

"Temperaturmessung"

Beispiel eines Berichts zum Labor Grundlagen der Elektrischen Messtechnik

von
Manfred Mevenkamp



Versuchsbezeichnung:	TM
Versuchsdatum:	15.09.2015
Abgabedatum:	29.09.2015
Beteiligte:	M. Mevenkamp (P)
(P) = Protokollführer	A. Sonne
	B. Wind
Laborleitung / - Betreuung:	Prof. Dr.-Ing. M. Mevenkamp
	M.Sc. Phys. H. Sander

Vorwort

- ist für einen Laborbericht unüblich (normalerweise nicht notwendig, und alles nicht Notwendige gehört in den Bericht nicht hinein)
- ist hier aber für ein paar Anmerkungen zu diesem Bericht sinnvoll.

Es liegt hier kein tatsächlicher Laborversuch zugrunde (obwohl die beschriebenen Messeinrichtungen und die verwendeten Messdaten real sind). Ein "Muster"bericht ist dies also nicht in dem Sinne, dass die Struktur einfach für jeden Laborversuch kopiert werden könnte. Er ist eher eine Vorlage für die grundsätzliche Art der Beschreibung einer wissenschaftlichen Untersuchung, für Stil, Fachsprache und einige Formalien, wie Inhalts- und Quellenverzeichnis, Quellenverweise, Abbildungen etc.

Die für diese Dinge hier gewählte äußere Form ist nichts allgemein Verbindliches und nicht als Vorschrift sondern nur als Orientierung zu verstehen. Es gibt z. B. andere, gleichwertige Formen für Quellenverweise, z. B. die einfache Nummerierung mit eckigen Klammern "[3, S.255]" oder auch "(Verfasser, Jahr)". Auch ist "Arial 11pt im Blocksatz mit 1,2-fachem Zeilenabstand und zusätzlichem Abstand zwischen Absätzen" zwar meiner Ansicht nach für solche Berichte gut geeignet. Es gibt aber viele andere geeignete Schrift- und Gestaltungsarten, und für andere Zwecke und Adressaten kann es spezielle Vorgaben geben.

Klar kann man aber sagen, was sicher ungeeignet ist, z. B.

- einfacher Zeilenabstand und/oder ein Rand von weniger als 3 cm (da der Bericht anderen zur Korrektur bzw. für Anmerkungen vorgelegt wird)
- Grafiken ohne Raster, mit Raster nur in einer Koordinate und/oder ohne Achsbeschriftungen,
- fehlende Kapitelnummerierung,
- Kapitel, die nur aus einem Satz bestehen,
- ...

Zum Umfang: Die Auswertung dieses Berichts weist mehr und größere Grafiken auf, als bei den Messtechnik-Versuchen typischerweise anfallen. Auch Matlab-Programme (im Anhang) sind normalerweise nicht in dem Umfang wie hier zu erstellen. Dadurch ist die Seitenzahl dieses Berichts größer als bei einem typischen, guten Laborbericht. Im Übrigen stellt aber der Umfang von Text und Inhalt eine gute Orientierung dar.

M. Mevenkamp, 29.09.2010

Inhalt

Vorwort	2
Inhalt	3
Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	3
1 Hintergrund und Ziel des Versuchs	5
1.1 Gegenstand des Versuchs	5
1.2 Temperaturmessung in Wetterstationen	5
1.2.1 Widerstandstemperatursensoren	5
1.2.2 Drei-Leiter-Schaltung	6
1.2.3 Vier-Leiter-Schaltung	7
2 Versuchsaufbau	8
2.1 Die Messstationen	8
2.1.1 Messstation ZIMT	8
2.1.2 Messstation an einer Sporthalle	10
2.1.3 Messunsicherheit der Messsysteme	11
2.2 Messdatenarchivierung	13
2.2.1 Daten der ZIMT-Messstation	13
2.2.2 Messdaten der Sporthalle	13
3 Versuchsdurchführung	14
4 Auswertung der Temperaturmessreihen	15
4.1 Verfügbare Daten, Bereinigung, 10-Min.-Mittelwerte	15
4.1.1 Sichtung und Plausibilisierung der vorhandenen Daten	15
4.1.2 10-Minuten-Mittelwerte	16
4.2 Auswahl geeigneter Ausschnitte aus den Messreihen	17
4.3 Approximation der Jahresverläufe durch Sinuskurven	18
4.3.1 Mittelwerte und Amplituden in 3 Untersuchungszeiträumen	18
4.3.2 Jahresmittelwerte	20
4.3.3 Unterschied Sommer – Winter	21
4.4 Tagestiefst-, -mittel- und höchstwerte	21
Quellen	24
Anhang A Matlab-Scripts	25
A.1 10-Min-Mittelwerte	25
A.2 Einlesen der DWD-Temperaturdaten	26
A.3 Plot zur Gegenüberstellung der Messreihen 2005 – 2007	26
A.4 Plot der Messreihen 2009/2020 mit Sinus-Approximation	27
A.5 Tagesmittelwerte, -minima und -maxima	30
Anhang B Protokoll des Laborversuchs	30

Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Gegenstand des Berichts ist die Untersuchung von Messreihen der Außentemperatur an zwei Messstationen am Gebäude ZIMT der Hochschule Bremen und an einer Bremer Sporthalle. Als Referenz werden Daten einer Bremer Station des Deutschen Wetterdienstes verwendet.

Aus den Messreihen wurden Ausreißer eliminiert und 10-Min.-Mittelwerte gebildet. Für drei Zeiträume in den Jahren 2005/2006, 2006/2007 und 2009/2010 wurde der Temperaturverlauf durch eine Sinusfunktion approximiert. Diese liefert Jahresmittelwerte, die hier zwischen 9,1 °C und 12,1 °C liegen, sowie mittlere Temperaturdifferenzen zwischen Sommer und Winter, hier zwischen 13,2 °C und 20,6 °C.

Bei der ZIMT-Wetterstation weichen diese Werte um mehr als 0,5 °C von den DWD-Daten ab. Diese Abweichung kann nur zum Teil auf Geräte-Messunsicherheiten und zufällige Messabweichungen zurückgeführt werden. Die Untersuchung der Tagesminimalwerte weist darauf hin, dass die Platzierung auf dem Gebäudedach zu einem systematischen Fehler der Messwerte führt. Bei Frost werden hier zu hohe Temperaturen ermittelt. Sie liegen um bis zu 2 °C über den Werten des DWD.

1 Hintergrund und Ziel des Versuchs

1.1 Gegenstand des Versuchs

In diesem Versuch werden Außentemperaturmessreihen verschiedener meteorologischer Messstationen ausgewertet und verglichen. Ziel ist es, die aufgenommenen Messdaten zu validieren, systematische Abweichungen zwischen den Messwerten der verschiedenen Stationen festzustellen und ggf. mögliche Ursachen dieser Abweichungen aufzuzeigen und zu diskutieren.

Der Bericht beschreibt die Messstationen und die vorliegenden Messreihen. Zur Auswertung werden die Jahresverläufe der Temperaturen durch Sinus-Funktionen approximiert und Tagesminimal-, -maximal- und mittelwerte bestimmt. Aus dem Vergleich mit Referenzdaten des Deutschen Wetterdienstes werden Aussagen über die Messabweichungen der betrachteten Messstationen abgeleitet.

1.2 Temperaturmessung in Wetterstationen

1.2.1 Widerstandstemperatursensoren

In meteorologischen Messstationen werden zur Temperaturmessung üblicherweise Pt-100 Widerstandstemperatursensoren eingesetzt. Diese bestehen aus einem Platinleiter, dessen Widerstand bei 0°C 100 Ω beträgt und mit der Temperatur nach einer in DIN EN 60751 (IEC 751) genormten Charakteristik ansteigt. Es gilt

$$\text{für } \vartheta > 0^\circ\text{C} : \quad R(\vartheta) = R_0 \cdot (1 + 3,9083 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \cdot \vartheta - 5,775 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-2} \cdot \vartheta^2),$$

$$\text{und für } \vartheta < 0^\circ\text{C} : \quad R(\vartheta) = R_0 \cdot (1 + 3,9083 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \cdot \vartheta - 5,775 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-2} \cdot \vartheta^2 - 4,183 \cdot 10^{-12} \text{ }^\circ\text{C}^{-4} \cdot (\vartheta - 100^\circ\text{C}) \cdot \vartheta^3)$$

DIN EN 60751 legt außerdem bestimmte Toleranzklassen fest:

$$\text{Klasse A:} \quad \Delta\vartheta = \pm(0,15^\circ\text{C} + 0,002 \cdot |\vartheta|) \quad (-100^\circ\text{C} \dots 450^\circ\text{C})$$

$$\text{Klasse B:} \quad \Delta\vartheta = \pm(0,30^\circ\text{C} + 0,005 \cdot |\vartheta|) \quad (-196^\circ\text{C} \dots 600^\circ\text{C})$$

Ein Pt-100 der Klasse A erlaubt damit z. B. bei 400°C eine Messung mit einer Unsicherheit von nur 0,95°C (siehe auch Abb. 1.1).

Für die Zwecke professioneller Wetterstationen werden Sensoren einer zusätzlich definierten Toleranzklasse "1/3 DIN" eingesetzt. Sie spezifiziert eine gegenüber der Klasse A nochmals verringerte Messunsicherheit, die nur 1/3 von derjenigen der Klasse B beträgt, allerdings auch nur in einem kleineren Temperaturbereich erfüllt sein muss [THIE10, JUMO01]:

$$1/3 \text{ DIN (Klasse B):} \quad \Delta\vartheta = \pm(0,10^\circ\text{C} + 0,0017 \cdot |\vartheta|) \quad (-70^\circ\text{C} \dots 250^\circ\text{C})$$

In der aktuellen Fassung der DIN EN 60751 ist hierfür die Klasse AA eingeführt.

Um mit Pt-100 Sensoren die Temperatur zu ermitteln, ist eine präzise Widerstandsmessung durchzuführen. Zum Einsatz kommen 3- und 4-Leiterschaltungen, die den Einfluss der Zuleitungen kompensieren.

