-M3) eine Referenz-LED (R) installiert. Diese ist im Sichtbereich der Kamera aber außerhalb des beweglichen Tragwerks angebracht. Verschiebungen der Messpunkte in den Messbildern werden immer relativ zu Lage des Referenzpunktes im Bild gemessen.

Die LEDs werden mit einer Spannung von 12 V mit einem Vorwiderstand betrieben und sind für eine Wellenlänge von 850 nm im nahen Infrarot spezifiziert.

Durch den Einsatz von Infrarotlicht ist die Aufnahme von Bildern unabhängig von den Lichtverhältnissen in der Halle möglich. Die Kameras können sowohl bei Tages- als auch bei Kunstlicht und auch in der Nacht mit einer festen Blende betrieben werden. Die LEDs sind bei geeigneter Einstellung von Blende und Entfernung für die Kameras in jedem Fall als deutliche Punkte sichtbar.

In untenstehender Tabelle 1 sind die Seriennummern der Kameras mit den vorgenommenen festen TCP/IP Konfiguration wiedergegeben. Über die Sicherungen F06 bis F08 lassen sich die Kameras von der Versorgungsspannung trennen und durch Aus- und Einschalten neu booten. Über die Sicherungen F09 bis F12 lassen sich die LEDs von der Versorgungsspannung trennen.

Tabelle 1: Liste der Kameras

	Seriennummer	Persistent IP Kamera	Persistent ID Adapter	Sicherung für Reboot	Sicherung LED
K1	GC000211	192.168.0.203	192.168.0.103	F06	F09/T09
K2	GC000207	192.168.0.202	192.168.0.102	F06	F10/T10
K3	GC000203	192.168.0.201	192.168.0.101	F07	F11/T11
K4	GC000154	192.168.0.200	192.168.0.100	F08	F12/T12

Über die Seriennummer lassen sich die Kameras von der Software eindeutig ansprechen.

Die Kameras sind über eine 4-fach Netzwerkkarte Intel Pro/1000 LP angebunden. Für jeden der vier Ports wurden im Gerätemanager eingestellt: Empfangspuffer: 2048, Großes Paket: 9014 Bytes, Übertragungspuffer: 2048. Diese Einstellungen stellen sicher, dass die Netzwerkkarte große Datenpakete handhaben kann. Auf den Kameras muss mit wxPropView die Einstellung SystemSettings->TransportLayer->DeviceInterfaceMTU: 8500 vorgenommen werden. Die Einstellung GevSCPSPacketSize sollte geprüft werden auf eine Einstellung in der Größenordnung 8500.

Die Frequenz der Aufnahmen bzw. des Datenspeicherns wird ereignisabhängig gesteuert: Die Anzahl der pro Zeiteinheit aufgenommenen Bilder wird in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und der Durchbiegungsgröße bestimmt.

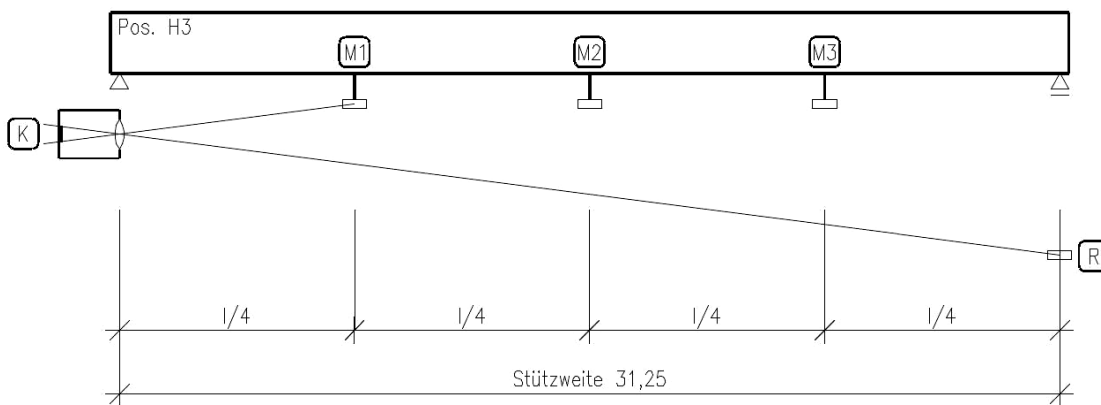


Abbildung 17: Monitoringsystem für die Turnhalle in Murnau: Verformungsmessung - schematische Darstellung der Anordnung der Systemkomponenten

4.2.3 Montage des Bildverarbeitungssystems

In KW 2008/37 wurden Kameras und LEDs montiert.

Die Kameras und die Referenz-LEDs sind an den Stahlbetonpfeilern montiert, d.h. sie werden von einer eventuellen Verformung oder Bewegung der Brettschichtholzträger (Pos. H 3.1 und H 3.2) nicht unmittelbar beeinflusst. Wenn sich die Position einer Referenz-LED im aufgenommenen Bild nennenswert ändert, bedeutet das, dass entweder Kamera oder Referenz-LED mechanisch dejustiert wurden. In diesem Fall muss das System für diesen Träger neu justiert werden. Eine moderate Veränderung der Position der Referenz-LED, z.B. infolge von temperaturinduzierten Verformungen des Tragwerks, wird weitgehend durch Berechnungen in der Software kompensiert (s. Kapitel 4.2.6).

Die Abbildung 18 zeigt die Anordnung der Kameras in Bezug auf die Turnhallenträger, sowie die Position der LED Leuchtpunkte.

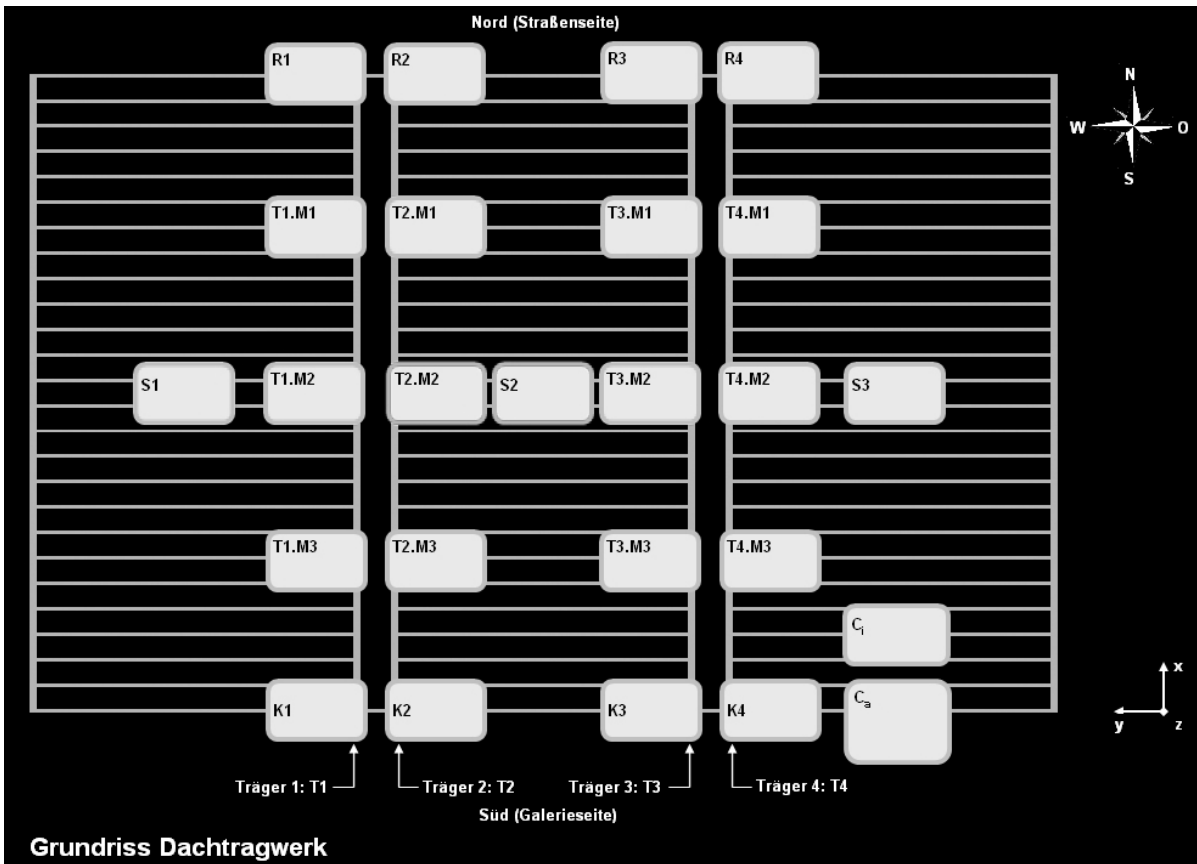


Abbildung 18: Deckenuntersicht mit Anordnung von Kameras und Leuchtdioden: Die Kameras sind an den Stellen K1 bis K4 montiert. LED Messpunkte befinden sich an den Stellen T1.M1 bis T1.M3, T2.M1 bis T2.M3, T3.M1 bis T3.M3 und T4.M1 bis T4.M3. Die LED Referenzpunkte befinden sich an den Stellen R1 bis R4.

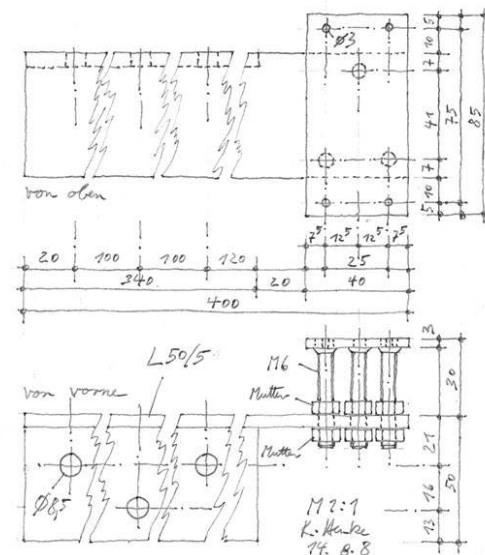


Abbildung 19: Konsolle für die Befestigung der Kameras

Die Kameras (K1-K4) wurden auf der Südseite der Halle unmittelbar unterhalb der Auflager der Hauptträger hinter einer vorhandenen Holzverschalung ballwurfsicher montiert (s. Abbildung 20). Zur Befestigung dient jeweils ein Stahlwinkel, der mit der Stahlbetonstütze verdübelt ist. Die Kamera selbst wird von einer Stahlplatte getragen, welche über Gewindestangen justierbar an dem Stahlwinkel befestigt ist (s. Abbildung 19). Die zum Betrieb der Kameras notwendigen Netzteile sind ebenfalls hinter der Holzverschalung untergebracht.



Abbildung 20: Kameras unterhalb der Auflager der Hauptträger, während (links) und nach Abschluss der Montagearbeiten (rechts)

Die Leuchtdioden der Messpunkte (T1.M1 bis T1.M3, T2.M1 bis T2.M3, T3.M1 bis T3.M3 und T4.M1) sind durch Halterungen aus massivem Stahl geschützt, welche an den Unterseiten der Träger angeschraubt sind (s. Abbildung 21).

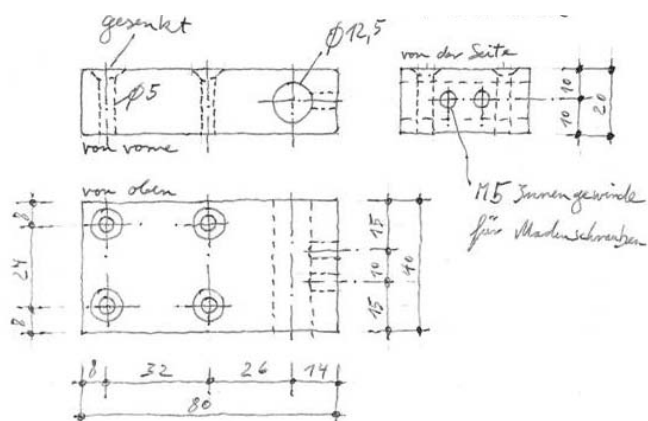


Abbildung 21: LED eines Messpunktes während der Montage mit Halterung aus Stahl

Die Leuchtdioden der Referenzpunkte (R1 bis R4) wurden gegenüber der Kameras auf der Nordseite der Halle ebenfalls unterhalb der Auflager der Hauptträger hinter der Holzverschalung montiert (s. Abbildung 22).



Abbildung 22: LEDs zweier Referenzpunkte hinter Verschalung im Bereich der nördlichen Auflager

Nach der Montage von Kameras und LEDs wurde deren Funktion geprüft und die Kameras auf die LEDs ausgerichtet. Anschließend ergaben sich bei offener Blende folgende Bilder (s. Abbildung 23).

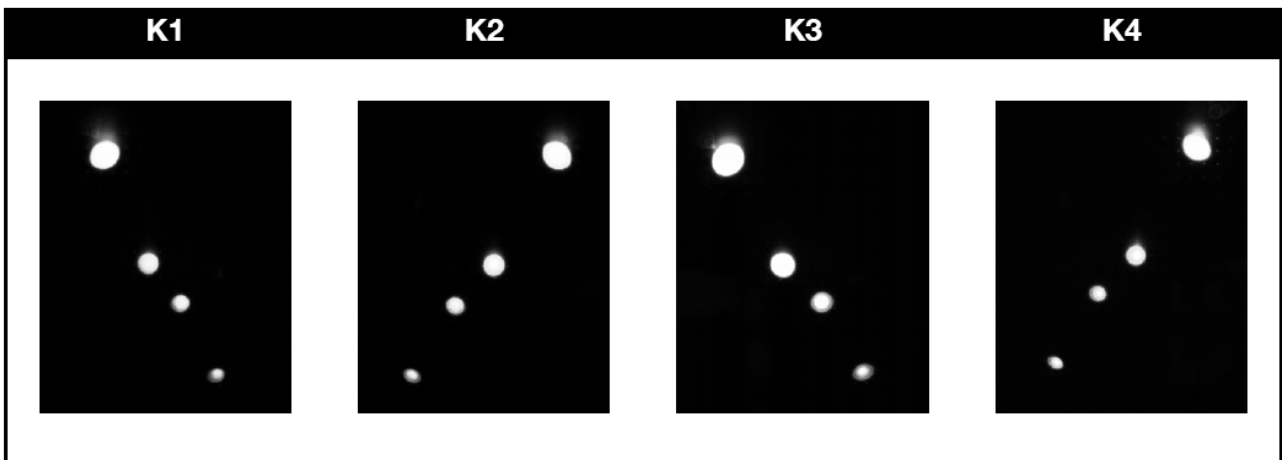


Abbildung 23: Bilder in KW37 nach Abschluss der Montage: Von unten nach oben sieht man zunächst jeweils die Referenz LED, dann folgen die LEDs an den Punkten 1 (hinterer Viertelpunkt), 2 (Trägermitte) und 3 (vorderer Viertelpunkt).

4.2.4 Kalibrierung der Perspektive

Jeder Träger wird mit einem Kamerasystem überwacht. Aufgrund von Toleranzen beim Einbau der Kameras und der LED Punkte, sowie durch die Toleranzen in der Geometrie der Halle ergeben sich für jeden Träger unterschiedliche Maße, welche für die perspektivische Korrektur herangezogen werden. Die Maße wurden in KW 37 mithilfe einer Kalibriervorrichtung (s. Abbildung 24) und mit einem Laser-Entfernungsmeter gemessen. Abbildung 25 verdeutlicht die Maße.

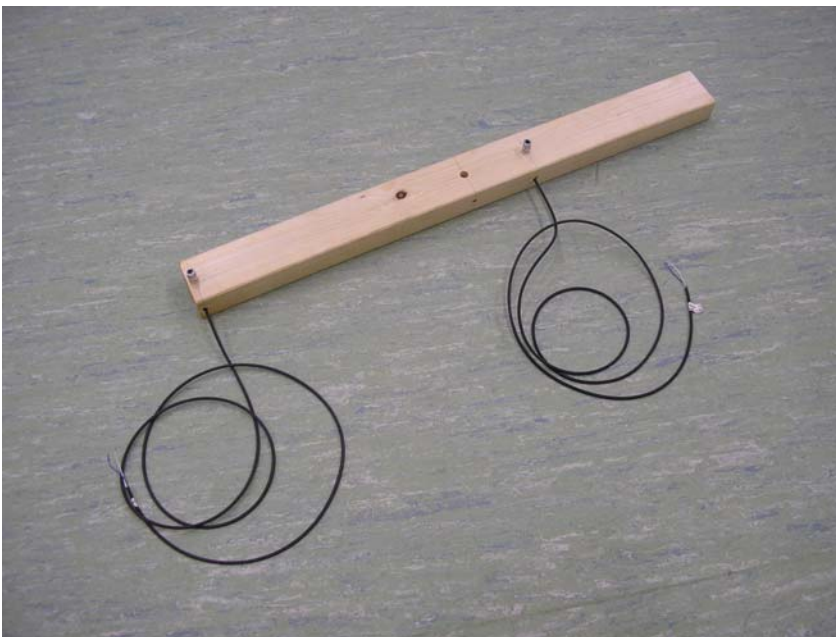


Abbildung 24: Kalibriervorrichtung mit zwei Leuchtdioden im Abstand von 500 mm

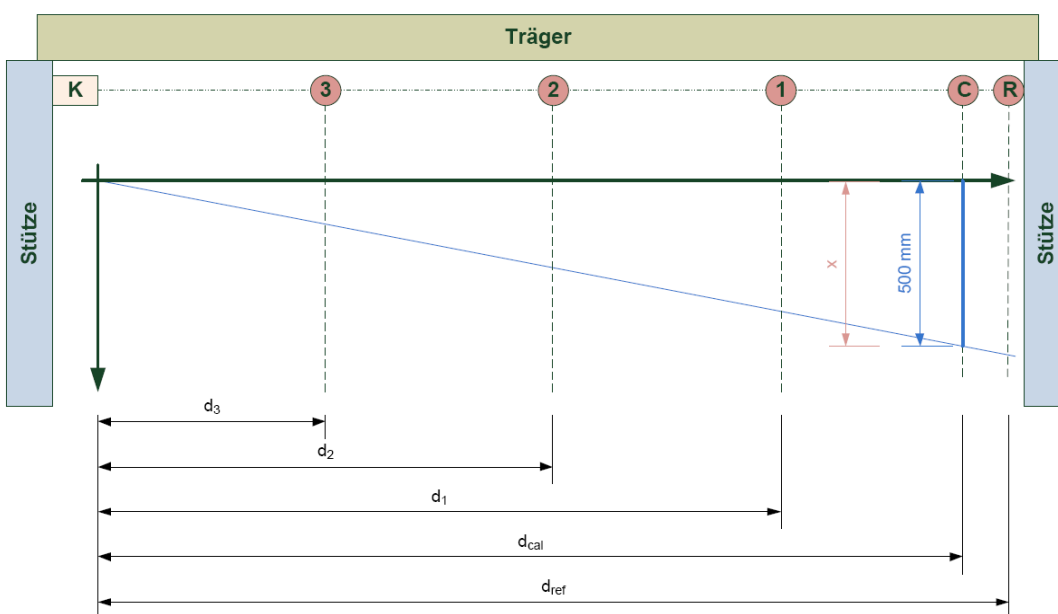


Abbildung 25: Maße für die perspektivische Korrektur

Tabelle 2: Maße für die perspektivische Korrektur

	d_3 [mm]	d_2 [mm]	d_1 [mm]	d_{cal} [mm]	d_{ref} [mm]	x [Pixel]
T1	7577,5	15390	23202,5	30680	30785	301
T2	7652,5	15465	23277,5	30700	30805	299
T3	7652,5	15465	23277,5	30690	30780	297
T4	7662,5	15475	23287,5	30700	30800	303

Die gemessenen Werte sind in der Datenbank hinterlegt.

Aus dem Maß x in Pixel, welches der Kalibrier-Strecke von 500 mm (s. Abbildung 25) entspricht, lässt sich der Maßstab in der Kalibrier-Ebene C bestimmen, und weiter über den Strahlensatz der Maßstab in den Ebenen 1, 2, 3 und R. Mit diesen Maßstäben kann eine Umrechnung von Pixeln in mm in der jeweiligen Ebene erfolgen.

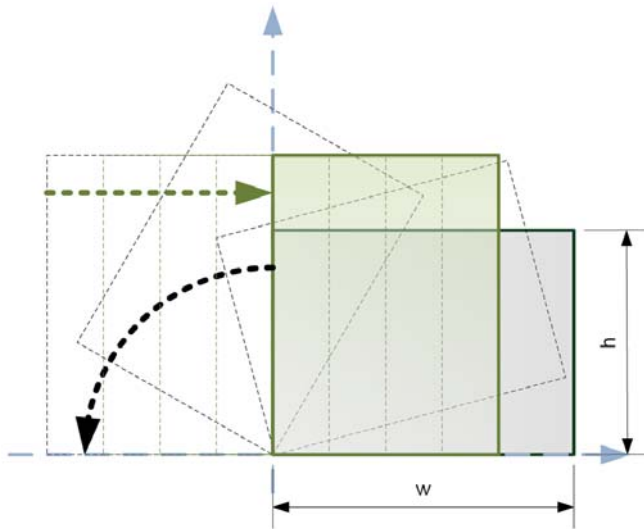
Tabelle 3: Maßstabswerte in der Kalibrier-Ebene C, sowie in den Ebenen 1-3 und R, wie sie in der Datenbank hinterlegt sind

	3 [mm/Pixel]	2 [mm/Pixel]	1 [mm/Pixel]	C [mm/Pixel]	R [mm/Pixel]
T1	0,41	0,83	1,26	1,66	1,67
T2	0,42	0,84	1,27	1,67	1,68
T3	0,42	0,85	1,28	1,68	1,69
T4	0,41	0,83	1,25	1,65	1,66

4.2.5 Berücksichtigung der Verdrehung

Die Auslenkung der Träger erfolgt in erster Linie in der Vertikalen. Erst in zweiter Linie ergibt sich durch Torsionen im Tragwerk auch eine Auslenkung in der Horizontalen. Die zu erwartenden Auslenkungen in der Vertikalen sind größer als die in der Horizontalen. Die Kameras wurden aus diesem Grund um 90° verdreht eingebaut, um einen größeren Messbereich in der Vertikalen zu erreichen. Die lange Seite des Kamerasensors liegt dadurch in der Vertikalen.

Diese Verdrehung muss rechnerisch berücksichtigt werden, um zu korrekten Messwerten zu kommen. Die Verdrehung um 90° im Gegenuhrzeigersinn entspricht einer Aneinanderreihung von zwei Transformationen: einer Drehung um 90° im Gegenuhrzeigersinn und einer Verschiebung nach rechts um die ursprüngliche Bildhöhe. Die Verdrehung wird in Abbildung 26 erläutert und durch die angegebene Transformationsmatrix realisiert:



$$M_{90} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ h & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Abbildung 26: Rechnerische Berücksichtigung der Verdrehung

4.2.6 Referenz-Kompensation

Die Erfahrungen der Bildaufnahme mit der ersten Softwareversion über einen Zeitraum von mehreren Wochen haben gezeigt, dass sich die Positionen der Referenz-LEDs doch teilweise erheblich verändern. Die genaue Ursache dafür ist noch unbekannt, doch es gibt Hinweise darauf, dass sich die Kameras in der Aufhängung bewegen, bzw. dass sich die Stützträger aus Beton bewegen.

Bei dem hier dargestellten Kompensationsmodell wird davon ausgegangen, dass sich die Kamera in ihrem Aufhängungspunkt verdreht, wenn eine Differenz bei den Referenzpunkten gemessen wird. Die folgenden Skizzen (s. Abbildung 27 bis Abbildung 30) und Erläuterungen erklären das Modell. In den Skizzen befindet sich die Kamera auf der rechten Seite, die LEDs links.

Zunächst wird davon ausgegangen, dass die Kamera und die Referenz-LED in Ruhelage sind.

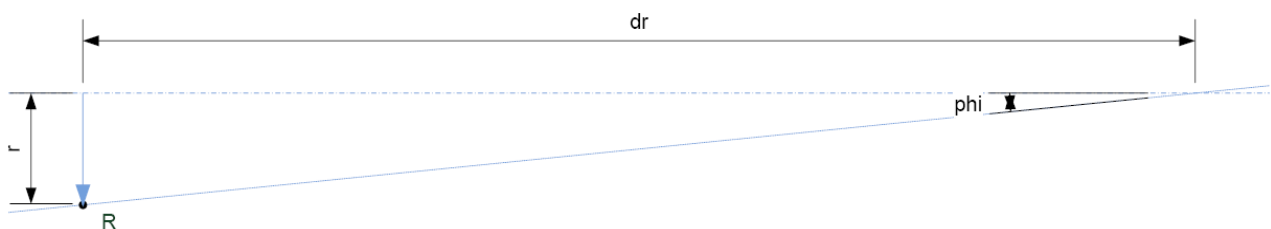


Abbildung 27: Referenz Kompensation, Ausgangssituation

Die Referenz-LED R befindet sich an einer bestimmten Stelle, der Wert r kann in Pixeln aus dem Kamerabild gemessen werden.

$$r_{mm} = f_r r_{px} = dr \tan \varphi$$

Durch Umformung lässt sich der Winkel φ bestimmen.

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{f_r r_{px}}{dr}$$

Jetzt wird angenommen, dass sich die Kamera in ihrer Aufhängung leicht verdreht hat, z.B. ein wenig nach oben.

