Mitt. POLLICHIA	101	17-44	Bad Dürkheim 2022

ISSN 0641-9665 (Druckausgabe)
ISSN 2367-3168 (Download-Veröffentlichung)

Wolfgang Lähne

Vergleichsmessungen der Lufttemperatur in der Thermometerhütte LAM 630 und in der Englischen Hütte an der Georg-von-Neumayer-Wetterstation in Neustadt an der Weinstraße

Kurzfassung

Lähne, W. (2022): Vergleichsmessungen der Lufttemperatur in der Thermometerhütte LAM 630 und in der Englischen Hütte an der Georg-von-Neumayer-Wetterstation in Neustadt an der Weinstraße. − Mitt. POLLICHIA **101**: 17−44, Bad Dürkheim.

An der Georg-von-Neumayer-Wetterstation am Haus der Artenvielfalt in Neustadt a. d. Wstr. finden seit dem Sommer 2019 Parallelmessungen der Lufttemperatur in der DWD-Standardstrahlungsschutzhütte LAM 630 und in der vormals im DWD Messnetz eingesetzten sogenannten Englischen Hütte statt. Vergleichsmessungen im Zuge des Wechsels von Messverfahren und der Suche nach Referenzsystemen, welche der Messung der wahren Lufttemperatur möglichst nahe kommen, bilden seit Erfindung des Thermometers eine zentrale Herausforderung in der Meteorologie und sind im Hinblick auf die Homogenisierung historischer Instrumentenmessreihen von großer Bedeutung. Da insbesondere Strahlungseinflüsse die Qualität der Temperaturmessung in den unterschiedlichen modernen Strahlungsschutzhütten beeinflussen, hat die WMO 2003 zu Referenzmessungen unter verschiedenen Klimabedingungen mit Fokus auf Jahreszeit und Witterungsgeschehen aufgerufen. Die Vergleichsmessungen am Haus der Artenvielfalt sollen hierzu einen ergänzenden Beitrag leisten. Im Ergebnis bestätigen sie die Erkenntnisse der in jüngerer Zeit in Europa, Afrika und Asien durchgeführten Thermometerhüttenvergleiche. Sie zeigen auch, dass die in internationalen Vergleichen als herausragend bewertete LAM 630 bei intensivem Strahlungsgeschehen im Messfeld am Haus der Artenvielfalt häufig etwa 0,2 bis 0,5 K höhere Lufttemperaturtagesmaxima liefert als die thermisch deutlich trägere Englische Hütte.

Abstract

Lähne, W. (2022): comparison measurement of air temperature in thermometer standard screen LAM 630 and Stevenson Screen at Georg-von-Neumayer-Wetterstation in Neustadt an der Weinstraße. − Mitt. POLLICHIA **101**: 17−44, Bad Dürkheim.

Parallel measurements of air temperature hosted in DWD thermometer standard screen LAM 630 and Stevenson Screen have been taking place since the summer of 2019 at the Georg von Neumayer weather station, placed at the Haus der Artenvielfalt in Neustadt a. d. Wstr. In the course of changing measurement methods, comparative measurements are of great importance with regard to the homogenization of historical climate data series. At the same time, the search for reference systems which come as close as possible to the real air temperature is mainly related to the interests of the operational meteorologist. Since radiation influences in particular affect the quality of temperature measurements in modern radiation shelters, the WMO called in 2003 for reference measurements under different climatic conditions with a focus on seasons and weather patterns. The comparative measurements at the Haus der Artenvielfalt are intended to make a complementary contribution to this effort. As a result, our parallel measurements confirm the thermometer screen comparisons that have since been carried out in Europe, Africa and Asia. They also show that the LAM 630, which is rated as outstanding in international comparisons, frequently yields, under intense radiation, daily air temperature maxima about 0.2 to 0.5 K higher in our measurement environment than in the Stevenson Screen, which is much more thermally inert.

1. Einleitung und Forschungsstand

Die exakte Messung der wahren Lufttemperatur bildet auch vier Jahrhunderte nach Erfindung des Thermometers eine bis heute nicht abgeschlossene Herausforderung, die im Wesentlichen von drei mit einander verzahnten

Faktoren beeinflusst wird: Messtechnik, Aufstellungsort und meteorologisches Geschehen. Im Lauf der vergangenen drei Jahrhunderte konnten enorme Erkenntnisgewinne und Technikfortschritte erzielt werden, welche zu immer wieder wechselnden Temperaturmessmethoden führten. Beim Deutschen Wetterdienst (abgekürzt DWD) fand die letzte Umstellung im Messnetz mit dem Wechsel von der Englischen Hütte (weltweit synonym mit der Stevenson Screen) zur LAM 630 des Herstellers Eigenbrodt in der ersten Dekade des 21. Jh. statt. Parallel hierzu wurde mit der Automatisierung des Messnetzes auch die Umstellung von analogen Quecksilberthermometern zu elektronischen Sensoren im nebenamtlichen Messnetz abgeschlossen. Ein weiterer großer Umbruch liegt etwa 80 bis 100 Jahre mit der Einführung der Englischen Hütte in freier Gartenaufstellung zurück. Zuvor waren Temperaturmessungen in Fensterauftstellung an der Nordwand von Gebäuden üblich. Hierbei war der Abstand zum Boden ebenso wenig genormt (bei der Englischen Hütte und der LAM 630 sind es im DWD entsprechend der Empfehlung der WMO 2 m über Grund an möglichst ganztägig nicht beschatteten Standorten sowie Grasbewuchs im Messfeld) wie die Konstruktion des sich im Wesentlichen erst Mitte des 19. Jh. etablierenden Schutzes gegen direkte Sonnenstrahlung und indirekte reflektierende Strahlung. Solche Änderungen in Messtechnik, Aufstellung und Standort können zu markanten Brüchen in Klimazeitreihen, d. h. zu Störungen der Homogenität führen. Reale Klimasignale werden verfälscht und es besteht die Gefahr der Fehlinterpretation von Trendentwicklungen. Betroffen sind nicht nur Klimamittelwerte, sondern vor allem Extremwerte (Maxima, Minima der Lufttemperatur) und die Anzahl bestimmter Kenntage (Eistage, Frosttage, Sommertage, Hitzetage, Tropennächte).

Die Effekte der Änderung von Aufstellungsort, Messmethodik und Messtechnik lassen sich durch hinreichend lange Parallelmessung von „alt“ und „neu“ quantifizieren. In der Regel geschieht dies an Referenzmessstationen auf genormten Messfeldern (Bramsda 2008b, Lacombe 2010, Hannak & Brinckmann 2020), aber gelegentlich auch an einzelnen Stationsstandorten in Eigeninitiative lokaler Beobachter. In Mannheim, dessen Klimamessreihe mit Lücken bis 1758 zurückverfolgbar ist, wurden Parallelmessungen 1930–1932 auf Initiative des Stationsvorstandes durchgeführt, ebenso in Karlsruhe 1910–1915 und in Ludwigshafen 1950–1952. Eine Auswertung dieser bislang unbearbeiteten Aufzeichnungen in Gegenüberstellung zu dem im späten 19. Jahrhundert von Sprung (1890) publizierten Ergebnissen verschiedener Thermometeraufstellungen in Groß-Lichterfelde bei Berlin sowie der Simulation einer Fensterhüttenaufstellung durch den Verfasser dieses Beitrages ist im Zuge der anstehenden Homogenisierung der historischen Klimareihen Mannheim, Karlsruhe und Frankfurt Ziel einer Folgearbeit.

Mit Verdrängung der großen Thermometerhütten durch die kleineren Lamellenhütten im Zuge der Automatisierung der Messnetze trat die Frage der angemessenen bzw. hinreichend genauen Lufttemperaturmessung wieder zunehmend in den Vordergrund der operativen Meteorologie und Klimatologie. Unter ‚angemessen‘ ist generell eine Lufttemperaturmessung zu verstehen, welche für das Gebiet der Temperaturstation repräsentativ ist. Spezifisch bedeutet dies, dass lokale Einflüsse, die mit der Lage der Station zusammenhängen (Landnutzung und/oder urbane Nutzung im Umfeld) ebenso zu minimieren sind wie sonstige Umwelteinflüsse und Effekte, welche die tatsächliche Messung der Temperatur an der Position des Sensors beeinflussen (Brandsma 2008a).

Obwohl internationale Richtlinien festgelegt wurden, um die Einheitlichkeit von Temperaturmessungen zu gewährleisten (WMO 1996), wurde bislang keine Standard-Strahlungsschutzhütte definiert. Infolgedessen sind weltweit viele verschiedene Thermometerhütten im Einsatz, die jeweils ihre eigenen spezifischen Merkmale bzw. Vor- und Nachteile aufweisen. Die WMO als Dachorganisation der nationalen Wetterdienste definiert die Temperatur der Luft in der Nähe der Erdoberfläche als „die Temperatur, die von einem Thermometer angezeigt wird, das der Luft an einem vor direkter Sonneneinstrahlung geschützten Ort ausgesetzt ist“ (WMO 1992). Brandsma (2008a) erweiterte die Definition der Lufttemperatur als „die Temperatur der Luft an der Position des Sensors, wenn keine Messgeräte installiert wären.“ Ein hieraus resultierendes Ziel wäre eine exakte Lufttemperaturmessung in Analogie zur berührungsfreien Erfassung von Oberflächentemperaturen über Infrarotsignale.

Die primäre Funktion von Strahlungsschutzhütten besteht darin, die Sensorik am Tag vor direkter oder indirekter Sonneneinstrahlung und in der Nacht vor Ausstrahlung zu schützen (z. B. Mawley 1897). Weiterhin soll die Sensorik vor Benetzung durch Nebel bzw. Wassertropfen (Nieselregen, Regen) bewahrt werden, da diese in Verbindung mit Wind zu einer Abkühlung des Sensors unter die wahre Lufttemperatur führen kann (Verdunstungskälte). Allerdings steht der Schutz vor Strahlung und Nässe im Widerspruch zu der Forderung nach ausreichender Belüftung, da sich bei unzureichender Belüftung innerhalb der Strahlungsschutzhütten ein Eigenklima entwickeln kann. Dieses Mikroklima hängt wiederum von der Größe der Schutzhütte und den meteorologischen Bedingungen (Wind, Strahlung und Niederschlag) ab. Schon lange ist bekannt, dass die traditionellen großen, auf Stevenson basierenden Thermometerhütten in Holzbauweise (sog. Stevenson Screen) z. B. bei Sonneneinstrahlung einer unvermeidlichen Eigenerwärmung und infolge ihrer Masse generell einer großen thermischen Trägheit unterworfen sind (Barnett et al. 1998). Brandsma (2008b) konnte in Feldversuchen ein mittleres zeitliches Hinterherhinken von 7 bis 8 Minuten feststellen, welches u. a. Hannak & Brinckmann (2020) bestätigen konnten.

Tatsächlich entwickeln alle Strahlungsschutzhütten, d. h. auch die heute gebräuchlichen modernen Lamellenhütten, ein eigenes Mikroklima. Dessen Ausprägung hängt von den meteorologischen Bedingungen, der Art und dem Design

der Abschirmung sowie der Belüftungsart (passiv, aktiv) ab. Eine weitere Rolle spielt analog zu den klassischen Thermometerhütten nach Stevenson die Größe der Hütte, wobei aber auch hier nicht generalisiert werden kann. Essentiell ist, dass die Lamellenaußenflächen einen möglichst hohen Reflexionsgrad aufweisen sollen, um die Erwärmung der Teller bzw. Lamellen und folglich der einströmenden Luft zu minimieren. Eine aktive Belüftung soll diesen Effekt zusätzlich reduzieren, wobei aber auch hier gilt, dass ‚je mehr Ventilation, um so besser' nicht zwangsläufig vorteilhaft ist, da ein mit Feuchtigkeit benetzter Sensor bei intensivem Luftstrom Abkühlungseffekten ausgesetzt sein kann, also negativ verfälschend wirkt, während bei intensiver Sonneneinstrahlung eine intensive Ventilation von Vorteil ist, d. h. der zu messende Wert der wahren Lufttemperatur näher kommt. Die LAM 630 soll diesen Grenzbedingungen mittels fotosensorgesteuerter Lüfterregelung Rechnung tragen.

Letztlich wirken alle Komponenten limitierend, woraus folgt, dass jedes Strahlungsschutzhüttendesign das Ergebnis von Kompromissen und Konsensen darstellt und sich keine universelle Lösung für alle Klimabedingungen vorgeben lässt. Insbesondere Arbeiten von Andersson & Mattisson (1991), Perry et al. (2007) und Park (2022), welche im Gegensatz zu den exemplarischen Feldversuchen von Sparks (1972 & 2001), Zanghi (1987), Barnett et al. (1998), Lefebvre (1998), Spetalen et al. (2000), Hatton (2002), Larre & Hegg (2002) sowie Leroy et al. (2002) nicht nur mittlere Abweichung ermittelt haben, sondern auch witterungsspezifische Analysen durchführten, konnten dies aufzeigen. Ähnliche Erkenntnisse wurden vereinzelt bereits vor mehr als 100 Jahren anlässlich der damaligen Diskussion zur Einführung der Englischen Hütte bzw. deren Varianten gewonnen (Sprung 1890, Schwarz 1926), ohne dass dies jedoch zu koordiniert-systematischen Feldversuchen führte, obwohl bereits zu dieser Zeit mit der Internationalen Meteorologischen Organisation (IMO) eine WMO-Vorgängerorganisation bestand.

Aus den Arbeiten von Andersson, Mattisson und Perry geht weiterhin hervor, dass die Größenordnung der witterungs- und jahreszeitenspezifischen Messwertunterschiede zwischen dem Innenraum der einzelnen Strahlungshüttentypen und der Außenumgebung noch nicht hinreichend untersucht wurde. Der Thermometerhüttenvergleich ‚klassisch' gegen ‚modern' an der Georg-von-Neumayer-Wetterstation soll hierzu insbesondere im Hinblick auf die Homogenisierung von Subtagesdaten historischer Klimazeitreihen einen Beitrag leisten.

Da neben dem Konstruktionsprinzip die Bodenbeschaffenheit und die Feuchtigkeit des Bodens sowie das Strahlungsgeschehen (direkte Sonnenstrahlung sowie Diffus- und Gegenstrahlung) die Wirkungsweise der Lamellenhütten wesentlich beeinflussen und solche Bedingungen regional dominierend sein können, hat die Kommission für Instrumente und Beobachtungsmethoden (CIMO) empfohlen, einen internationalen Vergleich von Thermometerhütten in verschiedenen klimatologischen Regionen zu organisieren (WMO 2003). Dieser Forderung wurde mittlerweile an verschiedenen Orten und unter verschiedenen Voraussetzungen nachgekommen, z. B. Niederlande (Bramsda 2008b), Algerien (Lacombe 2010), Japan (Aoshima 2011), Italien (Coppa et al., 2021) und Südkorea (Park 2022). Die Arbeiten bestätigen, dass Strahlungsschutzhütten verschiedener Bauarten individuelle thermische Eigenschaften in Abhängigkeit der Witterung aufweisen, und geben genauere Antworten bzgl. der Quantifizierung des Witterungseinflusses und des Nutzungsumfeldes. Prinzipiell lässt sich bei der Überwärmungsschutzwirkung der Lamellenhütten zwischen natürlich und künstlich belüftet differenzieren, wobei die aktiv belüfteten Hütten während besonders relevanter Situationen (intensive Einstrahlung) in der Regel bessere Ergebnisse erzielen als passiv belüftete Hütten. Die aktuellen Untersuchungen von Park deuten allerdings darauf hin, dass optimierte natürlich belüftete Lamellenhütten an klaren, sonnigen Tagen an die Effizienz aktiv ventilierter Hütten heranreichen können.

Hinsichtlich des Umfanges der vergleichenden Untersuchungen heben sich vor allem die Feldversuche in den Niederlanden sowie der Algerischen Wüste hervor, wobei die von Lacombe durchgeführten Messreihen auch die im DWD-Messnetz früher verwendete Englische Hütte und die nunmehr als Standard geltende LAM 630 beurteilen konnten. Im Ergebnis zeigt die LAM 630 unter den erschwerten thermischen Bedingungen im Testfeld in Algerien besonders gute Eigenschaften.

Der DWD führt seit 2006 bzw. 2008 an 13 Klimareferenzstationen permanent Parallelmessungen verschiedener meteorologischer Messparameter durch (Hannak & Brinckmann 2020), welche auch die Lufttemperatur in der Englischen Hütte und der LAM 630 umfassen. Wie in der Diskussion der vorliegenden Vergleichsmessungen am Haus der Artenvielfalt dargelegt wird, bestätigen die Messungen im DWD-Referenznetz die Ergebnisse der internationalen Studien. Dabei konnte bzgl. der in der LAM 630 auftretenden mikroklimatischen Effekte gezeigt werden, dass sogar die Sensorposition innerhalb der Hütte (Südwest, Südost, Nordwest, Nordost) einen Einfluss auf das Messergebnis haben kann. Dezidiert wetterlagen- und jahreszeitenspezifische Auswertungen stehen hier noch aus und waren noch nicht primäres Ziel der Veröffentlichungen.

2. Messstandort, Messtechnik und Datenumfang

Die Datenauswertung beruht auf den Messwerten der Georg-von-Neumayer-Wetterstation am Haus der Artenvielfalt in Neustadt an der Weinstraße mit der Position 49,343348 N, 8,160238 E, 132 m NN. Die Station wurde im Juni 2019 errichtet und ist seit September 2019 mit Nachinstallation der Strahlungsschutzhütte LAM 630 in

Betrieb. Standortwahl und vor allem die messtechnische Ausstattung lehnen sich an die Richtlinien des DWD für nebenamtliche Wetterstationen an (DWD 2020). Infolge der baulichen Nutzung im Umfeld (Gewerbegebiet) und der Beschattungswirkung der angrenzenden Gebäude des Hauses der Artenvielfalt westlich des Messfeldes (10 m Distanz, Flachdach 4–6 m Höhe) und eines Gewerbeobjektes im Osten (20 m Distanz, Satteldach 6–8 m Höhe) erfüllt der Standort nicht die Anforderungen für Freilandstationen, sondern entspricht dem Typ einer Stadtklimastation nach WMO (Oke 2006). Oke kategorisiert Stadtklimastationen entsprechend der typischen lokalen Bebauungssituation und Flächenversiegelungsgrade in 7 Typen. Typ 1 entspricht intensiv entwickelten Bebauungen im Kerngebiet mit einem Versiegelungsgrad > 90 % und Typ 7 halb ländlicher Entwicklung mit verstreuten Häusern in natürlichen oder landwirtschaftlichen Räumen bei Versiegelungsgraden < 10 %. Der Standort der Georg-von-Neumayer-Wetterstation wäre demzufolge Typ 5 (mittlere Entwicklung, gering verdichtete Vorortbebauung mit ein oder zwei Stockwerken und ca. 35–65 % Flächenversiegelung) oder Typ 6 (Mischnutzung mit großen Gebäuden in teilweise offener Landschaft und < 40 % Versiegelung) zuzuordnen. Da innerhalb von Bebauungen die Windgeschwindigkeiten im bodennahen Bereich, d. h. der Lufttemperaturmessgeberhöhe, aufgrund der höheren Rauhigkeitslänge reduziert sind, ist eine Beeinflussung des Untersuchungsergebnisses infolge der geringeren Ventilation nicht auszuschließen.

Das Messprogramm der Station umfasst neben den Parametern Lufttemperatur, Luftfeuchte und Niederschlag auch die Messgrößen Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Sonnenscheindauer und Globalstrahlung. Installationshöhe und Informationen bzgl. der Sensortypen, Messbereiche und Genauigkeiten sind Tabelle 1 zu entnehmen. Abbildung 1 zeigt eine Ansicht des Messfeldes aus Blickrichtung Süd.

Alle Messdaten werden über einen 12-Kanal-Datenlogger (DALOS 515C-M) der Fa. F & C Forschungstechnik und Computersysteme GmbH kontinuierlich erfasst, zu 10-Minuten-Intervallwerten (Minimum, Mittel, Maximum, bzw. Summenwert und Intensität) aggregiert und via Fernabruf in eine SQL-Datenbank eingespeist.

Infolge Lieferverzögerungen der LAM 630 konnte der reguläre Messbetrieb erst Ende August 2019 aufgenommen werden, weshalb in der ersten Betriebsphase (12.06.–31.08.2019) ersatzweise eine passiv ventilierten Lamellenschutzhütte installiert wurden. Die entsprechenden Lufttemperaturwerte sind nicht Bestandteil der vergleichenden Analyse. Ein hier nicht publizierter Überblick zeigt bei intensiver Sonneneinstrahlung regelmäßig relativ große Temperaturunterschiede zur Englischen Hütte.

Zur Auswertung gelangte der Zeitraum vom 01.09.2019–30.04.2022. Bedingt durch einzelne externe technische Störungen reduzierte sich der nutzbare Datenumfang auf 958 Messtage. Dies entspricht einer Datenbelegungsquote von 95,4 %.