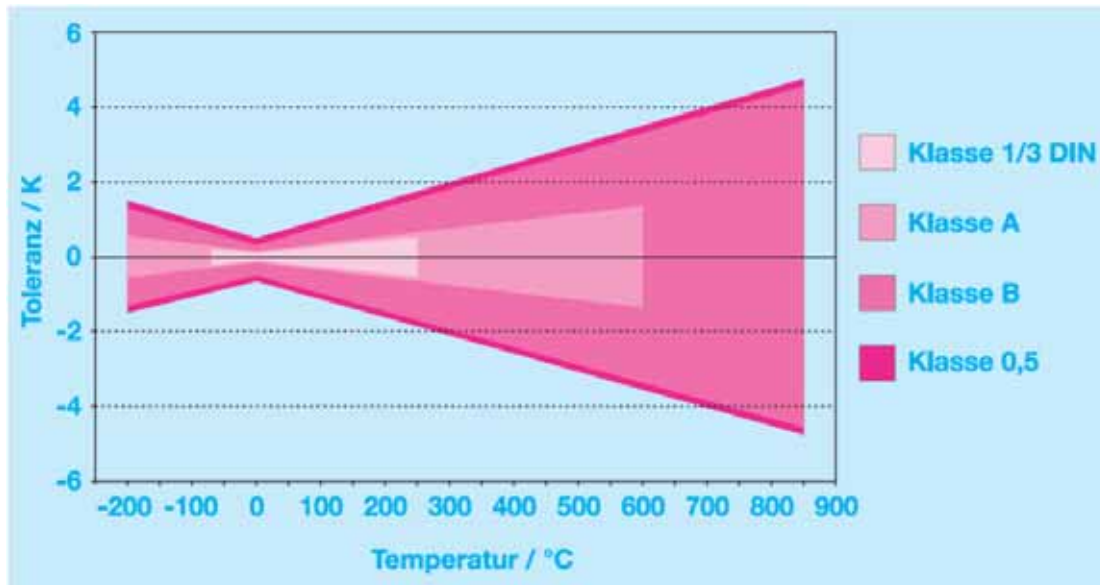


Abb. 1.1: Grenzabweichungen von Platin-Temperatursensorelementen [JUMO01]

1.2.2 Drei-Leiter-Schaltung

Gängige Verfahren zur Widerstandsbestimmung sind der Einsatz von Brückenschaltungen und die Verwendung von Konstantstromquellen. Die 3-Leiter-Schaltung ist in beiden Fällen anwendbar. Da allerdings in den hier gegebenen Messsystemen nur mit Konstantstrom gearbeitet wird, wird im Folgenden nur diese Variante erläutert.

Die 3-Leiter-Schaltung mit Konstantstromspeisung lässt sich durch folgendes Ersatzschaltbild darstellen:

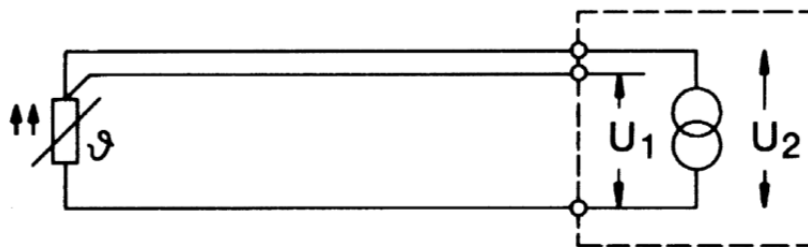


Abb. 1.2: Dreileiterschaltung mit Konstantstromspeisung (Quelle: [JUMO07])

Zu messen sind die Spannungen U_1 und U_2 . Während bei einer Zwei-Leiter-Messung nur die Spannung U_2 zur Verfügung stünde, in der die Spannungsabfälle über Hin- und Rückleiter enthalten sind und zu einem entsprechenden Messfehler führen, werden bei der 3-Leiter-Schaltung diese Spannungsabfälle wie folgt herausgerechnet:

$$R_g = \frac{2U_1 - U_2}{I_s},$$

wobei I_s den konstanten Strom der Stromquelle bezeichnet.

Weisen Hin- und Rückleiter unterschiedliche Widerstände auf, so verbleibt eine Abweichung des ermittelten Widerstandswerts in Höhe der Differenz dieser Leitungswiderstände.

1.2.3 Vier-Leiter-Schaltung

Der zuletzt genannte Nachteil der 3-Leiter-Schaltung wird durch die 4-Leiter-Schaltung vermieden. Sie lässt sich durch folgendes Ersatzschaltbild darstellen:

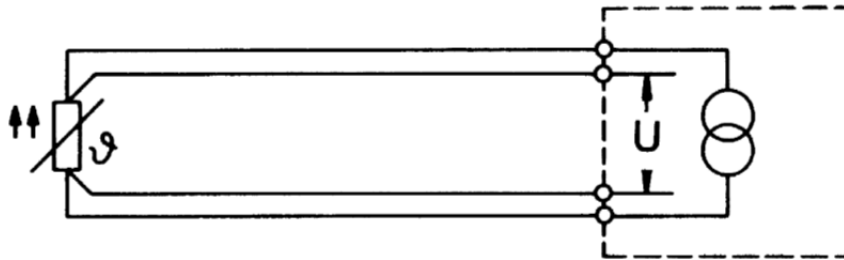


Abb. 1.3: Vierleiterschaltung (Quelle: [JUMO07])

Mit einem zusätzlichen Leiterpaar wird hier direkt die Spannung über dem temperaturabhängigen Widerstand gemessen.

$$R_g = \frac{U}{I_s}$$

Verbleibende Fehlereinflüsse sind die Parallelschaltung des Innenwiderstands der Spannungsmessung zum Pt-100-Widerstand und der Spannungsabfall auf den Messleitungen durch den Messstrom. Diese sind bei den im Versuch verwendeten Messschaltungen allerdings so gering, dass sie gegenüber den in Kap. 1.2.1 dargestellten Toleranzen vernachlässigt werden können.

2 Versuchsaufbau

2.1 Die Messstationen

2.1.1 Messstation ZIMT

Platzierung und Aufbau der Messstation am ZIMT sind in den Abbildungen 2.1 und 2.2 dargestellt. Der Mast, an dem mit Hilfe zweier Ausleger die Sensoren befestigt sind, steht auf einem Gitterrost, der sich ca. 10 cm über der Kies bedeckten Gebäudedecke befindet. Im Bild weiter rechts von der markierten Stelle, an der sich der Mast befindet, überdeckt dieser Rost die Lüftungsanlagen des ZIMT. Die dort anfallende Abluft ist ein möglicher Störfaktor für die Temperaturmessung. Der Mast ist ca. 2 m hoch, der Temperatursensor befindet sich in einer Höhe von ca. 1,2 m.

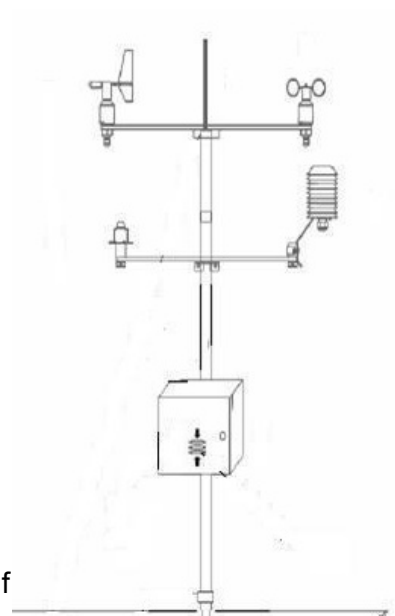


Abb. 2.1: Platzierung der Außentemperaturmessung auf dem Dach des ZIMT-Gebäudes und Skizze des Messmastes

Insgesamt stehen an dieser Station die Messgrößen Solare Bestrahlungsstärke, Temperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und Windrichtung zur Verfügung, von denen in diesem Versuch aber nur die Temperatur ausgewertet wird.

Die für den Versuch relevanten Geräte sind demnach

Gerät	Typ	Spezifikation	Bemerkungen
Temperatursensor ("Hygro-Thermo-Geber Compact")	Pt-100 (Thies clima 1.1005.54.000)	Klasse 1/3 DIN	mit Wetterschutz
Datenerfassungs- und übertragungs-system	MeteoLOG TDL14 (Thies clima 9.1740.11.011)	10 analoge und 4 digitale Eingänge, 10 Bit ADU	IP 65, RS 232-LWL-Wandler

Der Temperatursensor entspricht den Anforderungen professioneller Wetterdienste. Wie bei meteorologischem Einsatz üblich, ist er durch ein Schutzgehäuse von direkter Sonnenstrahlung, Regen und Wind abgeschirmt.

Die Datenerfassungseinheit (siehe Abb. 2.3) befindet sich in einem wetterfesten Edelstahl-Gehäuse (Schutzart IP 65) am Messmast. Dadurch können die Zuleitungen zu den Sensoren sehr kurz gehalten werden, um so eine geringe Störanfälligkeit der Messsignale zu erreichen.

Die Messsignale werden mit einem 10 Bit-A/D-Wandler mit einer Abtastzeit von 1 s digitalisiert. Zur Verringerung des Datenvolumens kann eine Mittelwertbildung über Zeiträume zwischen 1 sec und 60 sec eingestellt werden. Im vorliegenden Fall wurde diese Zeit auf 60 sec festgelegt. Die digitalisierten und gemittelten Daten werden an einer seriellen Schnittstelle bereitgestellt.

Da in das Gebäude hinein eine Strecke von mehr als 10 m zu überbrücken ist und bei außen liegenden Leitungen ein hohes Zerstörungsrisiko für die angeschlossenen Geräte durch Blitzschlag besteht, wurde in die Datenerfassungseinheit ein RS232-LWL-Wandler integriert. So kann ein Lichtwellenleiter zur Datenübertragung in das Gebäude und auch zur weiteren Übertragung über das LWL-Netzwerk des ZIMT zum Brückenrechner im Labor INSA genutzt werden.



Abb. 2.2: Kombi-Sensor für Temperatur (Pt-100) und Feuchte im Schutzgehäuse



Abb. 2.3: Datenlogger Meteolog TDL14 (Thies clima GmbH)

2.1.2 Messstation an einer Sporthalle

Die zweite Messtation wurde im Zuge der Sanierung der Sporthalle des TV Bremen-Walle 1875 e.V. eingerichtet. Von dieser Station existieren Messreihen aus der Zeit vor und nach dem Umbau, so dass die sanierte, nach Passivhausstandard gedämmte Halle mit dem Alzustand verglichen werden kann.

Auch hier ist der Außentemperatursensor auf dem Dach an einem etwa 1m langen Mast installiert (siehe Foto). Es handelt sich um den gleichen Sensortyp des gleichen Herstellers wie bei der ZIMT-Messstation.



Abb. 2.4: Sporthalle nach dem Umbau mit Außentemperaturmessung, PC-Messsystem mit unterbrechungsfreier Stromversorgung und Anschlussbox CA-1000

Für die Messdatenerfassung wird an der Sporthalle ein PC-gestütztes Messsystem eingesetzt. Neben dem PC, der zur Datenarchivierung und zur Datenübertragung auf einen Server der Hochschule Bremen dient, besteht das Messdatenerfassungssystem aus folgender Hard- und Software der Firma National Instruments:

Gerät	Typ	weitere Spezifikation	Bemerkungen
Anschlussbox	CA-1000		
Anschlusseinheit, Klemmenblock	SC-2042 RTD	8 Anschlüsse für Pt-100, Konstantstromspeisung	siehe Abb. 2.5
Datenerfassungskarte PCI-Multi-I/O	PCI-DAQ 6014	8 differentielle analoge Eingänge, 16 Bit, Abtastrate max. 200 kHz	
Messdatenerfassungs- und verarbeitungssoftware	LabView V8.6 (V7.1 vor dem Umbau)		VI-Erstellung: [EYKU04]

Die Anschlussbox CA-1000 beinhaltet den Klemmenblock SC-2042 RTD mit Konstantstromquellen und Eingangsklemmen für den Anschluss von bis zu 8 Pt-100 Temperaturfühlern in 3- oder 4-Leiterschaltung sowie weitere Anschlussklemmen und

Signalaufbereitungsmodule, die speziell für diese Anwendung entwickelt wurden. Abbildung 2.5 zeigt Aufbau und Verdrahtung in der Anschlussbox im Detail.