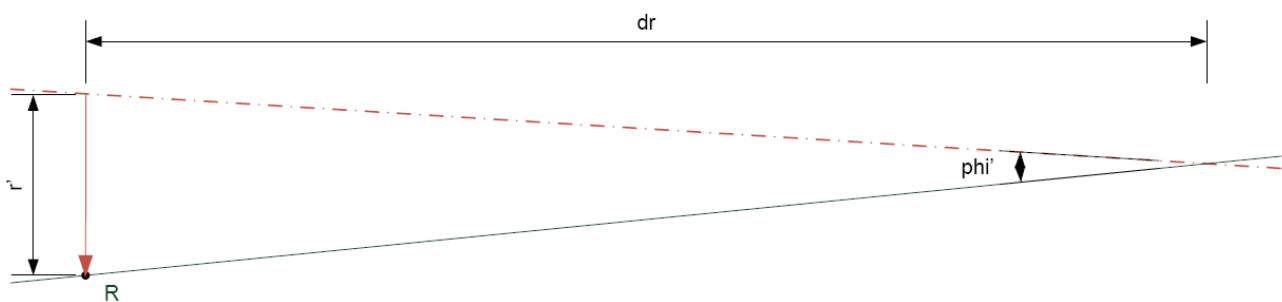


Abbildung 28: Referenz Kompensation, Kamera verdreht nach oben

Dies lässt sich durch eine veränderte Position r' der Referenz-LED R feststellen. Nur für kleine Verdrehungswinkel gilt:

$$\varphi' = \tan^{-1} \frac{f_r r'_{px}}{dr}$$

Daraus lässt sich die Verdrehung der Kamera abschätzen:

$$\Delta \varphi = \varphi - \varphi'$$

Im nächsten Schritt wird die Position m' einer LED M bei verdrehter Kamera gemessen:

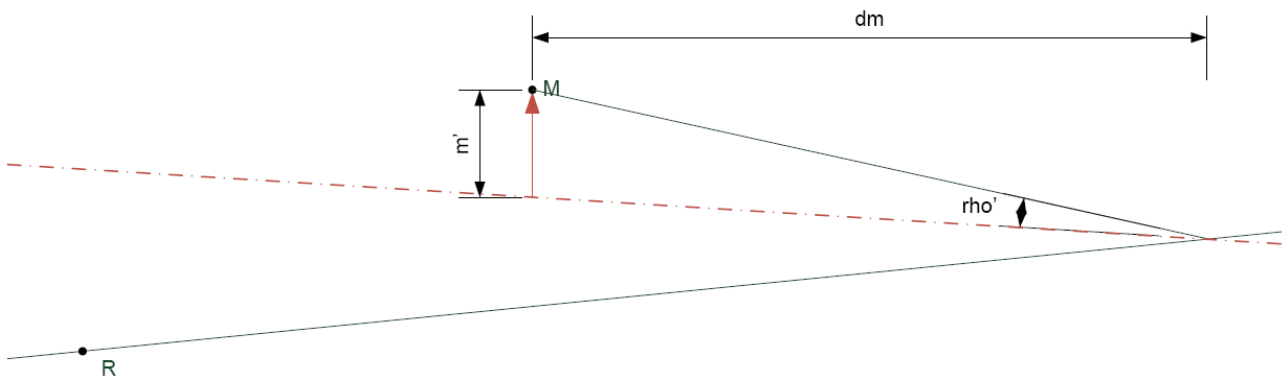


Abbildung 29: Referenz Kompensation, Position eines Messpunktes M bei verdrehter Kamera

Der Winkel ρ^f ρ' lässt sich über die folgende Formel ermitteln (gilt nur für kleine Winkel):

$$\rho' = \tan^{-1} \frac{f_m m'_{px}}{dm}$$

Was jedoch benötigt wird, ist die Position m der LED M, bezogen auf die Null-Lage der Kamera.

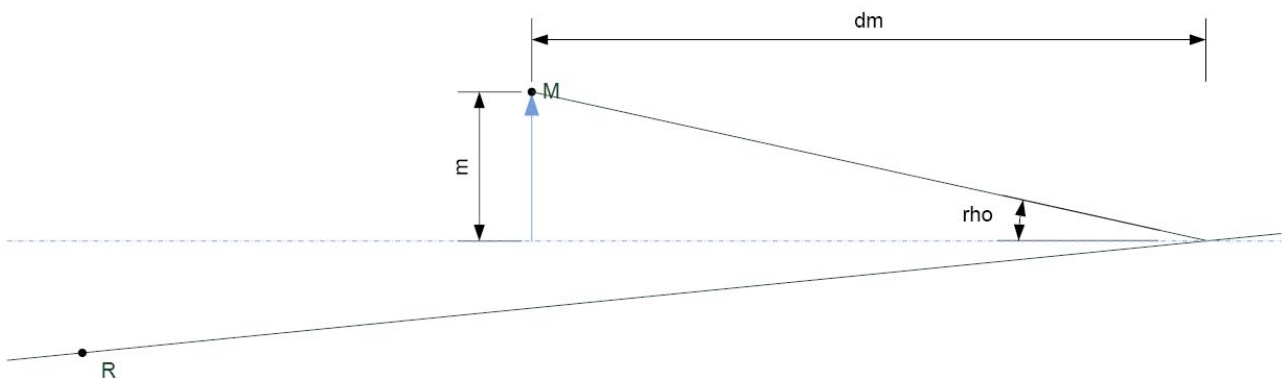


Abbildung 30: Referenz Kompensation, Position eines Messpunktes M bei verdrehter Kamera, bezogen auf die Null-Lage der Kamera

Die Formel dafür ist:

$$m_{mm} = f_m m_{px} = dm \tan \rho$$

Der Winkel ρ ist unbekannt, kann jedoch aus der folgenden Beziehung ermittelt werden:

$$\Delta \varphi = \Delta \rho = \rho - \rho'$$

Durch Umformung ergibt sich:

$$\rho = \Delta \varphi + \rho'$$

Und weiter durch Einsetzen:

$$m_{mm} = dm \tan \left(\Delta \varphi + \tan^{-1} \frac{f_m m'_{px}}{dm} \right)$$

Dieses Kompensationsmodell wurde in der zweiten Version der Software implementiert. Zusätzlich werden in dieser Version auch die rohen Messdaten abgespeichert, d.h. die Koordinaten der LEDs in den Bildern ohne mathematische Umformung. Selbst wenn die Annahmen des Modells falsch wären, können mit den Rohdaten im Nachhinein andere Hypothesen geprüft werden.

4.2.7 Software zur Verformungsmessung

Das System zum Tragwerk-Monitoring für die Turnhalle Murnau ist als verteiltes Client-Server System konzipiert. Server und Client-Programme arbeiten zusammen. Für die zentrale Datenspeicherung wird ein Datenbank-Server auf SQL Basis verwendet. Die Sensoren sind über Software angekoppelt und erzeugen Messwerte welche fortwährend in bestimmten Zeitintervallen in der Datenbank gespeichert werden.

In KW 2008/47 wurde der Rechner mit der ersten Version (Versionsnr. 1.0.0.0) der Aufnahmesoftware installiert.

In KW 2009/41 wurde eine zweite Version (Versionsnr. 2.0.0.1) der Aufnahmesoftware installiert.

In KW 2009/46 wurde eine Version der Aufnahmesoftware mit stark reduzierter gespeicherter Datenmenge (Versionsnr. 2.1.0.2) installiert.

Die Bildaufnahme und das Messen der Positionen erfolgt über das Messprogramm Camera Acquisition. Die gemessenen Daten aller vier Kameras werden fortwährend mit einem Zeitstempel in eine Datenbank geschrieben.

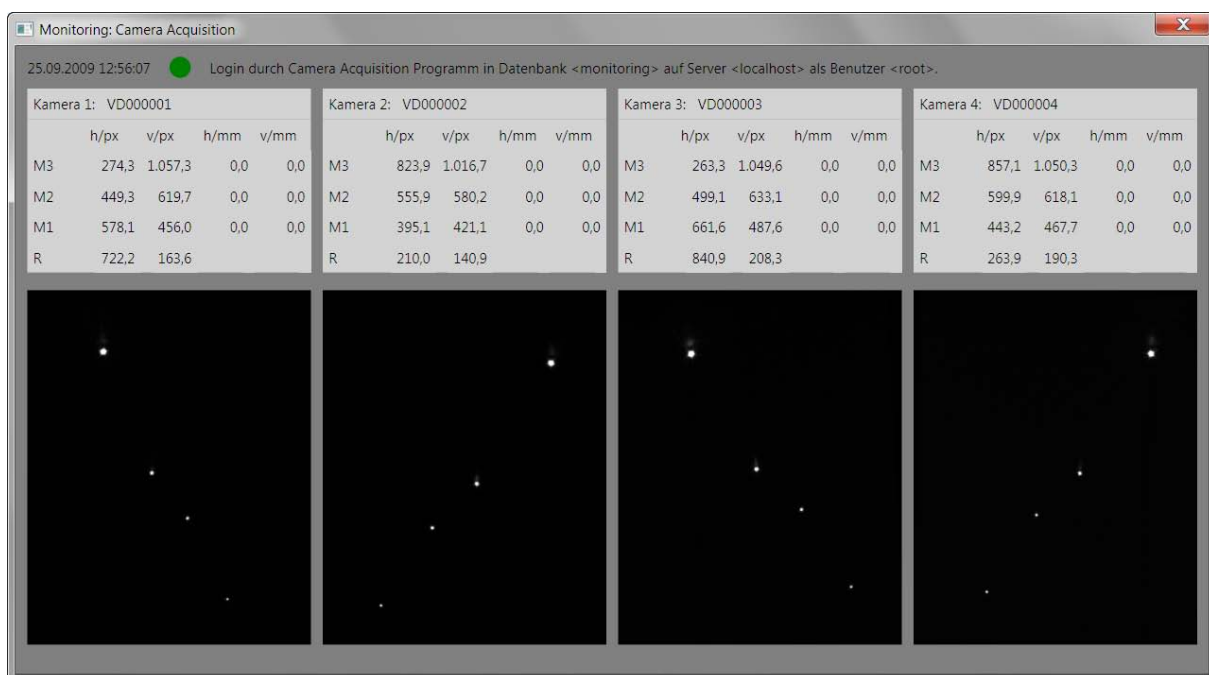


Abbildung 31: Benutzeroberfläche des Messprogramms Camera Acquisition mit den Bildern der Leuchtdioden an den vier Hautträgern (unten), den gemessenen Verformungswerten (darüber) und dem Feld für Fehlermeldungen (oben)

Mit dem Messprogramm werden die Kameras gesteuert sowie die Messungen vorgenommen und in der Datenbank protokolliert. Außerdem werden Meldungen, Messwerte und Bilder angezeigt (s.



Abbildung 31). Die Anzeige der Messwerte erfolgt sowohl in Pixeln (d.h. die rohen Messwerte ohne Umformung) und auch in mm Auslenkung von der Null-Position zum Zeitpunkt der Kalibrierung.

Als Datenbanksystem wird die Open Source Datenbank MySQL verwendet.

Im Vorfeld wurden in einer Datenbank Tests mit simulierten Daten gemacht. Dabei wurde die voraussichtliche Anzahl von Messkanälen über eine Zeitdauer von 10 Jahren simuliert. Die Datenbank funktioniert dabei noch, allerdings wird der Zugriff auf die Daten doch relativ langsam. Es ist deshalb erforderlich, das System regelmäßig (beispielsweise jährlich oder alle zwei Jahre) zu warten und Backups der Datenbank vorzunehmen und in ein Archiv auszulagern.

Die Datenbank wurde unter dem Namen monitoring in dem Verzeichnis D:\Database eingerichtet. Auf diesem Laufwerk stehen 500 GigaBytes zur Speicherung von Datenbank und Bildern zur Verfügung.

4.2.8 Testmessungen mit simulierter Verformung

Zur Überprüfung des auf Bildverarbeitung basierenden Messsystems wurden im September 2010 Testmessungen durch die Simulation von Verformungen vorgenommen. Es sollten an jedem der 12 Messpunkte Verformungen vertikal nach unten dargestellt werden und zwar um die Werte 100 mm und 300 mm.

Dies wurde durch eine Testvorrichtung realisiert, die wie folgt aufgebaut ist (s. Abbildung 32): An einer 5 m langen Teleskopstange ist eine Leiste aus Buchenholz befestigt. In der Holzleiste befinden sich Bohrungen, in die zwei Leuchtdioden eingesetzt sind. Die Leuchtdioden werden über Kabel und Batteriefach mit Strom versorgt. Am freien Ende der Holzleiste ist ein Magnet montiert. Mithilfe von Teleskopstange und Magnet kann die Vorrichtung an die stählernen Befestigungen der Messpunkte angehängt werden. Die Abstände zwischen der Oberkante des Magneten und den Leuchtdioden wurden so gewählt, dass sich die Leuchtdioden der Testvorrichtung dann exakt 100 mm bzw. 300 mm unterhalb der Leuchtdiode des jeweiligen Messpunktes befinden. Wird nun die Leuchtdiode des Messpunktes ausgeschaltet oder abgedeckt und eine der Leuchtdioden der Testvorrichtung eingeschaltet, sollte das Bildverarbeitungssystem Verformungen von -100 mm bzw. -300 mm messen.

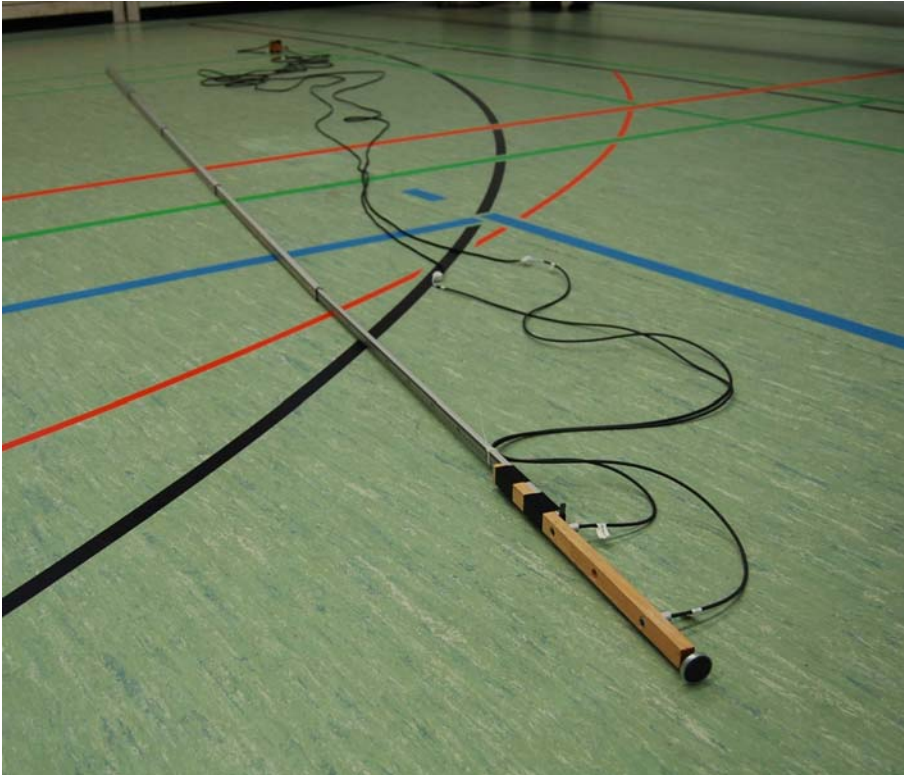


Abbildung 32: Testvorrichtung für die Simulation einer Verformung

Die Ergebnisse der Testmessungen sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

Zu den Messergebnissen folgende Anmerkungen:

- Ungenauigkeiten aus der Konstruktion der Testvorrichtung können nach mehrmaligem Vermessen des Gerätes mit 0,5 mm beziffert werden.
- Sämtliche Abweichungen von den Sollwerten sind Abweichungen nach unten, d.h. die Messwerte sind systematisch zu klein.
- Bei größeren Maßen ist der prozentuale Fehler größer als bei kleinen Maßen.
- Es ist keine Korrelation zwischen der Entfernung des Messpunktes zur Kamera und der Größe des Fehlers zu erkennen: sowohl der kleinste Wert (z.B. -98 bei K1 M3 oder -294 ebenfalls bei K1 M3) als auch der größte Wert (z.B. -100 bei K2 M3 oder -298 ebenfalls bei K2 M3) taucht bei einer nahe an der Kamera gelegenen Leuchtdiode auf.
- Grundsätzlich können die Ergebnisse mit Ungenauigkeiten von max. - 2 mm bei Verschiebungen von bis zu 100 mm als sehr gut bezeichnet werden.
- Der Einfluss von Refraktionphänomenen auf die Genauigkeit der Ergebnisse wäre noch zu untersuchen. Dies wurde jedoch im Rahmen der hier vorgestellten Arbeit nicht unternommen.

Tabelle 4: Ergebnisse der Testmessungen bei simulierter Verformung

		Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 4	Spalte 5
		Messwert fest installierte Leuchtdiode	simulierte Vertikalverformung 100 mm		simulierte Vertikalverformung 300 mm	
			Messwert	gemessene Verformung relativ zur fest installierten Leuchtdiode Spalte 2 - Spalte 1	Messwert	gemessene Verformung relativ zur fest installierten Leuchtdiode Spalte 4 - Spalte 1
K1	M3	-1	-99	-98	-295	-294
	M2	0	-99	-99	-295	-295
	M1	-1	-101	-100	-298	-297
K2	M3	0	-100	-100	-298	-298
	M2	-1	-100	-99	-296	-295
	M1	-1	-100	-99	-298	-297
K3	M3	-1	-100	-99	-295	-294
	M2	-1	-101	-100	-297	-296
	M1	-1	-101	-100	-298	-297
K4	M3	-1	-101	-100	-297	-296
	M2	-1	-101	-100	-298	-297
	M1	-1	-101	-100	-297	-296
durchschnittlich gemessene Verformung:				-99,50		-296,00
Sollwert:				100,00		300,00
prozentuale Abweichung vom Sollwert:				0,50%		1,33%

4.3 Verformungsmessung Laser

Zur Ergänzung und Überprüfung des auf Bildverarbeitung basierenden Messsystems wurde zusätzlich ein Lasermesssystem fest in der Halle installiert. Bei dem Sensor handelt es sich um ein Laser-Distanz-Messgerät des Herstellers Dimetrix AG aus Herisau in der Schweiz. Das Gerät vom Typ DLS-B15 misst auf Reflektorfolie Entfernungen zwischen 0,05 und 500 m und auf natürlichen Oberflächen Entfernungen bis zu ca. 65 m. Die Genauigkeit wird vom Hersteller mit $\pm 1,5$ mm angegeben. Das Gehäuse hat die Abmessungen 150 x 80 x 55 mm und ist unterhalb der Fußbodenebene in einer Bodendose untergebracht (s. Abbildung 33).

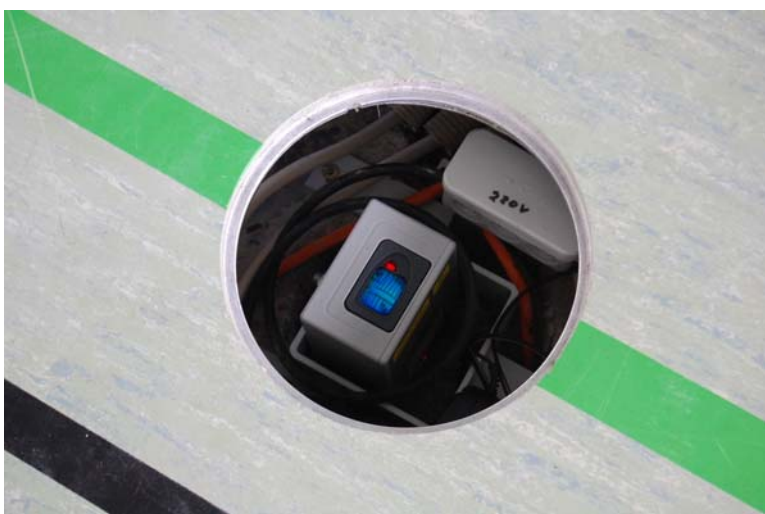


Abbildung 33: Laser-Distanz-Messgerät in Bodendose



Abbildung 34: Laser-Distanz-Messgerät mit Halterung

Der Bodenlaser ist mit einer justierbaren Halterung aus Stahl (s. Abbildung 34) an der Bodenplatte des Gebäudes befestigt. Auf diese Weise wird verhindert, dass sich Bewegungen des Sportbodens auf das Gerät übertragen. Die Bodendose befindet sich unter der Mitte des am weitesten östlich liegenden Trägers (s. Abbildung 35). Unter den übrigen drei Trägern, ebenfalls in Feldmitte, befinden sich weitere Bodendosen, die bei Bedarf mit einem Bodenlaser bestückt werden können.

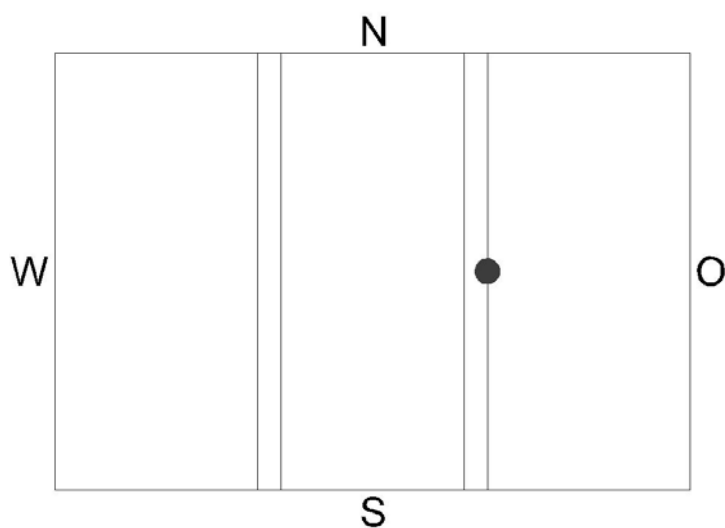


Abbildung 35: Lage des Bodenlasers in der Halle



Der Bodenlaser misst die Distanz von der Vorderkante des Gerätegehäuses bis zur Unterkante des Trägers. Nach Einbau des Gerätes wurden im November 2009 bei schneefreiem Dach in zehn unmittelbar aufeinander folgenden Messungen Werte zwischen 7.071,3 mm und 7.071,9 mm gemessen und daraus ein durchschnittliches Maß von 7.071,55 mm ermittelt und auf 7.072 mm gerundet. Nach Abzug des Abstandes zwischen Gerätevorderkante und Oberkante Hallenboden von 48 mm ergibt sich für diesen Zeitpunkt eine Höhe der Trägerunterkante über Fußboden von 7.024 mm. Das Maß von 7.072 mm wurde in Synchronisation mit dem Bildverarbeitungssystem einer Durchbiegung von $\pm 0,0$ mm zugeordnet. Durch den Vergleich mit diesem Referenzmaß kann aus Messungen zu anderen Zeitpunkten die dann eventuell vorliegende Durchbiegung dieses Trägers ermittelt werden.

Die Bodendose ist bei Hallenbetrieb durch einen Deckel verschlossen. Um Messungen vornehmen zu können muss der Deckel mithilfe eines Werkzeugs von Hand geöffnet werden. Dies ist eine Vorsichtsmaßnahme um sicherzustellen, dass in jedem Fall während der Messung eine Person vor Ort anwesend ist, um die Sicherheit des Laserbetriebs zu überwachen.

Bei geschlossener Bodendose wird der Laserstrahl über einen Spiegel unterhalb des Deckels seitlich in den Hohlraum unterhalb des Sportbodens umgelenkt. Dies ermöglicht die Überprüfung der Funktionsfähigkeit ohne den Deckel öffnen zu müssen (z.B. über Fernzugriff auf den Messcomputer). Ohne eine solche Zusatzvorrichtung wäre eine Testmessung bei geschlossenem Deckel nicht möglich, da die Distanz zwischen Gerätevorderkante und Bodendeckel mit 23 mm außerhalb des Messbereiches liegt.

Die Energieversorgung des Bodenlasers erfolgt über Netzstrom und Netzgerät. Die Betriebsspannung beträgt 12V. Das Gerät ist über eine CAT-7 Datenleitung und einem Seriell-zu-USB-Adapter mit dem Messcomputer im Technikraum der Halle verbunden.

Die Messung erfolgt dort über das in Microsoft Excel geschriebene Programm DLS Messsoftware.xls. Der Button „MESSEN“ im Arbeitsblatt „Messung“ (s. Abbildung 36) liefert die Strecke bis zur Unterkante des Trägers und errechnet die aktuelle Durchbiegung mithilfe des Referenzwertes. Danach kann, falls dies gewünscht ist, über einen weiteren Klick auf den entsprechenden Button der Speicherort ausgewählt werden. Gespeichert werden Datum, Uhrzeit, Messwert, Referenzwert und die errechnete Durchbiegung. Über den Button „DAUERLICHT EIN“ lässt sich ein dauerhafter Laserspot erzeugen, welcher benötigt wird, falls das Gerät einmal neu ausgerichtet werden muss.

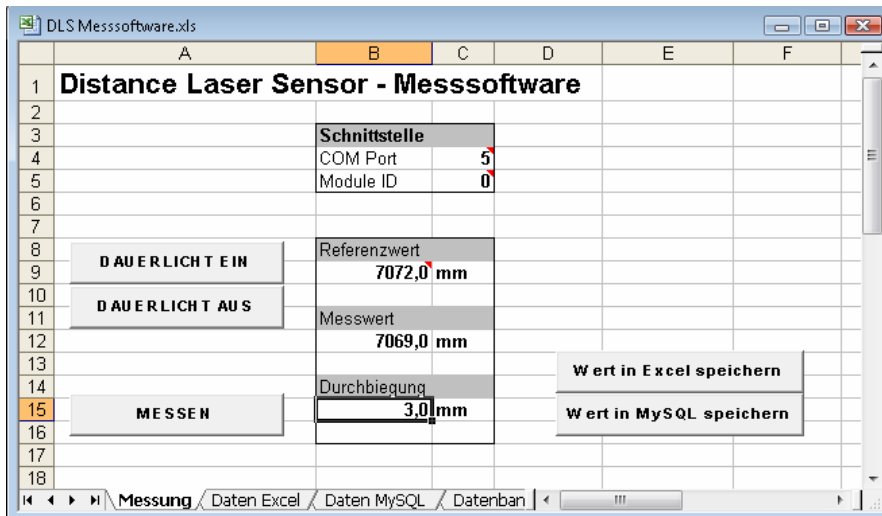


Abbildung 36: Screenshot der DLS Messsoftware, Arbeitsblatt „Messung“

Als Alternative zur Ansteuerung des Lasers kann auch das vom Hersteller mitgelieferte Programm DIMETIX DLS-Utility verwendet werden. Bei diesem Programm ist jedoch die Möglichkeit, Messungen zu speichern nicht vorgesehen.

4.4 Wetterstation mit Schneekissen

Auf dem Hallendach wurde durch die Fa. Sommer GmbH & Co. KG aus Koblach in Österreich eine Wetterstation mit Sensoren für Lufttemperatur, Luftfeuchte, Globalstrahlung, Windrichtung und Windgeschwindigkeit installiert (s. Abbildung 37). Die dort erfassten Daten werden an einen Datenlogger in einem Schaltschrank am Mast der Wetterstation geschickt. Die Wetterstation verfügt über einen Blitzableiter. Die Energieversorgung der Station erfolgt über Netzstrom. Im Inneren der Halle befinden sich unter dem Hallendach weitere Sensoren für Lufttemperatur und Luftfeuchte. Diese Messwerte werden ebenfalls mittels Kabelverbindung zum Datenlogger auf dem Dach transferiert. Der Messcomputer im Technikraum der Halle ist mit dem Datenlogger via RS232 Schnittstelle verbunden. Die dort installierte Software DataWin ermöglicht die Parametrierung und das automatisierte Auslesen des Datenloggers. Somit sind alle Messdaten der Wetterstation auf dem im Technikraum befindlichen PC verfügbar.