3. Auswertung

3.1. Messunsicherheit: Kalibrierung / Linearität

Im Vorfeld der Analyse war zunächst die Datenqualität zu prüfen. Systemfehler bzw. Fehlwerte im Messzeitraum konnten bzgl. der Parameter Temperatur, Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit mittels Plausibilitätstests und visueller Messwertkontrolle ausgeschlossen werden.

Unregelmäßigkeiten zeigte allerdings die Erfassung der Sonnenscheindauer. Hier wurden noch vor Beginn des regulären Betriebs Störungen als Folge von Reflexionen durch den Mast und im weiteren Verlauf ein Fehler im

Tab. 1: Messprogramm und Sensorik der Georg-von-Neumayer-Wetterstation

Parameter	Messgeberhöhe	Typ/Hersteller	Messbereich	Genauigkeit
Windrichtung	10 m	Thies „compact“ 4.3129.00.140	0 … 360°	±5%
Windgeschwindigkeit	10 m	Thies „first class“ 4.3351.00.140	0.3 … 75 m/s	1 % vom Messwert oder < 0,2 m/s
Sonnenscheindauer	10 m	SDE 9.1 IndiumSensor	Schwellwert 120 W/m²	-
Globalstrahlung	10 m	SDE 9.1 IndiumSensor	0 – 1300 W/m²	<1%
Lufttemperatur	2 m	HC2A-S Rotronic Pt 100	-40 … +80°C	±0,1K
Luftfeuchte	2 m	HC2A-S Rotronic	0 … 100 %	±2,5% r.F.
Niederschlag	1 m	Thies 5.4032.35.008	0 … 11 mm/min	±3%
Lufttemperatur über Boden	0,05 m	Thies 2.1235.00.000 Pt 100	-30 … +70°C	±0,1K

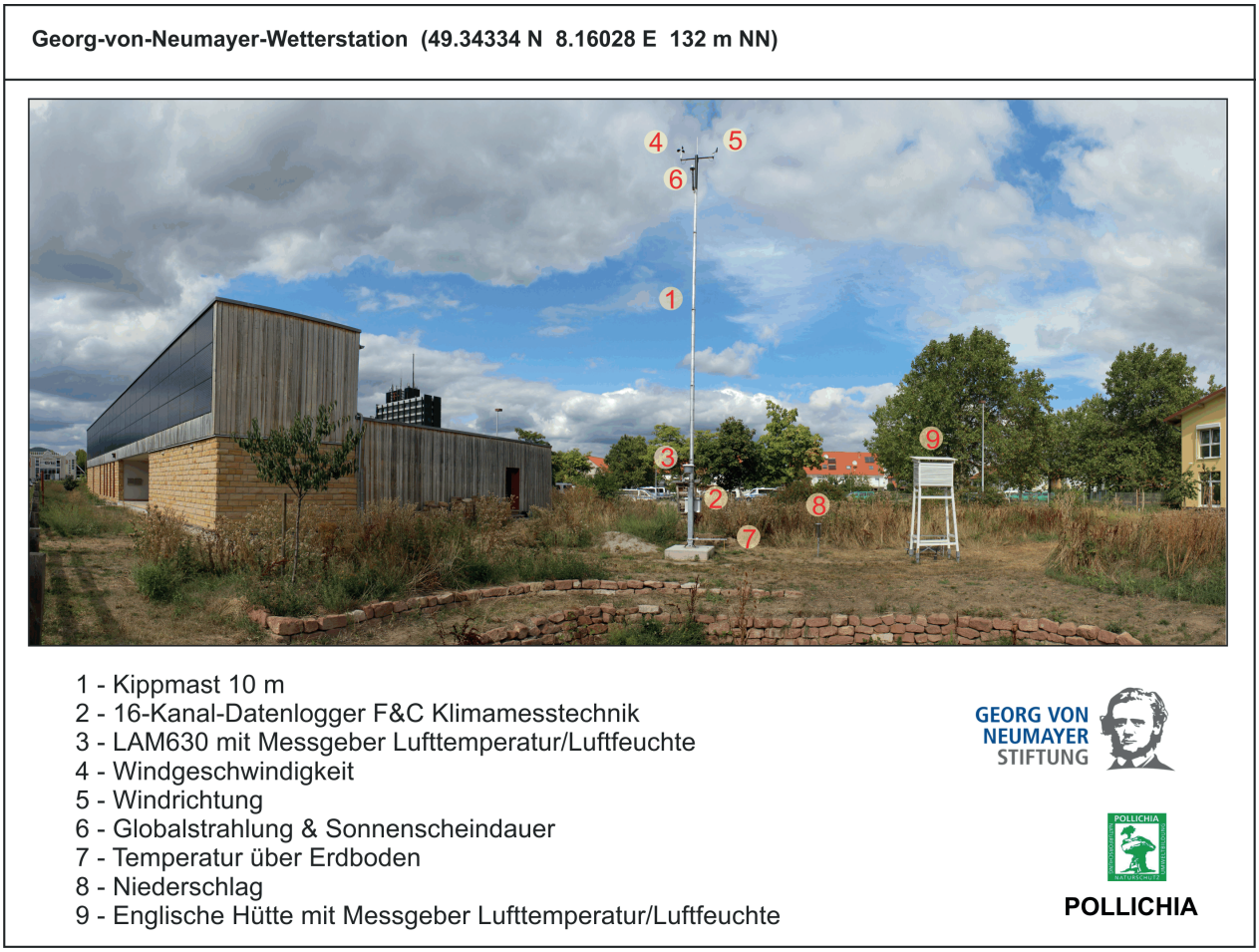

Abb. 1.: Ansicht der Georg von Neumayer Wetterstation (Blickrichtung NW) und Anordnung der Messsysteme

Messgeber erkannt. Die Messdaten der Sonnenscheindauer sind daher nicht vollständig für den analytischen Strahlungshüttenvergleich nutzbar. Ersatzweise wurden die Daten der DWD-Stationen Weinbiet und Mannheim sowie die Messwerte der privaten Klimastation des Verfassers in Römerberg hinzugezogen. Trotz der relativen Distanzen der genannten Stationen (horizontal bzw. vertikal) konnten die Ersatzwerte der Sonnenscheindauer für die Auswertung zielorientiert genutzt werden.

Die Temperatur-/Feuchtesensoren sind werkskalibriert und weisen eine Messgenauigkeit von ± 0,1 K auf. Da auch solch geringe Messunsicherheiten das Untersuchungsergebnis beeinflussen können und eine Kalibrierung in einem zertifizierten Prüflabor vor Stationsinbetriebnahme nicht erfolgen konnte, wurde versucht, beide Temperaturgeber mittels Messwertvergleich auf Parallelität zu prüfen. Formuliert wird der Ansatz, dass sich auch unter realen Witterungsbedingungen Situationen einstellen können, welche laborähnlichen Bedingungen entsprechen, d. h. hüttendesignspezifische Effekte keine effektive Rolle spielen. Dies sollte unter den Grundannahmen

- kein Strahlungseinfluss,
- konstantes Temperaturniveau über einen hinreichend langen Zeitraum,
- kein Niederschlag, keine Benetzung der Strahlungsschutzhütten und der Messgeber durch Feuchtigkeit,
- ausreichende Ventilation

gegeben sein.

Die Bedingung „kein Strahlungseinfluss“ ist nur bei Situationen mit ausgeglichener Strahlungsbilanz erfüllt. Dies ist näherungsweise nachts bei vollständig bedecktem Himmel gegeben, wenn die Wolkenuntergrenze relativ niedrig liegt und die Wolkendecke eine hinreichende vertikale Mächtigkeit aufweist. Da sich weiterhin die Temperatur der Bodenoberfläche jener der Lufttemperatur angeglichen haben und der Temperaturgang nahezu flach verlaufen soll, wurden nur die Messwerte der zweiten Nachthälfte auf Parallelität geprüft. Um externe und interne thermische Nachschwingeffekte auszuschließen, wurde die Witterungssituation der vorangehenden ersten Nachthälfte sowie des Vortages mitberücksichtigt. Folgende Anforderungen wurden definiert:

- vollständig bedeckter Himmel in der zweiten Nachthälfte und am gesamten Vortag (Sonnenscheindauer 0,0 h),
- kein messbarer Niederschlag,
- Relative Feuchte < 95 %,
- mittlere Windgeschwindigkeit 1,5–2,5 m/s,

- Temperaturtagesgang der letzten 24 Stunden < 5 K,
- Variationskoeffizient der Lufttemperatur während der zweiten Nachthälfte ± 0,25,
- Schwankungsbreite der 10-minütlichen Temperaturmittelwerte während der zweiten Nachthälfte ≤ 0,1 K.

Die relativ engen Grenzbedingungen waren im 2,5-jährigen Analysezeitraum an 20 Tagen in den Monaten November, Dezember und Januar erfüllt. Während der übrigen Monate traten keine übereinstimmenden Witterungssituationen auf.

Die in Abb. 2 dargestellten Ergebnisse (Auflösung 0,01 K) lassen einerseits einen schwachen Tagesgang als Folge der noch wirksamen Globalstrahlung am Tag sowie einen weitgehend kohärenten Verlauf vor allem in der zweiten Nachthälfte erkennen. Weiterhin zeigen die Daten nahezu durchgehend negative Differenzen, d. h. der Temperaturmessgeber in der LAM 630 registriert niedrigere Werte als jener in der Englischen Hütte. Der Fokus wurde, wie angesprochen, auf die Werte der zweiten Nachthälfte zwischen 01 und 06 Uhr gelegt, da in dieser Zeitspanne die Annahme ‚laborähnliche Bedingungen' näherungsweise am besten erfüllt wird. Die 10-minütlichen Differenzwerte (ΔT) zwischen LAM 630 und Englischer Hütte liegen hier innerhalb einer Schwankungsbreite von -0,06 K und -0,08 K bei einem Mittelwert von -0,07 K. Das Datenkollektiv ist mit 20 Fällen, welche einen Temperaturbereich von +2 °C bis +11 °C umfassen, allerdings relativ klein, d. h. mit einem schwer zu quantifizierenden Unsicherheitsfaktor behaftet. Werden die Grenzwerte für die Parameter Windgeschwindigkeit und Luftfeuchtigkeit variiert (höhere oder niedrigere Windgeschwindigkeiten sowie niedrigere Luftfeuchte; hier nicht dargestellt), liegt das ΔT (Mittel 01 bis 06 h) bei noch geringeren Fallzahlen zwischen -0,07 K und -0,09 K. Eine längere Datenzeitreihe kann hier in Zukunft eine sichere Basis liefern. Mögliche zeitliche Drifteffekte (Nullpunktverschiebung der Messgeber) sind dann jedoch als zusätzliche Fehlerquelle mitzuberücksichtigen. Aufgrund der noch kurzen Datenbasis kann des Weiteren nicht die Übertragbarkeit auf andere Temperaturbereiche (Linearität) geklärt werden. Dem Datenblatt des Herstellers zufolge sollen jedoch die Kennlinien der Messgeber im Bereich -20 … +50 °C stabil sein.

Da der hier ermittelte statistische Differenzwert (-0,07 K) kleiner als die datenloggerseitig hinterlegte Auflösung der Messwerte (0,1 K) ist, kann der Korrekturwert im Thermometerhüttenvergleich nicht generell, sondern nur bei gleicher statistischer Auflösung Berücksichtigung finden. Dies betrifft insbesondere die Häufigkeitsverteilungen. Im Text wird dies an entsprechender Stelle kenntlich gemacht.

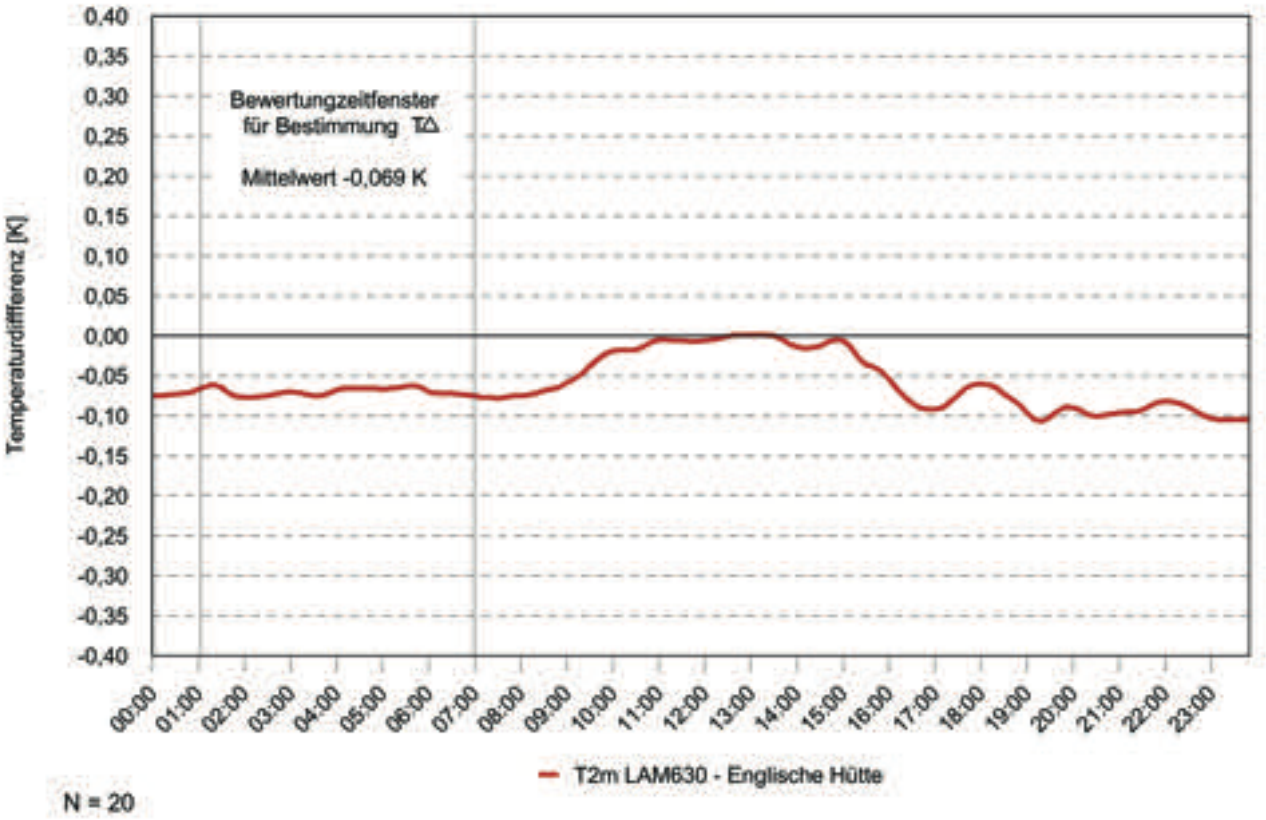

Abb. 2: Differenz ΔT der 10-Minutenwerte der Temperatur (T2m) zwischen LAM 630 und Englischer Hütte an Nichtstrahlungstagen (Tagessumme der Sonnenscheindauer = 0,0 h, Bedeckungsgrad 8) mit mittleren Windgeschwindigkeit 1,5–2,5 m/s, Relative Feuchte < 95 %

3.2. Vergleich der Tagesmaxima

Abbildung 3 gibt den Verlauf der Tagesmaximadifferenzen (ΔTmax) der Lufttemperatur im Zeitraum 01.09.2019–31.05.2022 (der Mai 2022 ist nicht Bestandteil der nachfolgenden Auswertung; die ermittelte Kalibrierungsabweichung von ca. 0,07 K ist unberücksichtigt) wieder. Positive Werte bedeuten, dass in der LAM 630 höhere Maxima gemessen werden als in der Englischen Hütte, negative Werte bedeuten den umgekehrten Fall.

Zu erkennen ist ein deutlicher Jahresgang mit signifikant höheren Differenzwerten im Sommer. Im Winter zeigt sich ein ausgeglichenes, dem Jahresgang von Sonnenscheindauer und Globalstrahlung folgendes Bild. Die Differenzen schwanken nahezu ausschließlich zwischen -0,2 K und +0,3 K. Im Sommer stellen Werte > +0,3 K dagegen den Normalfall dar. Vereinzelt treten positive Differenzen bis über 1 K auf.

Die chronologische Differenzendarstellung kann als Überblick lediglich saisonale Trendrichtungen (positive / negative Abweichung) illustrieren, während Häufigkeitsverteilungen als allgemein verständliche statistische Funktion differenziertere Aussagen erlauben. Abb. 4 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Tagesmaximadifferenzen (LAM 630 minus Englische Hütte) in 0,1 K-Abstufungen für den Gesamtzeitraum, d. h. nicht nach Witterung und Jahreszeit differenziert. Die ermittelte Messgeber-Nullpunktabweichung bleibt, wie auch bei den nachfolgend diskutierten Häufigkeitsverteilungen, aus den angesprochenen Gründen unberücksichtigt.

Gleiche Tagesmaxima (ΔTmax 0,0 K) bzw. Abweichungen in Bereich ± 0,1 K treten zwar am häufigsten auf (gerundet 22 % bzw. in der genannten Spanne von ± 0,1 K mit insg. 52 %). Jedoch zeigt sich analog zur chronologischen Verteilung ein deutliches Übergewicht positiver Differenzwerte, d. h. tendenziell höherer Maxima in der LAM 630. So liegen in 12 % der Fälle die Höchsttemperaturen in der LAM 630 um mindestens 0,5 K über denen in der Englischen Hütte. Im Mittel beträgt die Differenz +0,17 K bzw. in Berücksichtigung des Korrekturfaktors +0,24 K.

Demgegenüber zeigen die Differenzen der Lufttemperaturminima (ΔTmin; Abb. 5) ein engeres Verteilungsmuster mit Verschiebung zu schwach negativen Abweichungen. Gleiche Werte (ΔTmin 0,0 K) ergaben sich in 20 % der Fälle, Abweichungen von -0,1 K in 46 % und -0,2 K in 24 % der Fälle. Größere Differenzwerte (ΔTmin ≥ +0,1 K mit Häufigkeit von 3,4 % bzw. ≤ -0,3 K mit Häufigkeit von 6,2 %) wurden nur selten beobachtet.

Differenziert man nach Jahreszeit und Witterungsgeschehen, hebt sich der Strahlungseinfluss deutlicher hervor. Abb. 6 zeigt das Häufigkeitsverteilungsmuster an Tagen mit einer Sonnenschein-dauer ≥ 12 h in den Monaten Mai–August, d. h. im Spätfrühling sowie im Sommer (61 Fälle). Negative Abweichungen, also niedrigere Tagesmaxima in der LAM 630, werden nur gelegentlich

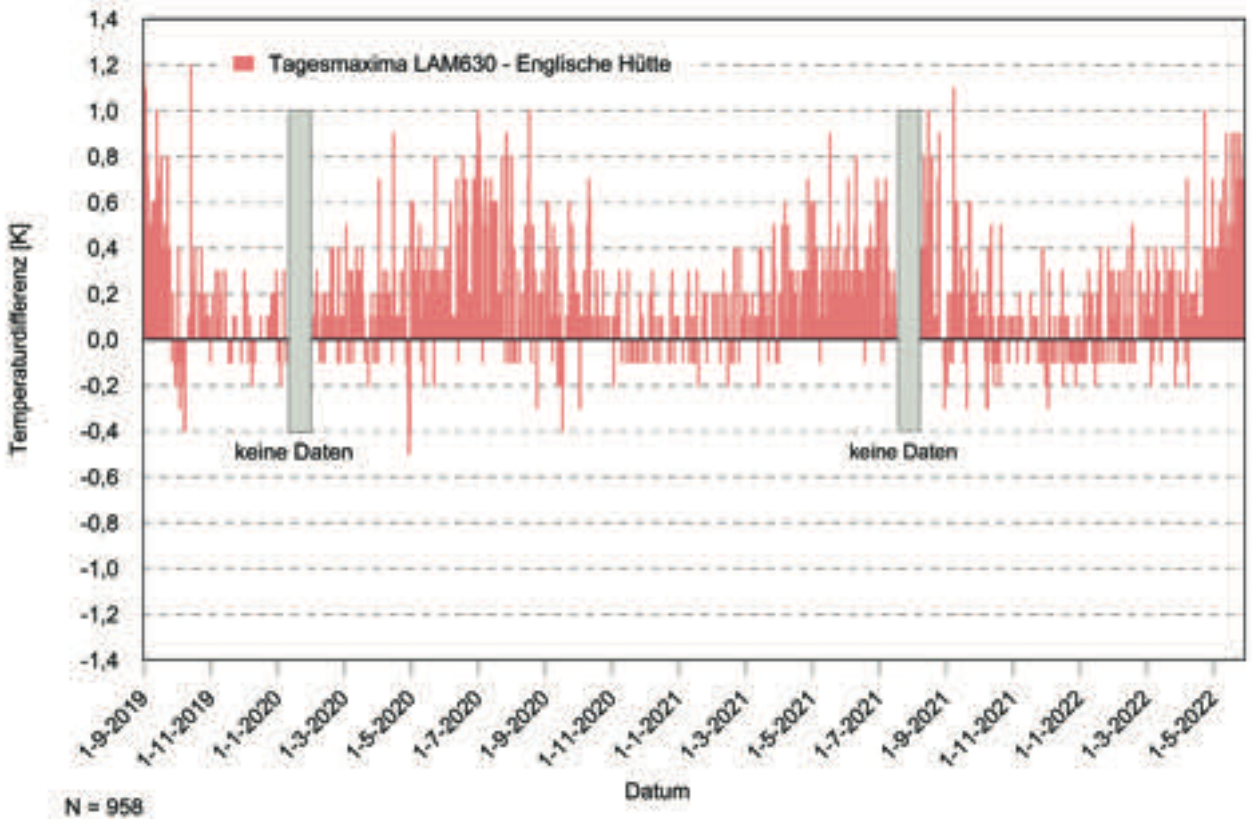

Abb. 3: Unkorrigierte Differenzen der täglichen Maximumtemperatur (ΔTmax) in der LAM 630 und in der Englischen Hütte (LAM - EH) im Zeitraum 01.09.2019–31.05.2022. Zeiträume mit Datenlücken sind grau markiert.