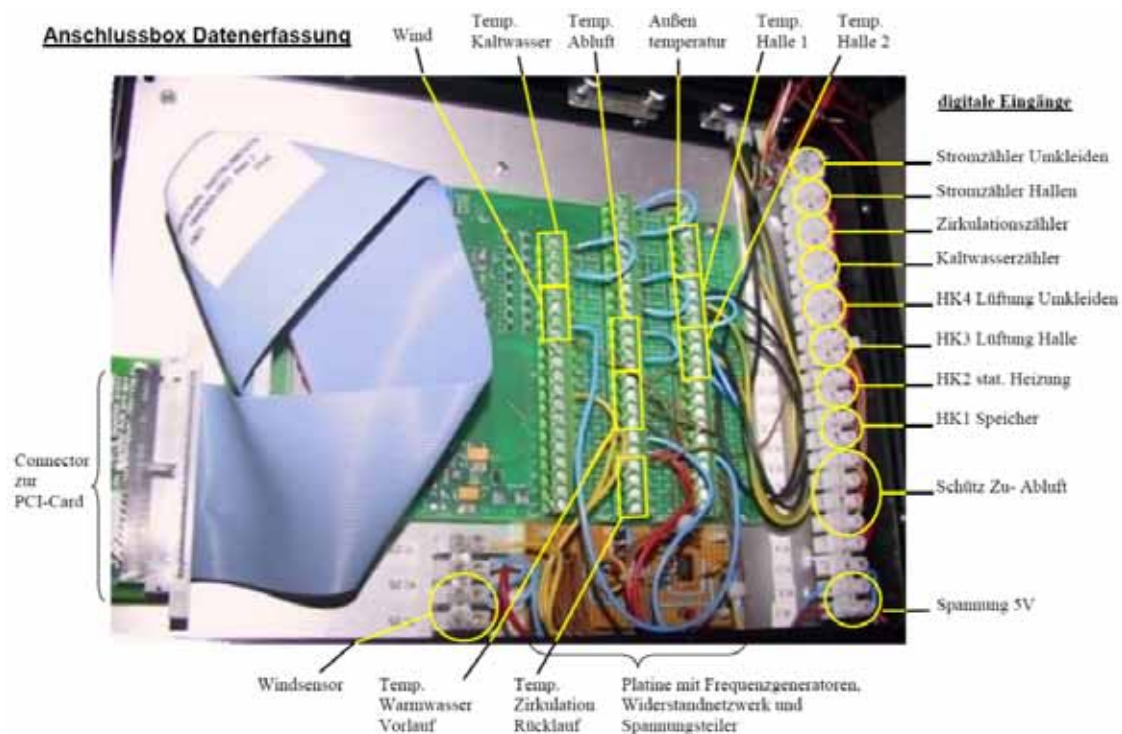


Abb. 2.5: Anschlussbox zum Anschluss der Sensorik an das PC-Messsystem

2.1.3 Messunsicherheit der Messsysteme

Zur Messunsicherheit der Messeinrichtung an den beiden Stationen tragen die eingesetzten Sensoren, die Signalaufbereitung und die Digitalisierung bei. Anhand der Datenblätter lassen sich diese Messabweichungen quantifizieren.

Messstation ZIMT

Die Messabweichung des Pt-100 – Sensorelementes ist durch die Toleranzklasse 1/3 DIN gegeben und beträgt $\Delta \vartheta = \pm(0,10 \text{ °C} + 0,0017 \cdot |\vartheta|)$.

Zur Toleranz der Stromquelle und der Spannungsmessung enthält das Datenblatt des Datenloggers TDL14 keine Angaben. Für den A/D-Wandler gibt es die Angabe "Messgenauigkeit: $\pm 0,2\%$ der Messspanne". Bei Annahme eines Messbereichs zwischen -50 °C und 100 °C entspricht dies einer Messabweichung von $\Delta \vartheta = 0,3 \text{ °C}$.

Für die Messunsicherheit des Messsystems erhält man somit (vergl. [SCHR08], S. 43)

$$\Delta \vartheta_z = \sqrt{\left(0,1 \text{ °C} + \frac{0,17 \cdot |\vartheta|}{100 \text{ °C}}\right)^2 + (0,3 \text{ °C})^2}. \quad (2.1)$$

Sie kann für den hier relevanten Temperaturbereich hinreichend genau durch

$\Delta \vartheta_z \approx 0,34 \text{ °C}$ abgeschätzt werden.

Messstation Sporthalle

Für das Pt-100 – Sensorelement gilt auch hier $\Delta \vartheta = \pm(0,10 \text{ }^{\circ}\text{C} + 0,0017 \cdot |\vartheta|)$.

Die Stromquellen der Anschlusseinheit SC-2042 RTD, liefern den Strom $I = 1 \text{ mA}$, dessen Toleranz mit 0,09% angegeben ist.

Für die Temperaturmessung wird an der Datenerfassungskarte DAQ 6014 der Eingangsspannungsbereich auf $\pm 0,5\text{V}$ festgelegt. Die "Aquisition accuracy" ist hier mit 0,07% vom Messwert angegeben. Außerdem sind Offset ($115,8 \text{ } \mu\text{V}$) sowie "Noise+Quantization" ($56,2 \text{ } \mu\text{V}$) angegeben.

Für die Messspannung ergibt sich insgesamt somit eine Toleranz der Größe

$$\Delta U_m = \sqrt{(9 \cdot 10^{-4} \cdot U_m)^2 + (7 \cdot 10^{-4} \cdot U_m)^2 + (115,8 \text{ } \mu\text{V})^2 + (56,2 \text{ } \mu\text{V})^2} \quad \text{bzw.}$$

$$\frac{\Delta U_m}{U_m} = \sqrt{1,3 \cdot 10^{-6} + \left(\frac{128,72 \text{ } \mu\text{V}}{U_m} \right)^2}$$

Bei $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($U_m = 100 \text{ mV}$) beträgt die Messunsicherheit der Signalaufbereitung und -wandlung somit etwa 0,172%, absolut also ca. $172 \text{ } \mu\text{V}$.

Die Steigung der Kennlinie $\vartheta(U_m)$ beträgt etwa $\frac{1}{0,39} \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{mV}}$, so dass $\Delta U_m = 172 \text{ } \mu\text{V}$ einer Temperaturabweichung $\Delta \vartheta \approx 0,44 \text{ }^{\circ}\text{C}$ entspricht.

Mit dieser Abschätzung – die exakte Berechnung mittels Fehlerfortpflanzung würde hier zu weit führen – ergibt sich die Messunsicherheit dieses Messsystems zu

$$\Delta \vartheta_s = \sqrt{\left(0,1^{\circ}\text{C} + \frac{0,17 \cdot |\vartheta|}{100^{\circ}\text{C}} \right)^2 + (0,44^{\circ}\text{C})^2}. \quad (2.2)$$

Sie kann für den hier relevanten Temperaturbereich hinreichend genau durch

$\Delta \vartheta_s \approx 0,47^{\circ}\text{C}$ abgeschätzt werden, ist also um $0,13^{\circ}\text{C}$ größer als bei der ZIMT-Wetterstation.

2.2 Messdatenarchivierung

Die Daten beider Messstationen werden auf einen Server der Hochschule übertragen und dort im CSV-Format in Dateien, die jeweils die Daten eines Tages enthalten, archiviert. Die Dateiformate werden im Folgenden erläutert.

2.2.1 Daten der ZIMT-Messstation

Für die ZIMT-Messstation liegen beispielsweise die Daten des 2.4.2010 in der Datei '20100402.DAT' wie folgt vor:

```
2.4.2010;00:00:00;1.75;31.21;2.70;80.35;22.07;
2.4.2010;00:01:00;1.83;43.22;2.70;80.25;22.03;
2.4.2010;00:02:00;1.31;41.72;2.70;80.20;22.00;
2.4.2010;00:03:00;1.09;24.82;2.70;80.29;22.12;
2.4.2010;00:04:00;1.26;26.24;2.65;80.42;21.87;
2.4.2010;00:05:00;1.49;14.04;2.60;80.50;21.89;
2.4.2010;00:06:00;1.56;21.34;2.60;80.55;21.67;
2.4.2010;00:07:00;1.51;33.05;2.60;80.60;21.62;
```

...

Die Daten werden hier zu jeder vollen Minute gespeichert. Dies ergibt 1440 Datensätze pro Tag. Jeder Datensatz beinhaltet Datum, Uhrzeit, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Außentemperatur, Feuchte und Solare Bestrahlungsstärke.

2.2.2 Messdaten der Sporthalle

Für den gleichen Tag liegen die Daten der Sporthalle in der Datei '2010-04-02.dat' wie folgt vor:

```
04/02/2010, 00:00:12      3,14 18,49      19,22      21,52
      48,46      45,60      14,45      0,00 129160,00 104102,00
      428910,00 160116,00 4635,27      21019,33 9600,94
      2152,58      0,00 0,00 15301,25 6005,86
04/02/2010, 00:00:22      3,26 18,44      19,21      21,52
      48,61      45,78      14,47      0,00 129160,00 104102,00
      428910,00 160116,00 4635,27      21019,33 9600,94
      2152,58      0,00 0,00 15301,26 6005,86
04/02/2010, 00:00:32      3,26 18,44      19,21      21,52
      48,61      45,78      14,47      0,00 129160,00 104102,00
      428910,00 160117,00 4635,27      21019,33 9600,94
      2152,58      0,00 0,00 15301,27 6005,86
```

...

Die einzelnen Datensätze sind hier deutlich umfangreicher. Sie beginnen mit Datum, Uhrzeit, Außentemperatur und Innentemperatur (zwei Messstellen). Die weiteren Messgrößen betreffen das Warmwassersystem, die Heizkreise und Stromzählerstände.

Das Aufzeichnungsintervall beträgt hier 10 Sekunden, so dass insgesamt 8640 Datensätze pro Tag anfallen.

3 Versuchsdurchführung

Die Versuchsdurchführung umfasst vorbereitende Arbeiten und die Durchführung der eigentlichen Auswertungen.

Zur Vorbereitung wurden zunächst unter Matlab alle verfügbaren Daten mit Hilfe vorgegebener M-Scripts aus den CSV-Dateien eingelesen und in Matlab-Arrays übertragen.

Diese Rohdaten wurden zunächst grafisch dargestellt, um einen Überblick zu erhalten. Dabei zeigte sich, dass die Messreihen Ausreißer aufweisen. Diese wurden eliminiert, anschließend wurden die Messreihen zu 10-Minuten-Mittelwerten verdichtet (siehe Kap. 4.1).