Abbildung 37: Wetterstation auf dem Dach der Turnhalle mit Mast, Blitzableiter, Sensoren an Ausleger und Schaltschrank (links), geöffneter Schaltschrank mit Datenlogger (rechts)

Zusätzlich wurden auf dem Dach der Halle an drei Stellen Sensoren zur Messung der Schneelasten oder genauer des Schnee Wasser Äquivalentes (Snow Water Equivalent, SWE) installiert. Es handelt sich dabei um Schneekissen wie sie häufig für meteorologische Messungen im Gelände eingesetzt werden. Schneekissen stellen zurzeit die am meisten verbreitete Methode zur Messung des SWE dar [vgl. Kornblum 2009]. Eines der drei Kissen wurde vom Hersteller unentgeltlich für das Projekt zur Verfügung gestellt.

Das Messprinzip des Schneekissens beruht auf der Messung des von der Schneedecke im Inneren des Kissens verursachten hydrostatischen Drucks. Der mit einem Druckmessumformer erfasste Druck entspricht dem Wasseräquivalent der Schneedecke und wird als Analogsignal ausgegeben [Sommer 2007]. Der Hersteller bietet Schneekissen in zwei Größen an. Kissen mit einer Grundfläche von 3000 x 3000 mm und solche mit einer Grundfläche 1500 x 1500 mm. Aus Gründen der Gewichtsersparnis wurden bei dem Projekt Schneekissen der Größe 1500 x 1500 mm eingesetzt. Die Schneekissen haben eine Hülle aus PVC. Sie werden mit einem Gemisch aus gleichen Teilen Wasser und Glykol gefüllt. Die verwendeten Kissen benötigen zur Befüllung etwa 200 Liter Gemisch. In gefülltem Zustand haben sie in der Mitte eine Höhe von ca. 80 mm.

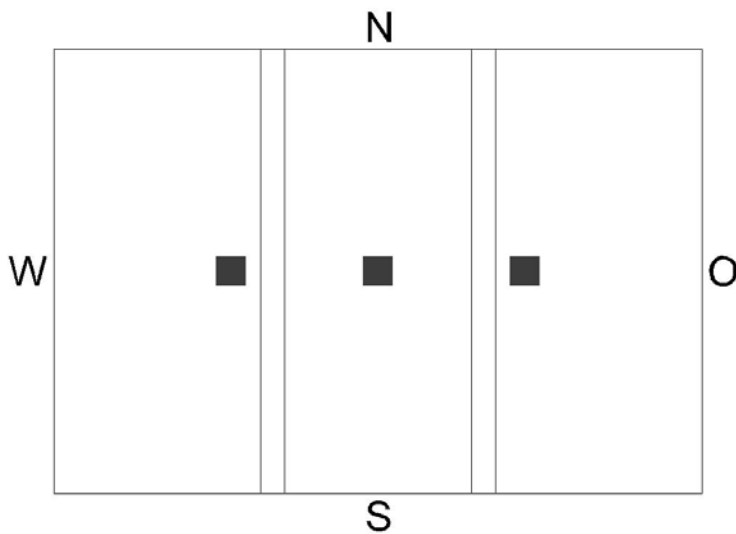


Abbildung 38: Anordnung der Schneekissen auf dem Hallendach

Das Dach der Turnhalle wird durch die beiden Hauptträgerpaare in drei Felder aufgeteilt. In jedem der drei Felder wurde jeweils ein Schneekissen platziert (s. Abbildung 38). Das Schneekissen im mittleren Feld liegt genau in der Mitte dieses Feldes, im Bereich des Firstes der leicht geneigten Dachfläche. Die Schneekissen in den beiden äußeren Feldern wurden in der Nähe der Hauptträger im Bereich von Gräben in der Dachfläche platziert. Da die Schneehöhen auf einem Dach zu einem gegebenen Zeitpunkt durch Windverfrachtung und Verschattungen örtlich sehr stark variieren können, wurde für die Schneekissen eine Anordnung gewählt, die unterschiedliche Situationen abbildet: ausgesetzt (mittleres Kissen), im Windschatten bei Westwind (östliches Kissen), im Bereich von Schneeansammlungen bei Westwind (westliches Kissen), verschattet bei Abendsonne (östliches Kissen) u.s.w. Darüber hinaus führte diese Anordnung zu kurzen Wegen bei der Verkabelung der Sensoren.

Für die einwandfreie Funktion der Kissen wird eine plane und horizontale Unterlage benötigt. Da die Dachflächen des Hallendaches zum Zweck der Dachentwässerung eine Neigung von ca. 5 bis 8 ° aufweisen, musste diese Unterlage erst geschaffen werden. Dies wurde realisiert, indem Rahmen aus Lärchenholz mit einem Innenmaß von 1700 x 1700 mm aufgestellt wurden (s. Abbildung 39 und Abbildung 40). Aufgrund der oben beschriebenen Anordnung gibt es eine First- und eine Grabenvariante für die Lärchenrahmen. Zum Schutz der Dachhaut wurde vor dem Aufstellen der Rahmen Bauvlies ausgelegt. Die Rahmen wurden nach dem Aufstellen mit einer zweiten Lage Bauvlies ausgeschlagen und anschließend mit Blähtongranulat befüllt. Letzteres wurde abschließend vor dem Auflegen der Schneekissen plan abgezogen. Blähtongranulat wurde gewählt, da es gegenüber dem standardmäßig hier verwendeten Sand erheblich weniger zusätzliche Last auf das Dach aufbringt.



Abbildung 39: Schneekissen in Rahmenvariante „Graben“, während des Befüllvorgangs



Abbildung 40: Schneekissen in Rahmenvariante „First“, fertig befüllt und verkabelt

Die Schneekissen sind über Messsignalkabel mit dem Datenlogger der Wetterstation verbunden. Das Auslesen der Messdaten erfolgt zusammen mit den Daten der übrigen Sensoren über die Software DataWin.

4.5 PC, USV, sicherer Betrieb

Die Klimadaten und die aus der Schneelast- und Verformungsmessung gewonnenen Werte werden kabelgebunden über eine Ethernetleitung an einen im Technikraum der Turnhalle platzierten, herkömmlichen Rechner übertragen.

Der Rechner empfängt die Bilddaten der verschiedenen Kameras, wertet diese aus und schlägt bei Bedarf Alarm. Daher ist es unumgänglich, dass der Betrieb des Rechners in jedem Fall gewährleistet ist. Dies wird durch eine Unabhängige Strom Versorgung (kurz: USV) realisiert. In Murnau kommt eine USV des Typs Protect C.2000 der Firma AEG zum Einsatz. Diese ist mit zwei



Batterieeinheiten des Typs Protect C.2030 der Firma AEG bestückt. Diese Konstellation stellt eine Stromversorgung der wichtigsten Komponenten für eine Zeit von bis zu 14 Stunden sicher.

Parallel dazu werden die Werte für die Klimadaten, inkl. Schneelasten, mittels eines energieautarken Datenloggers gespeichert. Durch den unabhängigen Einsatz beider Systeme wird die Redundanz der Datenspeicherung sicher gestellt.

4.6 **Datenübertragung, Fernzugang**

Um das System über einen Fernzugriff via Internet bedienen und warten zu können, wird die Software (Fritz!VPN) und Hardware (Fritz!Box) der Firma AVM eingesetzt, mit der eine Remotedesktopverbindung (Microsoft) von einem entfernten Rechner zu dem Rechner in Murnau aufgebaut wird. Da die Auswertung der Messdaten auf dem Rechner in Murnau erfolgt, werden die über das Internet zu versendeten Datenmengen weitgehend reduziert.

Eine externe Sicherung der Daten erfolgt ebenfalls über den oben beschriebenen Fernzugang. Da gegenwärtig nur eine geringe Upload-Bandbreite (128 kBit) zur Verfügung steht, dauern die Speichervorgänge bis zu einigen Stunden.

Weiterhin können über den Fernzugang einzelne Komponenten (z.B. PC, LEDs, Kamera) ein- und ausgeschaltet werden, wodurch im Falle einer Störung ein schnelles Eingreifen, ohne vor Ort sein zu müssen, ermöglicht wird.

4.7 **Datenauswertung**

Die Verformungswerte werden von der Software der Firma Impuls computergestützte Bildanalyse GmbH in einer MySQL-Datenbank abgelegt. Um diese Daten zu veranschaulichen, wurde eine Applikation unter Microsoft Excel geschrieben [Röhm 2010]. Hier dargestellt ist die Beta-Version. Auf dem Rechner in Murnau läuft noch die Vorgängerversion des Auswertungsprogramms. Diese Software gliedert sich in zwei Bereiche (s. Abbildung 41). Im oberen Teil der Anwendung befindet sich der Auswertungsbereich, der sich je nach gewählter Registerkarte unterschiedlich gestaltet. Im unteren Teil befindet sich der Einstellungsbereich. In diesem kann der darzustellende Zeitraum über einen Schieberegler ausgewählt werden. Der Einstellungsbereich ist in der gesamten Anwendung einheitlich gehalten, lediglich in der Registerkarte Protokoll fällt der Schieberegler weg, da in dieser Registerkarte immer alle Meldungen der eingelesenen Daten angezeigt werden.

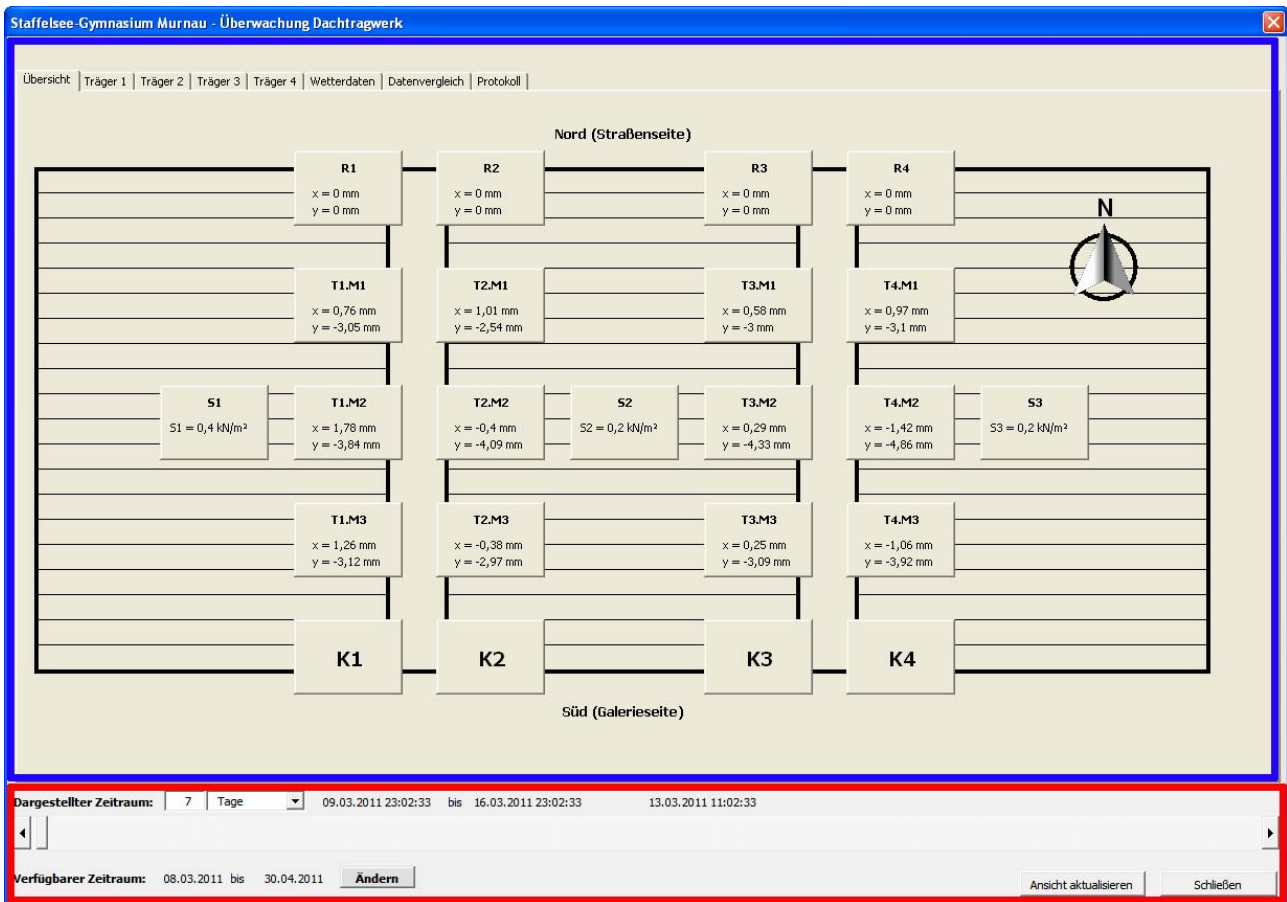


Abbildung 41: Bereiche der Software, Registerkartenbereich (blau) – Einstellungsbereich (rot)

Diese Software bietet die Möglichkeit die Daten in einer Übersicht grafisch darzustellen. Hierbei können verschiedene Grenzwerte festgelegt werden, welche in der Übersicht farblich unterschieden werden. Durch Verschieben des Schiebereglers im Einstellungsbereich kann der dargestellte Zeitraum variiert werden. Die Verformungswerte werden beim Ändern des Zeitraums automatisch aktualisiert.

Weiterhin können die Daten anhand von Diagrammen visualisiert werden. Hierbei können die Träger einzeln betrachtet werden: Für jeden Träger ist eine separate Registerkarte integriert, welche das aktuelle Kamerabild mit den aktuellen Verformungswerten, sowie den Verformungsverlauf vor und nach dem aktuellen Zeitpunkt beinhaltet (s. Abbildung 42). Auf dem Kamerabild werden anhand von Fahnen die jeweiligen Verformungen zu den verschiedenen Messpunkten dargestellt. Diese werden, wie auch bei der Übersicht, farblich (grau, gelb, rot, je nach Einstellung für die Grenzwerte) unterschieden (s. Kapitel 4.8).

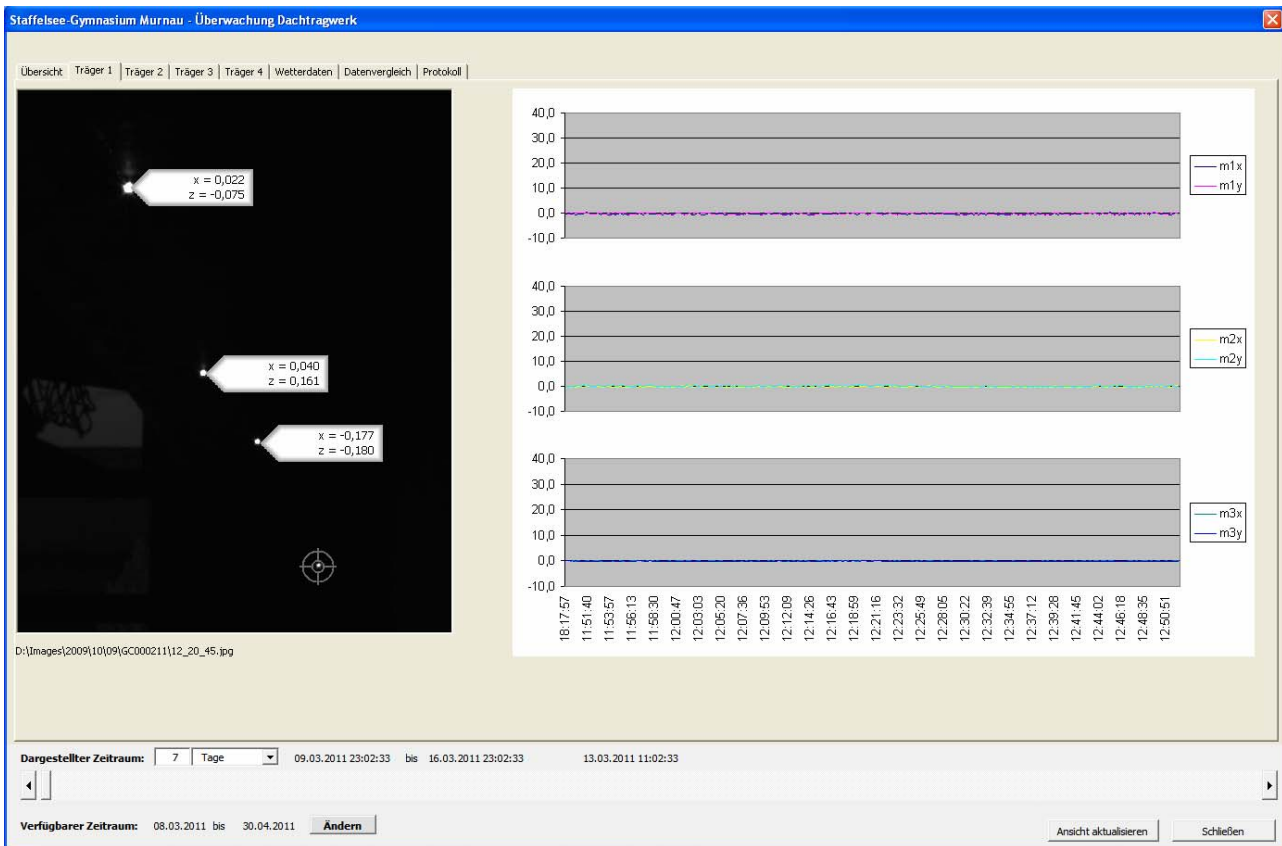


Abbildung 42: Registerkarte Trägerdaten

Um Rückschlüsse auf die Wetterverhältnisse zum Zeitpunkt der Verformungsaufzeichnung zu erhalten, werden die Klimadaten über ein System der Firma Sommer aufgezeichnet. Diese können auf der Registerkarte Wetterdaten eingesehen werden. Hierbei werden die Klimadaten anhand von Liniendiagrammen dargestellt. Diese Daten umfassen sowohl Temperatur, Luftfeuchte und die Windverhältnisse, sowie die Schneelasten, welche mittels Schneekissen auf dem Dach der Sporthalle des Staffelsee-Gymnasiums in Murnau ermittelt werden (s. Abbildung 43).

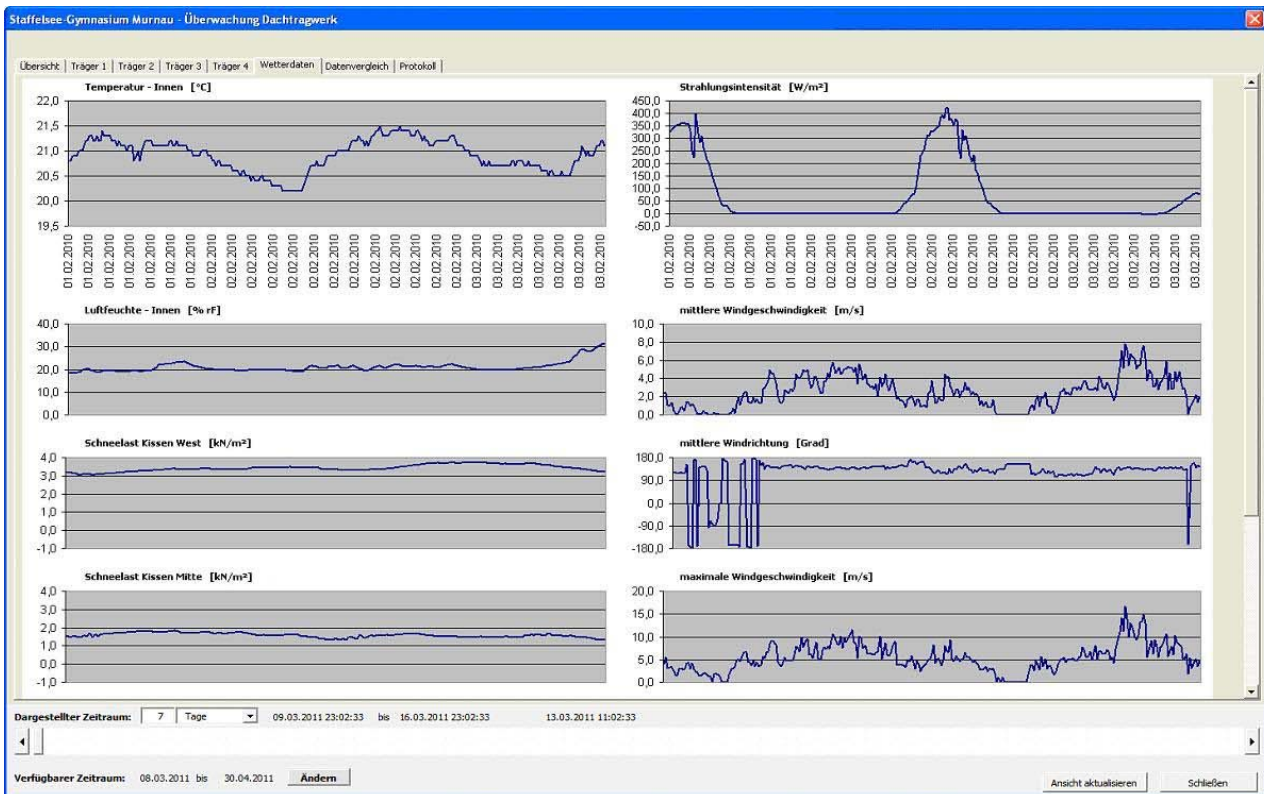


Abbildung 43: Registerkarte Wetterdaten

Einen weiteren Bestandteil der Datenauswertung stellt die Registerkarte Datenvergleich dar (s. Abbildung 44). Anhand dieser Registerkarte, können die Verformungen der einzelnen Träger und die Wetterdaten individuell dargestellt werden. Somit wird ermöglicht die Verformungsdaten eines Trägers mit den zugehörigen Wetterdaten darzustellen. Dies ermöglicht eine schnelle und einfache, sowie übersichtliche Art der Auswertung der Messergebnisse.



Abbildung 44: Registerkarte Datenvergleich

Bei der Messung der Verformungen kann es zu Fehlmessungen kommen, welche durch die Software der Firma Impuls computergestützte Bildanalyse GmbH in der Datenbank protokolliert werden. Diese Protokollierung kann in der VBA-Anwendung eingelesen und ausgegeben werden. Dies ermöglicht die schnelle Erkennung von möglichen Problemen bei der Messung, aber auch bei der Auswertung.

4.8 Alarmsystem

Im Herbst 2011 wird das Monitoringsystem durch ein Alarmierungsmodul vervollständigt. Hierfür wird eine im Schulgebäude des Staffelseegymnasiums Murnau bereits vorhandene Brandmeldeanlage (Fa. Minos) genutzt. Die Anbindung an das Monitoringsystem wird über eine zusätzliche Relaiskarte im Monitoringrechner (Standort: Technikraum der Turnhalle, s. Kapitel 4.5) realisiert. Um im Alarmfall die zuständigen Einrichtungen und Personen kurzfristig benachrichtigen zu können, werden vier Ausgänge der Relaiskarte mit dem Wahlgerät der Brandmeldeanlage verbunden. Weitere Ausgänge werden mit Hochvoltrelais im Schaltschrank im Technikraum verbunden, wodurch sowohl optische als auch akustische Warnsignale ermöglicht werden.



Die im Alarmfall zu benachrichtigenden Einrichtungen und Personen (Feuerwehr, betreuender Ingenieur, Schulleitung, Hausmeister) werden durch das Landratsamt Garmisch-Partenkirchen festgelegt.

4.8.1 Kriterien für Grenzwerte

Die Art und der Umfang der Alarmsignale werden in Abhängigkeit von den Vertikalverformungen des Hauptträgers des Dachtragwerks festgelegt. Das zunächst beabsichtigte Heranziehen der Ergebnisse der Schneelastmessungen (s. Kapitel 4.4) wird nicht weiter als sinnvoll erachtet, da die Messungen mit den Schneekissen nicht plausibel sind (s. Kapitel 5.2).

Die Berechnung der Grenzwerte der Hauptträgerverformungen erfolgt analog einer Verformungsberechnung im Rahmen eines Gebrauchstauglichkeitsnachweises. Die dabei eingesetzte Biegesteifigkeit von $EI = 65.133.687.500,00 \text{ kNcm}^2 = 6,51336875 \times 10^{10} \text{ kNcm}^2 = 6,51336875 \times 10^{15} \text{ Nmm}^2$ des relevanten Hauptträgers, Pos. H3 mit $b/h = 300 / 2650 \text{ mm}$, wurde mit einem erhöhten E-Modul von $E = 1.400 \text{ kN/cm}^2 = 14.000 \text{ N/mm}^2$ und einem Brutto-Trägheitsmoment 2. Grades $I = bh^3/12 = 46.524.062,5 \text{ cm}^4 = 46,5240625 \times 10^{10} \text{ mm}^4$ ermittelt.

Die Größe des E-Moduls wurde auf der Grundlage der Verformungsmessung unter künstlicher Last (s. Kapitel 5.1) gewählt.

Die entsprechenden Werte nach DIN 1052:2004-08 sind $E = 1.260 \text{ kN/cm}^2$ (mittlerer E-Modul für Brettschichtholz GL28c) und $I = 44.608.056,7 \text{ cm}^4$ (Netto-Trägheitsmoment 2. Grades). Die daraus resultierende Biegesteifigkeit liegt mit $EI = 56.206.151.440,00 \text{ kNcm}^2$ bei 86 % der für die Ermittlung der Grenzwerte eingesetzten Größe.

Für einen gewöhnlichen Gebrauchstauglichkeitsnachweis ist der erhöhte Wert der Biegesteifigkeit von $EI = 65.133.687.500,00 \text{ kNcm}^2$ zu groß, wodurch die rechnerisch ermittelten Verformungen zu klein wären und somit der Gebrauchstauglichkeitsnachweis auf der unsicheren Seite liegen würde.

Im Gegensatz dazu bedeutet der Einsatz der erhöhten Biegesteifigkeit für die Ermittlung der Grenzwerte des Alarmsystems keinesfalls eine zusätzliche Unsicherheit: Die so festgelegten Grenzwerte der Verformungen sind kleiner als bei herkömmlichem Nachweis der Gebrauchstauglichkeit, d.h. der Alarm wird früher ausgelöst. Zudem ist die erhöhte Biegesteifigkeit mit in-situ Belastungen verifiziert und ihr Einsatz führt zu einer realistischeren Einschätzung als die Verwendung der DIN-Werte.