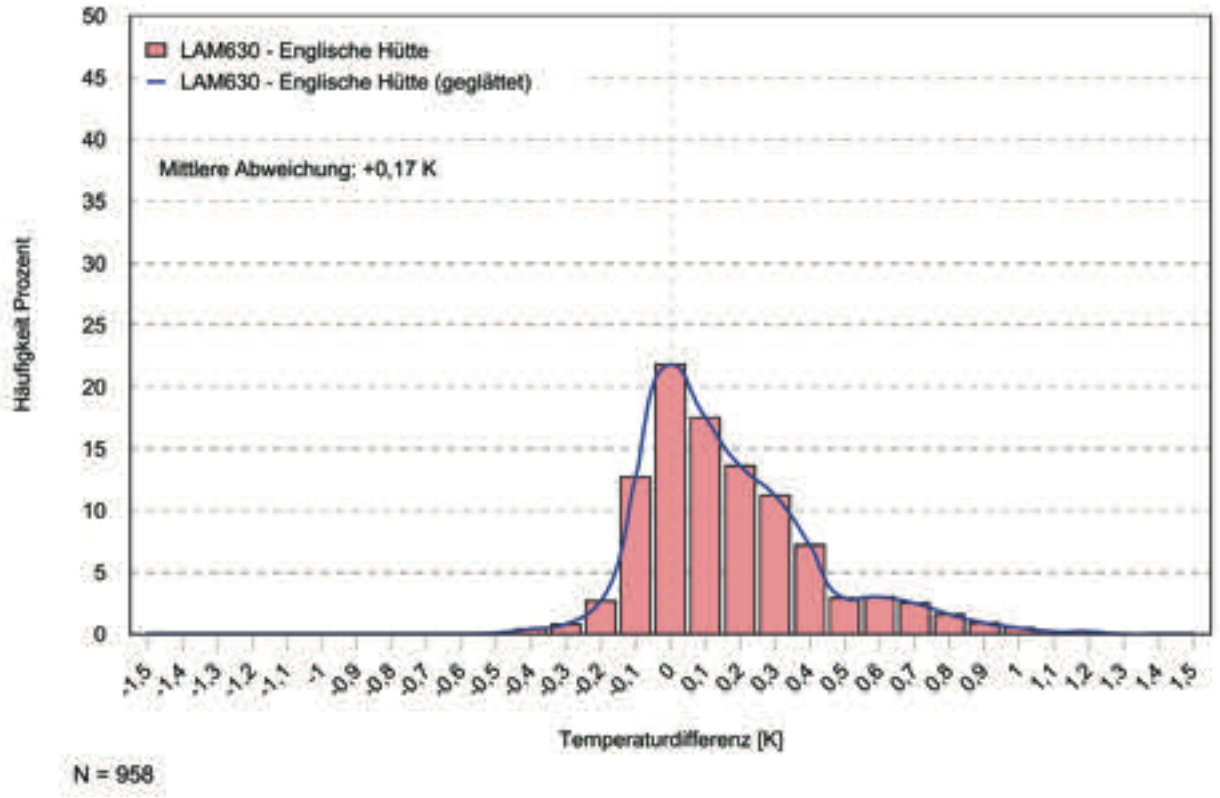

Abb. 4: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der Tagesmaxima (ΔTmax) zwischen LAM 630 und Englischer Hütte für alle Witterungssituationen im Zeitraum 01.09.2019–30.04.2020)

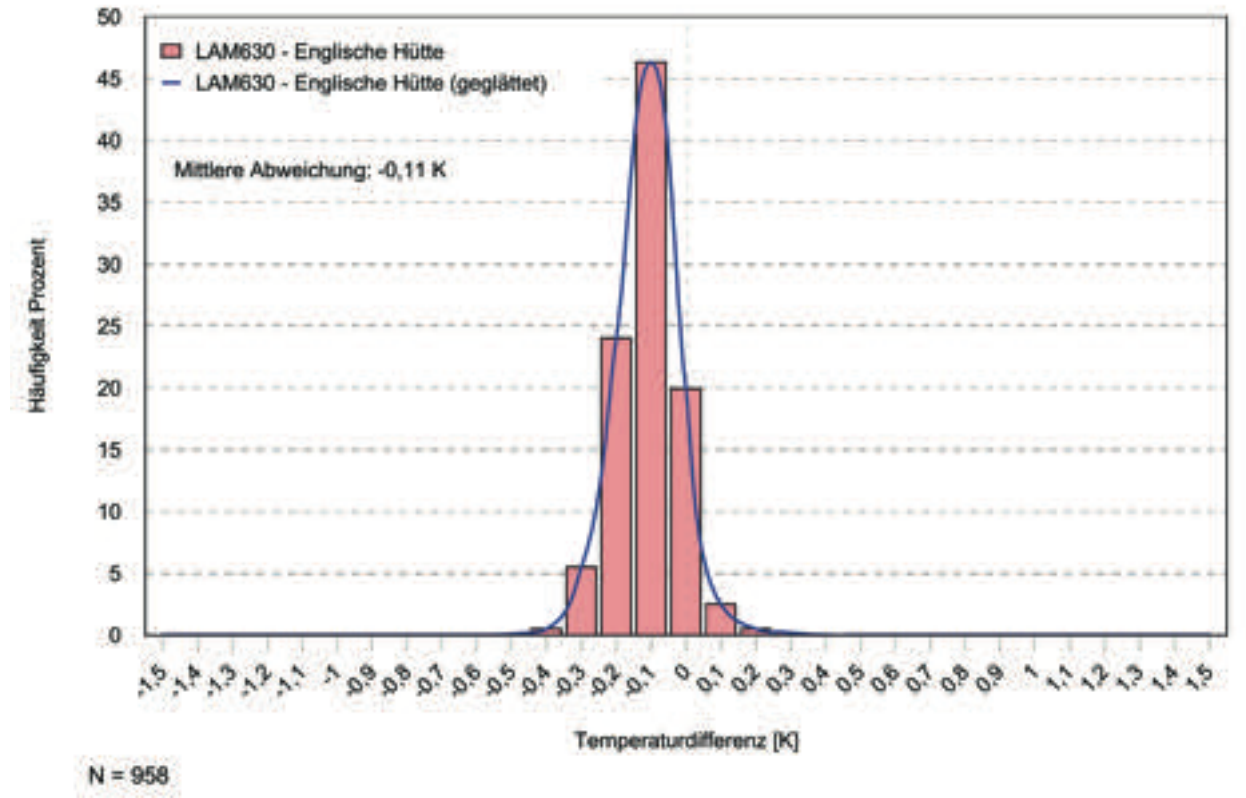

Abb. 5: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der Tagesminima (ΔTmin) zwischen LAM 630 und Englischer Hütte an allen Tagen im Zeitraum 01.09.2019–30.04.2020)

(9 % der Fälle) und nur in geringer Ausprägung (bis 0,1 K) beobachtet und lassen sich mit der relativen Abweichung des Temperatursensors in der LAM 630 gegenüber dem in der Englische Hütte installierten Sensor erklären. Geringe positive Differenzwerte im Bereich 0,1–0,2 K treten in 34 % der Fälle auf, etwas deutlichere Abweichungen (0,3–0,4 K) mit einer Häufigkeit von 38 % und Differenzwerte ≥ 0,5 K in 12 % der Fälle.

Da bei der Bewertung der Effizienz von Strahlungsschutzhütten die Ventilationsbedingungen einen mitentscheidenden Faktor darstellen, ist in einem vertiefenden Schritt das Datenkollektiv mit den Winddaten zu korrelieren. Die vorliegende Messreihe deckt jedoch zu wenige Fälle für belastbare Aussagen ab zumal die mittleren Windgeschwindigkeiten (10-Minuten-Mittelwerte) am Nachmittag einen relativ engen Häufigkeitspeak im Bereich zwischen 1,8 und 2,1 m/s (41 % der Fälle) aufweisen (Abb. 7). An dieser Stelle sei daher auf die Analyse der 10-Minutenwerte in Abschnitt 3.4. verwiesen.

Im Vergleich zu den Strahlungstagen konzentriert sich die Häufigkeitsverteilung der Differenzen der Tagesmaxima an Nichtstrahlungstagen im Zeitraum Mai–August (Abb. 8) erwartungsgemäß im Bereich des Nullwertes: In der Spanne von -0,1 bis +0,1 K gruppieren sich 50 % der Fälle. Allerdings werden auch bei dieser Situation (Grenzwert Tagessumme der Sonnenscheindauer = 1,0 h; N = 32 Tage) noch in 46 % der Fälle in der LAM 630 höhere Tagesmaxima (0,2–0,6 K) als in der Englischen Hütte registriert. Variiert man den Grenzwert bzgl. der Definition eines Nichtstrahlungstages (0,5 h bzw. 1,5 h Sonnenscheindauer; hier nicht dargestellt), unterscheiden sich die Verteilungsbilder kaum; Tage ohne Sonne treten im Sommer selten auf, weshalb für eine hinreichend sichere Bestimmung des ΔTmax ein längerer Beobachtungszeitraum notwendig ist.

Betrachtet man die Situation im erweiterten Winterzeitraum (Monate November bis Februar), zeigt sich an Strahlungstagen (Tagessumme der Sonnenscheindauer ≥ 6 h; Abb. 9) neben dem auffälligen Peak im Bereich des Nullwertes (36 % der Fälle; N = 56) zwar auch ein Übergewicht bei positiven Abweichungen (46 % der Fälle). Differenzen ≥ 0,5 K werden jedoch im Gegensatz zu den entsprechenden Verhältnissen im Sommer nicht beobachtet. Zu beachten gilt wiederum, dass die ermittelte Abweichung der beiden Temperaturgeber nicht berücksichtigt wurde und sich gegebenenfalls dann auch hier eine leichte Verschiebung der Häufigkeitsverteilung in den positiven Bereich ergeben würde.

In Gegenüberstellung der Verteilungen der Sommer- und Wintermonate bestätigt sich der signifikante Strahlungseinfluss. Zwischen Mai und August werden an Strahlungstagen in der LAM 630 im Vergleich zur Englischen Hütte erkennbar höhere mittlere Tagesmaxima (+0,26 K) als in den Monaten November bis Februar (+0,08 K) beobachtet.

Auch bezüglich der Nichtstrahlungstage unterscheidet sich das Bild zwischen Sommer- und Wintermonaten. So gruppieren sich die Differenzwerte in den Monaten November bis Februar an vollständig bedeckten Tagen ohne Sonnenschein (Tagessumme der Sonnenscheindauer = 0 h; Abb. 10) um den Nullwert (48 % der Fälle; N = 100).

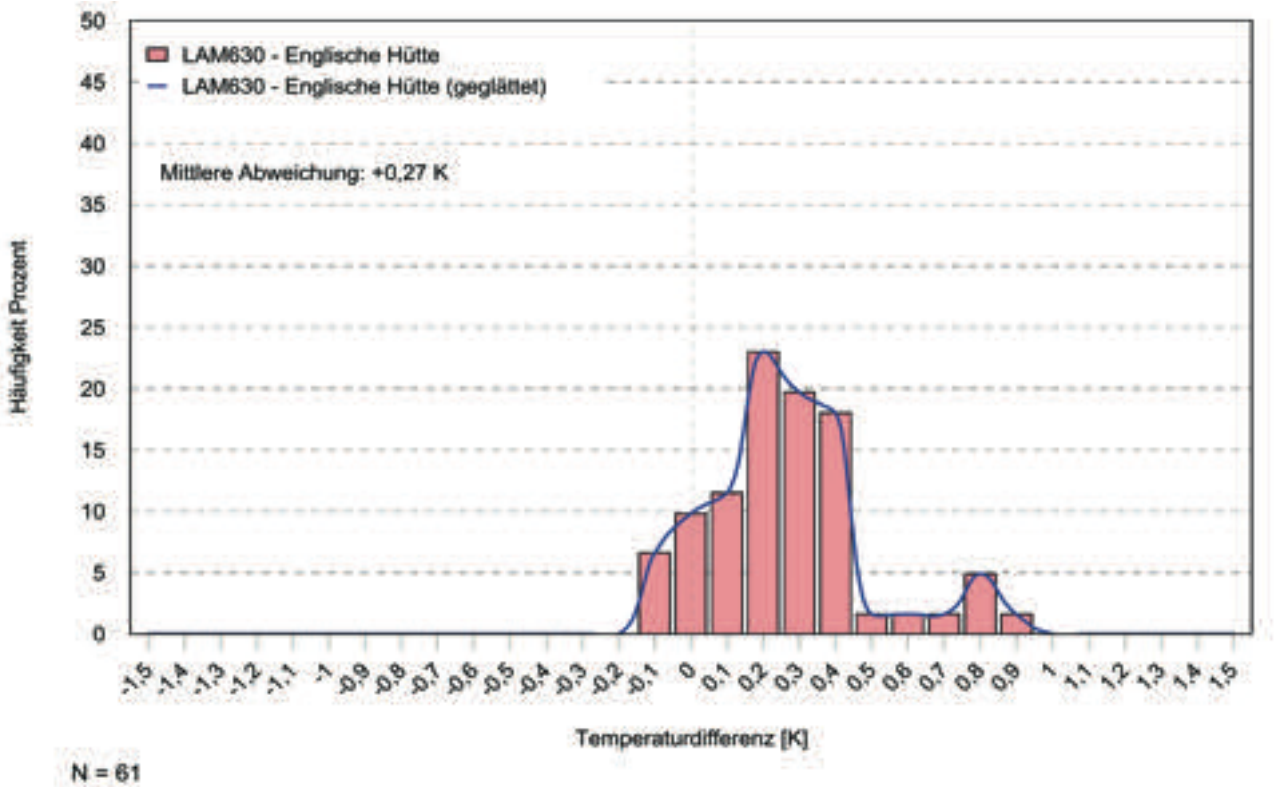

Abb. 6: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der Tagesmaxima (ΔTmax) zwischen LAM 630 und Englischer Hütte an Strahlungstagen (tägliche Sonnenscheindauer ≥ 12 h) in den Monaten Mai–August im Zeitraum 01.09.2019–30.04.2020

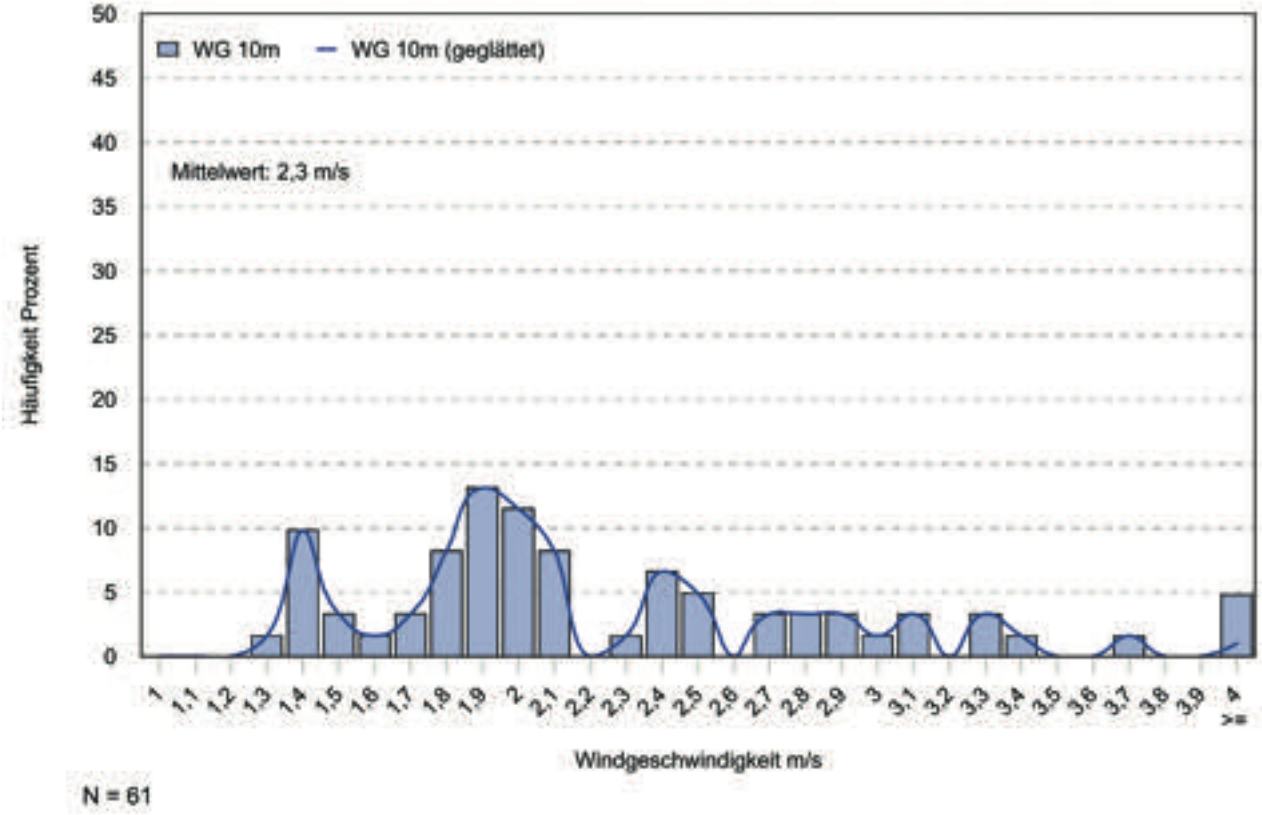

Abb. 7: Verteilung der mittlerer Windgeschwindigkeit (WG) aus 10-Minuten-Mittelwerten zwischen 13 und 17 MEZ an Strahlungstagen (tägliche Sonnenscheindauer ≥ 12 h) in den Monaten Mai–August im Zeitraum 01.09.2019–30.04.2020

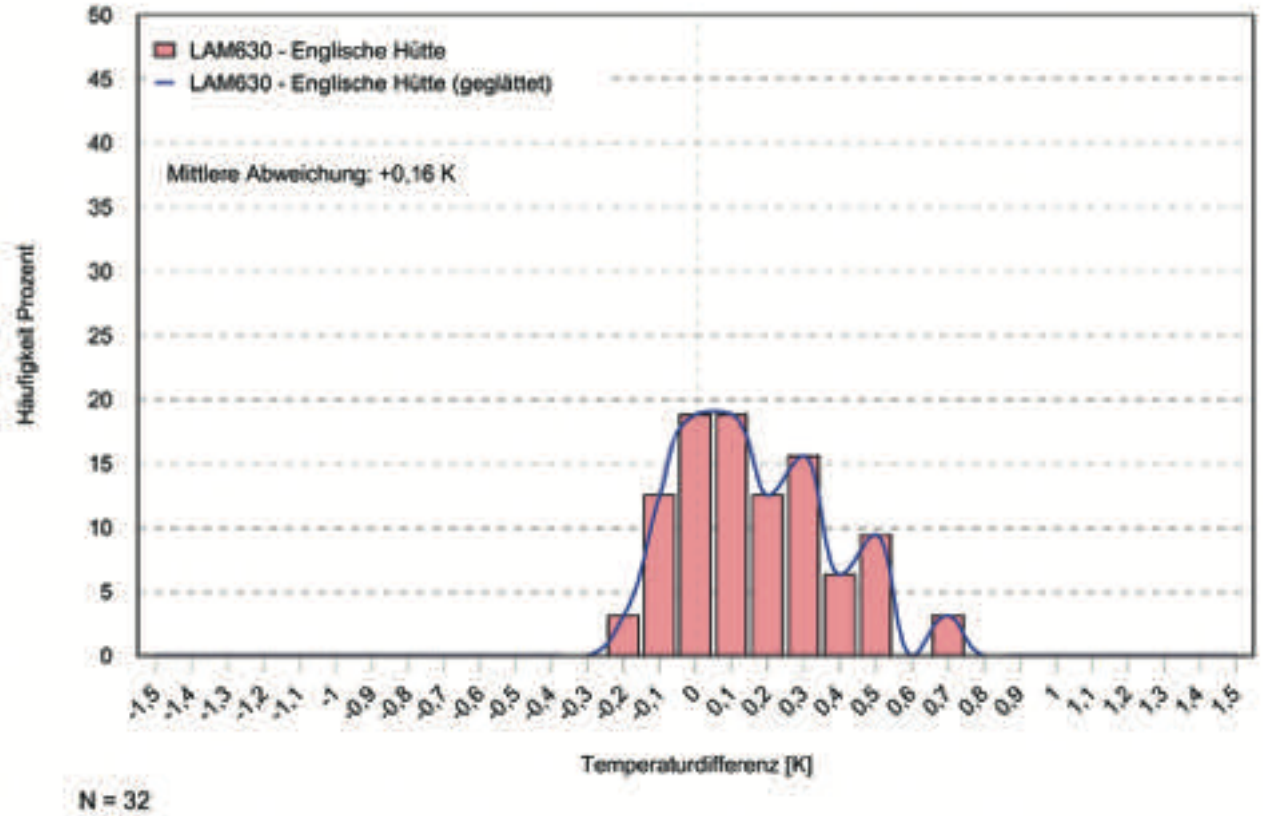

Abb. 8: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der Tagesmaxima (ΔTmax) zwischen LAM 630 und Englischer Hütte an Nichtstrahlungstagen (tägliche Sonnenscheindauer ≤ 1 h) in den Monaten Mai–August im Zeitraum 01.09.2019–30.04.2020