Um zusätzliche Vergleichsmöglichkeiten zu gewinnen, wurden Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) vom Standort Bremen, die im Internet zur Verfügung gestellt werden, als Referenz hinzugezogen¹. Hierbei handelt es sich allerdings nur um Tageswerte (Minimum, Mittelwert, Maximum), die aber ohne Unterbrechung für den gesamten hier interessierenden Zeitraum vorliegen. Die Daten wurden zunächst in eine ASCII-Textdatei übertragen und mit einem Matlab-Script eingelesen und gespeichert (siehe Anlage A.2). Abbildung 3.1 zeigt eine Übersicht.

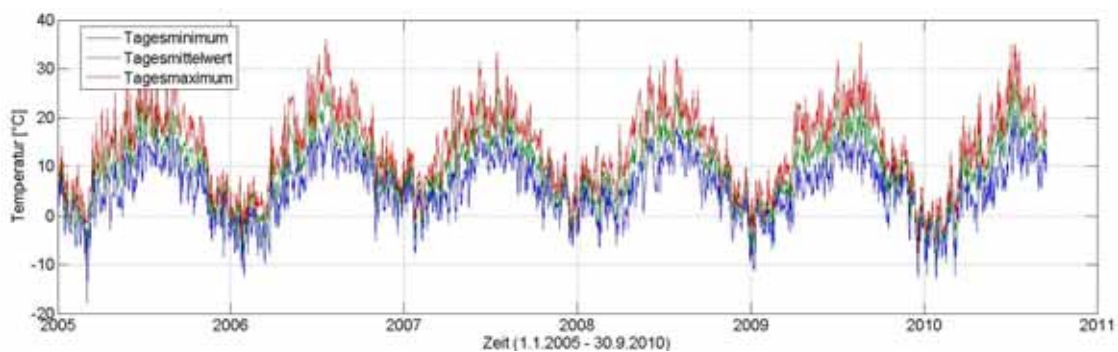


Abb. 3.1: Tagesdaten der Außentemperatur der DWD-Messstation Bremen

Mit den so bereinigten, verdichteten und ergänzten Daten wurden die weiteren Auswertungen entsprechend dem Versuchsziel durchgeführt:

- Auswahl geeigneter Ausschnitte aus den Messreihen,
- Approximation des Jahresgangs der Temperaturen durch Sinus-Funktionen,
- Bestimmung und vergleichende Gegenüberstellung von Tagestiefst-, -mittel- und -höchstwerten,
- Identifikation systematischer Abweichungen.

Diese Aufgaben wurden ebenfalls mit Hilfe von Matlab bearbeitet. Weitere Erläuterungen finden sich jeweils in der Darstellung der einzelnen Auswertungen.

¹ www.dwd.de → "Leistungen A-Z" → "Freie meteorologische Informationen" → "Frei zugängliche Klimadaten" → "Tageswerte" (Abruf: 17.9.2010)

4 Auswertung der Temperaturmessreihen

4.1 Verfügbare Daten, Bereinigung, 10-Min.-Mittelwerte

4.1.1 Sichtung und Plausibilisierung der vorhandenen Daten

Die Datenbasis für die folgenden Untersuchungen besteht aus

- 1.) Daten der Sporthalle im Altzustand von 01-2005 bis 07-2007
- 2.) Daten der sanierten Sporthalle von 09-2009 bis 09-2010
- 3.) Daten der ZIMT-Wetterstation von 10-2006 bis 09-2010

Eine Übersicht der Daten aus 1.) – 3.) zeigen die Abbildungen 4.1a – 4.1c.

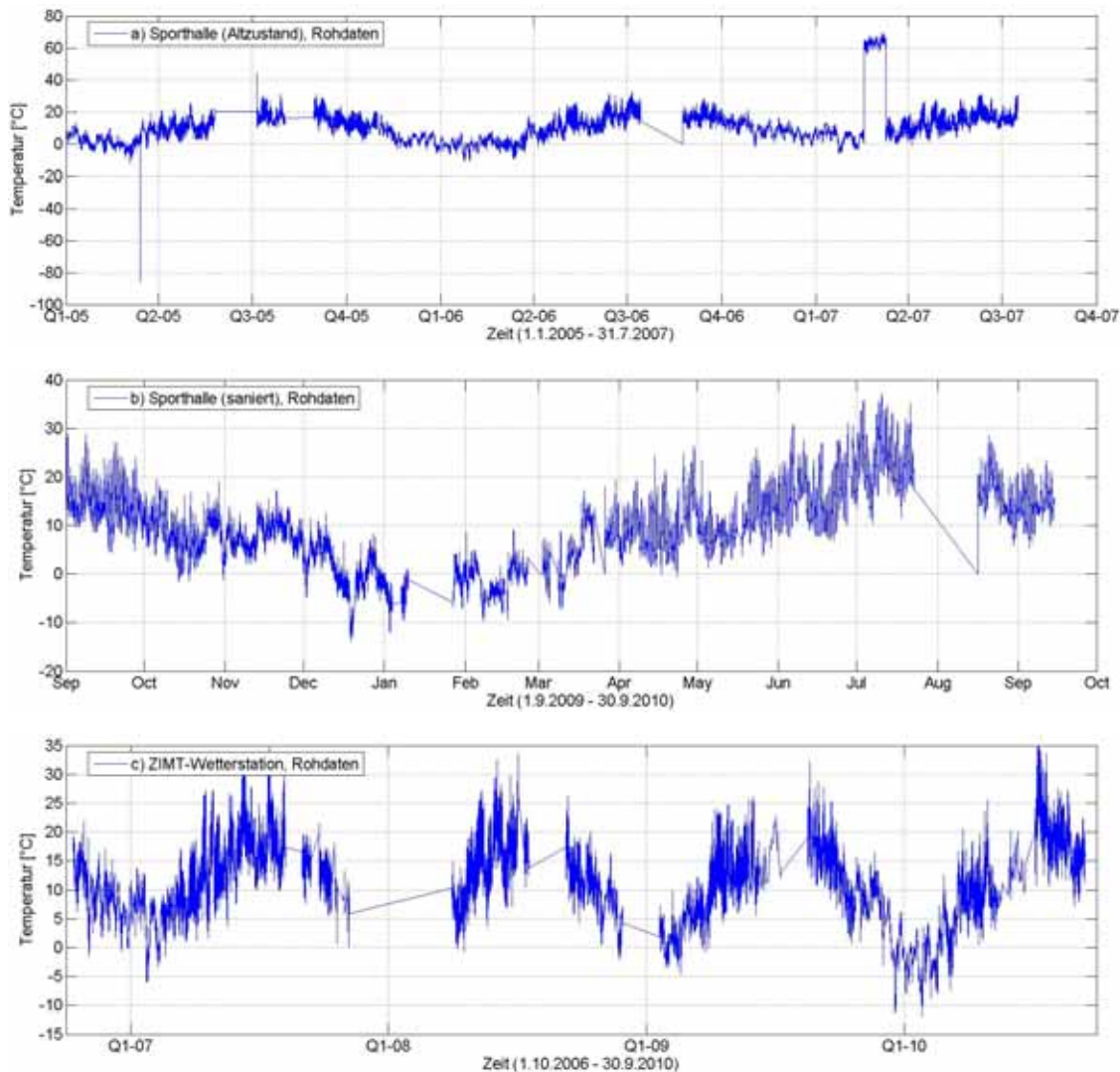


Abb. 4.1: Außentemperatur-Messreihen, a) Sporthalle im Altzustand, b) Sporthalle saniert, c) ZIMT-Wetterstation

Die Datenreihen weisen einzelne Unterbrechungen auf, teilweise über mehrere Wochen. Außerdem treten Ausreißer auf, die vor der weiteren Arbeit mit den Datenreihen beseitigt bzw. korrigiert werden müssen (vergl. [MEVE10], Kap. 4.3.3 "Grobe Fehler").

Zur Lokalisierung einzelner Ausreißer wurde die Steigung zwischen aufeinander folgenden Werten bestimmt, und Werte, bei denen die Steigung einen Schwellwert von 5°C/min überstieg, wurden eliminiert. Für die Wetterstation, deren Daten unter Matlab als Array "ws_data" mit der Zeit in der ersten Spalte und der Temperatur in der 4. Spalte vorliegen, leisten dies die folgenden Matlab-Zeilen:

```
dTemp = diff(ws_data(:,4));
dt     = diff(ws_data(:,1))*86400/60; % Abtastintervall 1 Minute
iaus   = find(abs(dTemp./dt)>5);
ws_data(iaus,:) = [];
```

Die Datenreihe 1.) der Sporthalle im Altzustand (Abb. 4.1a) weist im ersten Quartal 2007 über längere Zeit einen Offset von 60 °C auf. Dies wurde wie folgt korrigiert:

```
it = find(Temp1875(:,2)>55);
Temp1875(it,2) = Temp1875(it,2) - 60;
```

4.1.2 10-Minuten-Mittelwerte

Die Datenreihen liegen in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung vor. Die Abtastintervalle betragen in 1.) und 2.) 10 Sekunden und in 3.) eine Minute. Um die Zeitachsen anzugleichen und das zu handhabende Datenvolumen zu verringern wurden für alle drei Messstellen die Daten auf 10-Min.-Mittelwerte verdichtet. Für die Wetterstation ist das entsprechende Matlab-Script in Anhang A.1 dargestellt. Das Programm für die Daten der Sporthalle ist weitgehend identisch.

Wegen der Unregelmäßigkeit der Zeitachsen aufgrund der diversen Unterbrechungen kann diese Mittelwertbildung in Matlab nicht einfach in vektorisierter Form vorgenommen werden. Stattdessen wurde ein Matlab-Programm mit doppelter While-Schleife für diesen Zweck erstellt.

Die Daten stehen damit für die folgenden Untersuchungen jeweils in 2-spaltigen Matlab-Arrays zur Verfügung, wobei die erste Spalte die Zeitachse im Matlab-Zeitformat mit 10 Min.-Intervallen enthält und die zweite die 10 Minuten-Mittelwerte der gemessenen Außentemperaturen. Die Variablen und ihre Größe zeigt das Matlab-Kommando "whos":

```
>> whos
```

Name	Size	Bytes	Class
Temp1875_10M	44872x2	717952	double array
Temp1875a_10M	116501x2	1864016	double array
ws_Temp_10M	140923x2	2254768	double array

4.2 Auswahl geeigneter Ausschnitte aus den Messreihen

Eine grobe zeitliche Unterteilung der verfügbaren Messreihen ist dadurch vorgegeben, dass bei der Sporthalle der Altzustand (2005 – 2007) und der sanierte Zustand (2009 – 2010) unterschieden werden. In den Abbildungen 4.2 und 4.3 sind deshalb zunächst die verfügbaren Messreihen nach diesen Zeiträumen getrennt gegenübergestellt.