Da es sich dabei um elastische Verformungen handelt, werden die Kriechinflüsse in der Verformungsberechnung nicht berücksichtigt. Die Kriechvorgänge werden jedoch durch Vergleiche der Verformungswerte über mehrere Jahre erfasst. Allerdings dürften die Kriechprozesse bei dem Alter der Konstruktion weitgehend abgeklungen sein.



Daraus ergibt sich folgende Formel für die Berechnung der Vertikalverformungen des Hauptträgers, Pos. H3, unter einer gleichmäßig über ganze Trägerlänge verteilten Streckenlast:

$$w_{s, \text{inst, mitte}} = 5sL^4/(384EI)$$

mit

Schneelast s [kN/m]

Hauptträgerstützweite $L = 31,25$ m

Biegesteifigkeit $EI = 65.133.687.500,00$ kNcm² = $6,513 \times 10^{15}$ Nmm²

Aus dem Grundwert der Schneelast für Murnau (690 m ü. NN) nach DIN 1055-5:2005-07 von $s_k = 3,78$ kN/m² (s. Kapitel 3.2) resultiert die Schneelast auf einem Flachdach von $s_{k,i} = 0,8 \times 3,78 = 3,00$ kN/m² als Flächenlast bzw. von $s'_{k,i} = 23,6$ kN/m als Streckenlast.

Dabei bleibt die Schneebelastung auf dem höher liegenden Dachbereich ($b = 1,99$ m) zwischen den paarweise angeordneten Hauptträger in der Verformungsberechnung unberücksichtigt, wodurch mögliche Schneeverwehungen für die Festlegung der Grenzwerte auf der sicheren Seite erfasst werden.

Für die Belastung von $s'_{k,i} = 23,6$ kN/m ($s_{k,i} = 3,00$ kN/m²) ergibt sich eine elastische Verformung in der Mitte des Hauptträgers von $w_{s, \text{inst, mitte}} = 45$ mm. Ausgehend von diesem Verformungswert werden die einzelnen Betriebs- und Alarmstufen des Monitoringsystems festgelegt.



4.8.2 Betriebs- und Alarmstufen

Für den Betrieb der Halle werden fünf Stufen, zwei davon als Alarmstufen, definiert (s. Tabelle 5):

Tabelle 5: Betriebs- und Alarmstufen des Monitoringsystems

Betriebs- und Alarmstufen	Gemessene Vertikalverschiebung [mm] in der Trägermitte	Rechnerische Schneelast [kN/m ²]	Handlung	Maßnahme Kommentar
Betriebsstufe I	Trägermitte (M2): $W_{s, \text{inst, mitte}} = 7 \text{ mm}$	0,5 kN/m ² entspricht 50 kg/m ²	- online Funktionskontrolle der Monitoringanlage - manuelle Schneelastmessung vor Ort (Hausmeister)	
Betriebsstufe II	$W_{s, \text{inst, mitte}} = 14 \text{ mm}$	1,0 kN/m ² entspricht 100 kg/m ²	- online Funktionskontrolle der Monitoringanlage - manuelle Schneelastmessung vor Ort (Hausmeister)	
Betriebsstufe III	$W_{s, \text{inst, mitte}} = 21 \text{ mm}$	1,5 kN/m ² entspricht 150 kg/m ²	- Funktionskontrolle der Monitoringanlage vor Ort - Tragwerksbegutachtung vor Ort (betreuender Ingenieur) - manuelle Schneelastmessung vor Ort (betreuender Ingenieur)	- Erreichen der zulässigen Schneelast nach DIN 1055-5:1975-06 (gültig bis zum 31.12.2006) von $s_0=1,50 \text{ kN/m}^2$ (s. Kapitel 3.2)
Alarmstufe gelb	$W_{s, \text{inst, mitte}} = 28 \text{ mm}$	2,0 kN/m ² entspricht 200 kg/m ²	- Funktionskontrolle der Monitoringanlage vor Ort - Tragwerksbegutachtung vor Ort (betreuender Ingenieur) - manuelle Schneelastmessung vor Ort (betreuender Ingenieur)	- die am Dachtragwerk befestigten Turngeräte dürfen nicht mehr genutzt werden - Schneeräumung - Ausnutzung des Tragwerks: < 0,67
Alarmstufe rot	$W_{s, \text{inst, mitte}} = 35 \text{ mm}$	2,5 kN/m ² entspricht 250 kg/m ²	- Funktionskontrolle der Monitoringanlage vor Ort - Tragwerksbegutachtung vor Ort (betreuender Ingenieur) - manuelle Schneelastmessung vor Ort (betreuender Ingenieur)	- Halle darf nicht mehr genutzt werden - Schneeräumung - Ausnutzung des Tragwerks: < 0,83

5 Messungen unter künstlicher Last

5.1 Verformungsmessung unter künstlicher Last

Um das Verhalten des Tragwerks unter Last zu untersuchen, wurden am 10.6.2011 am Dach der Turnhalle Belastungsversuche durchgeführt.

Als Auflast dienten wassergefüllte so genannte 90 l-Mörtelkästen der Marke JOPA des Herstellers S&W Kunststofftechnik GmbH (s. Abbildung 45). Die Behälter haben die Außenmaßen (H x B x T, ohne Griffe) 31 x 78,5 x 48 cm und ein Leergewicht von 2,5 kg. Die Markierung für die 90l-Füllung befindet sich 15 mm unterhalb der Oberkante der Behälter. Randvoll gefüllt beträgt das Fassungsvermögen eines auf einer Horizontalen stehenden Behälters 95 l. Auf dem Hallendach stehend haben die Mörtelkästen wegen des Gefälles der Dachflächen eine leichte Neigung quer zur Längsachse. Das Fassungsvermögen beträgt bei 5° Neigung 88 l und bei 8° Neigung 84 l.



Abbildung 45: Künstliche Last auf dem Dach der Turnhalle, bestehend aus 154 wassergefüllten 90l-Mörtelkästen, unmittelbar nach Abschluss des Befüllvorgangs

Die Mörtelkästen, insgesamt 154 Stück in 11 x 14 Reihen, wurden auf dem östlichen Deckenfeld der Halle nahe des Hauptträgers in Feldmitte aufgestellt (s. Abbildung 46). Die genaue Anordnung ist in Abbildung 47 dargestellt. Die unmittelbar neben dem Hauptträger verlaufende Reihe hat eine Neigung von 8°, alle übrigen Behälter sind um 5° geneigt.

Das Befüllen der Behälter übernahm die Freiwillige Feuerwehr Murnau. Mit Hilfe der Feuerwehdrehleiter wurde eine Wasserleitung auf das Dach gelegt. Das Tanklöschfahrzeug

pumpfte anschließend das erforderliche Wasser auf das Dach der Turnhalle. Nach Befüllen aller 154 Mörtelkästen betrug die Wasserfüllung auf dem Dach nahezu 13.500 Liter, die Auflast knapp 14.000 kg auf einer Fläche von ca. 70 m². Die aufgebrachte Flächenlast lag also bei ca. 200 kg/m².

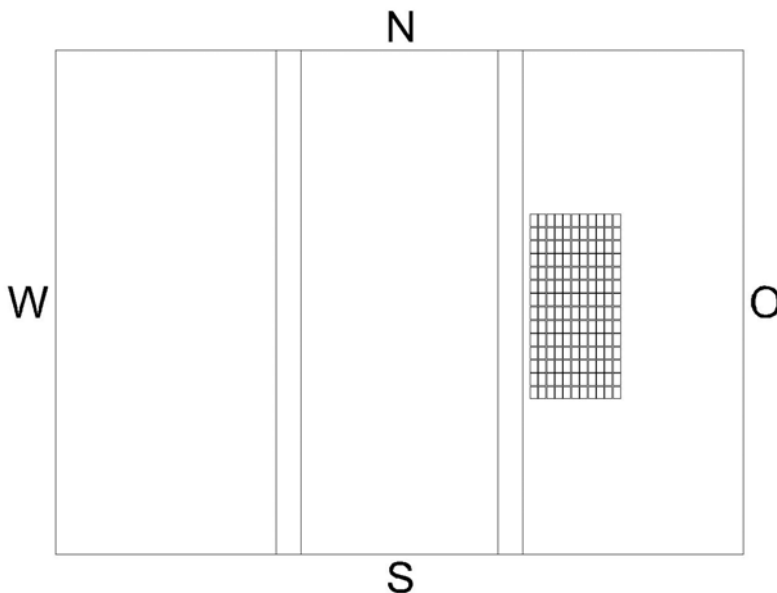


Abbildung 46: Künstliche Last auf dem Dach der Turnhalle, Lage der Belastungseinrichtung

Das Befüllen geschah nach und nach in sieben Schritten (s. Abbildung 47). Nach jedem dieser Schritte wurde die Verformung des östlichen Hauptträgers mit dem Bildverarbeitungssystem und dem Bodenlaser gemessen. Die Messwerte sind in Tabelle 6 dargestellt. Nach Abschluss des Versuchs wurden die Behälter über die Dachentwässerung entleert.

Tabelle 6: Durchbiegung des östlichen Trägers bei unterschiedlicher Belastung in sieben Schritten in [mm], gemessen mit Bildverarbeitungssystem („Kamera“) und Bodenlaser („Laser“)

	vor Belastung	1	2	3	4	5	6	7
Kamera	-1	0	1	3	4	5	7	8
Laser	-0,4	0,4	2,1	4,1	5,4	6,1	7,8	8,7
Kamera auf Null gestellt	0	1	2	4	5	6	8	9
Laser auf Null gestellt	0	0,8	2,5	4,5	5,8	6,5	8,2	9,1
Differenz	0	0,2	0,5	0,5	0,8	0,5	0,2	0,1

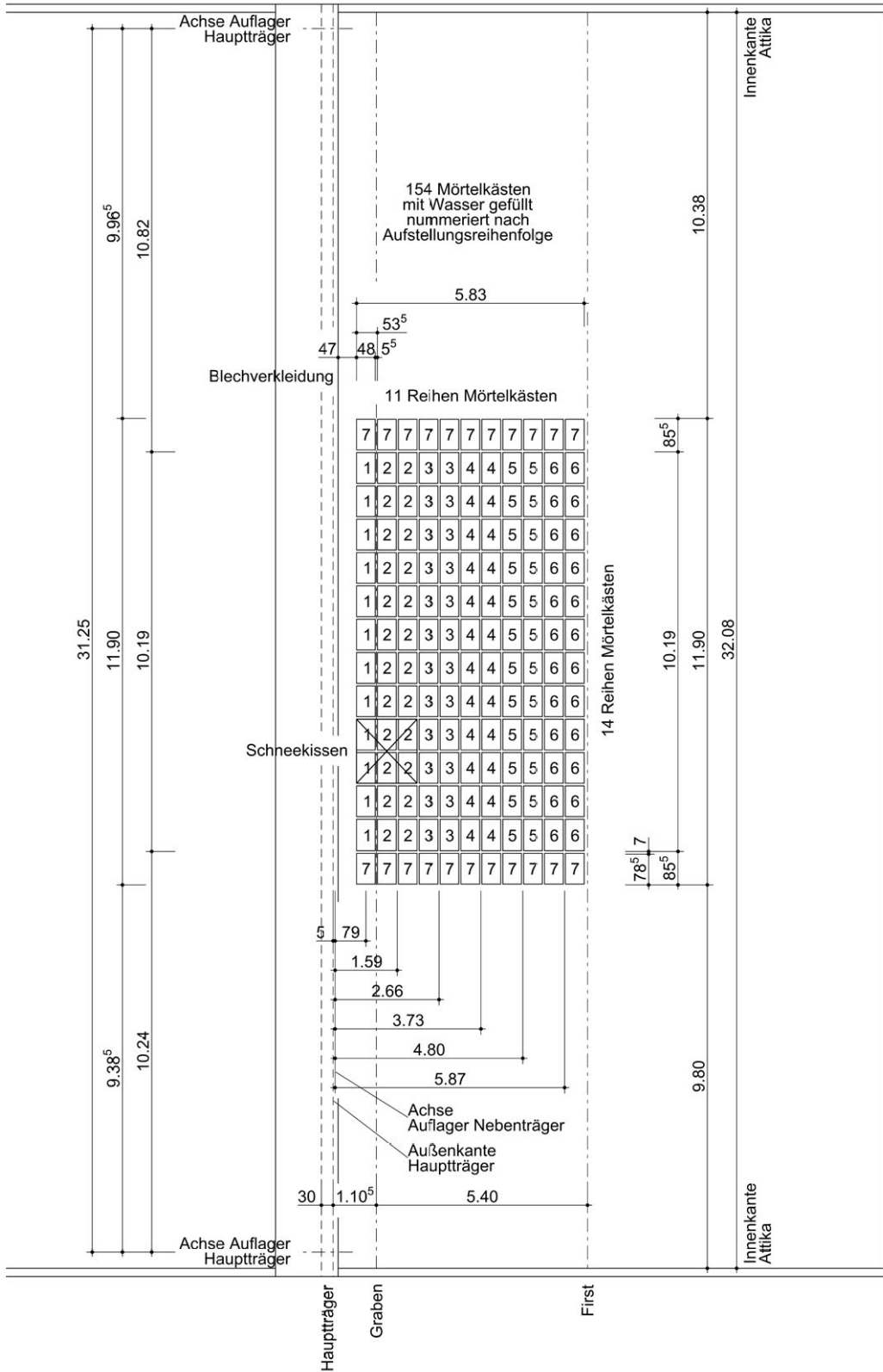


Abbildung 47: Künstliche Last auf dem Dach der Turnhalle, Anordnung der wassergefüllten 90l-Mörtelkästen



Die gemessenen Verschiebungen wurden mit den dazugehörigen statisch ermittelten Werten verglichen. Die Verformungsberechnung erfolgte gemäß dem Belastungsvorgang für die Schritte eins bis sechs. Die dabei eingesetzte Biegesteifigkeit von $EI = 58.620.318.750,00 \text{ kNcm}^2 = 5,862031875 \times 10^{10} \text{ kNcm}^2 = 5,862031875 \times 10^{15} \text{ Nmm}^2$ des relevanten Hauptträgers, Pos. H3 mit $b/h = 300 / 2650 \text{ mm}$, wurde mit einem mittleren E-Modul für Brettschichtholz GL28c nach DIN 1052:2004-08 von $E = 1.260 \text{ kN/cm}^2 = 12.600,00 \text{ N/mm}^2$ und einem Brutto-Trägheitsmoment 2. Grades $I = 46.524.062,5 \text{ cm}^4 = bh^3/12 = 46,5240625 \times 10^{10} \text{ mm}^4$ ermittelt. Der Einsatz der Bruttoquerschnittswerte wurde bereits im Kapitel 4.8.1 begründet.

Da es sich dabei um elastische Verformungen handelt, wurden die Kriechinflüsse nicht berücksichtigt. Daraus ergibt sich folgende Formel für die Berechnung der Vertikalverformungen des Hauptträgers, Pos. H3, unter der künstlichen Last:

$$w_{\text{mitte}} = [0,625 - (1,5 - \alpha^2) \alpha^2 - (1,5 - \beta^2) \beta^2] qL^4 / (48EI)$$

mit

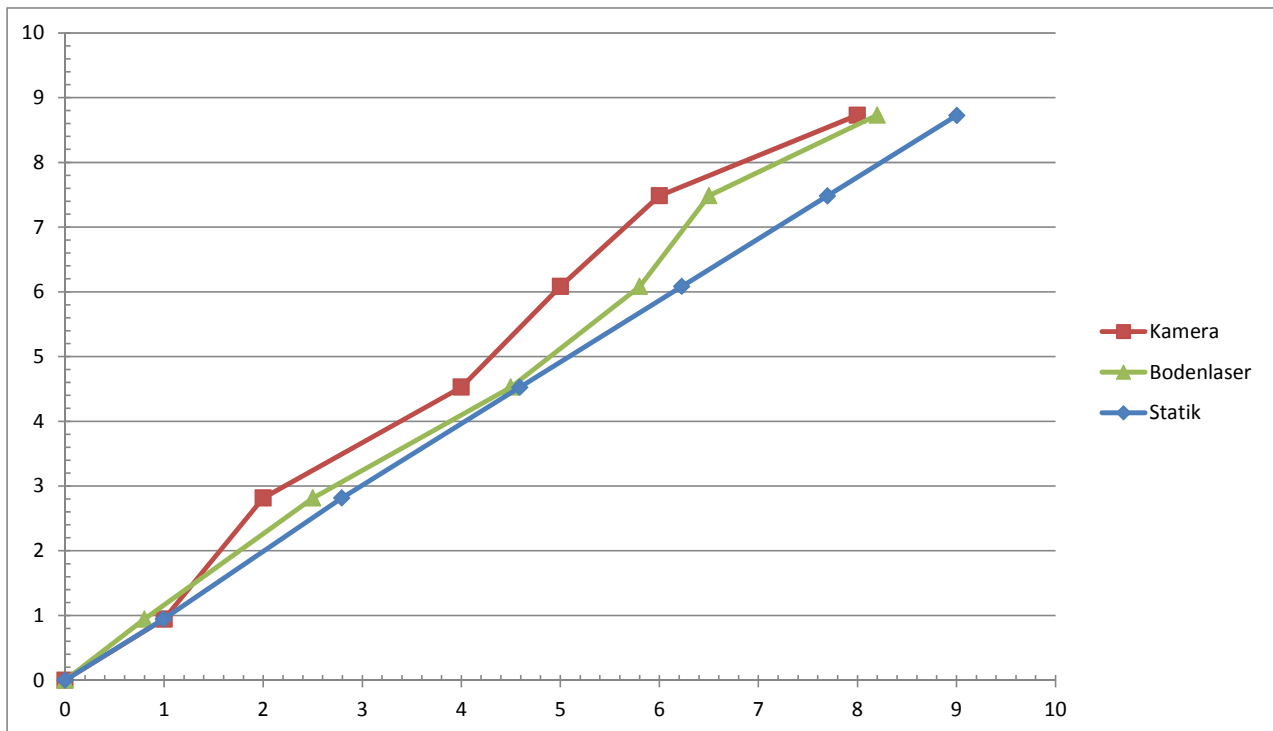
Geometrieverhältnissen: $\alpha = a/L$ und $\beta = b/L$

Hauptträgerstützweite $L = 31,25 \text{ m}$

Abstand Südaufleger / Last: $a = 10,240 \text{ m}$ (Belastung 1 – 6)
 $a = 9,385 \text{ m}$ (Belastung 7)

Abstand Nordaufleger / Last: $b = 10,820 \text{ m}$ (Belastung 1 – 6)
 $b = 9,965 \text{ m}$ (Belastung 7)

Der Vergleich der gemessenen (Kamera, Bodenlaser) und statisch berechneten Werte (Statik) für Vertikalverschiebungen in der Mitte des Hauptträgers ist in Abbildung 48 dargestellt. Die Übereinstimmung der Ergebnisse ist gut, vor allem vor dem Hintergrund der Messgenauigkeit des Bodenlasers (s. Kapitel 4.3) und der Rundung der durch die Kameras gemessenen Werte auf volle Millimeter. Die maximale Differenz zwischen den beiden Messverfahren (Bodenlaser, Kamera) beträgt knapp 1 mm. Der maximale Unterschied zwischen der statischen Berechnung und den Messungen (Kamera) liegt bei 1,7 mm. Hierbei wäre jedoch zu berücksichtigen, dass die tatsächliche Biegesteifigkeit des Hauptträgers durchaus von den in der statischen Berechnung eingesetzten Normwerten abweichen kann. Für die Annahme eines konstanten Trägheitsmoment 2. Grades $I = 46.524.062,5 \text{ cm}^4 = bh^3/12 = 46,5240625 \times 10^{10} \text{ mm}^4$ würde aus den Ergebnissen der Verformungsmessungen mit Kamera und Bodenlaser ein E-Modul von $E = 1.400 \text{ kN/cm}^2 = 14.000 \text{ N/mm}^2$ resultieren.



Horizontalachse = Verformung [mm]

Vertikalachse = Belastung [kN/m]

Abbildung 48: Künstliche Last auf dem Dach der Turnhalle, Vergleich der gemessenen (Kamera, Bodenlaser) und statisch berechneten Werte (Statik) für Vertikalverschiebungen in der Mitte des Hauptträgers

5.2 Messungen mit Schneekissen unter künstlicher Last

Die Schneekissen auf dem Dach der Turnhalle liefern an schneefreien Tagen Messwerte ungleich Null in der Größenordnung von mehreren kg/m^2 . Die Werte schwanken und nehmen teils auch negative Werte an.

Aus diesem Grund sollte die Funktion der Kissen am 10.6.2011 einer einfachen Plausibilitätsprüfung unterzogen werden. Dies wurde auf zwei verschiedenen Wegen realisiert: Belastung eines Kissens mit definierten Last einerseits und vergleichende Belastung aller drei Kissen mit einer jeweils gleichen Mannlast andererseits.

Die definierte Last wurde hergestellt, indem vier wassergefüllten 90l-Mörtelkästen auf einer lastverteilenden Schicht aus fünf Schaltafeln ($150 \times 50 \times 2 \text{ cm}$) auf das östliche Schneekissen aufgebracht wurden (s. Abbildung 49). Das Gesamtgewicht der Auflast (Mörtelkästen, Wasser, Schaltafeln) betrug ca. 410 kg. Bei einer Kissengröße von $2,25 \text{ m}^2$ errechnet sich daraus ein Flächengewicht von ca. 180 kg/m^2 . Der vom Messsystem ausgegebene Wert für diese Belastung

betrug hingegen $240,0 \text{ kg/m}^2$. Der Messwert für dieses Kissen ohne Belastung lag an diesem Tag bei Werten zwischen $8,2$ und $11,3 \text{ kg/m}^2$.



Abbildung 49: Belastung des östlichen Schneekissens mit wassergefüllten Mörtelkästen Mannlast

Für die vergleichende Belastung wurden vier derselben Schalttafeln zur Lastverteilung auf die Schneekissen gelegt und anschließend mit zwei Personen belastet (s. Abbildung 50). Die so erzeugte Auflast (Personen, Schalttafeln) betrug ca. 200 kg/m^2 und damit das Flächengewicht bei einer Kissengröße von $2,25 \text{ m}^2$ ca. 90 kg/m^2 .

Die vom Messsystem ausgegebenen Werte für die drei Schneekissen sind in Tabelle 7 zusammengestellt.

Tabelle 7: Messwerte der Schneekissen mit Mannlast in kg/m^2 (in Klammern die Messwerte am 10.6.11 ohne Belastung)

Kissen Ost	$138,6 \text{ kg/m}^2$	($8,2$ bis $11,3 \text{ kg/m}^2$)
Kissen Mitte	$139,0 \text{ kg/m}^2$	($-7,7$ bis $11,6 \text{ kg/m}^2$)
Kissen West	$120,9 \text{ kg/m}^2$	($-4,9$ bis $15,4 \text{ kg/m}^2$)

Alle drei Werte weichen vom Sollwert ab. Während die Messwerte für Kissen Ost und Mitte fast gleich sind, weicht der Wert für Kissen West erheblich von denen der anderen beiden Kissen ab.



Abbildung 50: Belastung des östlichen Schneekissens mit Mannlast

Die Aussagekraft der hier beschriebenen Plausibilitätsprüfung ist freilich aufgrund der eingesetzten einfachen Mittel begrenzt. Insbesondere muss sich eine Belastung mit Platten, die nicht mit der gesamten Kissenfläche Kontakt haben, anders auswirken als die durch eine geschlossene Schneedecke. Nichtsdestoweniger sind die Ergebnisse, insbesondere die der vergleichenden Belastung nicht akzeptabel. Das sich ergebende uneinheitliche Bild, sowohl während des Betriebs als auch bei Messungen unter künstlicher Last, lässt weitere Untersuchungen unerlässlich erscheinen.

Insbesondere ist zu empfehlen, im kommenden Winter, ergänzend zu den Messungen der Schneekissen, Handmessungen vorzunehmen und die Messergebnisse miteinander zu vergleichen. Zusammen mit dem Hersteller sind die Ursachen für die Abweichungen zu ermitteln und Alternativen für die Erfassung des SWE zu diskutieren.

6 Besondere Ereignisse während der ersten Testperiode

Im Winter 2010/11 wurde das Monitoringsystem in der Turnhalle des Staffelseegymnasiums in Murnau auf seine Praxistauglichkeit getestet.

In dieser Zeit wurden maximale Verformungen von 4,19 mm gemessen.

Während dieser Zeit ist eine Reihe an Ereignissen aufgefallen, durch die die Messergebnisse bzw. die korrekte Funktion des Systems beeinflusst wurden.

Hierzu gehören:

- LED-ähnliche Blendeffekte
- ungewöhnliche Ausschläge in den Verformungsdiagrammen
- negative Werte gemessener Schneelasten
- häufige Stromausfälle in Murnau
- Einschränkungen bei der Datenübertragung und der Datenanalyse

Diese werden im Folgenden beschrieben.

6.1 LED-ähnliche Blendeffekte

An sonnigen Tagen entstanden an den sich im Blickfeld der Kameras befindenden Strommasten Blendeffekte, deren Licht dem LED-Licht sehr ähnlich ist. Dadurch wurden gelegentlich diese Blendeffekte vom Monitoringsystem als eine weitere LED detektiert, was zu einer Fehlermeldung führte.