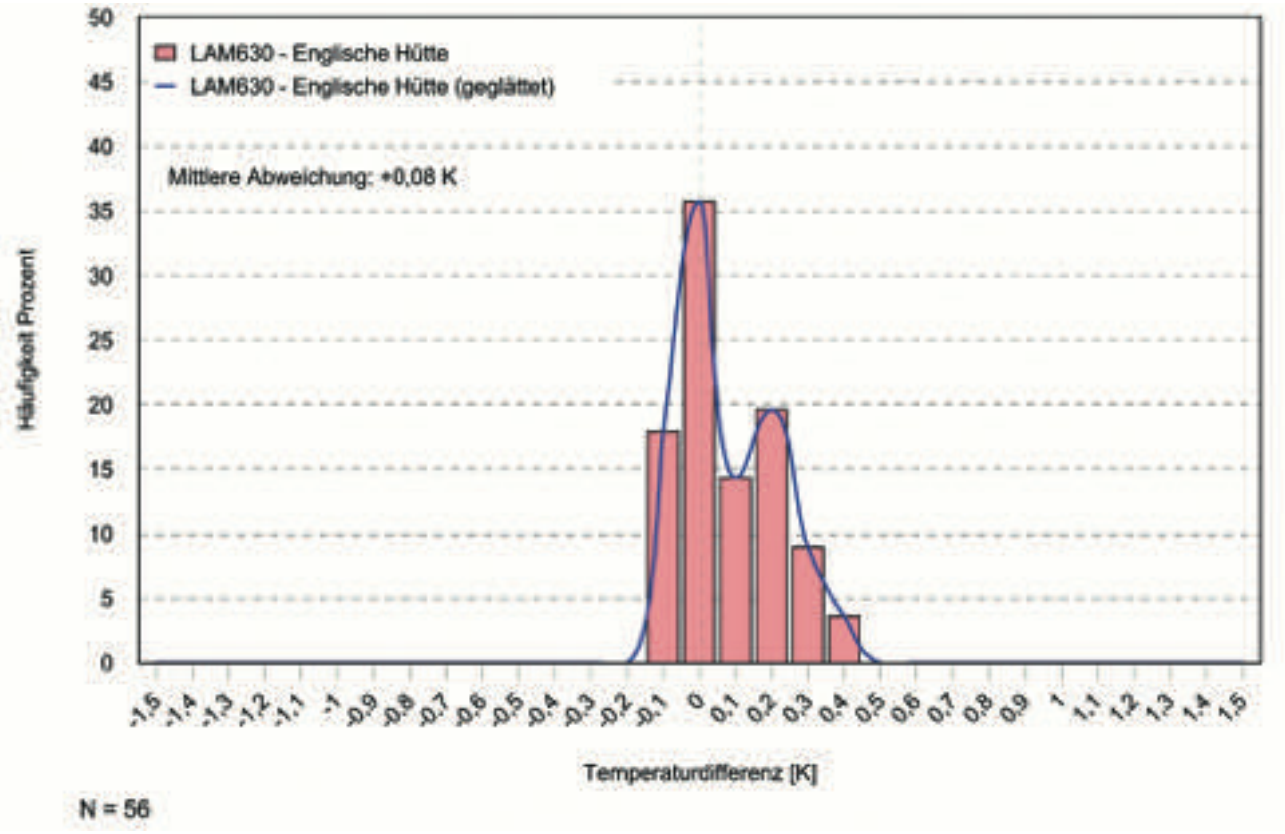

Abb. 9: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der Tagesmaxima (ΔTmax) zwischen LAM 630 und Englischer Hütte an Strahlungstagen (tägliche Sonnenscheindauer ≥ 6 h) in den Monaten November–Februar im Zeitraum 01.09.2019–30.04.2020

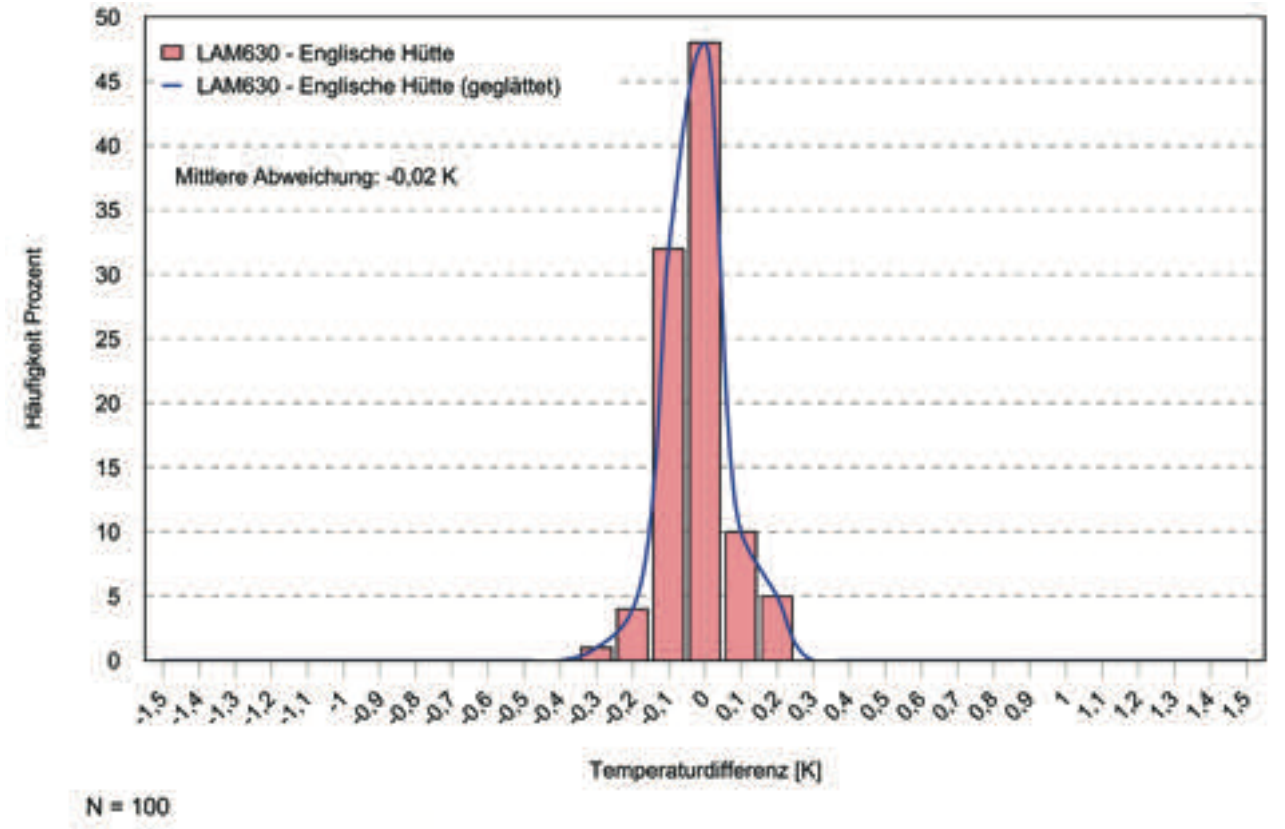

Abb. 10: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der Tagesmaxima (ΔTmax) zwischen LAM 630 und Englischer Hütte an Nichtstrahlungstagen (tägliche Sonnenscheindauer = 0 h) in den Monaten November–Februar im Zeitraum 01.09.2019–30.04.2020

Die Spanne -0,1 K bis +0,1 K deckt 90 % aller Tage ab, wobei eine leichte Verschiebung der Häufigkeitsverteilung zu negativen Werten erkennbar ist. Dies deckt sich mit der offenbar gegebenen Nullpunktabweichung der beiden Temperaturmessgeber.

3.3. Vergleich der Tagesminima

Im Gegensatz zu den Tagesmaxima der Lufttemperatur zeigen die Differenzen der Tagesminima ΔTmin (Abb., 11, 12) ein geschlosseneres Bild. D. h. sowohl an Strahlungs- wie auch an Nichtstrahlungstagen gruppieren sich die Häufigkeitsverteilungen in einem engen Bereich zwischen -0,2 und 0,0 K mit einem ausgeprägten Maximum bei -0,1 K (44 % der Fälle an Strahlungstagen und 56 % der Fälle an Nichtstrahlungstagen). Positive Differenzen (LAM 630 wärmer) treten kaum auf, ebenso negative Abweichungen < -0,2 K. Die relativ deckungsgleichen Verteilungen an Strahlungs- und Nichtstrahlungstagen mit enger Konzentration um den Nullwert deutet darauf hin, dass das Ausstrahlungsgeschehen keinen signifikanten Einfluss auf das thermische Verhalten innerhalb der beiden Strahlungsschutzhütten ausübt, obwohl sich beide Typen vom Funktions- und Wirkungsprinzip (aktive ↔ passive Belüftung, unterschiedliche thermische Trägheit als Folge der der ungleichen Hüttenvolumina) deutlich unterscheiden.

In den Wintermonaten (Abb. 13, 14) stellen sich weitgehend analoge Häufigkeitsverteilungsmuster ein. Die bei genauerer Betrachtung sich andeutenden Unterschiede sind eher marginal. So verschiebt sich an Strahlungstagen der Häufigkeitsschwerpunkt geringfügig zu etwas stärkeren negativen Abweichungen (Mittelwert -0,13 K gegenüber -0,08 K in den Sommermonaten) und an Nichtstrahlungstagen leicht in Richtung des Nullwertes (Mittelwert -0,10 K gegenüber -0,12 K in den Sommermonaten).

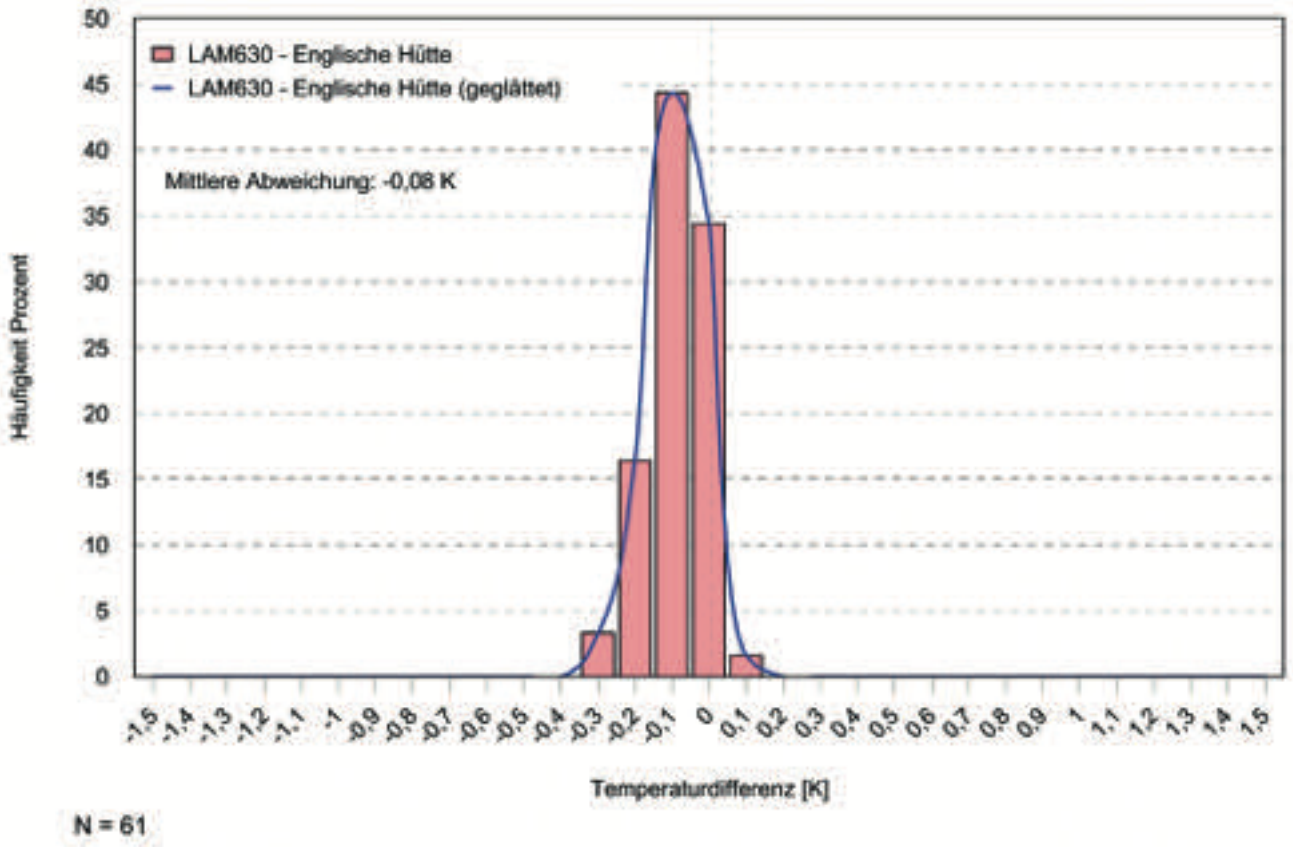

Abb. 11: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der Tagesminima (ΔTmin) zwischen LAM 630 und Englischer Hütte an Strahlungstagen (tägliche Sonnenscheindauer ≥ 12 h) in den Monaten Mai–August im Zeitraum 01.09.2019–30.04.2020

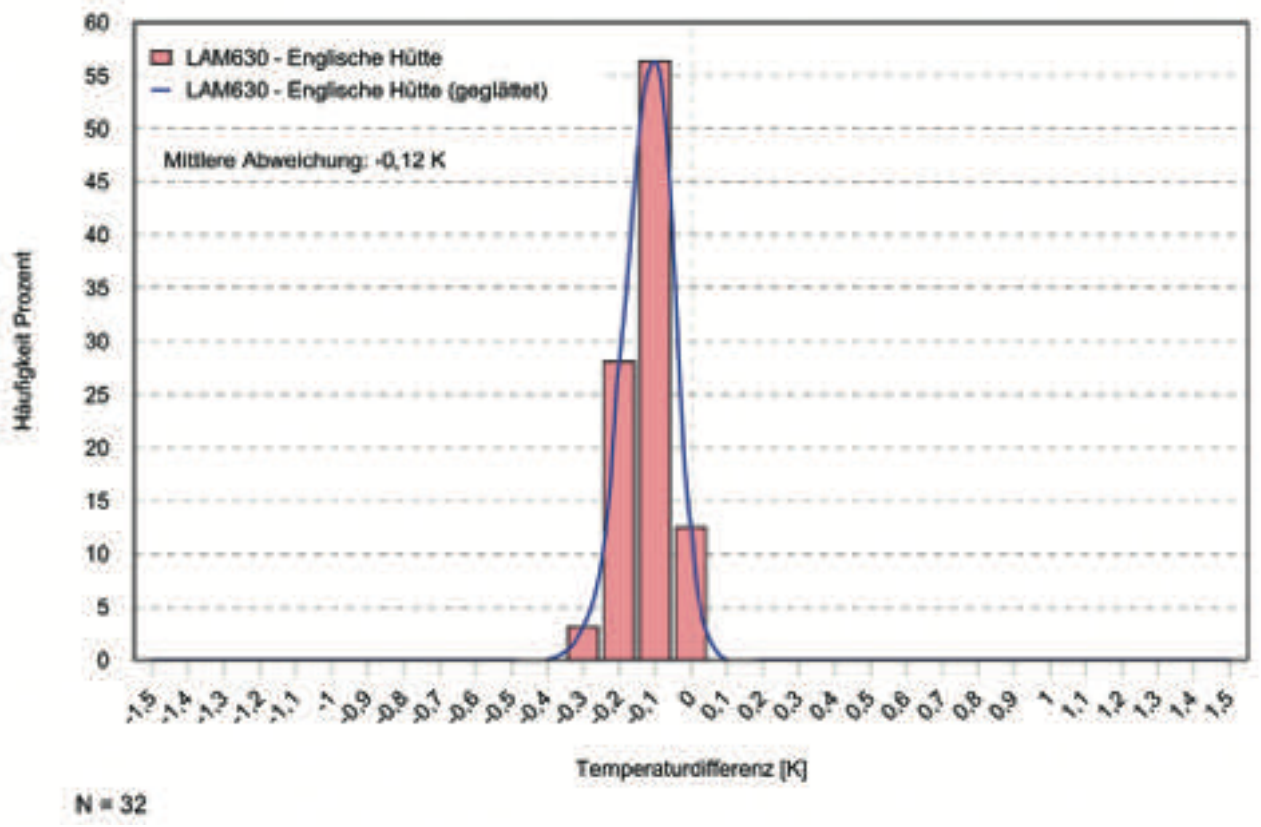

Abb. 12: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der Tagesminima (ΔTmin) zwischen LAM 630 und Englischer Hütte an Nichtstrahlungstagen (tägliche Sonnenscheindauer ≤ 1 h) in den Monaten Mai–August im Zeitraum 01.09.2019–30.04.2020

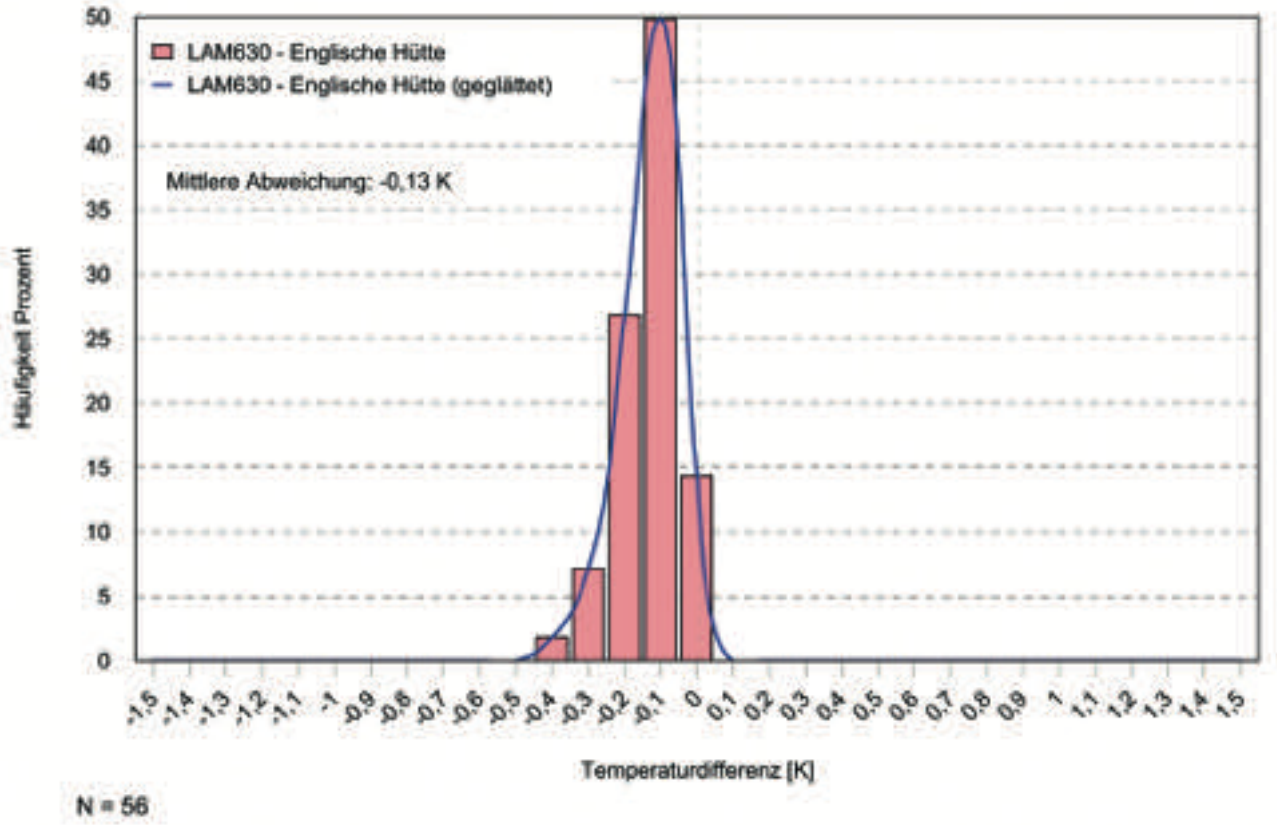

Abb. 13: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der Tagesminima (ΔTmin) zwischen LAM 630 und Englischer Hütte an Strahlungstagen (tägliche Sonnenscheindauer ≥ 6 h) in den Monaten November–Februar im Zeitraum 01.09.2019–30.04.2020