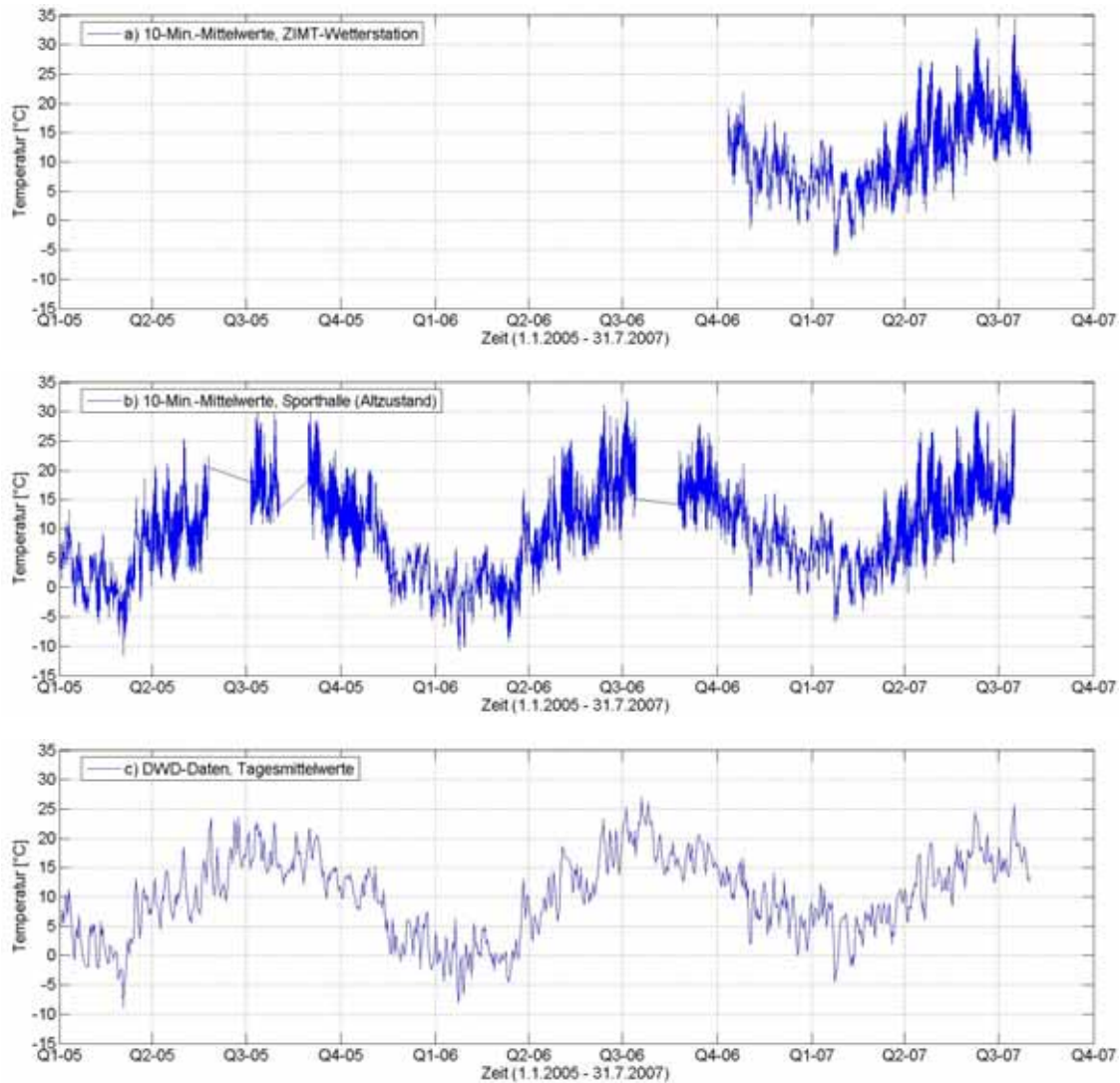


Abb. 4.2: Messwerte der Außentemperatur von ZIMT, Sporthalle und DWD in der Zeit vom 1.1.2005 bis 31.7.2007

Die ZIMT-Wetterstation wurde erst im Oktober 2006 in Betrieb genommen, die Messungen für den Altzustand der Sporthalle wurden im Juli 2007 beendet. Ein Vergleich aller Datenquellen ist deshalb nur für die Zeit vom 15.10.2006 bis 15.7.2007 möglich. von Januar 2005 bis Sommer 2006 ist nur ein Vergleich der Sporthallendaten mit denen des DWD möglich.

Im Zeitraum von September 2009 bis September 2010 weisen sowohl die Messungen der ZIMT-Messstation als auch die an der Sporthalle Unterbrechungen auf, die aber die weitere Auswertung wenig beeinträchtigen (Abb. 4.3).

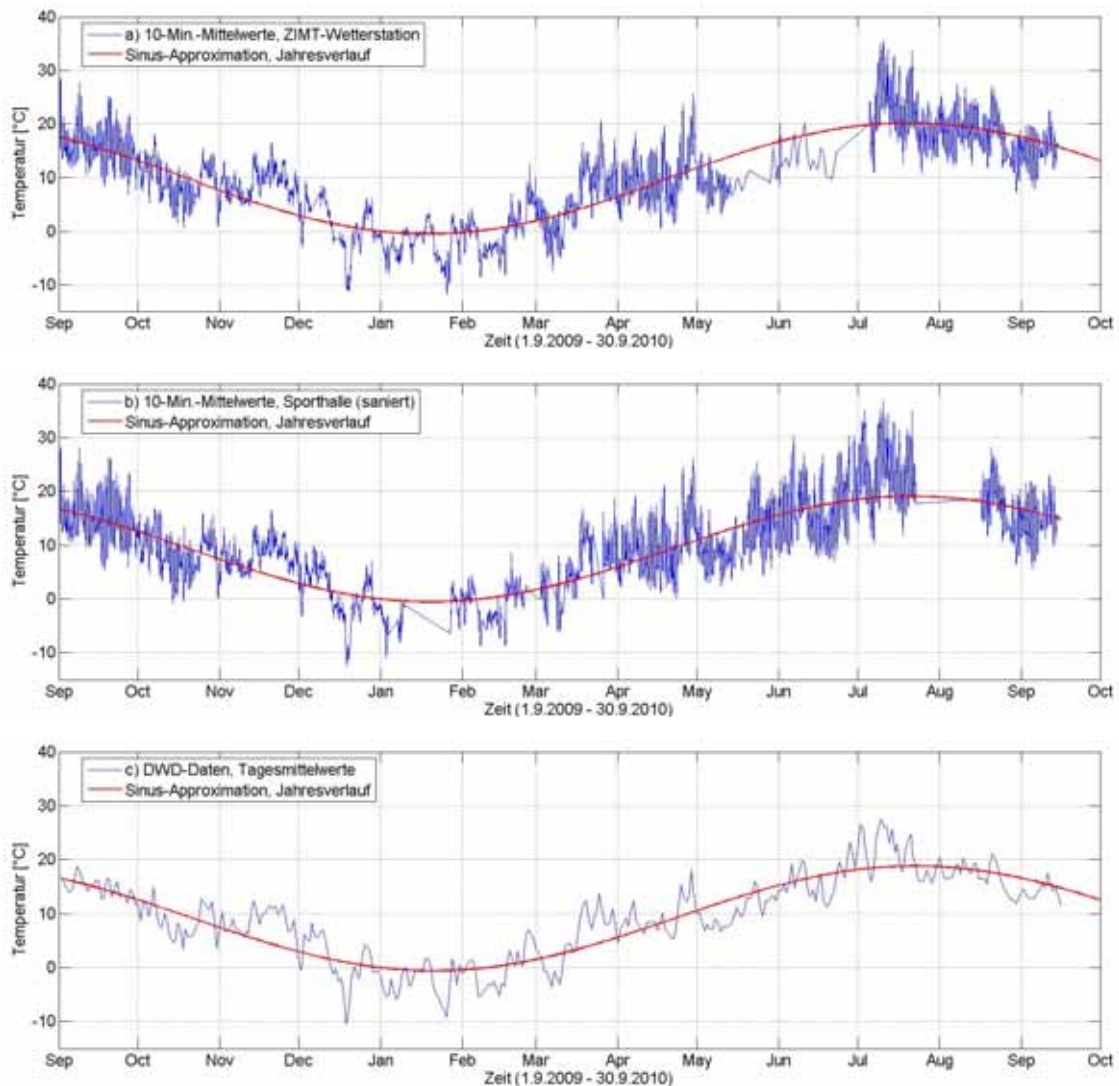


Abb. 4.3: Außentemperatur von ZIMT, Sporthalle und DWD vom 1.9.2009 bis 30.9.2010 (zur Sinus-Approximation des Jahresgangs siehe Kap. 4.3)

4.3 Approximation der Jahresverläufe durch Sinuskurven

4.3.1 Mittelwerte und Amplituden in 3 Untersuchungszeiträumen

Die in den Abbildungen 4.2 und 4.3 dargestellten Messreihen lassen sich, jeweils über ein Jahr betrachtet, durch sinusförmige Verläufe approximieren. Mit dem Ansatz

$$\vartheta(t) = \vartheta_{JM} + \vartheta_{\max} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{365} \cdot t + \varphi\right),$$

der entsprechend dem Matlab-Zeitformat eine Zeitskalierung in Tagen voraussetzt, wurden Kurvenapproximationen mit Hilfe der freien Matlab-Toolbox EZYFIT für die Zeiträume 01/2005 – 06/2006, 10/2006 – 07/2007 und 09/2009 – 09/2010 durchgeführt (siehe Anlage A.4). Die Approximation für den letztgenannten Zeitraum ist oben in Abb. 4.3 zu sehen. Die Temperaturverläufe und Approximationen für die anderen beiden Zeiträume sind in den Abbildungen 4.4 und 4.5 dargestellt.