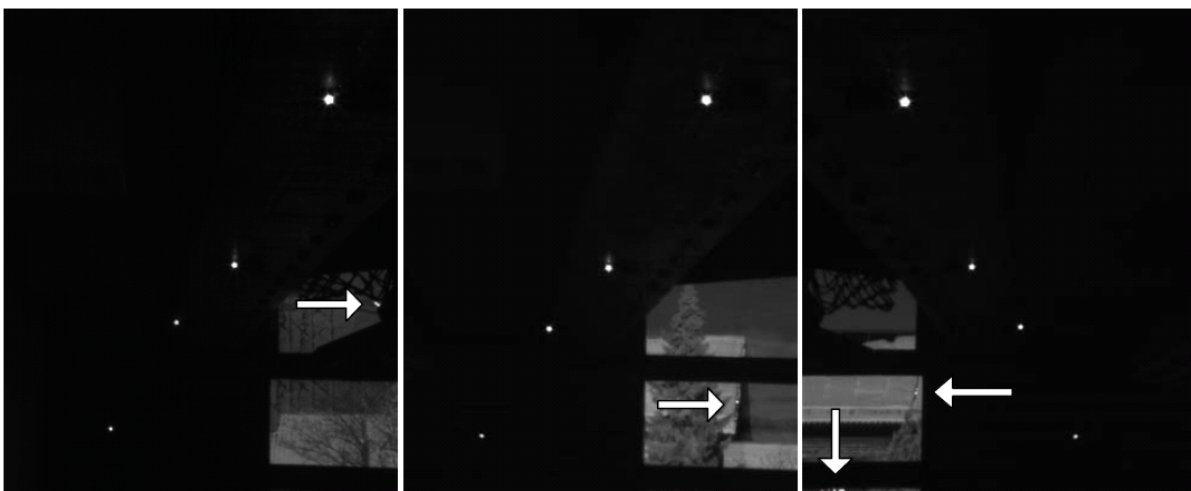


Abbildung 51: LED-ähnliche Blendeffekte

Die Pfeile in Abbildung 51 markieren Blendeffekte, welche zu fehlerhaften Messungen führen können. Hierbei handelt es sich neben Reflektionen an Strommasten um solche an metallischen Dachteilen, an Fensterflächen oder anderen spiegelnden Oberflächen.

Bei der Verformungsmessung werden die Bilder analysiert. Werden mehr als vier Messpunkte erkannt, wird die Messung verworfen und eine neue Messung vorgenommen. Meist verschwinden die Blendeffekte nach wenigen Sekunden, in Ausnahmefällen nach wenigen Minuten, so dass eine dauerhafte Beeinträchtigung der Verformungsdetektion nicht gegeben ist.

Durch Maskierung der Fensterbereiche oder durch Definition der Bereiche, in denen die LEDs sich bewegen können, kann dieser Effekt nahezu ausgeschlossen werden. Dies wurde in diesem Forschungsprojekt bewusst vermieden, da dann die Erkennung möglicher Fehlerquellen nicht mehr möglich wäre.

6.2 Ungewöhnliche Ausschläge in den Verformungsdiagrammen

Gelegentlich wurden große Ausschläge in den Verformungsdiagrammen beobachtet, die in der Größenordnung von bis zu 1500 mm lagen und mit der tatsächlichen Verformung des Trägers offensichtlich nicht zusammenhängen konnten (s. Abbildung 53). In diesen Fällen handelte es sich um einen Softwarefehler der Kameras durch den die Zuordnung der LEDs beeinträchtigt wurde. Durch einen Firmware Update der Kameras konnte dieser Fehler behoben werden.



Abbildung 52: Ungewöhnliche Ausschläge in den Verformungsdiagrammen: Aufnahmen

Der Fehler der Software führte dazu, dass der untere Teil des Bildes nach oben verschoben wurde. Abbildung 52 zeigt links das fehlerhafte Originalbild. Im mittleren Bild ist der nach oben verschobene Bereich markiert. Rechts ist das manuell korrigierte Bild gezeigt.

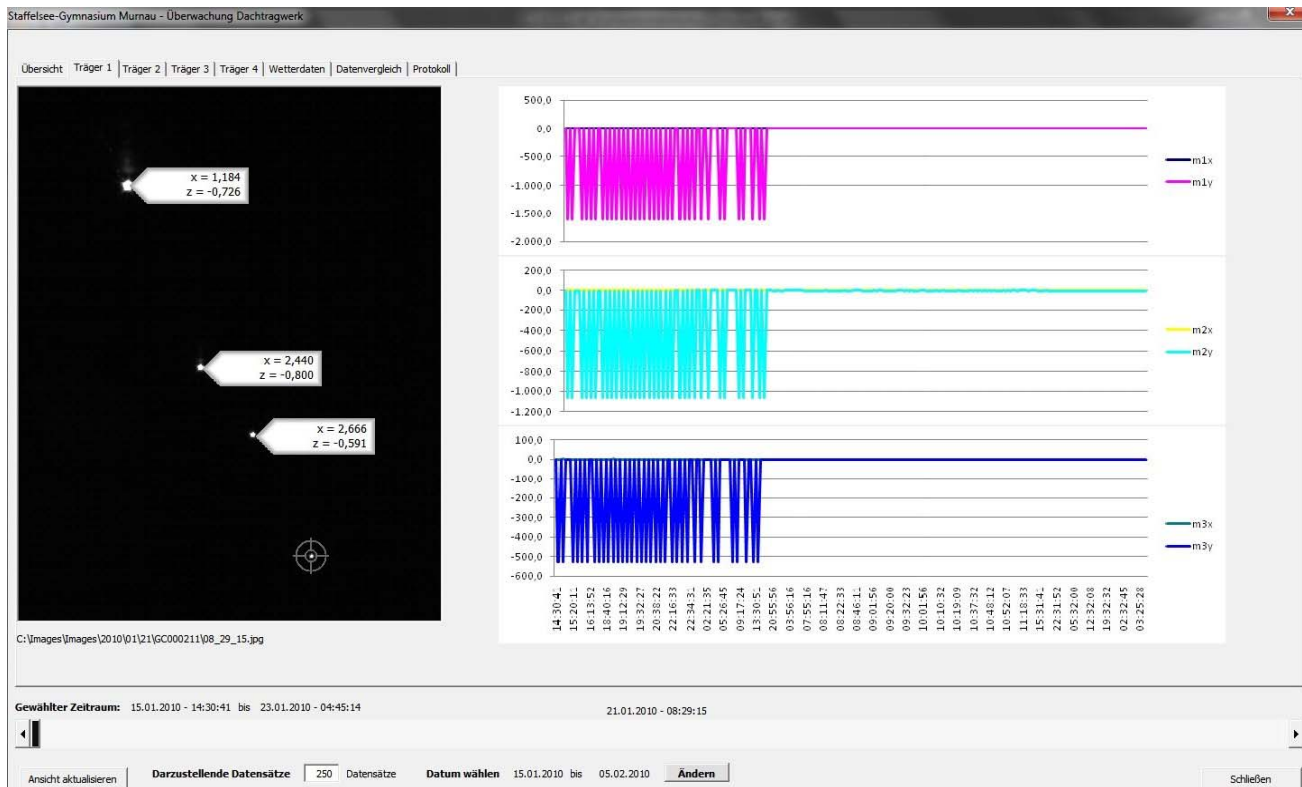


Abbildung 53: Ungewöhnliche Ausschläge in den Verformungsdiagrammen: Auswertungssoftware

6.3 negative Werte gemessener Schneelasten

Die Messungen mit den Schneekissen ergaben hin und wieder negative Werte für die Schneelasten, die nicht erklärt werden konnten.

Eine Stellungnahme des Herstellers, der Firma Sommer GmbH & Co KG, Koblach, Österreich, blieb aus.

6.4 häufige Stromausfälle in Murnau

Die häufigen Stromausfälle in Murnau führten vor der Installation der UAV mehrmals zum Abschalten des Monitoringanlage. Dies macht deutlich, dass es notwendig ist, solche Systeme mit einer Notstromversorgung zu versehen und um einen Fernzugang zu ergänzen (s. Kapitel 4.5 und 4.6).

6.5 Einschränkungen bei der Datenübertragung und der Datenanalyse

Da gegenwärtig zur Datenanalyse ein Fernzugang zum Rechner in Murnau erforderlich ist, wird die Analyse der Daten maßgeblich von der vorhandenen Übertragungsrates des Internetanschlusses beeinflusst. Hierbei ist vor allem die Uploadgeschwindigkeit in Murnau von Bedeutung. Da diese recht niedrig ist, kann es zum Teil sehr lange dauern bis die Messdaten auf den lokalen Rechner übertragen werden. Außerdem kann es bei der Übertragung von großen



Dateien (Datenbank, Bilddateien) zu Verbindungsabbrüchen kommen. In einem solchen Fall muss die Übertragung erneut gestartet werden. Ein erheblicher Geschwindigkeitsgewinn könnte hier durch eine webbasierte Lösung erreicht werden. Die Auswertung würde auf einem Webserver ablaufen und lediglich die temporär betrachteten Daten müssen über das Internet übertragen werden.

Die Software zur Datenanalyse basiert auf Microsoft Excel, setzt also eine Installation dieses Programms auf dem Computer des Nutzers voraus. Zudem bringt die große Datenmenge Excel (mit lediglich maximal 65.536 Zeilen pro Arbeitsblatt) an die Grenzen seiner Leistungsfähigkeit. Dies führt zu weiteren Einbußen bei der Geschwindigkeit der Datenauswertung.



7 Fazit

In vorliegendem Bericht wird ein neues Verfahren zur Erfassung von Verformungen an weit gespannten Hallentragwerken vorgestellt. Es beruht auf den Methoden der digitalen Bildverarbeitung. Das Verfahren wurde im Rahmen der Forschungsarbeit von der ersten Idee über mehrere Stufen von Vorversuchen bis hin zu einem alltagstauglichen Prototyp entwickelt. Abschließend wurde es in einem Pilotprojekt getestet und weiter verfeinert.

Es konnte gezeigt werden, dass die digitale Bildverarbeitung hervorragend geeignet ist, Verformungen an Gebäuden kontinuierlich zu messen. Die erzielbaren Genauigkeiten übertreffen die Erfordernisse bei der Überwachung der Verformungen von weit gespannten Tragwerken. Dabei sind die Systeme einfach, robust und kostengünstig.

Mit diesen Eigenschaften kann die Technologie einen wertvollen Beitrag leisten, wenn es darum geht, den sicheren Betrieb von Bestandsgebäuden - auch bei sich ändernden Bedingungen etwa bei den Einwirkungen aus Schnee - dauerhaft zu gewährleisten. Redundanz und damit zusätzliche Sicherheit kann durch die Kombination mit anderen Messsystemen, wie etwa mit Schneelastsensoren oder Laser-Distanz-Messgeräten erreicht werden.

Vor diesem Hintergrund ist davon auszugehen, dass in Zukunft in zunehmendem Maße Verformungsüberwachung auf der Basis digitaler Bildverarbeitung eingesetzt werden wird. Dies gilt insbesondere dann, wenn diese Technik mit aktuellen Entwicklungen auf der Hardware- und Softwareseite (neue Kamera- und Bildverarbeitungstechniken, energieautarke Systeme, web cloud, neue Mobilgeräte) gekoppelt wird.

Die Erfahrungen mit dem Pilotprojekt lassen bereits jetzt erkennen, dass die Funktionalitäten noch erweitert und die Bedienung vereinfacht werden können. Gleichzeitig gibt es Spielräume, die Kosten weiter zu senken. Hierfür sind weitere Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen erforderlich. Der Fokus wird dabei besonders auf folgende Themen gerichtet sein:

- Weiterentwicklung des Verfahrens für den Einsatz an gekrümmten Tragwerkselementen und bei Flächentragwerken
- Weiterentwicklung der Software durch zusätzliche Funktionalitäten und größere Ergonomie der Benutzeroberfläche
- Verringerung des EDV-Hardwareeinsatz
- Vereinfachung der Montage
- Reduktion der erforderlichen Verkabelung
- Senkung des Wartungsaufwandes

8 Anhänge

8.1 Datenbank des Bildverarbeitungssystems

Die Messwerte des Bildverarbeitungssystems werden kontinuierlich in einer lokalen Datenbank gespeichert. Als Datenbanksystem wird die Open Source Datenbank `mysql` verwendet. Die Datenbank wurde unter dem Namen `monitoring` in dem Verzeichnis `D:\Database` eingerichtet. Auf diesem Laufwerk stehen 500 GigaBytes zur Speicherung von Datenbank und Bildern zur Verfügung.

Die Datenbank `monitoring` enthält derzeit vier Tabellen.

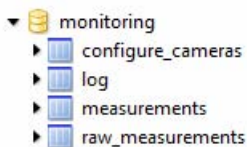


Abbildung 54: Tabellen der `mysql` Datenbank

Tabelle 8: Tabellen der `mysql` Datenbank

Tabelle	Beschreibung
configure_cameras	Enthält alle Informationen um die verschiedenen Kameras zu konfigurieren. Dazu gehören z.B. die Namen der Kameras, sowie die Kalibrier-Werte für die Messungen. Für jede Kamera gibt es einen Eintrag in dieser Tabelle.
log	Diese Tabelle enthält eine Auflistung aller Meldungen zusammen mit der Zeit zu der sie erzeugt wurden.
measurements	Diese Tabelle enthält alle generierten Messwerte zusammen mit der Zeit zu der sie erzeugt wurden.
raw_measurements	Diese Tabelle enthält die rohen Messwerte in Pixeln, d.h. ohne jede Korrektur.

8.1.1 Tabelle `configure_cameras`

Die Tabelle `configure_cameras` enthält alle Informationen um die verschiedenen Kameras zu konfigurieren. Dazu gehören z.B. die Namen der Kameras, sowie die Kalibrier-Werte für die Messungen. Für jede Kamera gibt es einen Eintrag in dieser Tabelle. Die Tabelle `configure_cameras` enthält folgende Felder und Typen:

Spaltenname	Datentyp	NOT NULL	AUTO INC	Schalter	Vorgabewert
id	INT(10)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	NULL
serial_number	VARCHAR(45)	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> BINARY	NULL
image_path	VARCHAR(256)	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> BINARY	NULL
acquisition_period	INT(10)	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	10
max_initialize_attempts	INT(10)	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	0
max_measure_attempts	INT(10)	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	0
binarization_threshold	INT(10)	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	0
min_area	INT(10)	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	0
max_area	INT(10)	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	0
m1_scaling_factor	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	0
m2_scaling_factor	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	0
m3_scaling_factor	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	0
mr_scaling_factor	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	0
m1_zero_x	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	0
m1_zero_y	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	0
m2_zero_x	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	0
m2_zero_y	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	0
m3_zero_x	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	0
m3_zero_y	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	0
mr_zero_x	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	0
mr_zero_y	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	0
m1_distance	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	0
m2_distance	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	0
m3_distance	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	0
mr_distance	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	0
raw_display_precision	VARCHAR(45)	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> BINARY	'N01'
calibrated_display_precision	VARCHAR(45)	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> BINARY	'N01'
save_period	INT(10)	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	3600
save_distance_raw	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	NULL
save_distance_calibrated	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	NULL

Abbildung 55: Felder und Typen der Tabelle `configure_cameras`

Tabelle 9: Spalten der Tabelle `configure_cameras`

Spaltenname	Beschreibung
id	Aufsteigende Nummer, Tabellenindex.
serial_number	Seriennummer der Kamera.
image_path	Pfadname für Bildspeicherung. Beispiel: „D:\Images“. Aus Pfad, Datum, Zeit und Seriennummer werden automatisch Pfadnamen erzeugt, z.B. „D:\Images\2009\09\26\GC000211\11.17.41.jpg“
acquisition_period	Aufnahmefrequenz, angegeben als Periodendauer in Sekunden. Das ist die Zeitperiode mit der gemessen wird, z.B. alle 10 Sekunden.



Spaltenname	Beschreibung
max_initialize_attempts	Anzahl der aufeinanderfolgenden erlaubten Fehlschläge bei Initialisierung.
max_measure_attempts	Anzahl der aufeinanderfolgenden erlaubten Fehlmessungen (Ballwurfsicherheit).
binarization_threshold	Schwelle für die Binarisierung der Bilder.
min_area	Minimale Objektfläche in Pixeln (empirisch ermittelt aus Testbildern).
max_area	Maximale Objektfläche in Pixeln (empirisch ermittelt aus Testbildern).
m1_scaling_factor ... mr_scaling_factor	Skalierungsfaktoren für die verschiedenen Ebenen (M1, M2, M3 und Referenz).
m1_zero_x ... ref_zero_x m1_zero_y ... ref_zero_y	Horizontale und vertikale Null-Positionen der LEDs (M1, M2, M3 und Referenz). Die Positionen der LEDs M1, M2 und M3 werden in mm angegeben, die Positionen der Referenz-LED wird in Pixeln angegeben.
m1_distance ... mr_distance	Abstand der LED von der Kamera.
raw_display_precision	Anzeigepräzision für die rohen Messwerte. Normalerweise wird hier der Wert N00 eingetragen, außer für die Kalibration (N01, N02), je nach gewünschter Präzision.
calibrated_display_precision	Anzeigepräzision für die kalibrierten Messwerte. Normalerweise wird hier der Wert N00 eingetragen, außer für die Kalibration (N01, N02), je nach gewünschter Präzision.
save_period	Die Zeitperiode zur Abspeicherung der Daten in Sekunden. Auch wenn schneller gemessen wird, wird nur alle save_period Sekunden (z.B. alle 3600 Sekunden, d.h. einmal pro Stunde) abgespeichert.
save_distance_raw	Wenn außerhalb der Zeitperiode zur Abspeicherung ein großer Distanzwert bei den rohen Messwerten gemessen wird (größer als save_distance_raw in Pixeln), dann wird

Spaltenname	Beschreibung
	außer der Reihe gespeichert.
save_distance_calibrated	Wenn außerhalb der Zeitperiode zur Abspeicherung ein großer Distanzwert bei den kalibrierten Messwerten gemessen wird (größer als save_distance_calibrated in mm), dann wird außer der Reihe gespeichert.

8.1.2 Tabelle log

Die Tabelle log enthält eine Auflistung aller Meldungen zusammen mit der Zeit zu der sie erzeugt wurden. Die Tabelle log enthält folgende Felder und Typen:

Spaltenname	Datentyp	NOT NULL	AUTO INC	Schalter	Vorgabewert
id	INT(10)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	HULL
category	INT(10)	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	0
message	LONGTEXT	<input checked="" type="checkbox"/>			HULL
time	TIMESTAMP	<input checked="" type="checkbox"/>			CURRENT_TI...

Abbildung 56: Felder und Typen der Tabelle log

Tabelle 10: Spalten der Tabelle log

Spaltenname	Beschreibung
id	Aufsteigende Nummer, Tabellenindex.
category	Meldungskategorie: 0 – Information, 1 – Warnung, 2 – Alarm.
message	Nachrichtentext.
time	Zeitpunkt der Meldung.

8.1.3 Tabelle measurements

Die Tabelle measurements enthält alle generierten Messwerte zusammen mit der Zeit zu der sie erzeugt wurden. Die Tabelle measurements enthält folgende Felder und Typen:

Spaltenname	Datentyp	NOT NULL	AUTO INC	Schalter	Vorgabewert
id	INT(10)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	HULL
channel	INT(10)	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	0
value	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	0
time	TIMESTAMP	<input checked="" type="checkbox"/>			CURRENT_TI...

Abbildung 57: Felder und Typen der Tabelle measurements

Tabelle 11: Spalten der Tabelle measurements

Spaltenname	Beschreibung
id	Aufsteigende Nummer, Tabellenindex.
channel	Messkanal. Derzeit sind definiert: 0 ... 5 – Kamera 1 M1, M2, M3 jeweils z und y; 6 ... 11 – Kamera 2 M1, M2, M3 jeweils z und y; 12 ... 17 – Kamera 3 M1, M2, M3 jeweils z und y; 18 ... 23 – Kamera 4 M1, M2, M3 jeweils z und y.
value	Messwert. Die Einheit ergibt sich implizit aus dem Kontext. Für die Kanäle 0 bis 23 ist die Einheit mm.
time	Zeitpunkt der Messung.

8.1.4 Tabelle raw_measurements

Die Tabelle raw_measurements enthält die rohen Messwerte in Pixeln, d.h. ohne jede Korrektur. Die Tabelle raw_measurements enthält folgende Felder und Typen:

Spaltenname	Datentyp	NOT NULL	AUTO INC	Schalter	Vorgabewert
id	INT(10)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	NULL
camera	INT(19)	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	NULL
refx	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	NULL
refy	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	NULL
m1x	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	NULL
m1y	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	NULL
m2x	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	NULL
m2y	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	NULL
m3x	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	NULL
m3y	DOUBLE	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> UNSIGNED <input type="checkbox"/> ZEROFILL	NULL
time	TIMESTAMP	<input checked="" type="checkbox"/>			CURRENT_TI...

Abbildung 58: Felder und Typen der Tabelle raw_measurements

Tabelle 12: Spalten der Tabelle raw_measurements

Spaltenname	Beschreibung
id	Aufsteigende Nummer, Tabellenindex.
camera	Id der Kamera, Index in Tabelle configure_cameras.

Spaltenname	Beschreibung
refx, refy, m1x, m1y, m2x, m2y, m3x, m3y	Roher, unverarbeiteter Messwert in Pixeln.
time	Zeitpunkt der Messung.

8.1.5 Backup und Restore

Der MySQL Administrator bietet Funktionen zur Datenbankpflege, unter anderem auch zu Backup und Restore. Nach dem Start des MySQL Administrators ist ein login in die Datenbank erforderlich:



Abbildung 59: MySQL Administrator, Login

Nach dem login öffnet sich das Hauptfenster.

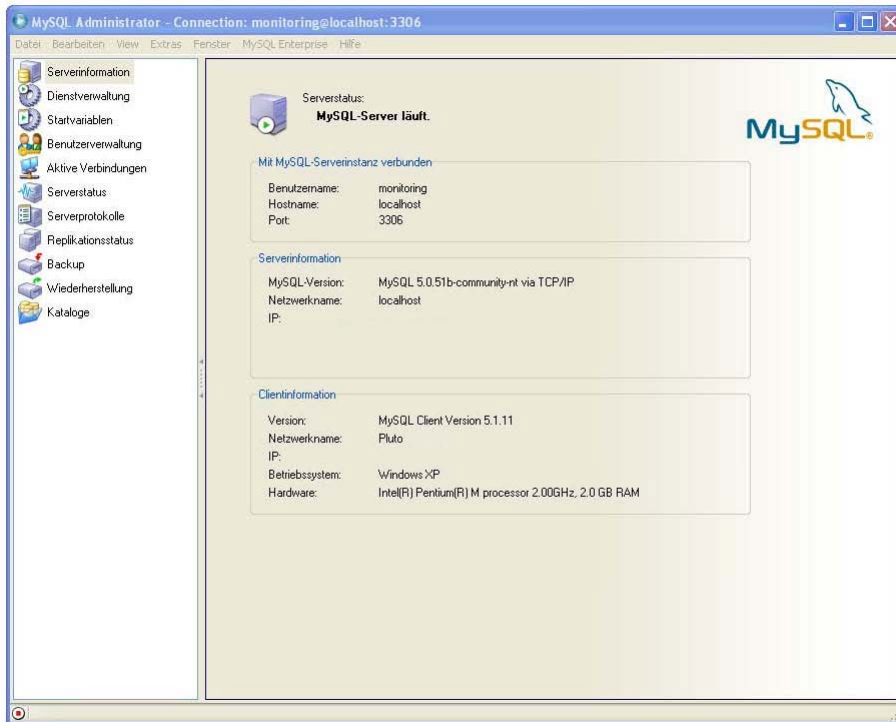


Abbildung 60: MySQL Administrator, Hauptfenster

Über die Seite Backup kann man ein Backup der Datenbank durchführen:

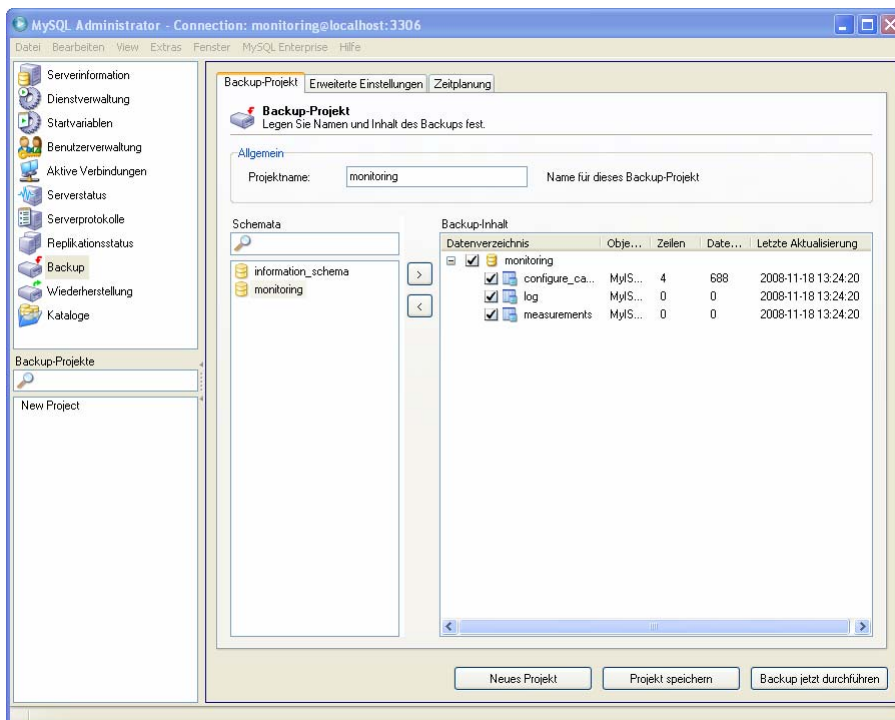


Abbildung 61: MySQL Administrator, Seite Backup

In ähnlicher Art und Weise kann über die Seite Wiederherstellung ein früher gemachtes Backup wieder einspielt werden:

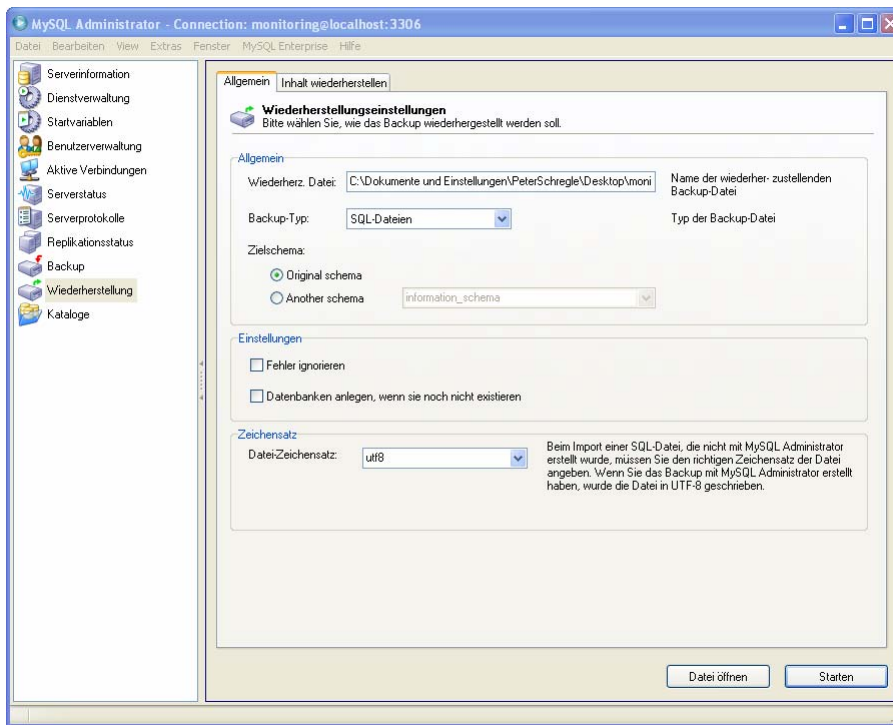


Abbildung 62: MySQL Administrator, Seite Wiederherstellung

Da beim Wiederherstellen Daten gelöscht werden können, ist vorher ein Backup durchführen.