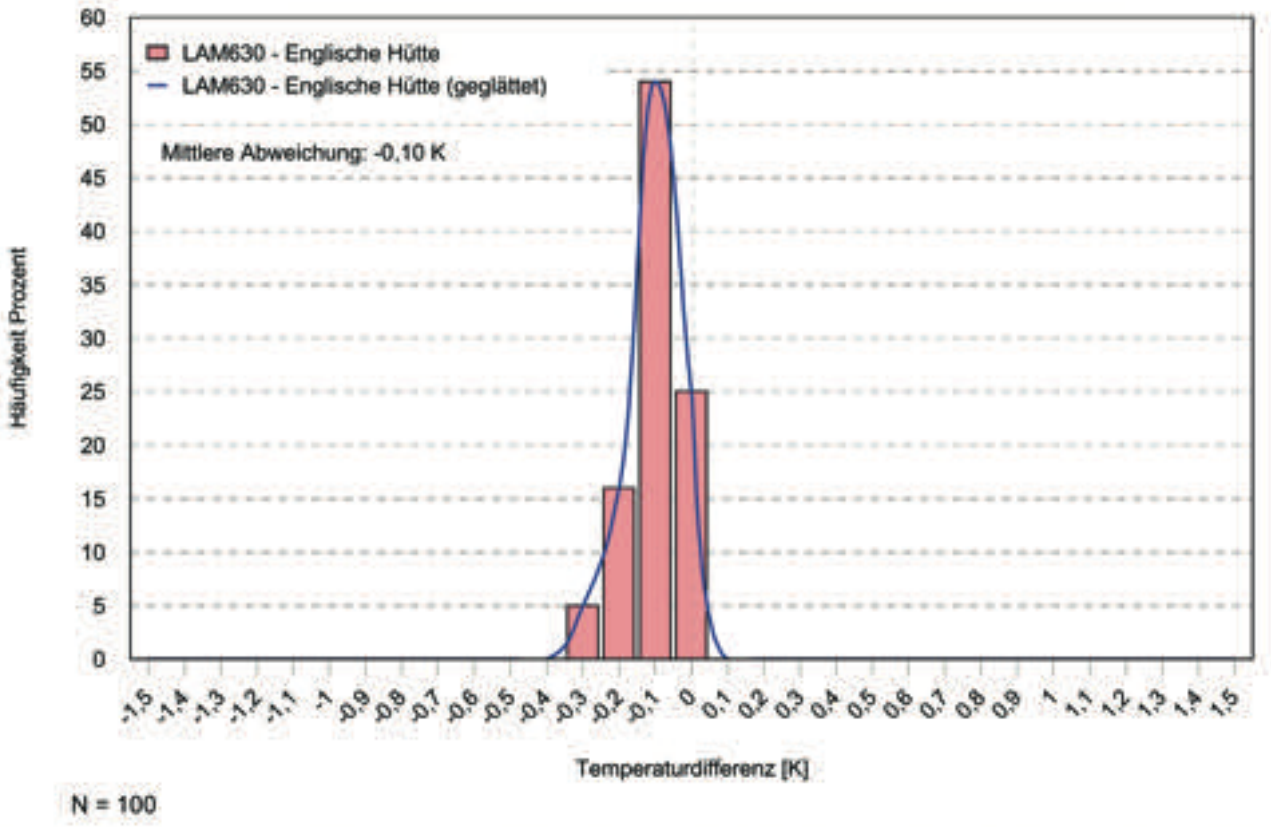

Abb. 14: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der Tagesminima (ΔTmin) zwischen LAM 630 und Englischer Hütte an Nichtstrahlungstagen (tägliche Sonnenscheindauer = 0 h) in den Monaten November–Februar im Zeitraum 01.09.2019–30.04.2020

3.4. Vergleich der 10-Minuten-Werte

Die Tagesextremwerte der Lufttemperatur, d. h. die Minima und Maxima, treten je nach Strahlungsschutzhüttentyp nicht zeitsynchron auf, sondern in Abhängigkeit von deren belüftungs- bzw. konstruktionsbedingter thermischer Trägheit mit einem zeitlichen Versatz. So reagiert die Englische Hütte mit ihrem großen Raumvolumen (ca. 125 l) sowie ihrer Masse (ca. 50 kg ohne Gestell) wesentlich träger auf Temperaturänderungen als die LAM 630 (ca. 10 l Volumen und ca. 3 kg Gewicht), deren potentielle thermische Trägheit infolge der aktiven Belüftung zusätzlich reduziert ist. Solche Nachhinkeffekte betreffen nicht nur die Minima und Maxima. Sie sind vielmehr genereller Bestandteil der Temperaturtagesgänge, d. h. sowohl in der Temperaturanstiegsphase bis zum späten Nachmittag wie auch während des abendlichen und nächtlichen Abkühlungsphase zu beobachten und demzufolge bei der Diskussion der 10-Minuten-Werte zu beachten.

In Ergänzung zu den witterungsspezifischen Häufigkeitsverteilungen der ΔTmax werden nachfolgend die Differenzen der 10-Minuten-Maxima untersucht, wobei der Schwerpunkt auf das Geschehen an Strahlungstagen am Nachmittag (13:00–17:00 Uhr) in Abhängigkeit von der Ventilation gelegt wird. Die Bedingung ‚Strahlungswetter' ist erfüllt, wenn die 10-Minutenwerte im genannten Zeitraum jeweils eine Sonnenscheindauer von 100 % registrieren. Beeinflussungen durch temporäre Beschattungseffekte sollen hierdurch ausgeschlossen werden. 13:00 bis 17:00 Uhr wurde gewählt, da dieser Zeitabschnitt typischerweise mit dem Auftreten der Tagesmaxima der Lufttemperatur an Strahlungstagen korrespondiert.

Abb. 15 gibt das diesbezügliche Häufigkeitsverteilungsmuster in den Sommermonaten Mai-August wieder. Die Darstellung ist im Prinzip ähnlich zu Abb. 6. Im Unterschied sind die Häufigkeitsverteilungen der ΔTmax nicht prozentual, sondern in Form absoluter Fallhäufigkeiten der 10-Minutenwerte dargestellt (graue Balken und graue Linienkurve). Darüber hinaus sind noch die mittleren Windgeschwindigkeit (rote Linie) und deren Varianz (blaue Linie) bezüglich der ΔT dargestellt. Im Vergleich zu den Tagesmaximaldifferenzen ist als Ergebnis der höheren Fallzahlen (N = 1125) die Verteilungskurve harmonischer ausgebildet. Im Grundsatz ist das Bild jedoch identisch zu Abbildung 6: Die Verteilung zeigt ein ausgeprägtes Maximum bei positiven Abweichungen von 0,1 bis 0,4 K. Negative Abweichungen, d. h. LAM 630 kühler als Englische Hütte, treten selten auf, ebenso positive Abweichungen über 0,5 K, d. h. LAM 630 deutlich wärmer. Ein Erklärungsansatz für die negativen Abweichungen kann in der erwähnten unterschiedlichen thermischen Trägheit der Hütten gefunden werden: Da während

intensiver Einstrahlung die Lufttemperatur bodennah und auch in Messgeberhöhe 2 m einer relativ hohen Variabilität unterworfen ist (im 10-Minutenintervall oftmals > 0,5 K und innerhalb Stundenfrist auch > 1 K), können durchmischungsbedingte temporäre Abkühlungssituationen auftreten, welche von den Temperatursensoren in der LAM 630 in weit rascherem Maß registriert werden als in der Englischen Hütte. Am anderen Ende der Verteilungsskala gilt dies auch für Situationen mit relativ großen positiven Temperaturdifferenzen. Dies könnte zumindest teilweise den herauslesbaren gegenläufigen Korrelationstrend der Temperaturdifferenzen in Abhängigkeit zur mittleren Windgeschwindigkeit erklären. Während sich in der Differenzspanne -0,1 bis +0,6 K ein Bezug zur Strömungsintensität zumindest andeutet – Temperaturdifferenzen um 0 K sind mit etwas höheren mittleren Windgeschwindigkeiten assoziiert (im Mittel ca. 2,3–2,4 m/s) als Temperaturdifferenzen um 0,5 K (im Mittel ca. 2,0–2,1 m/s) – zeigt sich bei Werten < -0,2 K bzw. > 0,6 K ein gegenläufiges Bild. Die korrespondierenden Differenzen basieren allerdings auf zu geringen Fallzahlen, um hinreichend verlässliche Aussagen gewinnen zu können.

Erweitert man den Analysezeitraum noch um die Monate April und September (Abb. 16), stehen zwar fast doppelt so viele Fälle (N = 2725) zur Verfügung. Allerdings zeigt sich kein klareres Bild. Zwar ist in der Spanne der Temperaturdifferenzen von 0,0 bis +0,5 K im Wesentlichen die gleiche Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit zu beobachten. Am unteren Ende der Spannweite zeigt sich jedoch, dass mit zunehmend negativen Maxima-Differenzen die mittlere Windgeschwindigkeit abnimmt. Geringe natürliche Ventilation bedeuten einen geringeren Luftaustausch in passiv ventilierten Strahlungsschutzhütten, während aktiv ventilierte Systeme weniger beeinflusst werden. Da die Englische Hütte einen Strahlungsfehler bis über 1 K aufweist, lässt sich der zu beobachtende Effekt auch mit den vorangehend diskutierten Effekten (durchmischungsbedingte temporäre Abkühlungssituationen) erklären: Sinkt die Lufttemperatur im Messumfeld in Situationen mit schwacher Luftbewegung, reagiert die LAM 630 im Gegensatz zur Englischen Hütte deutlich schneller auf das niedrigere Temperaturniveau. Weiterhin sind die mittleren Windgeschwindigkeiten sowie deren Varianz zu beachten. Auffällig ist, dass deren Werte am höchsten im Bereich mit den größten Fallzahlen (-0,1 K bis +0,5 K ΔTmax) sind. Gleiches gilt für die hier zusätzlich dargestellte Spannweite der Windgeschwindigkeiten, welche bei ΔTmax < 0,0 K und > 0,5 K deutlich geringer als im Hauptfeld (0,0–0,5 K) ist. Insgesamt führt die thermische Trägheit bei Strahlungseinfluss dazu, dass die Englischen Hütte die wahre Lufttemperatur nur gedämpft wahrnimmt. Bzgl. der Temperaturmaxima wird diese Dämpfung in der überwiegenden Zahl der Fälle vom Hüttenstrahlungsfehler kompensiert, so dass an strahlungsreichen Tagen die „wahren" Extremwerte zumeist doch näherungsweise wiedergegeben werden.

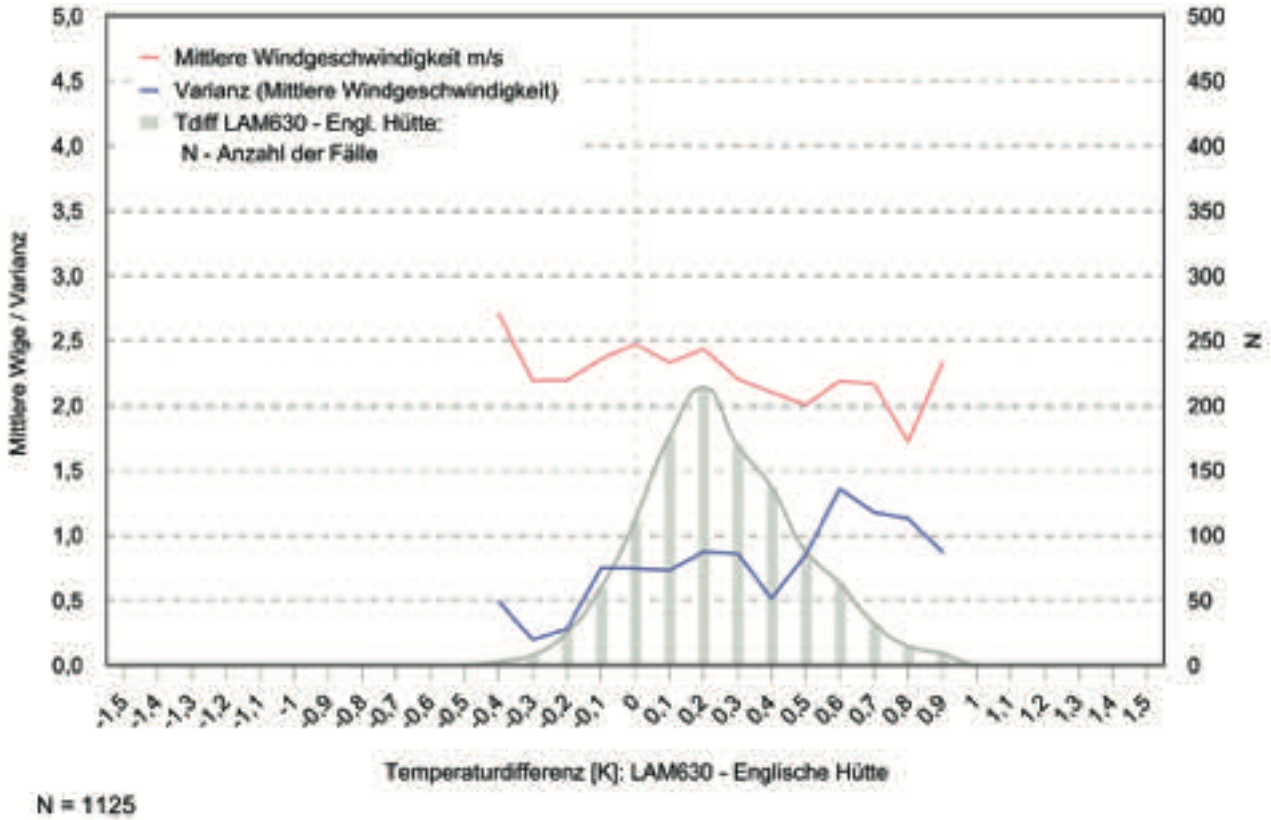

Abb. 15: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der 10-minütlichen Temperaturmaxima (ΔTmax) zwischen LAM 630 und Englischer Hütte im Zeitraum 13–17 MEZ an Strahlungstagen (Summe der Sonnenscheindauer = 100 %) in Abhängigkeit von der mittleren Windgeschwindigkeit in den Monaten Mai–August im Zeitraum 01.09.2019–30.04.2020

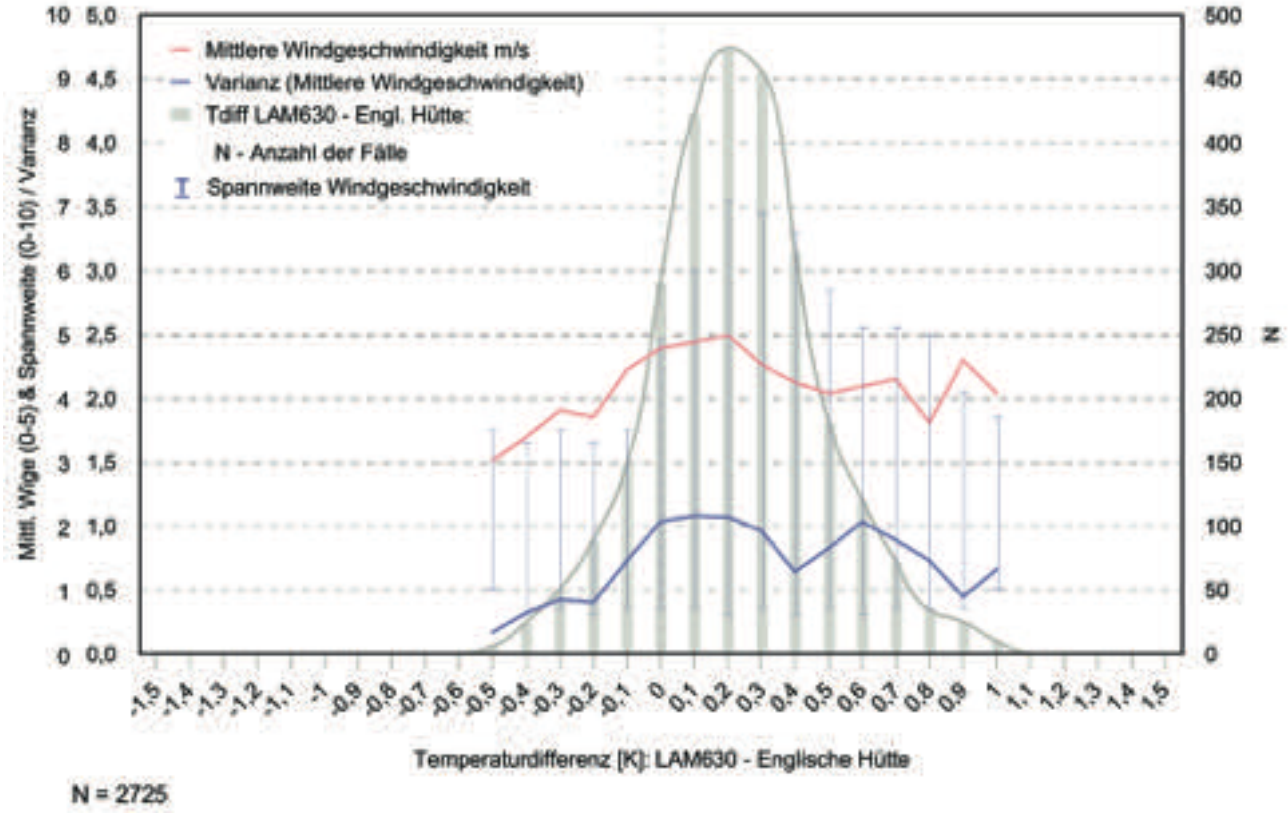

Abb. 16: Häufigkeitsverteilung der Differenzen der 10-minütlichen Temperaturmaxima (ΔTmax) zwischen LAM 630 und Englischer Hütte im Zeitraum 13–17 MEZ an Strahlungstagen (Summe der Sonnenscheindauer = 100 %) in Abhängigkeit von der mittleren Windgeschwindigkeit in den Monaten April–September im Zeitraum 01.09.2019–30.04.2020

3.5. Vergleich der Tagesgänge

Ein klareres Bild bezüglich des Strahlungseinflusses lässt sich anhand der Tagesgänge erkennen. Abbildung 17 gibt den mittleren Verlauf in den Monaten Mai–August an Tagen mit einer Sonnenscheindauer von mindestens 12 Stunden wieder. Dargestellt sind die unkorrigierten 10-minütlichen Mittelwertdifferenzen LAM 630 minus Englische Hütte sowie die ebenfalls unkorrigierten mittleren tatsächlichen Temperaturverläufe.

Nachdem am Morgen die im Mittel nur um etwa 0,1 K differierenden Temperaturminima erreicht werden (Englische Hütte 13,36 °C, LAM 630 13,26 C), steigen die Lufttemperaturen nach Sonnenaufgang unterschiedlich rasch an. Gegen 07 MEZ hinkt die Englische Hütte im Mittel um bis zu 0,9 K hinter der LAM 630 nach. Zum Teil erklärt sich dies durch die etwas früher am Standort der LAM 630 einsetzende Besonnung. So beträgt der Abstand von der Englischen Hütte zu dem östlich angrenzenden, etwa 6–9 m hohen Gebäude etwa 20 m und zur LAM 630 etwa 26 m. Die unterschiedliche Andauer des Schattenwurf begrenzt sich zwar nur auf etwa 20 Minuten. Der resultierende Nachschwingeffekt in Kombination mit der thermischen Trägheit dürfte jedoch zeitlich etwas länger nachwirken.