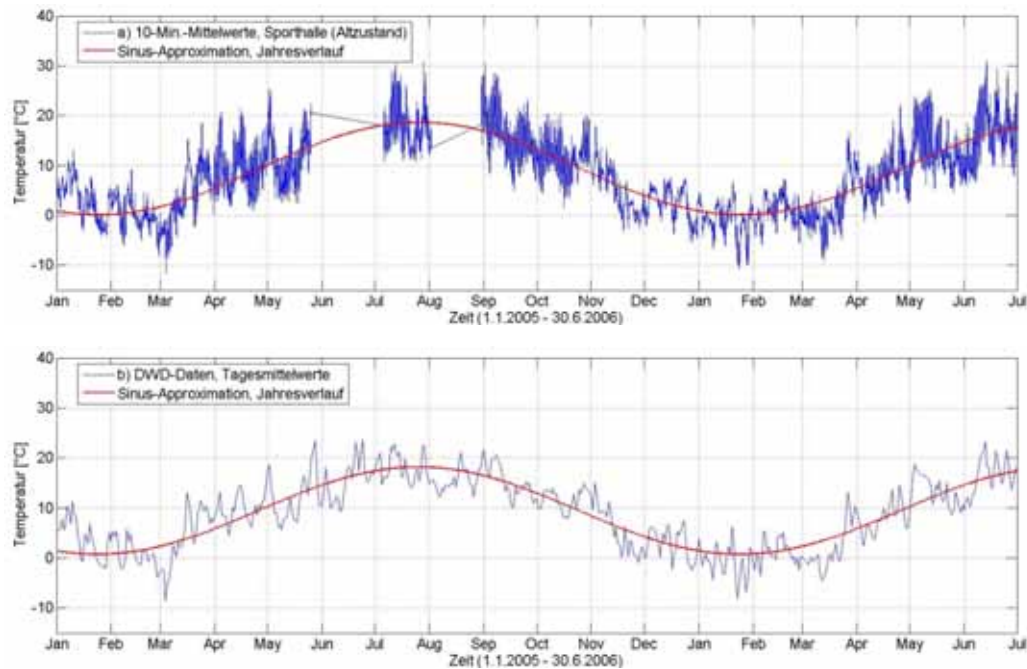


Abb. 4.4: Außentemperatur von Sporthalle und DWD vom 1.1.2005 bis 30.6.2006 mit Sinus-Approximation

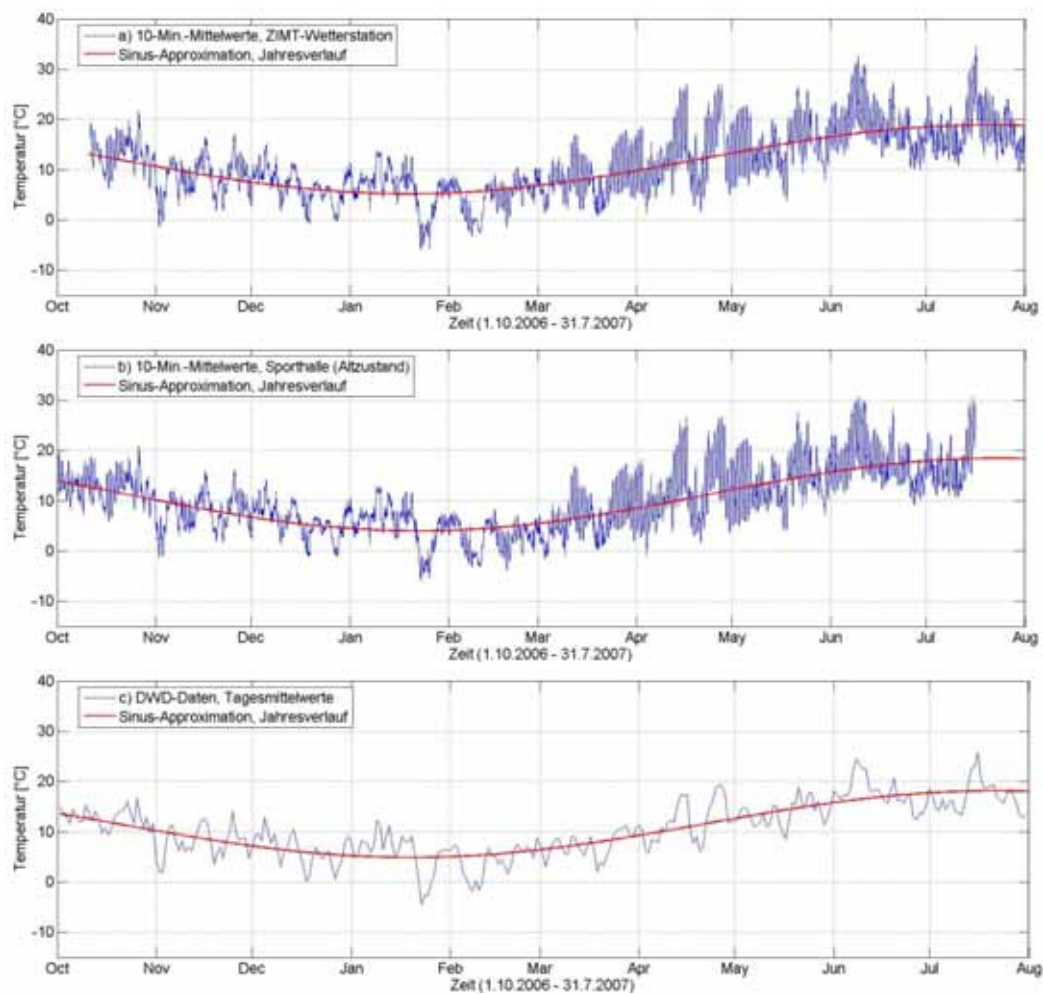


Abb. 4.5: Außentemperatur von ZIMT, Sporthalle und DWD vom 1.10.2006 bis 31.7.2007 mit Sinus-Approximation

Das M-Script (Anlage A.4) gibt die Werte der gefundenen optimalen Parameter im Matlab-Workspace aus. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle aufgeführt. Δg_{JM} und Δg_{\max} bezeichnen dabei jeweils die Abweichungen von den aus DWD-Daten berechneten Werten. Der Phasenwinkel wird hier nicht ausgewertet.

Tabelle 4.1: Jahresmittelwerte und Sommer-Winterunterschied aus der Approximation

Zeitraum	Station	g_{JM} [°C]	Δg_{JM} [°C]	$\Delta g_{JM} / g_{JM}$ [%]	g_{\max} [°C]	Δg_{\max} [°C]	$\Delta g_{\max} / g_{\max}$ [%]
2005 - 2006	DWD	9,451	-	-	8,723	-	-
2005 - 2006	TV1875	9,353	-0,098	-1,04	9,279	0,556	6,37
2006 - 2007	DWD	11,503	-	-	6,622	-	-
2006 - 2007	ZIMT	12,062	0,559	4,86	6,848	0,226	3,41
2006 - 2007	TV1875	11,231	-0,272	-2,36	7,237	0,615	9,29
2009 - 2010	DWD	9,113	-	-	9,709	-	-
2009 - 2010	ZIMT	9,782	0,669	7,34	10,295	0,586	6,04
2009 - 2010	TV1875	9,267	0,154	1,69	9,812	0,103	1,06

4.3.2 Jahresmittelwerte

Die Sinus-Approximation liefert mit g_{JM} ein Maß für den Jahresmittelwert der Temperatur, ohne dass tatsächlich Temperaturwerte über einen Zeitraum von genau einem Jahr zugrunde gelegt werden müssten.

Bei der Sporthalle ergeben sich Abweichungen vom DWD-Referenzwert von etwa -0,1 °C (-1%), -0,27 °C (-2,4%) und 0,15 °C (1,7%) in den betrachteten Zeiträumen. Diese Abweichungen liegen im Rahmen der in Kap. 2.1.3 berechneten Messunsicherheit des Messsystems dieser Station.

Für die Messstation am ZIMT betragen die Abweichungen vom DWD-Referenzwert 0,56 °C (ca. 4,9%) und 0,67 °C (7,3%). Diese Abweichungen sind deutlich größer als die berechnete Messunsicherheit von 0,34 °C. Es müssen also weitere Fehlerinflüsse vorliegen.

Der zufällige Fehleranteil kann aus der Standardabweichung der Temperaturen in den 10-Minuten-Mittelungsintervallen abgeschätzt werden, wenn man unterstellt, dass sich die Außentemperatur in einem so kurzen Zeitraum nicht wesentlich ändert. Diese Standardabweichung liegt bei der ZIMT-Messstation im Mittel unter 0,1 °C und bei der Sporthalle unter 0,2 °C².

Die Berechnung des Jahresmittelwertes stützt sich jeweils auf eine große Zahl von Messwerten (zwischen 4000 und 7000). In den zufälligen Anteil der Messabweichung geht diese Anzahl mit $1/\sqrt{N}$ ein. Er kann hier somit vernachlässigt werden. Welche weiteren systematischen Fehler vorliegen könnten, wird in Kapitel 4.4 untersucht.

² vorgegeben, Bestimmung und Darstellung ist nicht Gegenstand dieses Berichts

4.3.3 Unterschied Sommer – Winter

Aus Tabelle 4.1 ergeben sich für die verschiedenen Messstationen und Zeiträume mittlere Amplituden ϑ_{\max} der Temperaturänderungen im Jahresverlauf zwischen 6,6 °C und 10,3 °C. Das Doppelte dieses Wertes, $2 \cdot \vartheta_{\max}$, ist ein Maß für den mittleren Temperaturunterschied zwischen Sommer und Winter.

Die Abweichungen von den als Referenz aus den DWD-Messreihen ermittelten Werten sind hier größer als bei den Mittelwerten. Sie liegen bei der Sporthalle zwischen 0,1 °C (1,1%) und 0,62 °C (9,3%) und beim ZIMT zwischen 0,23 °C (3,4%) und 0,59 °C (6%).

4.4 Tagestiefst-, -mittel- und höchstwerte

Zur weiteren Untersuchung, ob durch die Platzierung oder andere Einflüsse systematische Messabweichungen bei den Messstationen entstehen, werden Tagesmittelwerte, -minima und –maxima aus den Messreihen berechnet. Die Matlab-Funktion dieser Berechnung ist in Anhang A.5 dokumentiert.

In den Abbildungen 4.6 und 4.7 sind die genannten Werte für Frostperioden im Februar 2005 und Februar 2009 dargestellt.

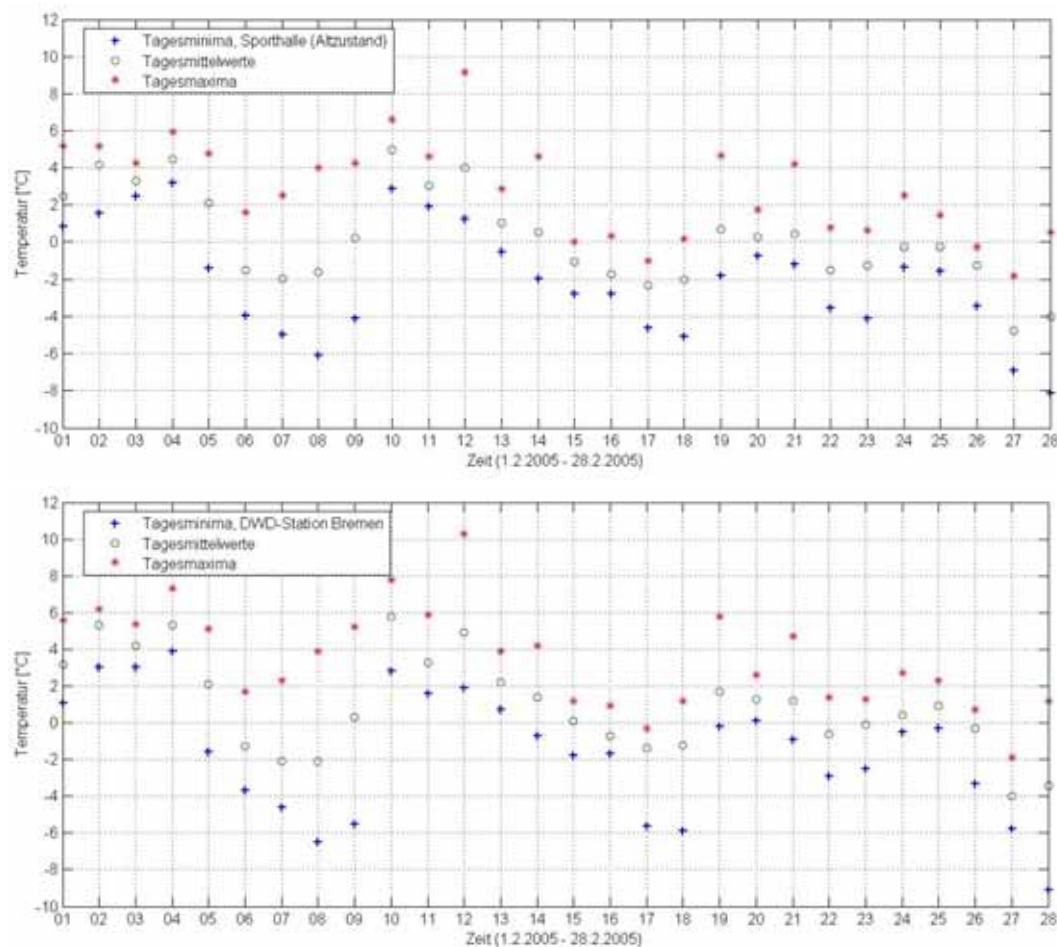


Abb. 4.6: Tageswerte der Außentemperatur (Minimum, Mittelwert, Maximum) von Sporthalle und DWD im Februar 2005