8.1.6 Stellung des Systems auf 0-Position

Das System muss auf eine 0-Position geeicht werden, bevor es sinnvolle Messungen erzeugen kann. Dies sollte durchgeführt werden, wenn die Träger nicht mit einer Last beaufschlagt sind. Zur Definition der derzeitigen Position als Null-Position kann in folgenden Schritten vorgegangen werden:

1. In der Tabelle **configure_cameras** für die vier Kameras die Werte **m1_zero_x**, **m1_zero_y**, **m2_zero_x**, **m2_zero_y**, **m3_zero_x**, **m3_zero_y**, **mr_zero_x** und **mr_zero_y** jeweils auf **0** setzen.
2. In der Tabelle **configure_cameras** für die vier Kameras die Werte **raw_display_precision** und **calibrated_display_precision** jeweils auf **N01** setzen.
3. Das Programm **acquire_images** starten, einen Durchlauf über alle vier Kameras machen lassen, und die bei **R** angezeigten Werte in Pixel jeweils in **mr_zero_x** und **mr_zero_y** eintragen.



4. Das Programm **acquire_images** erneut starten, einen weiteren Durchlauf über alle vier Kameras machen lassen, und die bei **M1** bis **M3** angezeigten Werte in mm jeweils in **m1_zero_x**, **m1_zero_y**, **m2_zero_x**, **m2_zero_y**, **m3_zero_x** und **m3_zero_y** eintragen.
5. In der Tabelle **configure_cameras** für die vier Kameras die Werte **raw_display_precision** und **calibrated_display_precision** jeweils auf **N00** setzen.

8.1.7 Ursprüngliche Datenbank Konfiguration

Tabelle 13: Ursprüngliche Datenbank Konfiguration, Stand KW 42/2009

```
-- MySQL Administrator dump 1.4
--
-----
-- Server version      5.0.67-community-nt

--
-- Create schema monitoring
--

CREATE DATABASE IF NOT EXISTS monitoring;
USE monitoring;

--
-- Definition of table `configure_cameras`
--

DROP TABLE IF EXISTS `configure_cameras`;
CREATE TABLE `configure_cameras` (
  `id` int(10) unsigned NOT NULL auto_increment,
  `serial_number` varchar(45) collate latin1_german2_ci NOT NULL,
  `image_path` varchar(256) collate latin1_german2_ci NOT NULL,
  `acquisition_period` int(10) unsigned NOT NULL default '10',
  `max_initialize_attempts` int(10) unsigned NOT NULL default '0',
  `max_measure_attempts` int(10) unsigned NOT NULL default '0',
  `binarization_threshold` int(10) unsigned NOT NULL default '0',
  `min_area` int(10) unsigned NOT NULL default '0',
  `max_area` int(10) unsigned NOT NULL default '0',
  `m1_scaling_factor` double NOT NULL default '0',
  `m2_scaling_factor` double NOT NULL default '0',
  `m3_scaling_factor` double NOT NULL default '0',
```

```
`mr_scaling_factor` double NOT NULL default '0',
`m1_zero_x` double NOT NULL default '0',
`m1_zero_y` double NOT NULL default '0',
`m2_zero_x` double NOT NULL default '0',
`m2_zero_y` double NOT NULL default '0',
`m3_zero_x` double NOT NULL default '0',
`m3_zero_y` double NOT NULL default '0',
`mr_zero_x` double NOT NULL default '0',
`mr_zero_y` double NOT NULL default '0',
`m1_distance` double NOT NULL default '0',
`m2_distance` double NOT NULL default '0',
`m3_distance` double NOT NULL default '0',
`mr_distance` double NOT NULL default '0',
`raw_display_precision` varchar(45) collate latin1_german2_ci NOT NULL default 'N01',
`calibrated_display_precision` varchar(45) collate latin1_german2_ci NOT NULL default 'N01',
`save_period` int(10) unsigned NOT NULL default '3600',
`save_distance_raw` double NOT NULL,
`save_distance_calibrated` double NOT NULL,
PRIMARY KEY (id)
) ENGINE=MyISAM AUTO_INCREMENT=5 DEFAULT CHARSET=latin1
COLLATE=latin1_german2_ci;

--
-- Dumping data for table `configure_cameras`
--

/*!40000 ALTER TABLE `configure_cameras` DISABLE KEYS */;
INSERT INTO `configure_cameras`
(id`,`serial_number`,`image_path`,`acquisition_period`,`max_initialize_attempts`,`max_measure_atte
mpts`,`binarization_threshold`,`min_area`,`max_area`,`m1_scaling_factor`,`m2_scaling_factor`,`m3_s
caling_factor`,`mr_scaling_factor`,`m1_zero_x`,`m1_zero_y`,`m2_zero_x`,`m2_zero_y`,`m3_zero_x`,`m
3_zero_y`,`mr_zero_x`,`mr_zero_y`,`m1_distance`,`m2_distance`,`m3_distance`,`mr_distance`,`raw_d
isplay_precision`,`calibrated_display_precision`) VALUES

(1,'GC000211','D:\Images',15,10,3,254,10,597,1.26,0.83,0.41,1.67,712.3,569.6,362.9,509.9,107.
1,431.4,709.6,159.2,23202.5,15390,7577.5,30785,'N00','N00',3600,5.0,1.0),

(2,'GC000207','D:\Images',15,10,3,254,10,597,1.27,0.84,0.42,1.68,483.6,552.9,450.5,504.1,332.
4,438.9,204.8,149.5,23277.5,15465,7652.5,30805,'N00','N00',3600,5.0,1.0),
```



```
(3,'GC000203','D:\Images',15,10,3,254,10,597,1.28,0.85,0.42,1.69,824.1,572.1,414.8,510.1,113.7,431,809.8,159.8,23277.5,15465,7652.5,30780,'N00','N00',3600,5.0,1.0),

(4,'GC000154','D:\Images',15,10,3,254,10,597,1.25,0.83,0.41,1.66,561,583.6,498.9,516.2,347.8,434.8,276.9,184.1,23287.5,15475,7662.5,30800,'N00','N00',3600,5.0,1.0);

/*!40000 ALTER TABLE `configure_cameras` ENABLE KEYS */;

--
-- Definition of table `log`
--

DROP TABLE IF EXISTS `log`;
CREATE TABLE `log` (
  `id` int(10) unsigned NOT NULL auto_increment,
  `category` int(10) unsigned NOT NULL default '0',
  `message` longtext collate latin1_german2_ci NOT NULL,
  `time` timestamp NOT NULL default CURRENT_TIMESTAMP on update
CURRENT_TIMESTAMP,
  PRIMARY KEY (`id`)
) ENGINE=MyISAM AUTO_INCREMENT=1 DEFAULT CHARSET=latin1
COLLATE=latin1_german2_ci;

--
-- Definition of table `measurements`
--

DROP TABLE IF EXISTS `measurements`;
CREATE TABLE `measurements` (
  `id` int(10) unsigned NOT NULL auto_increment,
  `channel` int(10) unsigned NOT NULL default '0',
  `value` double NOT NULL default '0',
  `time` timestamp NOT NULL default CURRENT_TIMESTAMP on update
CURRENT_TIMESTAMP,
  PRIMARY KEY (`id`)
) ENGINE=MyISAM AUTO_INCREMENT=1 DEFAULT CHARSET=latin1
COLLATE=latin1_german2_ci;
```



```
--
-- Definition of table `raw_measurements`
--

DROP TABLE IF EXISTS `raw_measurements`;
CREATE TABLE `raw_measurements` (
  `id` int(10) unsigned NOT NULL auto_increment,
  `camera` int(19) unsigned NOT NULL,
  `refx` double NOT NULL,
  `refy` double NOT NULL,
  `m1x` double NOT NULL,
  `m1y` double NOT NULL,
  `m2x` double NOT NULL,
  `m2y` double NOT NULL,
  `m3x` double NOT NULL,
  `m3y` double NOT NULL,
  `time` timestamp NOT NULL default CURRENT_TIMESTAMP,
  PRIMARY KEY (`id`)
) ENGINE=MyISAM AUTO_INCREMENT=1 DEFAULT CHARSET=latin1
COLLATE=latin1_german2_ci ROW_FORMAT=FIXED;
```

8.1.8 Softwareversionen

Tabelle 14: Versionen der installierten Software

Software	Version	Kommentar
Betriebssystem Windows Vista Business	Vista Business SP2 mit Updates	Automatische Updates sind ausgeschaltet, Updates auf Stand 28.9.2009.
.NET Framework	.NET Framwork 3.5 Service Pack 1	
MySQL Datenbank	MYSQL Community Server 5.0.67 GUI Tools 5.0 r17 Connector/NET 6.1.2	Upgrade auf neueste Version am 28.9.2009.



Software	Version	Kommentar
mvIMPACT Acquire	1.10.89	Software zur Steuerung der Kameras.
mvBlueCOUGAR Hardware	KW48, 2008	Root Filesystem Update war notwendig, weil der mvBC Transport Layer die Packet-Size nicht richtig hochsetzen konnte.

8.2 Software zur Messdatenauswertung

8.2.1 Hauptformular

Das Hauptformular, welches der Datenanalyse dient, gliedert sich hauptsächlich in zwei Bereiche: Den Registerkartenbereich (oben) und den Bereich für die Einstellungen (unten).

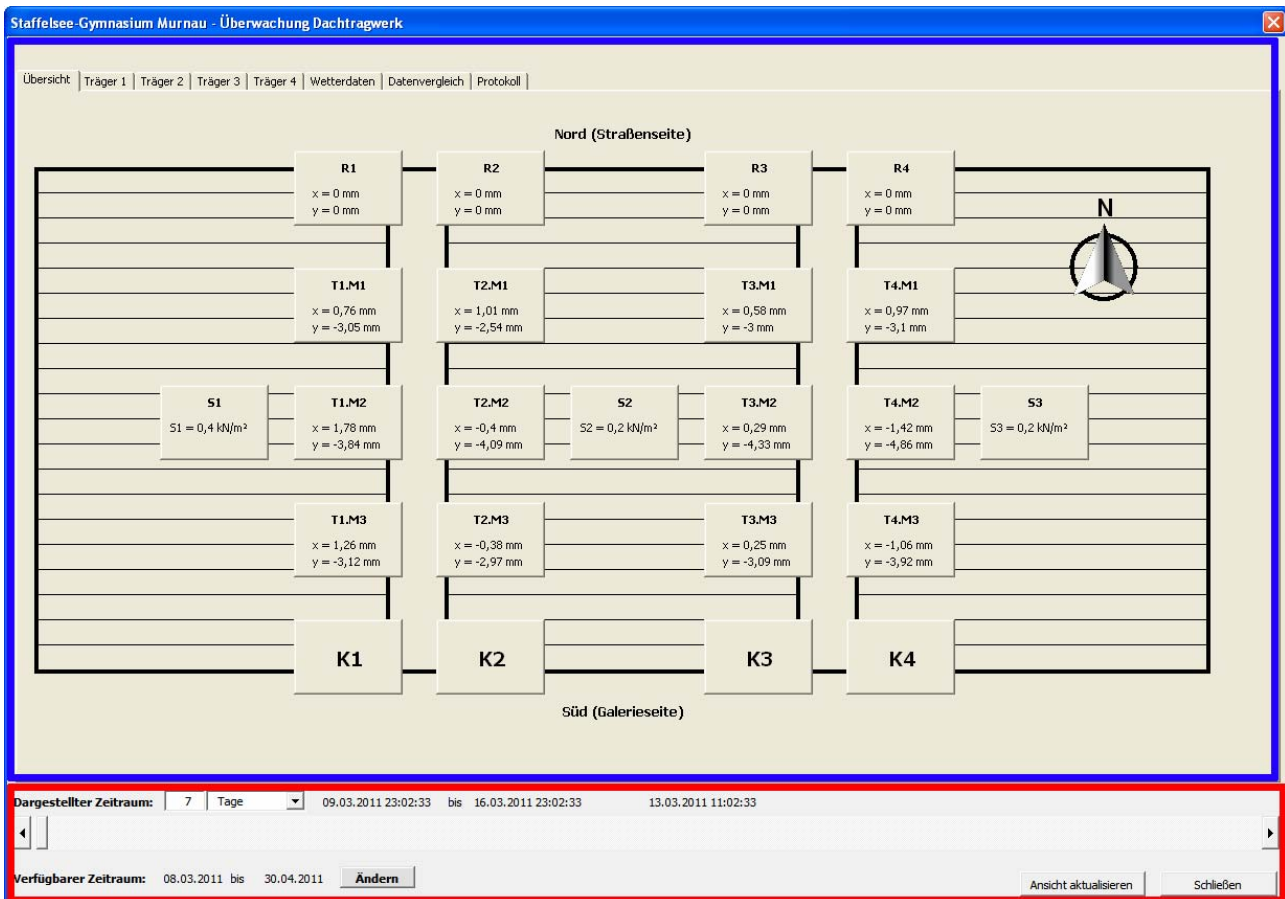


Abbildung 63: Aufteilung der Bereiche, Registerkartenbereich (blau), Einstellungsbereich (rot)

Der Registerkartenbereich besteht aus acht Registerkarten.

In den Abschnitten **Registerkarte Übersicht** bis **Registerkarte Protokoll** werden die einzelnen Registerkarten mit ihren Funktionen eingehend erläutert.

Im unteren Teil des Hauptformulars befindet sich der Einstellungsbereich. Dieser ist für alle Registerkarten einheitlich gestaltet. Dies erleichtert die Bedienung des Programms und sorgt dafür, dass auf den verschiedenen Registerkarten der Zeitraum beibehalten wird.

Aufgrund der einheitlichen Gestaltung des Einstellungsbereichs, werden dessen Funktionen im Vorfeld erklärt.



Abbildung 64: Einstellungen für die darzustellenden Datensätze

Im Einstellungsbereich befindet sich ein Schieberegler <1> mit dem der dargestellte Zeitraum verändert werden kann. Beim Bewegen des Schiebereglers wird der dargestellte Zeitraum <2> in Echtzeit angepasst.

Die Größe des Zeitraums kann im Eingabefeld <3> und dem Auswahlfeld <4> festgelegt werden. Es stehen Stunden, Tage und Wochen zur Verfügung. Um alle Datensätze des verfügbaren Zeitraums darzustellen, kann in das Eingabefeld <3> eine Null (numerisch „0“) eingetragen werden.

Über die Schaltfläche Ändern <5> kann der verfügbare Zeitraum geändert werden. Bei einem Klick auf die Schaltfläche Ändern <5> öffnen sich zwei Kalenderelemente.

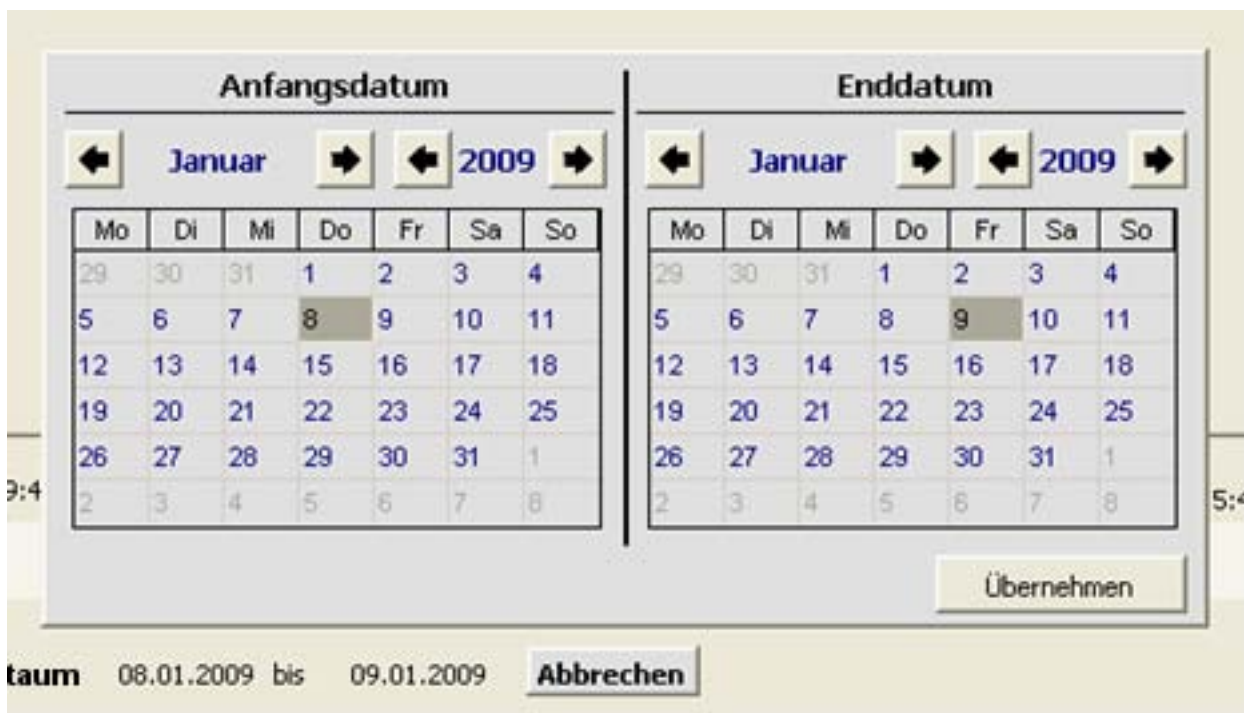


Abbildung 65: Kalenderelemente

Über diese Kalenderelemente kann der Zeitraum, der im Programm zur Verfügung stehen soll, ausgewählt werden. Hierzu kann im oberen Bereich der Monat und das Jahr umgeschaltet werden. Der Tag wird durch klicken auf das jeweilige Feld ausgewählt. Um von Dezember auf Januar des Folgejahres umzuschalten, kann man den Monat mit einem Klick auf den Pfeil nach rechts um eins erhöhen, das Jahr wird dabei mit geändert.



Um die Änderung zu verwerfen, muss die Schaltfläche *Abbrechen* angeklickt werden. Um die Änderungen zu übernehmen muss die Schaltfläche *Übernehmen* betätigt werden. Daraufhin öffnet sich ein Dialog, der darauf hinweist, dass die gewählte Operation einige Zeit in Anspruch nehmen kann. Bei einem Klick auf *Fortfahren* öffnet sich eine Fortschrittsanzeige, welche den aktuell ausgeführten Vorgang und dessen Fortschritt anzeigt.

Ist der Vorgang abgeschlossen, schließt sich die Fortschrittsanzeige und die Benutzeroberfläche wird mit den neuen Datensätzen aktualisiert. Während die Indexdateien erstellt werden, kann der Einlesevorgang abgebrochen werden und mit den vorherigen Daten weitergearbeitet werden, danach ist ein Abbruch nicht mehr möglich.

Registerkarte Übersicht

Anhand des Lageplans werden auf der Registerkarte *Übersicht* die Überschreitungen der einzelnen Grenzwerte dargestellt.

Hierbei werden Überschreitungen des ersten Grenzwertes *Gelb* hinterlegt, Überschreitungen des zweiten Grenzwertes hingegen *Rot*.

Bei Überschreitung eines Messwertes wird zusätzlich die Darstellung des zugehörigen Textes angepasst. Wird der erste Grenzwert überschritten wird der Text in kursiver Schrift dargestellt. Bei Überschreitung des zweiten Grenzwertes wird der Text in fetter Schrift dargestellt. Bei einem Messpunkt mit mehreren Überschreitungen ist durch die Formatierung der Schrift leicht erkennbar, welche Grenzwertüberschreitung maßgebend ist.

Der Hintergrund des jeweiligen Messpunktes nimmt dabei immer die Farbe der höchsten Grenzwertüberschreitung an.

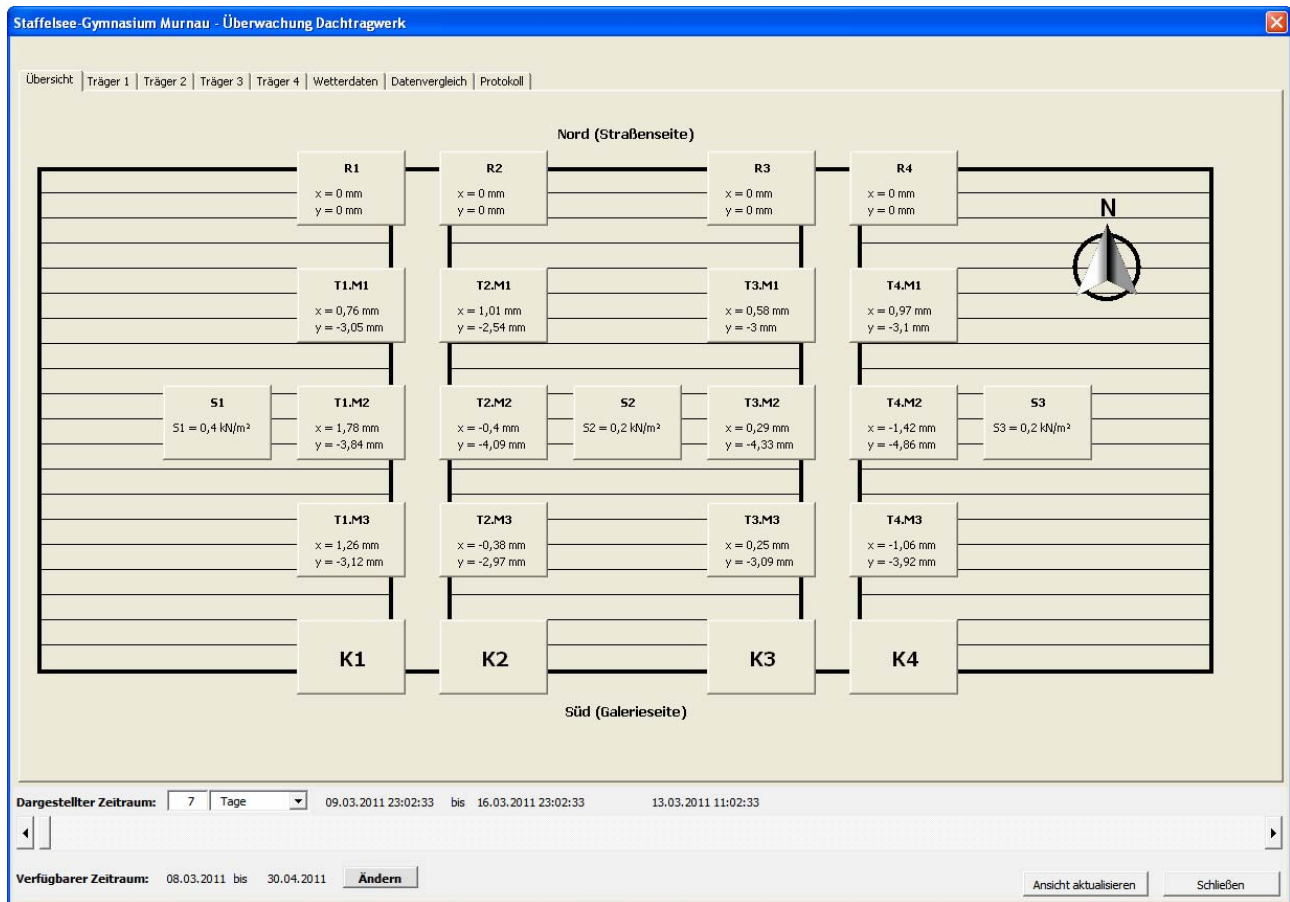


Abbildung 66: Registerkarte „Übersicht“

Registerkarten Trägerdaten

Auf den Registerkarten für die Trägerdaten sind Diagramme zu den Verformungen eingebettet. Zusätzlich wird das originale Kamerabild des jeweiligen Trägers angezeigt, aus dem die Verformungen errechnet wurden. Somit können etwaige Messfehler schnell identifiziert werden. Auf dem Kamerabild sind die Verformungen des Trägers beschriftet. Die Beschriftungen werden bei Überschreitungen analog zur Registerkarte *Übersicht* eingefärbt. Überschreitungen des ersten Grenzwertes werden somit *Gelb*, Überschreitungen des zweiten Grenzwertes *Rot* dargestellt. Ebenso werden die überschrittenen Grenzwerte, je nach Größe der Überschreitung, kursiv oder fett gedruckt dargestellt, um den relevanten Messwert einfach identifizieren zu können.

Mithilfe des Fadenkreuzes auf dem Referenzpunkt kann eine Verschiebung der Kamera beziehungsweise des Referenzpunktes leicht festgestellt werden. Leichte Abweichungen können jedoch vernachlässigt werden, da die Datenerfassungssoftware diese Verschiebungen erkennt und bei der Berechnung der Verformungen berücksichtigt (s. Kapitel 4.2.6).