Im weiteren Verlauf des Vormittags reduziert sich die Temperaturdifferenz bis 10 MEZ auf 0,4 K und bleibt bis zum frühen Nachmittag (15 MEZ) bei schwach abnehmendem Trend relativ gleichmäßig zwischen 0,40 und 0,33 K, d. h. in der Englischen Hütte herrschen um diesen Betrag beständig niedrigere Temperaturen. Bis zum Zeitpunkt der Tageshöchstwerte gegen 16 MEZ (Englische Hütte 27,05 °C, LAM 630 27,29 °C) reduziert sich parallel zum abflachenden Lufttemperaturanstieg das Nachhinken und somit auch die Differenz. Nach 17 MEZ kehrt sie sich mit einsetzender Abkühlungsphase in ein positives Nachhinken um. Gegen Sonnenuntergang erreicht der Differenzwert im Mittel bis ca. 0,24 K und pendelt sich im weiteren Verlauf der Nacht bis zum frühen Morgen auf Werte zwischen 0,12 und 0,09 K ein. Auch bei Berücksichtigung des statistisch ermittelten wahrscheinlichen Sensorfehler (0,07 K) würde sich am beschriebenen typischen Bild keine grundsätzliche Änderung ergeben. Der ‚unsaubere' Verlauf der Differenzenkurve zwischen 17 und 19 MEZ lässt sich ebenfalls durch asynchrone Beschattungseffekte erklären. So wird das Messfeld der LAM 630 früher vom Schattenwurf des westlich angrenzenden Gebäudes des Hauses der Artenvielfalt erfasst als die Englische Hütte.

Betrachtet man Einzeltagessituationen, stellt sich das vorangehend beschriebene Geschehen teilweise noch prägnanter dar. Abb. 18 gibt die Situation am 31.07.2020 wieder. Unter dem Einfluss eines bereits an den Vortagen wetterbestimmenden Hochdruckgebietes

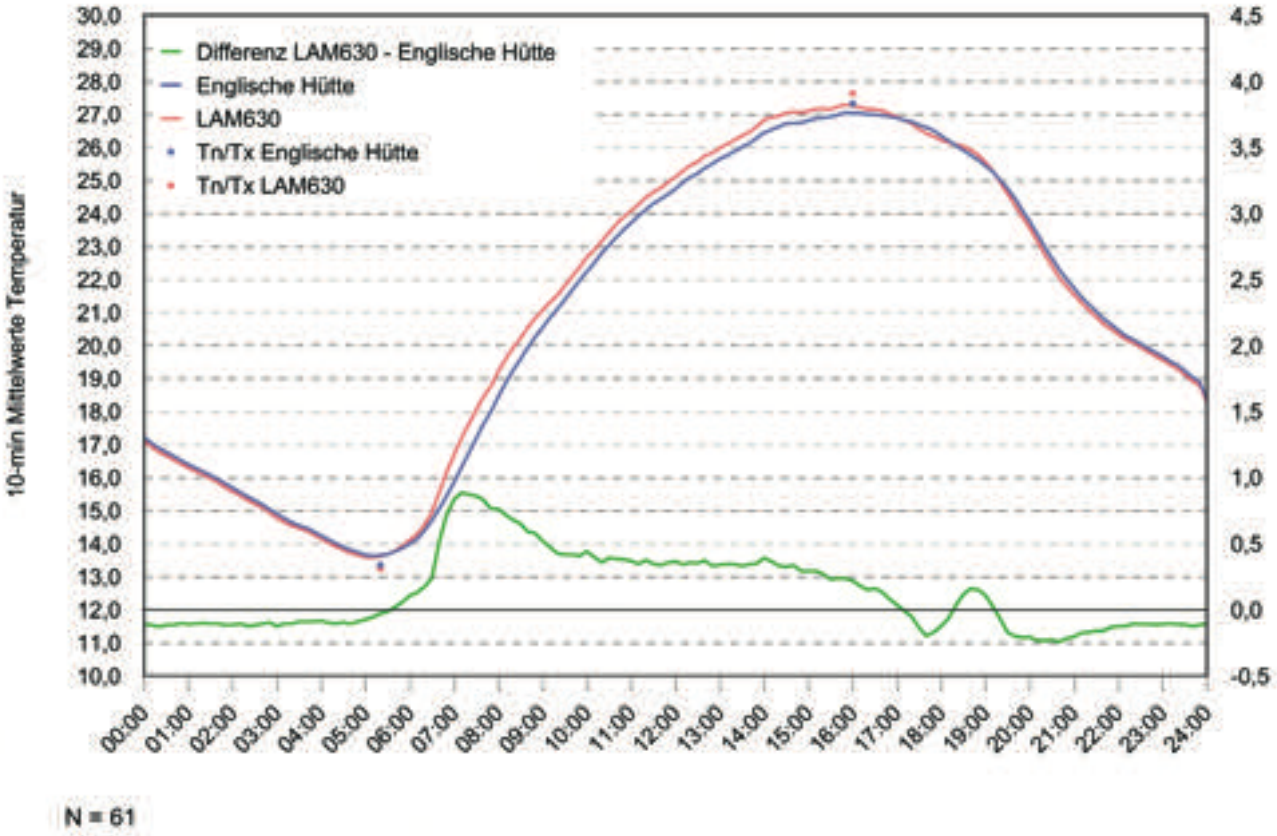

Abb. 17: Mittlerer Tagesgang der Lufttemperatur und deren Differenzen in der LAM 630 und der Englischen Hütte an Strahlungstagen (tägliche Sonnenscheindauer ≥ 12 h) in den Monaten Mai–August im Zeitraum 01.09.2019–30.04.2020

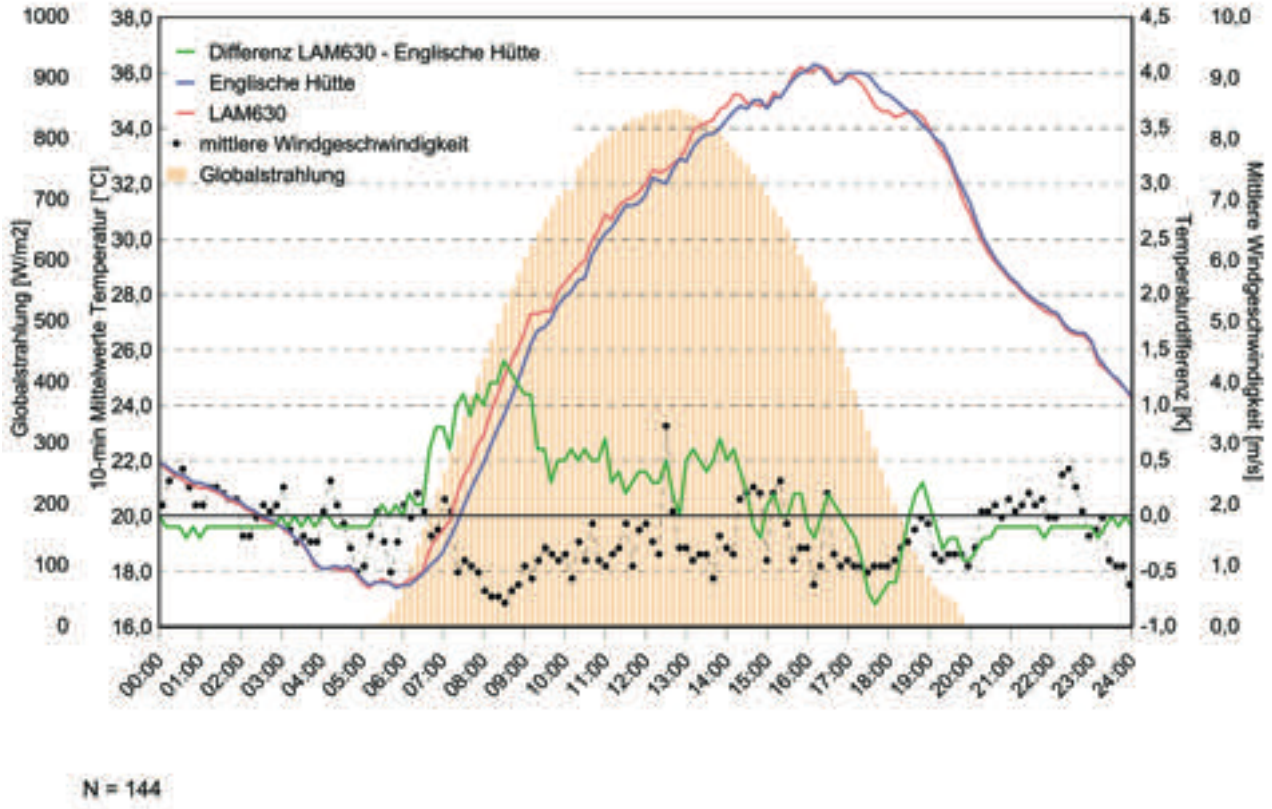

Abb. 18: Tagesgang der Lufttemperatur und deren Differenzen in der LAM 630 und der Englischen Hütte sowie der Globalstrahlung und der mittleren Windgeschwindigkeit am 31.07.2020

herrschte wolkenfreie Witterung, so dass unterstützt durch die Zufuhr sehr warmer Luftmassen aus Südeuropa die Tagestemperaturen am Nachmittag bis auf 36 °C anstiegen. Ganztägig herrschte bei wolkenfreiem Himmel ungestörte Sonneneinstrahlung vor, wie der Tagesgang der Globalstrahlung belegt. Er folgt nahezu perfekt einer idealen Glockenkurve mit einem Maximum von 850 W/m² am Mittag. Wenig zeitversetzt zum Sonnenaufgang beginnt an beiden Messgebern die Temperaturanstiegphase, welche sich nach 06:30 MEZ mit einsetzender Besonnung des Messfeldes in unterschiedlicher Tendenz fortsetzt. Analog zum gemittelten Tagesgang zeigt sich das deutliche Nachhinken der thermisch trägen Englischen Hütte. Gegen 08:30 Uhr beträgt die Temperatur-Differenz der 10-Minuten-Mittelwerte 1,4 K und pendelt sich nach 09:00 Uhr bis zum frühen Nachmittag auf Werte zwischen etwa 0,4 und 0,6 K ein. Kurzzeitig werden auch Peaks bis 0,7 K bzw. Rückgänge auf 0,0 K registriert. Der Verlauf mit relativ großen Differenzen am Morgen und zeitweise gegen 0 tendierenden Werte erklärt sich aus dem Windgeschehen. So geht die Strömungsintensität zwischen etwa 7:00 und 9:00 Uhr auf 1,0–0,4 m/s zurück und steigt im weiteren Verlauf des Vormittags aufgrund der zunehmenden Konvektion auf Werte um 1,5 m/s an. Gegen 12:30 MEZ lebt der Wind vorübergehend markant auf (3,3 m/s). Die korrespondierende deutlich gesteigerte Ventilation führt in der Englischen Hütte zu einem intensiveren Luftaustausch, wie die abnehmenden Temperaturdifferenzen (12:30 MEZ = 0,5 K, 12:40 MEZ = 0,2 K, 12:50 MEZ = 0,0 K) andeuten. Eine Korrelation mit der Strömungsintensität zeigen auch die Differenzwerte nach 14:00 MEZ, wobei im weiteren Verlauf die stetig abnehmende Strahlungsintensität einen dämpfenden Beitrag leisten dürfte. Die auffälligen negativen Differenzwerte zwischen etwa 17:00 und 18:00 MEZ sind auf die frühzeitigere Beschattung der LAM 630 zurückzuführen. Nach Sonnenuntergang liegen die Temperaturdifferenzen bis zum Morgen sehr konstant bei -0,1 K. Dies entspricht weitgehend der eingangs ermittelten Abweichung der Temperatursensoren.

Dass in der dargestellten Nachtsituation kein auffälliges Nachhinken der Englischen Hütte zu beobachten ist, kann auf die ausreichende natürliche Ventilation zurückgeführt werden. Sowohl zwischen 00:00 MEZ und 06:00 MEZ wie auch am darauffolgenden Abend herrschen mittlere Windgeschwindigkeit zwischen 1,5 und 2,5 m/s.

3.6. Vergleich der Klimaterminwerte und Résumé

Den Wetterlagen- und jahreszeitenspezifischen Wertungen von Parallelmessungen meteorologischer Messtechnik und Messbedingung kommt im Rahmen der Homogenisierung historischer Klimazeitreihen eine besondere Bedeutung zu. Die hohe zeitliche Auflösung, welche erst im Rahmen der Automatisierung im DWD-Messnetz ab den 1990er Jahren möglich wurde, eröffnet wesentlich dediziertere Analysemöglichkeiten. Stündliche Auflösungen meteorologischer Parameter liegen – als kürzestes Zeitintervall – bis Ende des 20. Jahrhunderts nur von wenigen Wetterstationen bzw. meteorologischen Observatorien vor. An der weit überwiegenden Zahl der Stationen wurde lediglich zu den Klimaterminwerte 07:30, 14:30, 21:30 MEZ (Mannheimer Stunden) beobachtet bzw. zu diesen Terminen die Extrem- und Summen-‘ werte aufgezeichnet. Dies bedeutet, dass im Homogenisierungsprozess für solche Subtageswerte witterungs- und jahreszeitenspezifische Korrekturfaktoren zu definieren sind.

Abb. 19 gibt die entsprechenden Differenzwerte zwischen Englischer Hütte und LAM 630 im Gesamtzeitraum sowie für die Wintermonate November–Februar und die Sommermonate Mai–August wieder, wobei für den Winter und den Sommer noch nach den Kategorien Nichtstrahlungswetterlagen, Strahlungswetterlagen sowie gemischten Wetterlagen unterschieden wird. Letztere sind als Witterungszustände definiert, welche im Tagesverlauf sowohl Strahlungs- wie auch Nichtstrahlungssituationen aufweisen. Das Tagesmittel der Lufttemperatur wurde im DWD-Netz bis 2001/03 aus den drei Terminwerten nach der Formel (07:30 MEZ + 14:30 MEZ + 2*21:30 MEZ)/4, auch als Kämtz´sches Mittel bezeichnet, ermittelt. Seit 2001/04 wird es aus den 24 Stundenmittelwerten bestimmt. Nachfolgend sind beide Methoden nebeneinander gestellt. Die statistisch ermittelte Sensorabweichung von -0,07 K ist hier als Korrekturfaktor berücksichtigt.

Betrachtet man den Gesamtzeitraum, zeigen sich bzgl. der Tagesmittelwerte für beide Verfahren mit +0,08 K nahezu die gleichen Differenzen, d. h. die in der LAM 630 ermittelten Tagesmittel liegen knapp 0,1 K über denen in der Englischen Hütte. Bzgl. der Terminwerte ergeben sich Unterschiede von +0,21 K (07:30 MEZ, 14:30 MEZ) bzw. -0,05 K (21:30 MEZ) und bzgl. der Tagesminima -0,04 K und der Tagesmaxima +0,24 K.

Witterungs- und jahreszeitenspezifisch zeigen sich deutlichere Differenzierungen. Während in den Monaten November–Februar an Nichtstrahlungstagen erwartungsgemäß nur marginale Unterschiede (Spannweite -0,04 bis +0,06 K) und bezüglicher der Tagesmittelwerte exakte Übereinstimmungen zu beobachten sind, ergeben sich beim gleichen Witterungstyp in den Monaten Mai–August etwas deutlichere Differenzen der mittleren Tagesmaxima (+0,27 K) und der Terminwerte 07:30 MEZ (+0,13 K) und 14:30 MEZ (+0,22 K). Als Erklärung bietet sich die Globalstrahlung an, denn auch bei vollständig wolkenbedecktem Himmel erreicht bei hohem Sonnenstand oftmals eine nicht unbeträchtliche Strahlungsmenge die Erdoberfläche, was zu einer messbaren Erwärmung der Oberflächen führt. Man kann diesen Effekt z. B. beim Einsteigen in geparkte Fahrzeuge bemerken. In den Nachtstunden kommt der gegenteilige Effekt (Ausstrahlung) bedingt durch die Gegenstrahlung an der Wolkenuntergrenze kaum noch zum Tragen, obwohl auch bei solchen Situationen atmosphärische Wärmeverluste gegeben sind, wie sich anhand der schwachen nächtlichen

Temperaturrückgänge verfolgen lässt. In der Auswertung zeigen sich im Mittel zum Klimaterminwert III (21 MEZ) schwach negative Temperaturdifferenzen von -0,03 K sowie bzgl. der Minima von -0,05 K. Im Tagesmittel ergeben sich jeweils Differenzen von +0,07 K (Basis Terminwerte und 24-Stundenwerte).

Betrachtet man die Situation an Strahlungstagen, zeigen sich teilweise sehr deutliche Unterschiede zum Geschehen an Nichtstrahlungstagen und darüber hinaus im Jahreszeitenvergleich. So ergeben sich bedingt durch die hohe Einstrahlungsenergie im Sommer größere Differenzen als im Winter. Auffällig ist in diesem Zusammenhang die scheinbare Anomalie beim Terminwert I (07:30 MEZ). Während im Winter an Strahlungstagen eine Abweichung von -0,04 K zu beobachten ist, werden im Sommer mit +0,92 K fast dreimal so hohe Differenzwerte als um 14:30 MEZ gemessen. Der entsprechende Winterwert erklärt sich aus dem Umstand, dass der Zeitpunkt vor Sonnenaufgang liegt und das Ausstrahlungsgeschehen jeweils noch die thermische Situation in den Strahlungsschutzhütten bestimmt.

Im Sommer ergibt sich ein anderes Bild. In den Monaten Mai–August geht die Sonne zwischen ca. 04:20 MEZ (21.6.) und ca. 05:40 MEZ (31.8.) auf, d. h. signifikant vor dem Terminwert I, was ohne Horizonteinschränkung ab diesem Zeitpunkt zu einer Bestrahlung beider Hütten führen würde. Als Folge der lokalen baulichen Situation und des räumlichen Abstandes der beiden Strahlungsschutzhütten ergeben sich jedoch am Morgen unterschiedliche Besonnungsverhältnisse im Messfeld. Wie bereits erwähnt, wird die LAM 630 bereits vor 7:30 MEZ besonnt, während die etwas weiter östlich positionierte Englische Hütte noch überwiegend im Grenzbereich des Schattenwurfes des ca. 20 m östlich angrenzenden Gebäudes liegt bzw. erst kurz vor dem Klimatermin von der Sonne erreicht wird. Die längere Beschattung in Kombination mit der erheblich größeren thermischen Trägheit der Englischen Hütte führt zu den signifikant niedrigeren Temperaturwerten. Der Trägheitseffekt lässt sich auch an Nichtstrahlungstagen (um 7:30 MEZ Temperaturdifferenz LAM 630 – Englische Hütte +0,13 K) und insbesondere an Tagen mit gemischten Wetterlagen (Temperaturdifferenz +0,51 K) beobachten.

Die unterschiedliche Wirkung des Strahlungseinflusses zeigt sich erwartungsgemäß besonders deutlich zum Klimatermin II um 14:30 MEZ. In der LAM 630 werden stets höhere Temperaturen als in der Englischen Hütte gemessen, wobei die Unterschiede im Winter wesentlich geringer als Sommer sind und an Strahlungstagen (+0,20 K bzw. +0,34 K) ausgeprägter als an Nichtstrahlungstagen (+0,06 K bzw. +0.20 K; vgl. Tabelle 1). Gleiches gilt auch für die Tagesmaxima. Hier ergeben sich nahezu identische mittlere Differenzwerte. Besondere Beachtung verdient in diesem Zusammenhang die Betrachtung der gemischten Wetterlagen. Hinsichtlich der Faktoren Bewölkung und Strahlung umspannen sie eine komplexe Gemengelage verschiedener Witterungssituationen. Im Gegensatz zu klaren wolkenlosen Tagen, an denen die solare Direktstrahlung dominiert, kann bei Situation mit wechselnder bzw. durchscheinender Bewölkung sowie Dunst die an Wolken, Staub- und Wasserteilchen gestreute Diffusstrahlung noch eine verstärkende Rolle im thermischen Geschehen der Strahlungsschutzhütten spielen. Dass sich solche Effekte insbesondere in den Sommermonaten, d. h. bei hohem Sonnenstand, auf die Effizienz von Strahlungsschutzhütten auswirken können, verdeutlichen die Differenzen beim Klimatermin II sowie vor allem bzgl. der Temperaturmaxima. Hier werden an Tagen mit gemischten Wetterlagen im Mittel deutlich höhere Maxima (+0,46 K) als an Strahlungstagen (+0,34 K) verzeichnet, während zum Terminwert 14:30 MEZ der Gegensatz (+0,36 K zu +0,34 K) etwas weniger prägnant in Erscheinung tritt. Zum besseren Verständnis der beschriebenen Effekte sind Erläuterungen zum Messprinzip der LAM 630 bzw. aller modernen Strahlungsschutzhütten notwendig. Die Form der LAM 630 entspricht den heute weit verbreiteten Lamellenhütten. Sieben Teller sind übereinander angeordnet, wobei die unteren vier Teller den Messraum bilden, welcher durch einen darüber liegenden fünften Teller (jeweils 215 mm Durchmesser) mit eingebautem Lüfter abgeschlossen wird. Hierüber befinden sich ein gleichgroßer sechster und ein um 50 mm größerer siebter Teller, die als eigentlichen Strahlungsschutz dienen. Die Überlappung des obersten Tellers soll einen zusätzlichen Strahlungs- und Benetzungsschutz bewirken. Die Oberseiten der Teller sind weiß lackiert. Die Unterseiten hingegen schwarz. Dies soll der inneren Erwärmung im Messraum, welche im wesentlichen an der Unterseite der Lamellen durch eindringende reflektierte langwellige Strahlung entsteht, entgegenwirken. Bei hohem Anteil diffuser Strahlung bzw. Gegenstrahlung können jedoch offenbar doch merkbare Überwärmungseffekte auftreten. Dass die Daten solche Effekte vor allem bei den Tagesmaxima, aber weniger deutlich zum Terminwert 14:30 MEZ zeigen, stellt dabei keinen Widerspruch dar, da bei Situationen mit im Tagesverlauf variierendem Bewölkungs- und Besonnungsgeschehen zum Zeitpunkt des Terminwertes seltener die Kombination Sonnenschein und hoher Anteil an Diffusstrahlung auftritt als zum Zeitpunkt der Temperaturtagesmaxima. Letztere korrelieren nachmittags mit dem Parameter Sonnenschein: In 26,2 % der Fälle registrierte der Sonnenscheindauersensor im 10-Minutenintervall zum Zeitpunkt des Temperaturmaximum durchgehend Sonnenschein (100 %) bzw. in 41,2 % der Fälle mehr als 85 % Sonne, hingegen zum Terminwert 14:30 MEZ nur in 10,0 % bzw. 16,3 % der Fälle.