Der Vergleich der besonders niedrigen Tiefsttemperaturen in Abb. 4.6 (Februar 2005) ergibt an der Sporthalle an mehreren Tagen höhere Werte als an der DWD-Messstation. So liegen die Minimalwerte am 9., 17., 18. und 28. dieses Monats zwischen 1 und 2 °C höher. In Phasen weniger tiefer Temperaturen treten dagegen an der Sporthalle auch niedrigere Tiefsttemperaturen auf als an der DWD-Station.

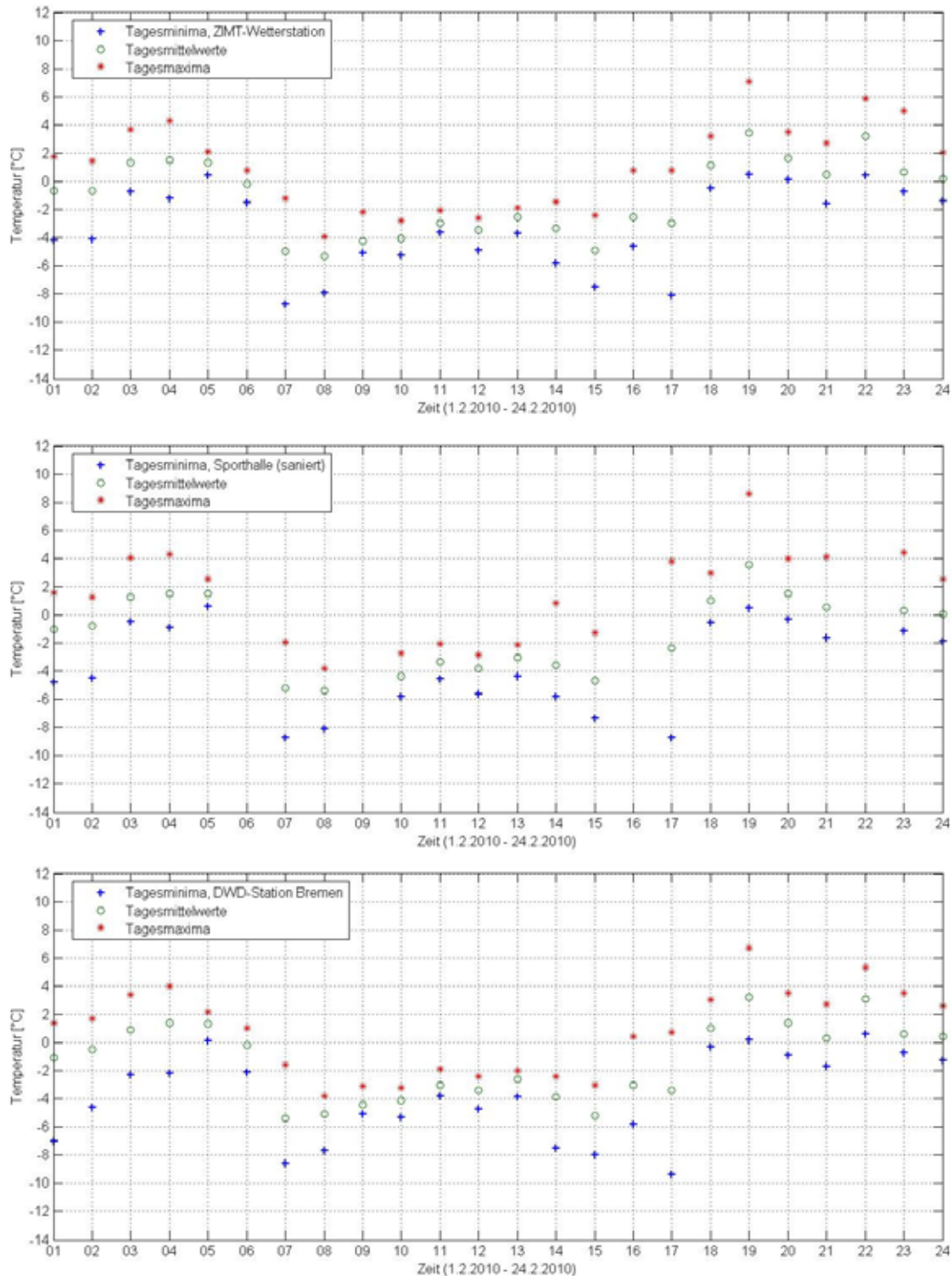


Abb. 4.7: Tageswerte der Außentemperatur (Minimum, Mittelwert, Maximum) von ZIMT, Sporthalle und DWD im Februar 2010

Auf dem Dach der sanierten Halle weichen die Tagestiefstwerte im Februar 2010 nur wenig (weniger als $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) von den DWD-Werten ab (siehe Abb. 4.7). Beim ZIMT treten dagegen wie bei der Halle im Altzustand an einigen Tagen größere Abweichungen von den DWD-Werten auf. Am 1., 3., 14., 16. und 17. dieses Monats wurde am ZIMT eine um mindestens $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ zu hohe Temperatur gemessen.

Dass diese Differenzen besonders bei sehr niedrigen Außentemperaturen und nur an der alten Sporthalle und beim ZIMT auftreten, weist darauf hin, dass die Anbringung der Temperaturmessung auf dem Gebäudedach für die Abweichungen verantwortlich sein könnte. Bei dieser Platzierung ist bei schlecht gedämmten Dächern in Frostperioden damit zu rechnen, dass aufgrund der Verlustwärme der Gebäude zu hohe Temperaturen gemessen werden.

Dies anhand weiterer Ausschnitte der Messreihen und anderer Untersuchungsmethoden im Detail zu belegen und zu quantifizieren, ist im Rahmen dieses Versuchs nicht mehr vorgesehen.

Quellen

- [EYKU04] Jens Eyßler, Martin Kuhn, "Erfassung und Aufbereitung von Energieverbrauchsdaten einer Sporthalle mit LabVIEW", Studienarbeit, Hochschule Bremen, 2004
- [JUMO07] Nau, Matthias: "Elektrische Temperaturmessung mit Thermoelementen und Widerstandsthermometern", JUMO GmbH & Co. KG, 2007 (ISBN-13: 978-3-935742-06-1)
- [JUMO01] JUMO GmbH & Co. KG: Typenblatt 90.6000, 2001
- [MEVE10] M. Mevenkamp, Skript zur Veranstaltung "Grundlagen der Elektrischen Messtechnik", Hochschule Bremen, 2010
- [SCHR08] Elmar Schröder, *Elektrische Messtechnik*, Carl Hanser Verlag, 8. Aufl., München, 2008
- [THIE10] <http://www.thiesclima.com/> (Stand: 17.9.2010)

Anhang A Matlab-Scripts

A.1 10-Min-Mittelwerte

```
function [ws_Temp_avg] = avg_wetterstation(ws_data, intervall)
% avg_wetterstation bildet Mittelwerte über definierte Intervalle
%
% Input:
%   ws_data      Array der Rohdaten, Temp in Spalte 4
%   intervall    Mittelungsintervall in Sekunden
% Output:
%   ws_Temp_avg  Array der gemittelten Daten, 2 Spalten,
%               nur Zeit und Temperatur

% Mev, 17.9.10

% Zahl der Datensätze und Zahl der Daten pro Datensatz
[nD, nDS] = size(ws_data);

% Mittelungsintervall in Dezimal-Zeitformat, Anfangszeit
dT = intervall / 86400;
TnD = datenum(2006,10,1,0,0,0);

% Initialisierung des Zielarrays
nt = ceil((ws_data(end,1)-TnD)/dT);
ws_Temp_avg = zeros(nt,2);

% Verdichtung über alle Datensätze der Originaldaten
% Wo keine Datensätze mit Zeitstempel aus einem Intervall existieren, wird
% für das Intervall auch kein 10-Min.-Mittelwert gespeichert.
iD = 1;           % Zähler für die Zeilen des Original-Datenarrays
inD = 1;          % Zähler für die Zeilen des Ziel-Datenarrays
while iD <= nD
    TA = 0;
    k = 0;
    TnD = TnD + dT;

    while ws_data(iD,1) <= TnD
        k = k + 1;
        TA = TA + ws_data(iD,4);
        iD = iD + 1;
        if iD > nD, break, end
    end
    if k > 0
        ws_Temp_avg(inD,:) = [TnD, TA / k];
        inD = inD + 1;
    end
end

% Bei unvollständigen Datenreihen ist Temp1875_avg kleiner als
% initialisiert. Nullzeilen löschen
ws_Temp_avg(inD:nt,:)=[];
```

Aufruf: [ws_Temp_10M] = avg_wetterstation(ws_data, 600)

A.2 Einlesen der DWD-Temperaturdaten

```
function [Temp_DWD] = read_dwd()
% read_dwd liest Temperatur-Tagesdaten des DWD
%
%
% Mev, 17.9.10

basepath = '..\';
Quelldatei = [basepath 'DWD-Tageswerte_Bremen 1991-2010.txt'];

if exist (Quelldatei, 'file')
    disp(['Lese ' Quelldatei])
else
    error('Quelldatei nicht gefunden');
end

try
    [id,date,QN,TG,TN,TM,TX,RFM,FM,FX,SO,NM,RR,PM] = ...
    textread(Quelldatei,'%d%s%d%f%f%f%f%f%f%f%f%f','commentstyle','shell');
catch
    disp(['Error reading file ' Quelldatei])
end

Temp_DWD = [datenum(str2mat(date),'yyyymmdd'),TN,TM,TX];

% Die Datei enthält die neuesten Daten in den ersten, die ältesten
% in den letzten Zeilen
% Umkehren, um übliche, steigende Zeitskala zu erreichen
Temp_DWD = flipud(Temp_DWD);
```