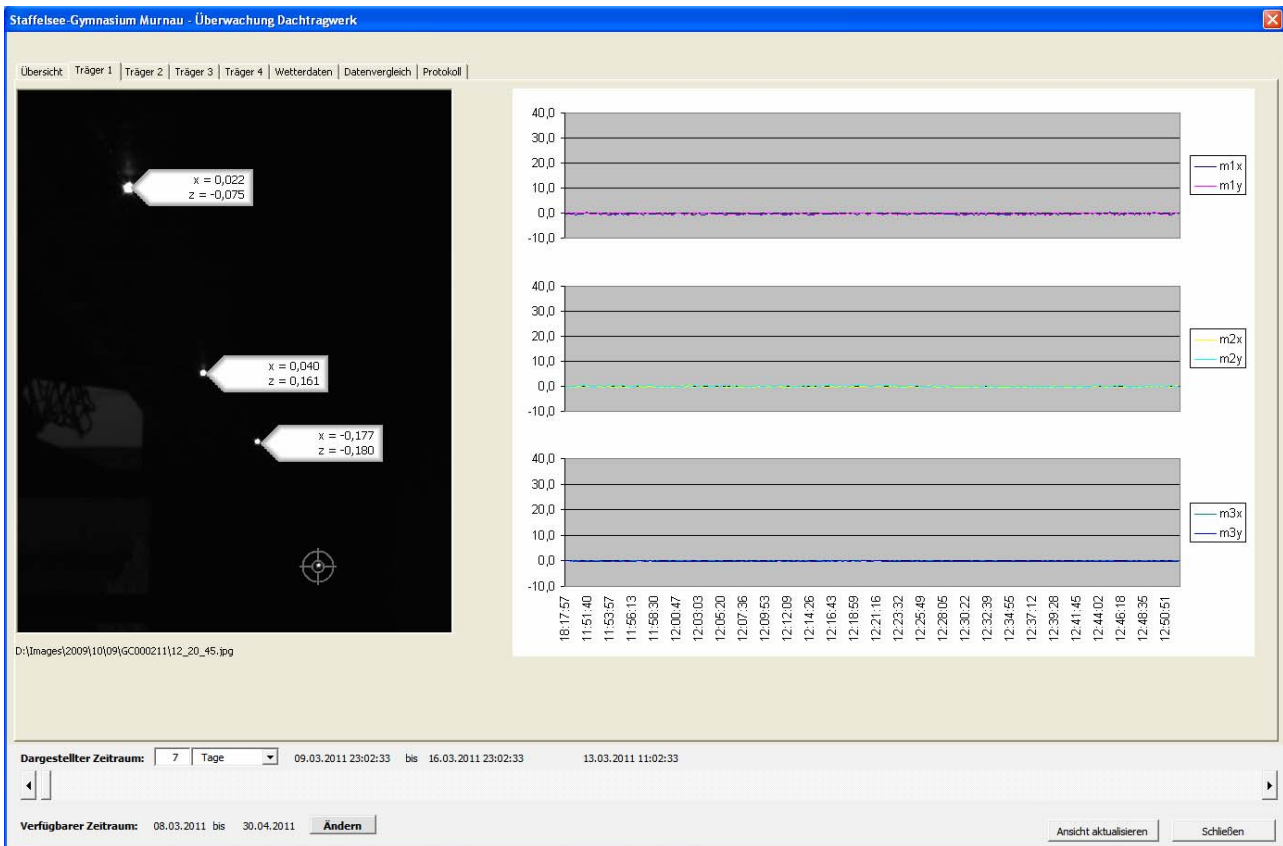


Abbildung 67: Registerkarte „Trägerdaten“

Im obersten Diagramm werden die Verformungen des Viertelpunktes abgebildet. Darunter befinden sich die Verformungen des Messpunktes in Feldmitte und auf dem dritten Diagramm die Verformungen des Dreiviertelpunktes. Dabei werden auf allen Diagrammen sowohl die Verformungen in die X-Richtung, als auch die Verformungen in die Y-Richtung dargestellt.

Hierbei stellt die X-Richtung die horizontalen Verschiebungen dar und die Y-Richtung die vertikalen Verschiebungen.

Die Diagramme werden beim Ändern des Schiebereglers für den gewählten Zeitraum, je nach Einstellung, sofort oder durch einen Klick auf die Schaltfläche *Ansicht aktualisieren* neu gezeichnet. Die Kamerabilder und deren Beschriftungen werden immer laufend aktualisiert.

Registerkarte Wetterdaten

Auf der Registerkarte Wetterdaten sind alle Wetterdiagramme auf einen Blick sichtbar. Der Zeitraum der Diagramme ist analog zu den Zeiträumen der anderen Registerkarten. Somit ist es möglich zwischen den einzelnen Registerkarten zu wechseln und die zugehörigen klimatischen Bedingungen in diesem Zeitraum parallel zu betrachten.

Der Zeitraum kann wie bei den anderen Registerkarten mittels des Schiebereglers im Einstellungsbereich des Formulars verändert werden. Auch hier werden die Diagramme automatisch neu erzeugt, sofern die Einstellung für die fortlaufende Aktualisierung im Tabellenblatt *Einstellungen* gewählt wurde.

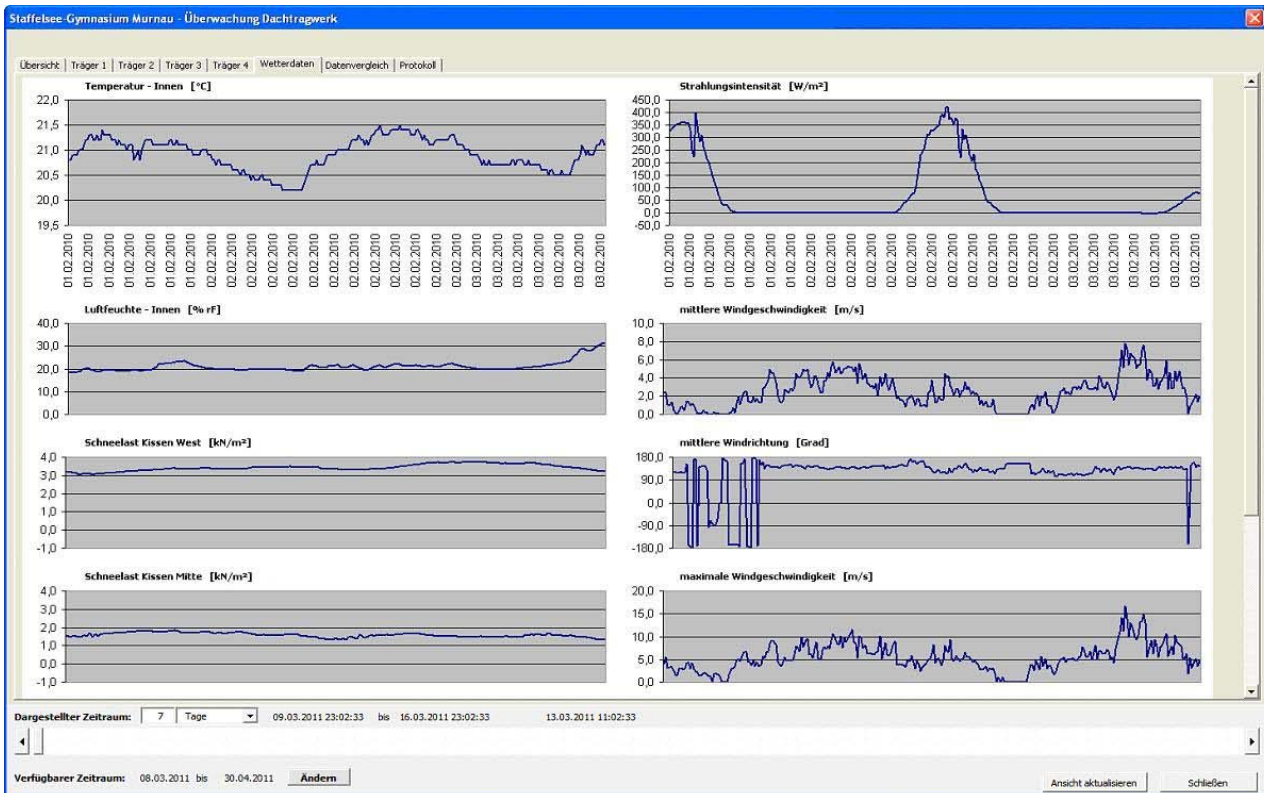


Abbildung 68: Registerkarte „Wetterdaten“

Registerkarte Datenvergleich

Die Registerkarte Datenvergleich dient dazu, verschiedene Datenarten miteinander zu vergleichen. Hierbei können bis zu vier verschiedene Datenarten gleichzeitig angezeigt werden. Die Datenarten können mit Hilfe von Auswahlfeldern individuell ausgewählt werden. Die verschiedenen Messpunkte je Träger zählen hierbei nur als eine Datenart und werden im selben Diagramm dargestellt. Somit können alle vier Träger mit ihren sechs Verformungswerten gleichzeitig ausgewählt werden. Durch Auswahl eines Trägers werden die zugehörigen Auswahlfelder für die einzelnen Verformungswerte dieses Trägers wählbar. Wird das Auswahlfeld des Trägers wieder abgewählt, werden die zugehörigen Auswahlfelder ebenfalls wieder deaktiviert.

Der Bereich mit den Auswahlfeldern ist in zwei größere Abschnitte gegliedert. Zum einen die Verformungsdaten der einzelnen Träger (links) und zum anderen die Wetterdaten.

Im Bereich der Verformungsdaten sind zwölf Schaltflächen zur einfachen Auswahl der Messpunkte angebracht. Hiermit können unter anderem alle Messpunkte in Feldmitte auf einmal



aktiviert werden oder aber auch nur alle horizontalen oder vertikalen Messpunkte betrachtet werden. Die Auswahl kann aber auch im Nachhinein manuell modifiziert werden.

Außerdem besteht die Möglichkeit die Skalierung der Verformungsdiagramme, anhand eines Listenfeldes, anzupassen. Hier stehen sechs Zoom-Stufen zur Verfügung. Die einzelnen Zoom-Stufen verändern den Bereich der auf der Y-Achse der Diagramme angezeigt wird. Die Einteilung der einzelnen Stufen kann folgender Tabelle entnommen werden.

Tabelle 15: Einteilung der Zoomstufen der Diagramme auf der Registerkarte „Datenvergleich“

Beschreibung	Min-Wert	Max-Wert
Standard	-10 mm	40 mm
Stufe 1	-10 mm	20 mm
Stufe 2	-5 mm	10 mm
Stufe 3	-1 mm	2 mm
Stufe 4	-0,5 mm	1 mm
Automatisch	Auto	Auto

Wird die Stufe Automatisch gewählt, werden die Diagramme anhand des tatsächlich benötigten Bereiches skaliert. Dabei ist es möglich, dass die Diagramme in jeweils unterschiedlichen Maßstäben dargestellt werden!

Die Auswahlfelder für die Wetterdaten sind im rechten Bereich angeordnet und in weitere drei Kategorien gegliedert.

- Diese sind:
- Schneelast
 - Temperatur und Luftfeuchte
 - Wind

Auf nachfolgender Abbildung ist der Bereich mit den Auswahlfeldern der Registerkarte *Datenvergleich* dargestellt.

Datenauswahl

Verformung Träger 1

Messpunkt 1 - H-Richtung
 Messpunkt 1 - V-Richtung
 Messpunkt 2 - H-Richtung
 Messpunkt 2 - V-Richtung
 Messpunkt 3 - H-Richtung
 Messpunkt 3 - V-Richtung

Verformung Träger 2

Messpunkt 1 - H-Richtung
 Messpunkt 1 - V-Richtung
 Messpunkt 2 - H-Richtung
 Messpunkt 2 - V-Richtung
 Messpunkt 3 - H-Richtung
 Messpunkt 3 - V-Richtung

Verformung Träger 3

Messpunkt 1 - H-Richtung
 Messpunkt 1 - V-Richtung
 Messpunkt 2 - H-Richtung
 Messpunkt 2 - V-Richtung
 Messpunkt 3 - H-Richtung
 Messpunkt 3 - V-Richtung

Verformung Träger 4

Messpunkt 1 - H-Richtung
 Messpunkt 1 - V-Richtung
 Messpunkt 2 - H-Richtung
 Messpunkt 2 - V-Richtung
 Messpunkt 3 - H-Richtung
 Messpunkt 3 - V-Richtung

Zoom: Standard

Messpunkt 1	H	V
Messpunkt 2	H	V
Messpunkt 3	H	V
Alle Messpunkte	H	V

Berechnete Verformungen
 Berechnete Schneelasten

Schneekissen West
 Schneekissen Mitte
 Schneekissen Ost

Innentemperatur
 Außentemperatur
 Luftfeuchte Innen
 Luftfeuchte Außen
 Strahlungintensität

mittlere Windgeschwindigkeit
 zugehörige Windrichtung
 max. Windgeschwindigkeit
 zugehörige Windrichtung

Zurücksetzen

Auswahl anzeigen

Abbildung 69: Der Bereich der Datenauswahl auf der Registerkarte „Datenvergleich“

Über die Schaltfläche Zurücksetzen werden alle Auswahlfelder abgewählt. Um die Diagramme anzuzeigen muss die Schaltfläche Auswahl anzeigen betätigt werden. Der Zeitraum kann über den Schieberegler im Einstellungsbereich des Formulars verändert werden. Ist in den Einstellungen des Programms die fortlaufende Aktualisierung aktiviert, so werden beim Ändern des Zeitraums die Diagramme automatisch aktualisiert. Ansonsten muss die Schaltfläche Auswahl anzeigen oder Ansicht aktualisieren gewählt werden.

Sollten mehr als vier Datenarten gewählt werden, erscheint eine Meldung, dass dies nicht möglich ist. Sind weniger als zwei Datenarten gewählt wird die Schaltfläche zum Erzeugen der Diagramme deaktiviert.

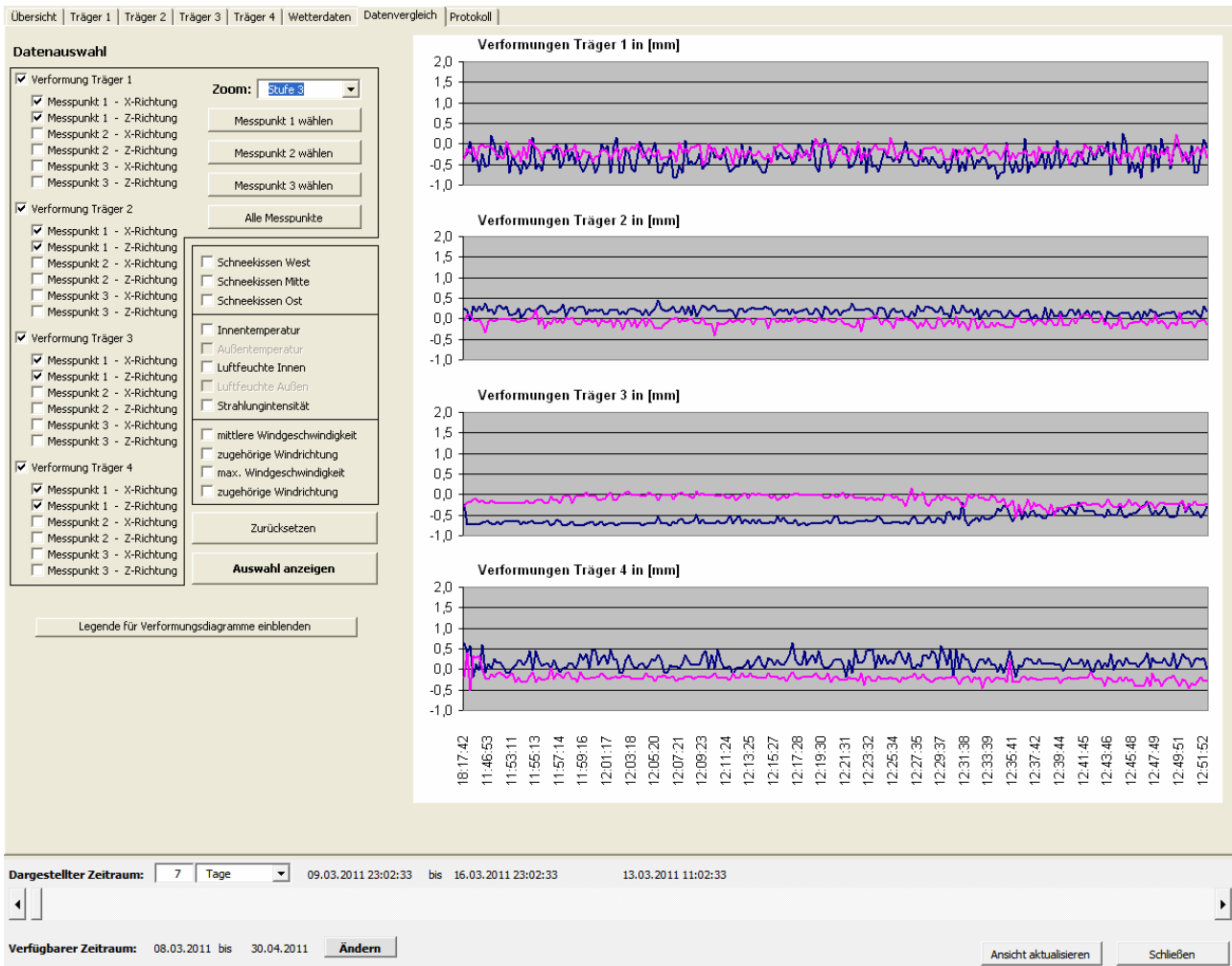


Abbildung 70: Registerkarte „Datenvergleich“ mit Verformungsdiagrammen

Registerkarte Protokoll

Auf der Registerkarte Protokoll werden Fehlermeldung und Statusinformationen angezeigt, die von der Software zur Erfassung der Verformungsdaten erzeugt wurden.

Die Meldungen werden je nach Meldungsart farblich unterschiedlich dargestellt. Folgende Meldungsarten werden unterschieden:

Tabelle 16: Einteilung der Warnstufen

Kategorie	Beschreibung	Farbkennzeichnung
0	Information	Weiß
1	Warnung	Gelb
2	Alarm	Rot

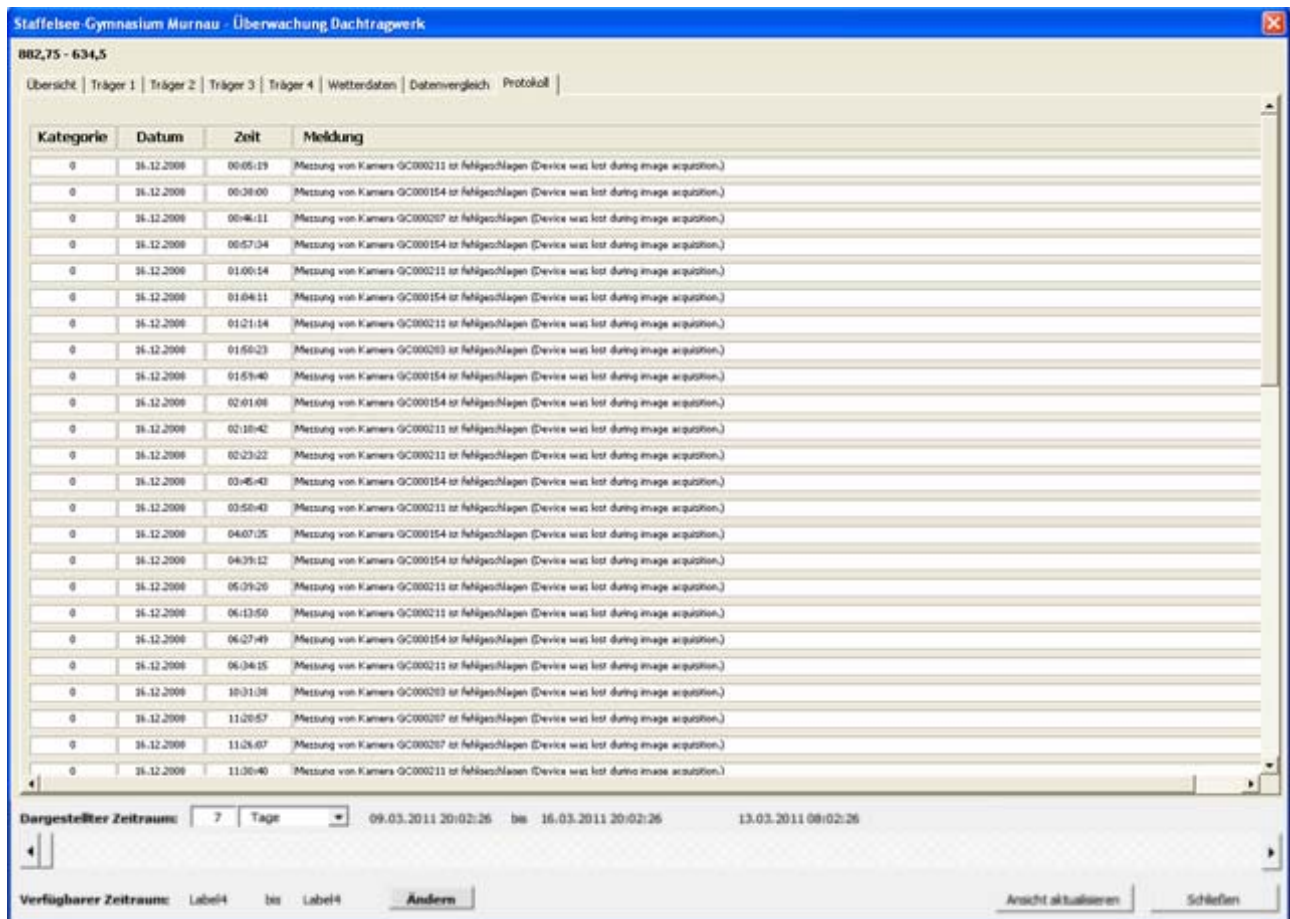


Abbildung 71: Registerkarte „Protokoll“

8.2.2 Aufbau des Programms

Das in Microsoft Excel erstellte Programm besteht aus den Tabellenblättern *Hauptseite* und *Einstellungen*, sowie einem Formular zur Datenanalyse. Dieses Formular kann auf der Hauptseite



anhand der Schaltfläche *Hauptformular anzeigen* geöffnet werden. Die Funktionen des Hauptformulars werden in Kapitel 8.2.1 beschrieben.

Des Weiteren befinden sich auf der Hauptseite die Optionen. Diese können über die gleichnamige Schaltfläche geöffnet werden. Unter den Optionen befinden sich Schaltflächen mit denen die Wetterdaten importiert und die Verformungsdaten, ohne das Hauptformular zu öffnen, eingelesen werden können. Außerdem befinden sich hier die Schaltflächen um die Einstellungen zu öffnen und die versteckten Tabellenblätter ein- oder auszublenden. Auf den versteckten Tabellenblättern befinden sich die Verformungsdaten, sowie die Wetterdaten.

Daten importieren

Um bei der Datenanalyse auf eine permanente Internetverbindung verzichten zu können, werden die notwendigen Daten in eine lokal installierte Datenbank importiert. Hierzu wird eine Datensicherung der Datenbank in Murnau verwendet.

Zum Einlesen einer Datensicherung über den *MySQL Administrator* muss eine solche Datensicherung auf einer CD oder einem ähnlichen Speichermedium vorliegen.

Alternativ kann über den *MySQL Administrator* auf die Datenbank auf dem Server in Murnau zugegriffen werden und eine Datensicherung auf dem lokalen Rechner gespeichert werden. Siehe hierzu Abschnitt **Datensicherung**. Diese Datensicherung kann dann über den Punkt *Wiederherstellung* im *MySQL Administrator*, wie weiter unten beschrieben, in die lokal installierte Datenbank eingelesen werden.

In einer späteren Version dieses Programms soll eine Möglichkeit geschaffen werden, neue Daten über die Programmoberfläche zu importieren. Hierbei soll es dann möglich sein, neue Daten zusätzlich in die Datenbank mit aufzunehmen. Momentan werden beim Einspielen einer Datensicherung alle vorhandenen Daten aus der Datenbank gelöscht und durch die eingespielte Datensicherung ersetzt.

Import über den MySQL Administrator

Der *MySQL Administrator* kann über die Programmoberfläche gestartet werden. Hierzu ist auf *Optionen » Einstellungen* zu gehen und in der Rubrik *MySQL GUI-Tools* die Schaltfläche *MySQL Administrator* zu wählen. Alternativ kann der *MySQL Administrator* auch über das Startmenü aufgerufen werden.

Nach dem Aufruf des *MySQL Administrators* öffnet sich ein Login-Fenster für die Anmeldung an der Datenbank. Hier sind die IP-Adresse des Server Hosts, der Port und die Zugangsdaten einzugeben. In der Regel wird der Port 3306 verwendet.



Nach erfolgreicher Anmeldung ist in der linken Leiste *Wiederherstellung* zu wählen. Über die Schaltfläche *Datei öffnen* kann nun die Sicherungsdatei ausgewählt und anschließend mit einem Klick auf *Starten* die Wiederherstellung ausgeführt werden.

Nachdem die Wiederherstellung abgeschlossen ist, ist der *MySQL Administrator* über *Datei » Schließen* zu beenden.

Daten reparieren

Diese Funktion dient dazu Messdaten in das Programm einzulesen ohne das Hauptformular zu öffnen. Ein solches Vorgehen kann notwendig sein, wenn sich das Hauptformular, aufgrund fehlerhafter Daten, nicht mehr öffnen lässt.

Datensicherung

Mit dem *MySQL Administrator* können Datensicherungen der Datenbanken erstellt werden. Im *MySQL Administrator* ist auf der linken Seite der Punkt *Backup* und anschließend *Neues Projekt* zu wählen und ein Namen für dieses Projekt einzugeben. Nun ist die zu sichernden Datenbanken auszuwählen. Durch einen Klick auf den Pfeil nach rechts erscheint auf der rechten Seite ein Verzeichnisbaum mit allen Tabellen dieser Datenbank. Hier können einzelne Tabellen von der Datensicherung ausgeschlossen werden.

Sind alle Datenbanken und Tabellen ausgewählt, wird die Datensicherung mit der Schaltfläche *Backup jetzt durchführen* gestartet. Im sich öffnenden Fenster ist nun ein Verzeichnis zu wählen und ein Namen für die Sicherungsdatei einzugeben. Durch einen Klick auf *Speichern* wird die Datensicherung ausgeführt. Dieser Vorgang kann, je nach Datenmenge, einige Zeit in Anspruch nehmen.

Nachdem die Datensicherung beendet wurde, erscheint ein Informationsfenster mit der Meldung, dass die Datensicherung beendet wurde und ob die Sicherung erfolgreich war. Mit Bestätigung dieser Meldung ist die Datensicherung abgeschlossen und der *MySQL Administrator* kann über *Datei » Schließen* beendet werden.

8.2.3 Einstellungen

Im Tabellenblatt *Einstellungen* können verschiedene Grundeinstellungen vorgenommen werden. Im Folgenden werden die einzelnen Einstellmöglichkeiten beschrieben. Zusätzlich sind auf dem Tabellenblatt hinter den verschiedenen Einstellmöglichkeiten Schaltflächen in Form eines Fragezeichens angebracht, welche eine Schnellhilfe zu den einzelnen Parametern, direkt im Programm, zur Verfügung stellen.