Zum Terminwert 21:30 MEZ ergeben sich nur geringe mittlere Differenzen zwischen LAM 630 und Englischer Hütte. Im Winter reichen sie von -0,03 K an Nichtstrahlungstagen bis -0,06 K an Strahlungstagen und im Sommer entsprechend von -0,03 K bis -0,10 K. Die Werte an Tagen mit gemischten Wetterlagen liegen dazwischen. Als Folge des thermischen Nachhinkens der Englischen Hütte werden demnach in der LAM 630 am Abend im

Mittel geringfügig niedrigere Temperaturen gemessen.

Die witterungs- und jahreszeitenabhängig unterschiedlichen thermischen Geschehen spiegeln auch die Häufigkeitsverteilungen der Temperaturdifferenzen an den Terminwerten wider. Exemplarisch sei an dieser Stelle der Fokus auf das Gesamtkollektiv (Abb.20) sowie die Situation an Nichtstrahlungstagen im Winter (Abb. 21) und Strahlungstagen im Sommer (Abb. 26) gelegt; ergänzend können die entsprechenden Verteilungen während der anderen Witterungssituationen im Winter und im Sommer Abbildungen 22–25 entnommen werden.

Bei der Interpretation gilt zu berücksichtigen, dass hier die unkorrigierten Differenzwerte dargestellt sind. Wie Abb. 20 (Gesamtzeitraum, alle Wetterlagen) zu entnehmen ist, zeigt sich um 7:30 MEZ ein Häufigkeitsmaximum mit 53 % bei -0,1 und 0,0 K. Negative Differenzen < -0,2 K treten nur vereinzelt auf, wohingegen positive Differenzen > 0,2 K noch in 24 % der Fälle bzw. vereinzelt (ca. 4 % der Fälle) auch Werte ≥ +1,0 K beobachtet werden. Um 14:30 MEZ liegt das Verteilungsmaximum mit deutlich breiterer Streuung im Bereich zwischen -0,1 und +0,3 K (insg. 81 % der Fälle) bei tendenzieller Schiefe zu positiven Abweichungen (Anteil der Fälle mit ≥ +0,5 K bei 8 %). Um 21:30 MEZ zeigt sich hingegen ein sehr enger Peak im Bereich -0,2 bis 0,0 K (88 % der Fälle).

An Nichtstrahlungstagen im Winter (Abb. 21) gruppieren sich die Verteilungen – unter Berücksichtigung der ungleichen Messgeberkalibrierungen – an allen drei Terminen erwartungsgemäß jeweils in einem sehr engen Bereich nahe der Nullabweichung. Lediglich die 14:30 MEZ-Verteilung weisen auf eine geringfügige Verschiebung in den positiven Bereich hin.

Analog zu den mittleren Temperaturdifferenzen zeigen die Häufigkeitsverteilungen an Strahlungstagen im Sommer ein gegensätzliches Bild (Abb. 26). Um 7:30 MEZ verteilen sich die Werte, bei markanter Verschiebung zu positiven Differenzen, relativ breit gestreut auf den Bereich zwischen +0,5 und +1,1 K (77 % der Fälle). In ca. 10 % der Fälle werden Differenzen ≥ 1,2 K beobachtet. Um 14:30 MEZ lässt sich bei noch relativ großer Streuung eine Gruppierung im Bereich zwischen +0,1 und +0,4 K (70 % aller Fälle) erkennen. Differenzen ≥ +0,5 K stellen sich in 12 % der Fälle ein. Um 21:30 MEZ stellt sich schließlich ein ausgeprägtes Maximum bei -0,2 K bis -0,1 K (71 % der Fälle) ein.

Die witterungs- und jahreszeitenabhängigen Differenzen der Terminwerte 7:30 MEZ und insbesondere 14:30 MEZ wirken sich auch auf die Tagesmittelwerte aus. Im Gesamtkollektiv ergibt sich sowohl für die klassische Berechnung aus den drei Terminwerten wie auch für das 24-Stundenmittel eine Differenz von +0,08 K (Tab. 2). Im Winter zeigen sich an Nichtstrahlungstagen sowie Tagen mit gemischten Wetterlagen (Abb. 22) keine Abweichungen (≤ 0,01 K), ebenso an Strahlungstagen (Abb. 23) bei Mittelwertbildung aus den Terminwerten. Beim 24-Stundenmittel ergibt sich eine geringfügig größere Differenz von 0,06 K. Deutlichere Abweichungen zeigen sich erwartungsgemäß im Sommer: An Nichtstrahlungstagen sind sie mit jeweils +0,07 K noch gering und betragen an Strahlungstagen im Mittel +0,18 K (24-Stundenmittel) bzw. +0,27 K (Mittel aus Terminwerten). Im Hinblick auf die Homogenisierung von Klimazeitreihen sind solche aus Änderungen der Messbedingungen resultierenden Brüche nicht marginal. Einschränkend gilt, dass die vorliegenden Ergebnisse der vorliegenden Parallelmessungen noch einen zu kurzen Datenzeitraum für gesicherte Analysen umfassen. Des Weiteren entspricht das Messfeld nicht den eigentlich notwendigen Bedingungen für Referenzmessungen (Beschattungseffekte am Morgen und am Abend durch die benachbarten Gebäude) und die beiden in den Strahlungsschutzhütten platzierten Temperatur-Feuchtemessgeber wurden nicht in Messlaboren nach DIN kalibriert. Trotz dieser Einschränkungen haben die Parallelmessungen vor allem bei weiterer zukünftiger Kontinuität einen erheblichen ergänzenden Mehrwert zu anderen Referenzmessungen. Hier sind vor allem die bereits eingangs zitierten „Parallelmessungen an deutschen Klimareferenzstationen“ (Hannak & Brinckmann 2020) heranzuziehen. Der Bericht kommt zum Ergebnis, dass in Hinblick auf die Homogenität langer Messreihen keine Inhomogenitäten der Lufttemperatur, mit Ausnahme der Tagesextrema, als Folge der Automatisierungen zu erwarten sind. Hingegen wurden „bei den täglichen Temperaturminima und –maxima leichte Änderungen vor allem in den Sommermonaten, hauptsächlich infolge des Wechsels der Strahlungsschutzhütte, festgestellt. Aufgrund der höheren Trägheit der Englischen Hütte (im Vergleich zur LAM-630), die durch den Aufbau ihrer Lamellen und ihres großen Luftvolumens stark von der Umgebungsluft abgeschottet ist, gleichen sich die Temperaturen in ihrem Inneren relativ langsam an die Umgebung an, so dass negative oder positive Temperaturspitzen nicht vollständig erfasst werden.“

Hannak & Brinckmann legen im DWD-Bericht bzgl. der Temperaturreferenzmessungen noch keinen Schwerpunkt auf umfassende witterungs- und jahreszeitendifferenzierende Analysen. Gleichwohl bildet die Bestimmung strahlungsinduzierter Fehler und Differenzen einen Kern der Arbeit. So zeigen die dort wiedergegebenen einzelnen und mittleren Tagesgänge der Lufttemperatur generell das gleiche Verhalten wie an der Georg-von-Neumayer-Wetterstation, und es werden die gleichen Rückschlüsse hinsichtlich des Einflusses von Strahlung und Wind getroffen. Ein direkter Vergleich der Ergebnisse ist jedoch mangels expliziter witterungsspezifischer Auswertung bei Hannak & Brinckmann nicht möglich.

Weiterhin wird im DWD-Bericht die thermische Trägheit der Englischen Hütte näher quantifiziert und ein Korrekturverfahren vorgestellt. Aufgrund der noch relativ kurzen Messreihe der Georg-von-Neumayer-Wetterstation lassen sich analoge Verfahren hier noch nicht anwenden. Die Temperaturabweichungen für einen Tag mit sehr hohen Abweichungen (1. September 2018) an der DWD-Station Lindenberg (Brandenburg) decken sich am Morgen mit denen der im vorliegenden Bericht dargestellten Situation am 31.

Juli 2020 in Neustadt a. d. Wstr. Hannak & Brinckmann zeigen im dargestellten Sonderfall mit bis zu 2 K sogar noch etwas größere Abweichungen. Weiterhin konnten Hannak & Brinckmann für alle untersuchten Referenzstationen der Parallelmessungen die mittleren Abweichungen der Extremwerte (Tmin & Tmax) bestimmen und ebenfalls signifikante Jahresgänge als Resultat der thermischen Trägheit der Englischen Hütte erkennen. Bezogen auf die Gesamtstatistik an allen 14 Referenzstationen liegen bei Hannak & Brinckmann die mittleren Abweichungen im Sommer bei etwa -0,2 K für Tmin und +0,2 K für Tmax und im Winter bei 0,0 K für Tmin und -0,1 K für Tmax. Die 2½-jährigen Vergleichsmessungen an der Georg-von-Neumayer-Wetterstation ergeben im Sommer gerundet mittlere Abweichungen von 0,0 K für Tmin und +0,3 K für Tmax und im Winter -0,1 K für Tmin und +0,1 K für Tmax (vgl. Tabelle 2). In diesem Zusammenhang gilt jedoch einmal mehr darauf hinzuweisen, dass Mittellungen über alle Witterungssituationen zu einer Nivellierung der thermometerhüttenspezifischen Unterschiede führt und eine individuelle Fokussierung auf Jahreszeit, Strahlungsgeschehen und Messumfeld von übergeordnetem Interesse ist. Vor allem dem Strahlungsgeschehen ist im Hinblick auf die Häufung sonnenscheinreicher und heißer Sommer im Zuge des anthropogenen Klimawandel ein zunehmendes Interesse zu gewähren.

Tab. 2: Mittelwerte der Temperaturdifferenzen (ΔT) der Klimaterminwerte 7:30, 14:30, 21:30 MEZ, Tagesextrem- und Mittelwerte zwischen LAM 630 und Englischer Hütten im Gesamtzeitraum 01.09.2019–30.04.2020 sowie differenziert nach Jahreszeit und Witterungstypus (Strahlungs-, Nichtstrahlungs- und Gemischte Wetterlage)

	Tmin	**Tmax**	**T1 07 MEZ**	**T2 14 MEZ**	**T3 21 MEZ**	**Tmit (Terminwerte)**	**Tmit 24h**
Gesamtzeitraum	-0,04	0,24	0,21	0,21	-0,05	0,08	0,08
Winter Nichtstrahlungstage	-0,03	0,04	0,00	0,06	-0,03	0,00	0,00
Winter gemischte Wetterlagen	-0,08	0,14	-0,03	0,11	-0,04	0,00	0,01
Winter Strahlungstage	-0,08	0,17	-0,04	0,20	-0,06	0,01	0,06
Winter Mittelwert	-0,06	0,14	-0,03	0,16	-0,05	0,00	0,06
Sommer Nichtstrahlungstage	-0,05	0,27	0,13	0,22	-0,03	0,07	0,07
Sommer gemischte Wetterlagen	-0,03	0,46	0,51	0,36	-0,07	0,18	0,15
Sommer Strahlungstage	-0,02	0,34	0,92	0,34	-0,10	0,27	0,18
Sommer Mittelwert	-0,04	0,34	0,54	0,34	-0,07	0,21	0,15

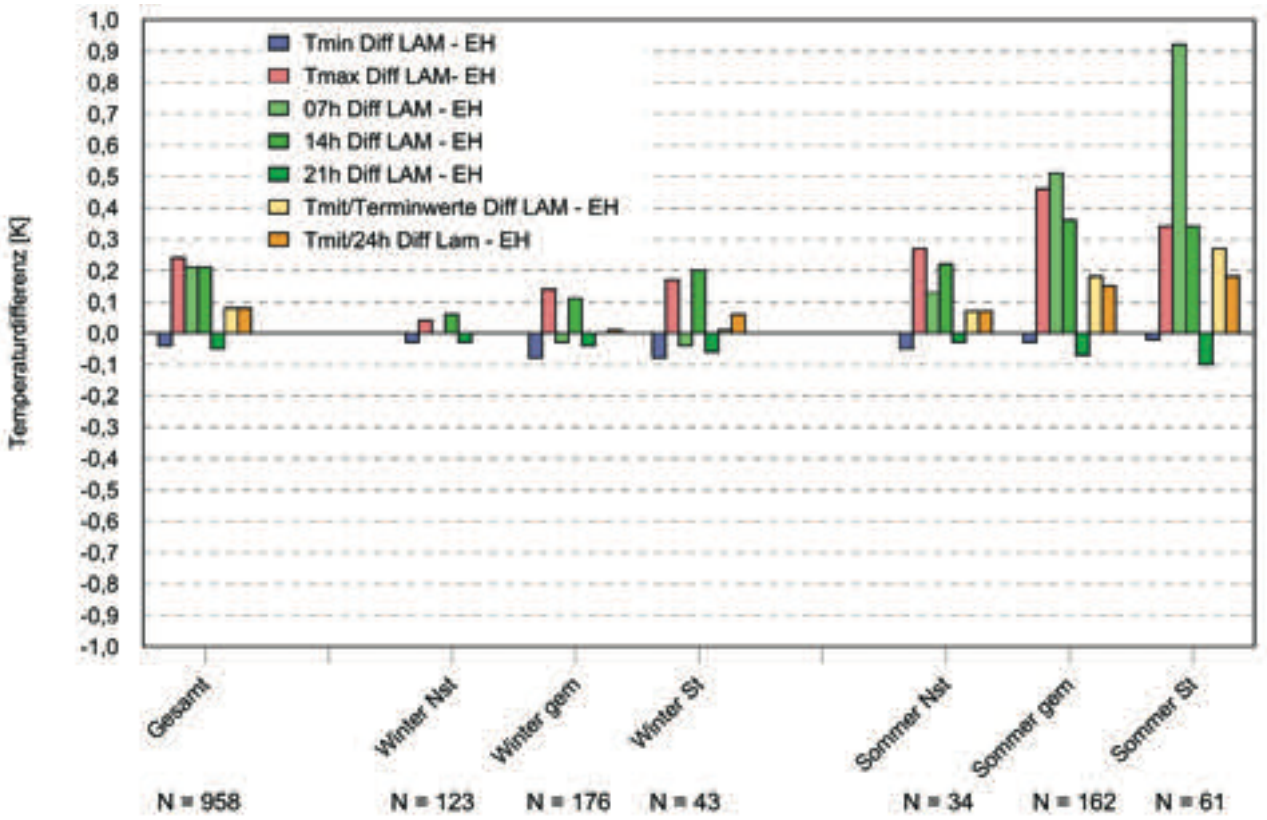

Abb. 19: Vergleich der Temperaturdifferenzen (ΔT) der Klimaterminwerte 7:30, 14:30, 21:30 MEZ, Tagesextrem- und Mittelwerte zwischen LAM 630 und Englischer Hütte (EH) im Gesamtzeitraum 01.09.2019–30.04.2020 sowie differenziert nach Jahreszeit und Witterungstypus (Strahlungs-, Nichtstrahlungs- und Gemischte Wetterlage – St, Nst, gem)

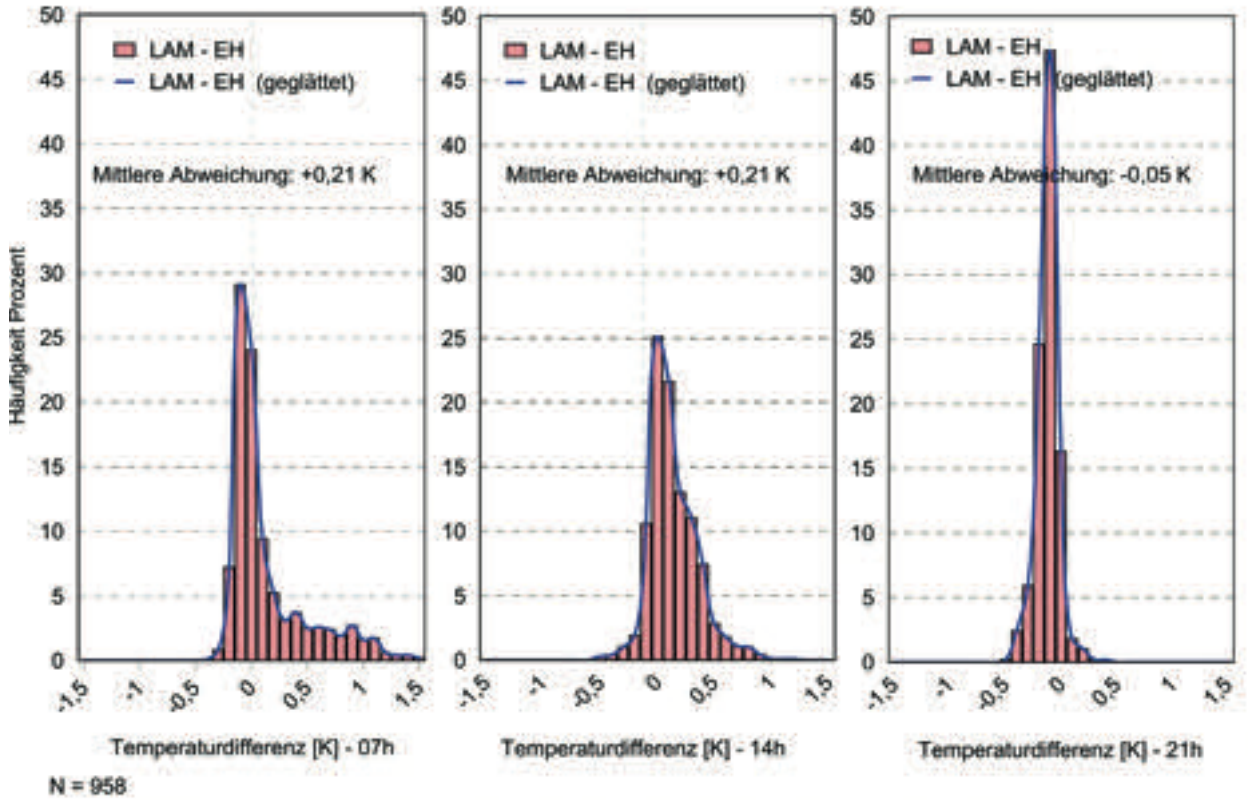

Abb. 20: Häufigkeitsverteilung der Temperaturdifferenzen zwischen LAM 630 und Englischer Hütte (EH) an den Klimaterminen 7, 14 und 21 MEZ im Gesamtzeitraum 01.09.2019–30.04.2020