A.3 Plot zur Gegenüberstellung der Messreihen 2005 – 2007

```
function [] = plot_0507_all()
%
% Plot der Zeitreihen der Außentemperatur von TV1875, ZIMT und DWD für den
% Zeitraum des Altzustands der Sporthalle, Januar 2005 bis Juli 2007
%
%
% Mev, 20.9.2010

% Daten aus .mat-Files laden
%-----
load TV1875Temp_0105_0707      Temp1875a_10M
load Wetterstation_1006_0910  ws_Temp_10M
load DWD_1991_2010            Temp_DWD

% ZIMT-Wetterstation
%-----
iws = find(ws_Temp_10M(:,1) > datenum(2005,1,1,0,0,0) & ...
          ws_Temp_10M(:,1) < datenum(2007,8,1,0,0,0));
fignr = 1;
leg = 'a) 10-Min.-Mittelwerte, ZIMT-Wetterstation';
plot_station(fignr, [datenum(2005,1,1,0,0,0);ws_Temp_10M(iws,1)], ...
             [NaN; ws_Temp_10M(iws,2)], leg)
% NaN beim 1.1.2005 ergänzt, um gleiche Zeitskalierung zu erhalten

% Sporthalle, Altzustand
%-----
itv = find(Temp1875a_10M(:,1) > datenum(2005,1,1,0,0,0) & ...
          Temp1875a_10M(:,1) < datenum(2007,8,1,0,0,0));
fignr = 2;
leg = 'b) 10-Min.-Mittelwerte, Sporthalle (Altzustand)';
plot_station(fignr, Temp1875a_10M(itv,1), Temp1875a_10M(itv,2), leg)
```

```
% DWD-Daten (Tagesmittelwerte)
%-----
idwd = find(Temp_DWD(:,1) > datenum(2005,1,1,0,0,0) & ...
           Temp_DWD(:,1) < datenum(2007,8,1,0,0,0));
fignr = 3;
leg = 'c) DWD-Daten, Tagesmittelwerte';
plot_station(fignr, Temp_DWD(idwd,1), Temp_DWD(idwd,3), leg)

% Plotfunktion für alle
%-----
function [] = plot_station(fignr, time, Temp, leg)

figure(fignr)
set(gcf,'units','normalized')
set(gcf,'position',[ 0.015    0.4-0.1*fignr    0.97    0.48])

plot(time,Temp)
set(gca,'position',[ 0.0511    0.1100    0.9289    0.8561])
grid
legend(leg,2)
ylabel('Temperatur [°C]')
xlabel('Zeit (1.1.2005 - 31.7.2007)')
set(gca,'ylim',[-15 35])
datetick
```

A.4 Plot der Messreihen 2009/2020 mit Sinus-Approximation

```
function [] = sinus_approximation(year)
%
% Approximation der Außentemperatur von TV1875, ZIMT und DWD durch
% Sinusfunktionen für den Zeitraum
% 09/2009 bis 09/2010, falls year = 2009
% 01/2005 bis 07/2006, falls year = 2005
% 10/2006 bis 07/2007, falls year = 2007
%
% Mev, 20.9.2010

% Daten aus .mat-Files laden
%-----
load Wetterstation_1006_0910 ws_Temp_10M
load DWD_1991_2010 Temp_DWD
if year == 2009
    load TV1875Temp_0909_0910_filt Temp1875_10M
else
    load TV1875Temp_0105_0707 Temp1875a_10M
    Temp1875_10M = Temp1875a_10M;
end

if year == 2009
    t_start = datenum(2009,9,1,0,0,0);
    t_end = datenum(2010,10,1,0,0,0);
elseif year == 2005
    t_start = datenum(2005,1,1,0,0,0);
    t_end = datenum(2006,7,1,0,0,0);
else
    t_start = datenum(2006,10,1,0,0,0);
    t_end = datenum(2007,8,1,0,0,0);
end

if year > 2005
    % ZIMT-Wetterstation
    %-----
    iws = find(ws_Temp_10M(:,1) > t_start & ws_Temp_10M(:,1) < t_end);
    t = ws_Temp_10M(iws,1);
    Temp = ws_Temp_10M(iws,2);
```

```

fignr = 1;
leg = 'a) 10-Min.-Mittelwerte, ZIMT-Wetterstation';
if year == 2009
    xlab = 'Zeit (1.9.2009 - 30.9.2010)';
elseif year == 2007
    xlab = 'Zeit (1.10.2006 - 31.7.2007)';
end
plot_station(fignr, t, Temp, leg, xlab)

% "Fit" (Suche mit plausiblen Anfangsschätzwert starten!)
optpara = ezfit(t-t(1), Temp, ...
    ['f(t) = Theta_JM + Theta_max*sin(2*pi/365*t+phi)']; ...
    'Theta_JM=10; Theta_max=10; phi = 3*pi/4']);

% Optimale Parameter
Theta_JM = optpara.m(1)
Theta_max = optpara.m(2)
phi = optpara.m(3)

% Ausgleichskurve in der Grafik ergänzen
tapp = 0:ceil(ws_Temp_10M(end,1)-ws_Temp_10M(1,1));
Tempapp = Theta_JM + Theta_max*sin(2*pi/365*tapp+phi);
figure(gcf), axes(gca)
hold on
plot(tapp+fix(t(1)), Tempapp, 'r', 'linewidth', 1.5)
legend(leg, 'Sinus-Approximation, Jahresverlauf', 2)
hold off
end

% Sporthalle, Altzustand
%-----
itv = find(Temp1875_10M(:,1) > t_start & ...
    Temp1875_10M(:,1) < t_end);
t = Temp1875_10M(itv,1);
Temp = Temp1875_10M(itv,2);
fignr = 2;
if year == 2009
    xlab = 'Zeit (1.9.2009 - 30.9.2010)';
    leg = 'b) 10-Min.-Mittelwerte, Sporthalle (saniert)';
elseif year == 2007
    xlab = 'Zeit (1.10.2006 - 31.7.2007)';
    leg = 'b) 10-Min.-Mittelwerte, Sporthalle (Altzustand)';
else
    xlab = 'Zeit (1.1.2005 - 30.6.2006)';
    leg = 'a) 10-Min.-Mittelwerte, Sporthalle (Altzustand)';
end
plot_station(fignr, t, Temp, leg, xlab)

% "Fit"
optpara = ezfit(t-t(1), Temp, ...
    ['f(t) = Theta_JM + Theta_max*sin(2*pi/365*t+phi)']; ...
    'Theta_JM=10; Theta_max=10; phi = 3*pi/4']);

% Optimale Parameter
Theta_JM = optpara.m(1)
Theta_max = optpara.m(2)
phi = optpara.m(3)

% Ausgleichskurve in der Grafik ergänzen
tapp = 0:ceil(Temp1875_10M(end,1)-Temp1875_10M(1,1));
Tempapp = Theta_JM + Theta_max*sin(2*pi/365*tapp+phi);
figure(gcf), axes(gca)
hold on
plot(tapp+fix(t(1)), Tempapp, 'r', 'linewidth', 1.5)
legend(leg, 'Sinus-Approximation, Jahresverlauf', 2)
hold off

% DWD-Daten (Tagesmittelwerte)
%-----
idwd = find(Temp_DWD(:,1) > t_start & Temp_DWD(:,1) < t_end);
t = Temp_DWD(idwd,1);
Temp = Temp_DWD(idwd,3);

```

```

fignr = 3;
leg = 'c) DWD-Daten, Tagesmittelwerte';
if year == 2009
    xlab = 'Zeit (1.9.2009 - 30.9.2010)';
elseif year == 2007
    xlab = 'Zeit (1.10.2006 - 31.7.2007)';
else
    leg = 'b) DWD-Daten, Tagesmittelwerte';
    xlab = 'Zeit (1.1.2005 - 30.6.2006)';
end
plot_station(fignr, t, Temp, leg, xlab)

% "Fit"
optpara = ezfit(t-t(1), Temp, ...
    ['f(t) = Theta_JM + Theta_max*sin(2*pi/365*t+phi);', ...
     'Theta_JM=10; Theta_max=10; phi = 3*pi/4']);

% Optimale Parameter
Theta_JM = optpara.m(1)
Theta_max = optpara.m(2)
phi = optpara.m(3)

% Ausgleichskurve in der Grafik ergänzen
tapp = 0:ceil(Temp_DWD(end,1)-Temp_DWD(1,1));
Tempapp = Theta_JM + Theta_max*sin(2*pi/365*tapp+phi);
figure(gcf), axes(gca)
hold on
plot(tapp+fix(t(1)), Tempapp, 'r', 'linewidth', 1.5)
legend(leg, 'Sinus-Approximation, Jahresverlauf', 2)
hold off

% Plotfunktion für alle
%-----
function [] = plot_station(fignr, time, Temp, leg, xlab)

figure(fignr)
clf
set(gcf, 'units', 'normalized')
set(gcf, 'position', [ 0.015    0.4-0.1*fignr    0.97    0.48])

plot(time, Temp)
set(gca, 'position', [ 0.0511    0.1100    0.9289    0.8561])
grid
legend(leg, 2)
ylabel('Temperatur [°C]')
xlabel(xlab)
set(gca, 'ylim', [-15 40])
datetick

```

A.5 Tagesmittelwerte, -minima und -maxima

```
% Berechnung der Tageswerte (Tiefst-, Mittel-, Höchstwert)
% -----
function [td, Tmin, TM, Tmax] = tagesmittel(Temp,intervall)
% tagesmittel Tageswerte der Temperaturmessreihen eines Loggers
%
% Input
% Temp          Array, 2 Spalten, Spalte 1 = Zeit, Spalte 2 = Temp.messreihe
% intervall      Abtastintervall von Temp in Sekunden (10-Min. = 600)
%
% Output
% td            Zeit-Vektor, Tage im Matlab-Format
% Tmin          (Spalten-) Vektor der Tagestiefsttemperaturen
% TM            (Spalten-) Vektor der Tagesmittelwerte der Temperatur
% Tmax          (Spalten-) Vektor der Tageshöchsttemperaturen

% Mev, 20.9.2010

time = Temp(:,1);
d = fix(time(1)):fix(time(end)); % Tage als natürliche Zahlen im Matlab-
Format
n = length(d);
kmin = fix(0.9*24*3600/intervall); % Enthält Temp an einem Tag weniger als
kmin                               % Werte, so werden keine Tagesdaten ge-
speichert

% Arrays initialisieren
td = zeros(n,1);
Tmin = zeros(n,1);
TM = zeros(n,1);
Tmax = zeros(n,1);

k = 0;
for d = fix(time(1)):fix(time(end))
    id = find(fix(time) == d); % Index der Zeilen, die zu Tag d gehören
    if length(id) < kmin, continue, end
    k = k + 1;
    td(k) = d;
    TM(k) = mean(Temp(id,2));
    Tmin(k) = min(Temp(id,2));
    Tmax(k) = max(Temp(id,2));
end
td(k+1:end) = [];
TM(k+1:end) = [];
Tmin(k+1:end,:) = [];
Tmax(k+1:end,:) = [];
```

normalerweise folgt hier noch

Anhang B Protokoll des Laborversuchs