Datenbank:	
Standort der Datenbank:	<input type="radio"/> Server Murnau <input type="radio"/> Lokaler Rechner
IP-Adresse:	<input type="text" value="192.168.1.1"/> <input type="text" value="192.168.1.1"/>
Benutzername:	<input type="text" value="root"/> <input type="text" value="root"/>
Datenbank:	<input type="text" value="monitoring"/> <input type="text" value="monitoring"/>

Hauptformular:	
Darzustellender Zeitraum [Tage]	<input type="text" value="7"/>
Startseite:	<input type="text" value="Übersicht"/>
Diagramme laufend aktualisieren:	<input checked="" type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Nein
Einzulesende Daten [Tagen]	<input type="text" value="30"/>

Daten reparieren:	
Startdatum:	<input type="text" value="11.11.2009"/>
Enddatum:	<input type="text" value="12.11.2009"/>

Grenzwerte:	
Grenzwert 1:	Wert
Verformung horizontal [mm]	<input type="text" value="25,0"/>
Verformung vertikal [mm]	<input type="text" value="25,0"/>
Schneelast [kN/m ²]	<input type="text" value="1,0"/>
Grenzwert 2:	Wert
Verformung horizontal [mm]	<input type="text" value="35,0"/>
Verformung vertikal [mm]	<input type="text" value="35,0"/>
Schneelast [kN/m ²]	<input type="text" value="2,0"/>

Pfad zu den Kamerabildern:	
<input type="text" value="D:\Images"/>	

MySQL GUI-Tools:	
<input type="text" value="MySQL Administrator"/>	<input type="text" value="MySQL Query Browser"/>
Programmpfad:	
<input type="text" value="C:\Programme\MySQL"/>	

Daten importieren:	
Pfad zu den Wetterdatentabellen:	
<input type="text" value="D:\WorkDir\... \Eigene Dateien\Studium\T ..."/>	

Abbildung 72: Übersicht der Einstellungen

Auf der obigen Abbildung sind alle Einstellungen im Überblick zu sehen.

Datenbank

Über den Punkt Datenbank wird die Datenbank mit den Verformungsdaten festgelegt. Es kann auf die Datenbank auf dem Server in Murnau, als auch auf eine lokal installierte Datenbank zugegriffen werden. Soll auf die Datenbank auf dem Server in Murnau zugegriffen werden, muss eine dauerhafte Internetverbindung zu diesem Server bestehen. Alternativ können die Daten auch in die lokale Datenbank importiert werden.

Die Zugangsdaten für die Datenbank können in der Tabelle *Einstellungen* eingetragen werden. Die Zugangsdaten bestehen aus der IP-Adresse des Servers, dem Benutzernamen und dem Namen der Datenbank. Diese Daten können dauerhaft gespeichert werden. Das zugehörige Passwort kann aus Sicherheitsgründen nicht gespeichert werden und muss beim Start des Programms eingegeben werden.

Datenbank:			
Standort der Datenbank:	<input type="radio"/> Server Murnau	<input checked="" type="radio"/> Lokaler Rechner	?
IP-Adresse:	<input type="text" value="192.168.1.100"/>	<input type="text" value="127.0.0.1"/>	?
Benutzername:	<input type="text" value="root"/>	<input type="text" value="root"/>	?
Datenbank:	<input type="text" value="monitoring"/>	<input type="text" value="monitoring"/>	?

Abbildung 73: Einstellungen für die Datenbanken

Hauptformular

Unter diesem Einstellungspunkt können Parameter festgelegt werden, die das Standardverhalten des Hauptformulars beeinflussen. So kann hier festgelegt werden auf welcher Registerkarte das Hauptformular startet und welcher Zeitraum standardmäßig dargestellt werden sollen.

Beim Start des Programms werden die aktuellen Verformungsdaten eingelesen. Welcher Zeitraum eingelesen werden soll, kann über die Option *Einzulesende Daten* festgelegt werden.

Hauptformular:	
Darzustellender Zeitraum [Tage]	<input type="text" value="7"/> ?
Startseite:	<input type="text" value="Übersicht"/> ?
Diagramme laufend aktualisieren:	<input checked="" type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Nein ?
Einzulesende Daten [Tagen]	<input type="text" value="30"/> ?

Abbildung 74: Einstellungen für das Hauptformular

Daten reparieren

Es ist möglich, dass sich das Hauptformular nicht mehr starten lässt, weil fehlerhafte Daten eingelesen wurden. Um Daten in einem solchen Fall einzulesen, muss in den Einstellungen ein Zeitraum gewählt werden, aus dem die Daten eingelesen werden sollen. Sie sollten sicherstellen, dass dieser Zeitraum in der Datenbank existiert und frei von Fehlern ist. Hierzu kann das Programm *MySQL Query Browser* aus der Programmsammlung *MySQL GUI-Tools* verwendet werden.

Daten reparieren:	
Startdatum:	<input type="text" value="11.11.2009"/>
Enddatum:	<input type="text" value="12.11.2009"/>

Abbildung 75: Einstellungen für die Datenreperatur

Grenzwerte

Im Programm werden kritische Werte farblich gekennzeichnet. Diese Kennzeichnungen beruhen auf diesen Einstellungen. Es werden zwei Grenzwerte pro Datenart unterschieden. Die Verformungswerte werden in Millimeter angegeben, die Schneelasten in kN/m².


Grenzwerte: 	
Grenzwert 1:	Wert
Verformung horizontal [mm]	25,0
Verformung vertikal [mm]	25,0
Schneelast [kN/m ²]	1,0
Grenzwert 2:	Wert
Verformung horizontal [mm]	35,0
Verformung vertikal [mm]	35,0
Schneelast [kN/m ²]	2,0

Abbildung 76: Einstellung der Grenzwerte

Festlegung der Grenzwerte in den Standardeinstellungen:

Zur Festlegung der Grenzwerte wurden die zulässigen Verformungen nach DIN 1052:2004 als Näherung herangezogen. Diese betragen ohne Berücksichtigung von Kriechen $L/300$. Die zulässige Durchbiegung mit Kriechen beträgt $L/200$. Die Sporthalle hat eine Spannweite von $L = 31,25$ m. Hieraus ergeben sich zulässige Verformungen ohne Kriechen von 10,4 cm und 15,6 cm mit Kriechen. Der *Grenzwert 2* wurde mit 10 cm für die Standardeinstellungen so festgelegt, dass er unterhalb dieser beiden Grenzen liegt. Der *Grenzwert 1* beträgt die Hälfte von *Grenzwert 2*.

Für die Schneelasten ist zu berücksichtigen, dass die Sporthalle nach DIN 1055-5:1975-6 gerechnet wurde. Seit 01.01.2007 findet jedoch die DIN 1055-5:2005-7 Anwendung. Die Bemessungsschneelasten der beiden Normen unterscheiden sich erheblich. So ergibt sich nach der DIN 1055-5:1975-6 eine Schneelast von 2,0 kN/m², nach DIN 1055-5:2005-7 jedoch 3,78 kN/m².

Die Sporthalle fällt in die Kategorie 2 der zu überprüfenden Gebäudetypen. In dieser Kategorie muss die Halle bei einer Schneelast von mehr als 2,5 kN/m² sofort überprüft werden. Diese Grenze liegt jedoch höher als die Bemessungsschneelast der Sporthalle. Daher wurde der *Grenzwert 2* für die Standardeinstellungen auf 2,0 kN/m² festgelegt. Der *Grenzwert 1* wurde auch hier auf die Hälfte des *Grenzwertes 2* gesetzt.

Kamerabilder

Auf den Registerkarten der Trägerdaten werden die Originalbilder der Kameras zur Erfassung der Verformung angezeigt. Hierzu muss in den Einstellungen das Verzeichnis angegeben werden, in dem sich diese Bilder befinden.



Die Bilder sind in mehreren Unterebenen des angegebenen Verzeichnisses zu finden. Für das Bild von Träger 1 vom 15.01.2010 um 23:44:55 Uhr und dem in der Abbildungen unten angegeben Verzeichnis würde der gesamte Dateipfad folgendermaßen aussehen:

D:\Monitoring\Images\2010\01\15\GC000211\23_44_55.jpg

Hierbei steht GC000211 für die Seriennummer der Kamera des Trägers 1. In der Tabelle sind die Seriennummern der Kameras und die zugehörigen Träger aufgelistet.

Tabelle 17: Seriennummern der verschiedenen Kameras

Kamera	Träger	Seriennummer
Kamera 1	Träger 1	GC000211
Kamera 2	Träger 2	GC000207
Kamera 3	Träger 3	GC000203
Kamera 4	Träger 4	GC000154

Mit den Seriennummern ist es dann auch möglich Bilder manuell in der Ordnerstruktur zu suchen und diese verlustfrei mit Drittsoftware weiterzuverarbeiten und/oder an Dritte weiterzugeben.

Zur Auswahl des Ordners kann mit der Schaltfläche auf der rechten Seite ein Verzeichnisbaum aufgerufen werden, in dem der Ordner mit den Kamerabildern gewählt werden kann. Die Unterordner mit den Kamerabildern sind mit Jahreszahlen benannt.

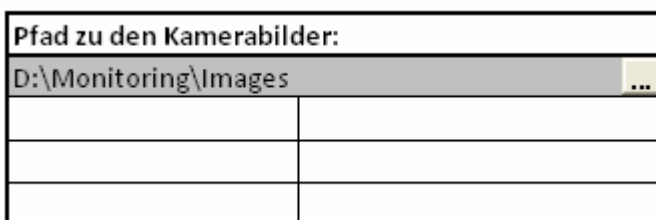


Abbildung 77: Einstellungen für die Kamerabilder

MySQL GUI-Tools

Zur Administration der Datenbanken stehen die *MySQL GUI-Tools* zur Verfügung. Um diese Programme direkt aus der Einstellungstabelle heraus starten zu können, muss der Programmpfad zum Installationsort angegeben werden. Dieser ist bei einer Standardinstallation, wie in der Abbildung unten dargestellt, unter

C:\Programme\MySQL

zu finden. Mit der Schaltfläche auf der rechten Seite wird ein Dialog zur Auswahl des Verzeichnisses angezeigt. Hier wird der Installationsort ausgewählt.

Mit Hilfe des *MySQL Administrators* können Datensicherungen der Datenbanken erstellt und eingelesen werden. Außerdem können Benutzerrechte für den Zugriff auf die Datenbanken festgelegt werden.

Für weitere Informationen über die Bedienung des *MySQL Administrators* kann das englischsprachige Handbuch von der Seite des Herstellers (<http://downloads.mysql.com/docs/administrator-en.a4.pdf>) heruntergeladen werden.

Um die Datensätze in der Datenbank zu sichten oder zu verändern kann der *MySQL Query Browser* eingesetzt werden. Auch für diesen steht auf der Herstellerseite (<http://downloads.mysql.com/docs/query-browser-en.a4.pdf>) ein Handbuch in englischer Sprache zum Download bereit.

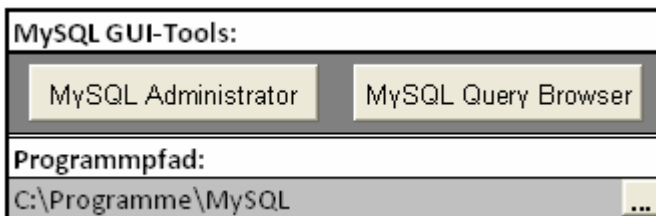


Abbildung 78: Einstellungen und Aufruf der MySQL GUI-Tools

Daten importieren

Die Wetterdaten werden über eine Software der Firma Sommer aufgezeichnet und in Excel-Dateien abgespeichert. In diesem Bereich der Einstellungen wird der Pfad zu den Excel-Dateien mit den Wetterdaten angegeben. Über die Schaltfläche auf der rechten Seite öffnet sich ein Verzeichnisbaum in dem das Verzeichnis ausgewählt werden kann.

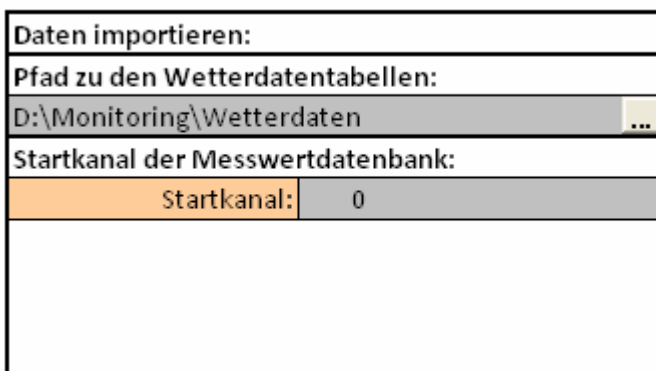


Abbildung 79: Einstellungen für den Datenimport

Die Wetterdaten werden für den Zeitraum eines Jahres in den Excel-Dateien zusammengefasst. In den einzelnen Dateien befinden sich die Daten vom 1. Oktober bis 30. September. Da der Winter



der maßgebende Zeitraum zur Erfassung der Verformungen darstellt, wurde der Dateiwechsel in den Herbst gelegt. Somit wird vermieden, dass es aufgrund des Dateiwechsels zu Datenverlusten während der maßgebenden Zeiträume kommt.

Die Excel-Dateien sind daher nach folgendem Schema benannt:

WUSK0102.xls

Dabei ist `WUSK` ein festes Präfix. Die Ziffernkombination `0102` steht für die Jahreszahlen. In diesem Beispiel also für das Jahr 2001 und 2002. Somit wäre der Zeitraum der Daten in dieser Datei vom 1. Oktober 2001 bis 30. September 2002.

Um Fehler beim Einlesen der Daten zu vermeiden, sollten im Verzeichnis mit den Wetterdaten keine anderen Dateien abgelegt werden.



9 Literaturverzeichnis

- Baumer Holding AG [2011]: Willkommen bei Baumer Vision Technologies.
<http://www.baumer.com/vision.html?L=0%20%28ganzer%20Motion%20Control%20Bereich%29> (Abruf vom 27.6.2011)
- Dietsch, P., Winter, S. [2009]: Typische Tragwerksmängel im Ingenieurholzbau und Empfehlungen für Planung, Ausführung und Instandhaltung. 8. Grazer Holzbau-Fachtagung, TU Graz; Österreich, 2009
- Heisig, F. [2007]: Bauwerksmonitoring – Methoden der kontinuierlichen Überwachung von Bauwerken, Diplomarbeit, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Technische Universität München, September 2007
- Kornblum, F. [2009]: Messung des Schnee Wasser Äquivalents (SWE). Bachelorarbeit, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Technische Universität München, Juli 2009
- National Instruments Corporation [2011]: NI Developers Zone.
<http://zone.ni.com/devzone/cda/epd/p/id/5555> (Abruf vom 24.8.2011)
- Pawlowski, R.; Henke K.; Kreuzinger H.; Winter S.; Schregle P. [2008a]: Digital image processing in the monitoring of wide-span timber roof structures. COST E55 – Modelling of the Performance of Timber Structures, 3rd Workshop, Helsinki, Finland, März 2008
- Pawlowski, R., Henke K., Kreuzinger H., Winter S., Schregle P. [2008b]: Monitoring of wide-span timber roof structures - development of a monitoring system, CD-ROM, WCTE 2008 - 10th World Conference on Timber Engineering, Miyazaki, Japan, 2008
- Riedner, W. [2007]: Sicherheit und Überwachung von weitgespannten Hallensystemen. In: Bautechnik, 1/2007, S. 78-80
- Röhm, A. [2010]: Überwachung weitgespannter Hallentragwerke – Entwicklung einer Software zur Messdatenauswertung mit Excel-VBA, Bachelorarbeit, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, Februar 2010
- Sommer GmbH & Co KG [2007]: Produktinformation Schneekissen für Schneelastmessung am Flachdach. Firmenbroschüre, 2007
- Winter, S. [2007]: Der Einsturz der Sporthalle in Bad Reichenhall und was man daraus lernen muss. In: Zuschnitt, Vol. 25, März 2007, S. 17
- Wöhlte, M. [2008]: Überwachung weit gespannter Hallentragwerke – Die Kombination von digitaler Bildverarbeitung und Schneekissen als Mittel zur kontinuierlichen Verformungs- und Schneelastüberwachung weit gespannter Hallentragwerke am Beispiel der Turnhalle des Staffelsee-Gymnasiums in Murnau, Diplomarbeit, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Technische Universität München, August 2008



10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Industrielle Bildverarbeitung: Industriekameras [Baumer 2011] (links) und Bildverarbeitungssoftware [National Instruments 2011] (rechts)	9
Abbildung 2: Laborversuche an der TUM: Versuchsanordnung.....	10
Abbildung 3: Laborversuche an der TUM: Unterschiedliche Lichtverhältnisse, Filter und Blendenöffnungen	10
Abbildung 4: Laborversuche an der TUM: Aufnahmen mit imperfekter Anordnung der LED (M), Winkelabweichungen von der Achse Kamera – LED: 0°, 5°, 10°, 15° und 20°	11
Abbildung 5: Turnhalle in Murnau, Landkreis Garmisch-Partenkirchen	12
Abbildung 6: Turnhalle in Murnau, Landkreis Garmisch-Partenkirchen: Längs- und Querschnitt mit Angabe der weiter unten beschriebenen Details 1 und 2	13
Abbildung 7: Turnhalle in Murnau, Landkreis Garmisch-Partenkirchen: Hauptträger Pos. H3 - Auflagerdetail.....	14
Abbildung 8: Turnhalle in Murnau, Landkreis Garmisch-Partenkirchen: Hauptträger Pos. H3 - Querschnitt mit Anschluss Nebenträger Pos. H3.....	14
Abbildung 9: Monitoringsystematik [nach Heisig 2007]	15
Abbildung 10: Monitoringsystem für die Turnhalle in Murnau: Systemübersicht - Gesamtsystem.....	16
Abbildung 11: Monitoringsystem für die Turnhalle in Murnau: Systemübersicht - schematische Darstellung der Anordnung von Schneelastmesseinrichtungen (S) sowie Verformungsmess-einrichtungen bestehend aus Kameraeinheiten (K), Messpunkten (M) und Referenzpunkten (R)	17
Abbildung 12: Vorversuche in der Turnhalle in Murnau: Versuchsanordnung.....	18
Abbildung 13: Vorversuche in der Turnhalle in Murnau: Kamera (links), verschiebbliche Mess-LED (Mitte) und Referenz-LED (rechts).....	18
Abbildung 14: Vorversuche in der Turnhalle in Murnau: Digitale Messung der simulierten Vertikalverschiebung der Mess-LED (M)	19
Abbildung 15: Vorversuche in der Turnhalle in Murnau: Die digital gemessenen Verschiebungen sind millimetergenau.....	19



Abbildung 16: Vorversuche in der Turnhalle in Murnau: Linearer Zusammenhang zwischen visuell und digital gemessenen Verschiebungen.....	19
Abbildung 17: Monitoringsystem für die Turnhalle in Murnau: Verformungsmessung - schematische Darstellung der Anordnung der Systemkomponenten.....	21
Abbildung 18: Deckenuntersicht mit Anordnung von Kameras und Leuchtdioden: Die Kameras sind an den Stellen K1 bis K4 montiert. LED Messpunkte befinden sich an den Stellen T1.M1 bis T1.M3, T2.M1 bis T2.M3, T3.M1 bis T3.M3 und T4.M1 bis T4.M3. Die LED Referenzpunkte befinden sich an den Stellen R1 bis R4.....	22
Abbildung 19: Konsole für die Befestigung der Kameras.....	22
Abbildung 20: Kameras unterhalb der Auflager der Hauptträger, während (links) und nach Abschluss der Montagearbeiten (rechts).....	23
Abbildung 21: LED eines Messpunktes während der Montage mit Halterung aus Stahl.....	23
Abbildung 22: LEDs zweier Referenzpunkte hinter Verschalung im Bereich der nördlichen Auflager	24
Abbildung 23: Bilder in KW37 nach Abschluss der Montage: Von unten nach oben sieht man zunächst jeweils die Referenz LED, dann folgen die LEDs an den Punkten 1 (hinterer Viertelpunkt), 2 (Trägermitte) und 3 (vorderer Viertelpunkt).	24
Abbildung 24: Kalibriervorrichtung mit zwei Leuchtdioden im Abstand von 500 mm.....	25
Abbildung 25: Maße für die perspektivische Korrektur	25
Abbildung 26: Rechnerische Berücksichtigung der Verdrehung.....	27
Abbildung 27: Referenz Kompensation, Ausgangssituation	27
Abbildung 28: Referenz Kompensation, Kamera verdreht nach oben	28
Abbildung 29: Referenz Kompensation, Position eines Messpunktes M bei verdrehter Kamera ..	28
Abbildung 30: Referenz Kompensation, Position eines Messpunktes M bei verdrehter Kamera, bezogen auf die Null-Lage der Kamera	29
Abbildung 31: Benutzeroberfläche des Messprogramms Camera Acquisition mit den Bildern der Leuchtdioden an den vier Hauptträgern (unten), den gemessenen Verformungswerten (darüber) und dem Feld für Fehlermeldungen (oben)	30
Abbildung 32: Testvorrichtung für die Simulation einer Verformung.....	32



Abbildung 33: Laser-Distanz-Messgerät in Bodendose	33
Abbildung 34: Laser-Distanz-Messgerät mit Halterung	34
Abbildung 35: Lage des Bodenlasers in der Halle.....	34
Abbildung 36: Screenshot der DLS Messsoftware, Arbeitsblatt „Messung“	36
Abbildung 37: Wetterstation auf dem Dach der Turnhalle mit Mast, Blitzableiter, Sensoren an Ausleger und Schaltschrank (links), geöffneter Schaltschrank mit Datenlogger (rechts)	37
Abbildung 38: Anordnung der Schneekissen auf dem Hallendach	38
Abbildung 39: Schneekissen in Rahmenvariante „Graben“, während des Befüllvorgangs.....	39
Abbildung 40: Schneekissen in Rahmenvariante „First“, fertig befüllt und verkabelt	39
Abbildung 41: Bereiche der Software, Registerkartenbereich (blau) – Einstellungsbereich (rot)....	41
Abbildung 42: Registerkarte Trägerdaten.....	42
Abbildung 43: Registerkarte Wetterdaten	43
Abbildung 44: Registerkarte Datenvergleich	44
Abbildung 45: Künstliche Last auf dem Dach der Turnhalle, bestehend aus 154 wassergefüllten 90l-Mörtelkästen, unmittelbar nach Abschluss des Befüllvorgangs	48
Abbildung 46: Künstliche Last auf dem Dach der Turnhalle, Lage der Belastungseinrichtung.....	49
Abbildung 47: Künstliche Last auf dem Dach der Turnhalle, Anordnung der wassergefüllten 90l-Mörtelkästen.....	50
Abbildung 48: Künstliche Last auf dem Dach der Turnhalle, Vergleich der gemessenen (Kamera, Bodenlaser) und statisch berechneten Werte (Statik) für Vertikalverschiebungen in der Mitte des Hauptträgers.....	52
Abbildung 49: Belastung des östlichen Schneekissens mit wassergefüllten Mörtelkästen Mannlast.....	53
Abbildung 50: Belastung des östlichen Schneekissens mit Mannlast	54
Abbildung 51: LED-ähnliche Blendeffekte.....	55
Abbildung 52: Ungewöhnliche Ausschläge in den Verformungsdiagrammen: Aufnahmen	56



Abbildung 53: Ungewöhnliche Ausschläge in den Verformungsdiagrammen: Auswertungssoftware	57
Abbildung 54: Tabellen der mySQL Datenbank	60
Abbildung 55: Felder und Typen der Tabelle configure_cameras	61
Abbildung 56: Felder und Typen der Tabelle log	63
Abbildung 57: Felder und Typen der Tabelle measurements	64
Abbildung 58: Felder und Typen der Tabelle raw_measurements	64
Abbildung 59: MySQL Administrator, Login	65
Abbildung 60: MySQL Administrator, Hauptfenster	66
Abbildung 61: MySQL Administrator, Seite Backup.....	66
Abbildung 62: MySQL Administrator, Seite Wiederherstellung	67
Abbildung 63: Aufteilung der Bereiche, Registerkartenbereich (blau), Einstellungsbereich (rot)....	73
Abbildung 64: Einstellungen für die darzustellenden Datensätze.....	74
Abbildung 65: Kalenderelemente.....	74
Abbildung 66: Registerkarte „Übersicht“	76
Abbildung 67: Registerkarte „Trägerdaten“	77
Abbildung 68: Registerkarte „Wetterdaten“	78
Abbildung 69: Der Bereich der Datenauswahl auf der Registerkarte „Datenvergleich“	80
Abbildung 70: Registerkarte „Datenvergleich“ mit Verformungsdiagrammen.....	81
Abbildung 71: Registerkarte „Protokoll“	82
Abbildung 72: Übersicht der Einstellungen	85
Abbildung 73: Einstellungen für die Datenbanken.....	86
Abbildung 74: Einstellungen für das Hauptformular	86
Abbildung 75: Einstellungen für die Datenreperatur	86



Abbildung 76: Einstellung der Grenzwerte	87
Abbildung 77: Einstellungen für die Kamerabilder.....	88
Abbildung 78: Einstellungen und Aufruf der MySQL GUI-Tools.....	89
Abbildung 79: Einstellungen für den Datenimport.....	89



11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Liste der Kameras	20
Tabelle 2: Maße für die perspektivische Korrektur	26
Tabelle 3: Maßstabswerte in der Kalibrier-Ebene C, sowie in den Ebenen 1-3 und R, wie sie in der Datenbank hinterlegt sind	26
Tabelle 4: Ergebnisse der Testmessungen bei simulierter Verformung.....	33
Tabelle 5: Betriebs- und Alarmstufen des Monitoringsystems.....	47
Tabelle 6: Durchbiegung des östlichen Trägers bei unterschiedlicher Belastung in sieben Schritten in [mm], gemessen mit Bildverarbeitungssystem („Kamera“) und Bodenlaser („Laser“).....	49
Tabelle 7: Messwerte der Schneekissen mit Mannlast in kg/m ² (in Klammern die Messwerte am 10.6.11 ohne Belastung).....	53
Tabelle 8: Tabellen der mySQL Datenbank	60
Tabelle 9: Spalten der Tabelle configure_cameras.....	61
Tabelle 10: Spalten der Tabelle log	63
Tabelle 11: Spalten der Tabelle measurements.....	64
Tabelle 12: Spalten der Tabelle raw_measurements.....	64
Tabelle 13: Ursprüngliche Datenbank Konfiguration, Stand KW 42/2009.....	68
Tabelle 14: Versionen der installierten Software.....	71
Tabelle 15: Einteilung der Zoomstufen der Diagramme auf der Registerkarte „Datenvergleich“ ...	79
Tabelle 16: Einteilung der Warnstufen	82
Tabelle 17: Seriennummern der verschiedenen Kameras	88