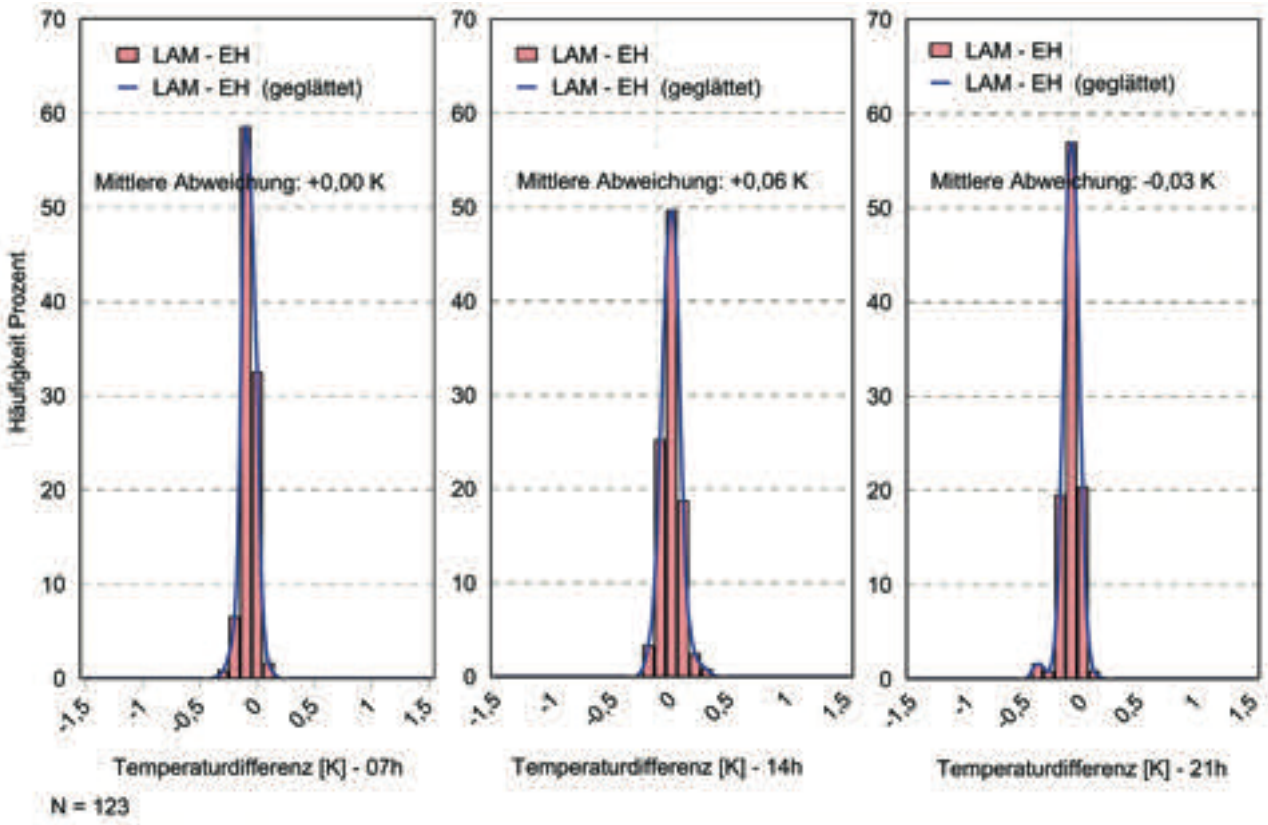

Abb. 21: Häufigkeitsverteilung der Temperaturdifferenzen zwischen LAM 630 und Englischer Hütte (EH) an den Klimaterminen 7, 14 und 21 MEZ in den Monaten November bis Februar an Nichtstrahlungstagen im Zeitraum 01.09.2019–30.04.2020

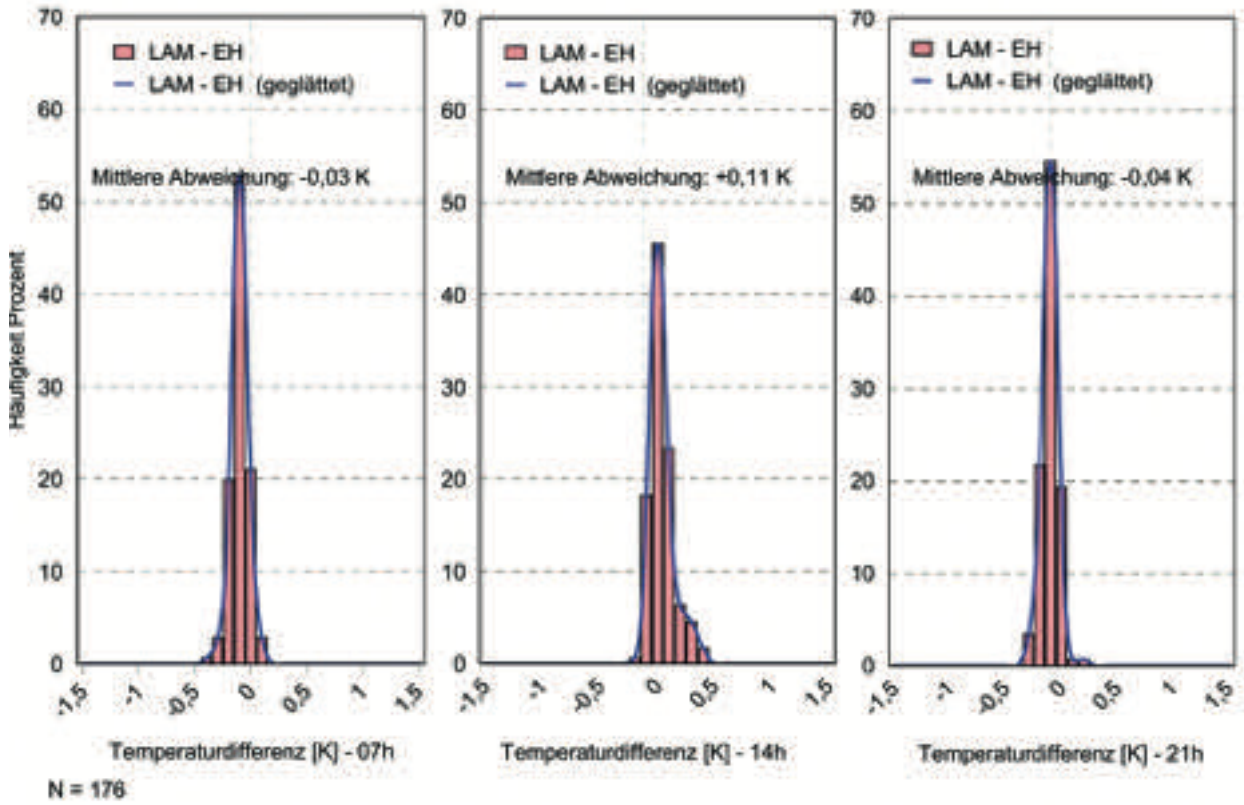

Abb. 22: Häufigkeitsverteilung der Temperaturdifferenzen zwischen LAM 630 und Englischer Hütte (EH) an den Klimaterminen 7, 14 und 21 MEZ in den Monaten November bis Februar an Tagen mit Gemischten Wetterlagen im Zeitraum 01.09.2019–30.04.2020

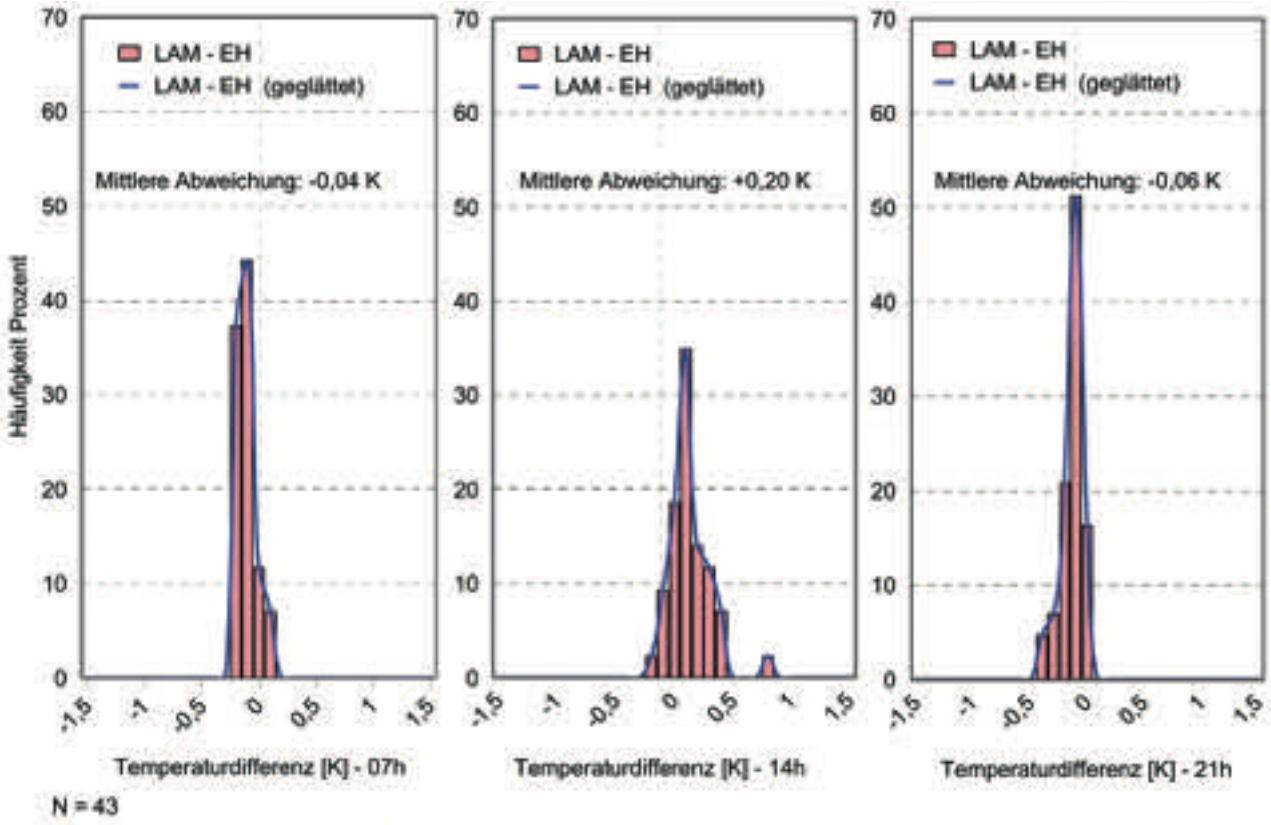

Abb. 23: Häufigkeitsverteilung der Temperaturdifferenzen zwischen LAM 630 und Englischer Hütte (EH) an den Klimaterminen 7, 14 und 21 MEZ in den Monaten November bis Februar an Strahlungstagen im Zeitraum 01.09.2019–30.04.2020

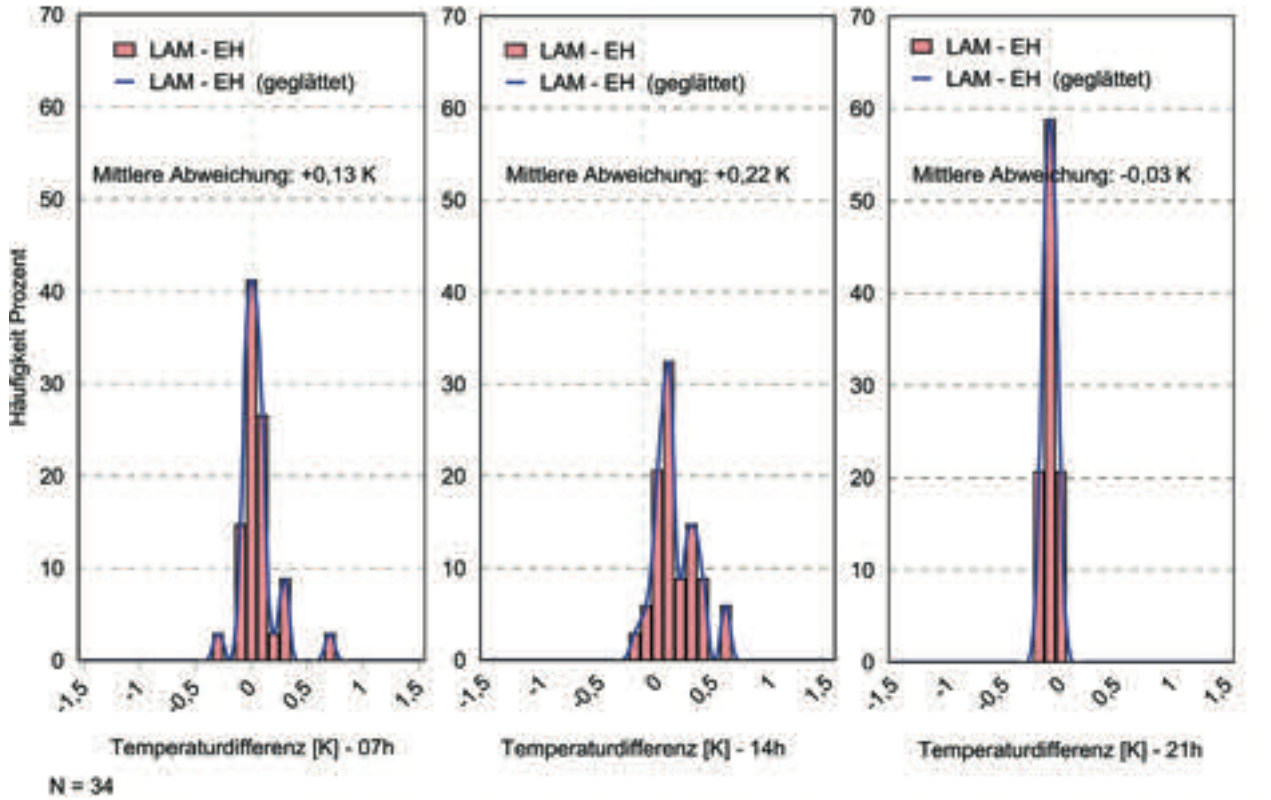

Abb. 24: Häufigkeitsverteilung der Temperaturdifferenzen zwischen LAM 630 und Englischer Hütte (EH) zu den Klimaterminen 7, 14 und 21 MEZ in den Monaten Mai bis August an Nichtstrahlungstagen im Zeitraum 01.09.2019 – 30.04.2020

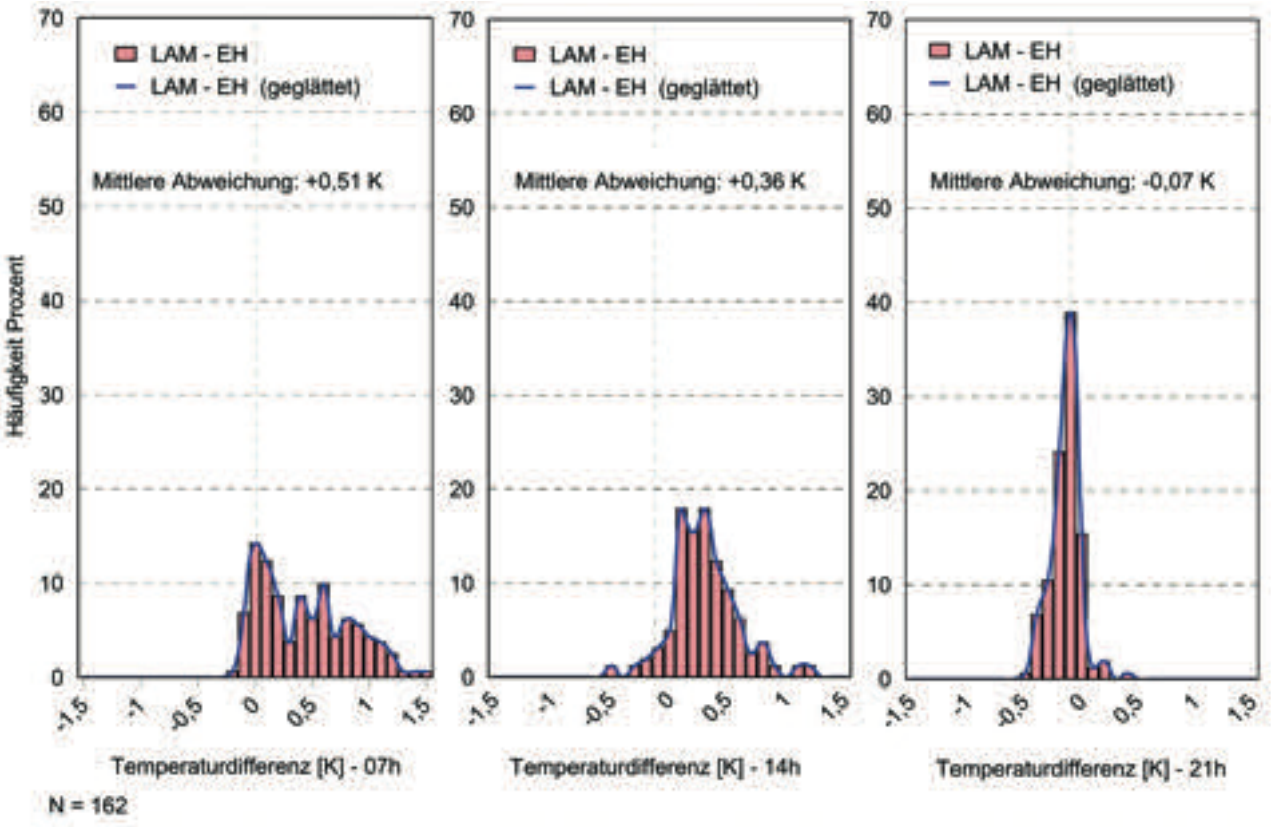

Abb. 25: Häufigkeitsverteilung der Temperaturdifferenzen zwischen LAM 630 und Englischer Hütte (EH) zu den Klimaterminen 7, 14 und 21 MEZ in den Monaten Mai bis August an Tagen mit Gemischten Wetterlagen im Zeitraum 01.09.2019 – 30.04.2020

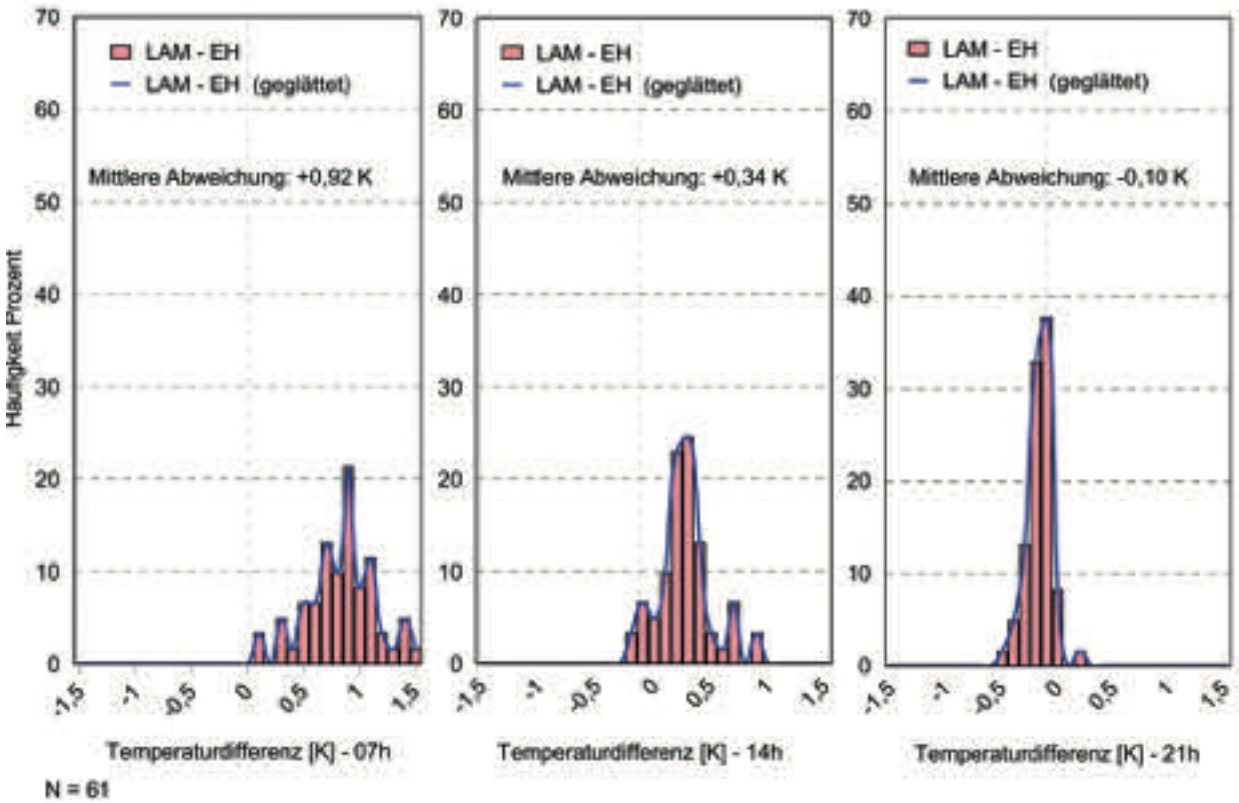

Abb. 26: Häufigkeitsverteilung der Temperaturdifferenzen zwischen LAM 630 und Englischer Hütte (EH) zu den Klimaterminen 7, 14 und 21 MEZ in den Monaten Mai bis August an Strahlungstagen im Zeitraum 01.09.2019–30.04.2020

4. Literatur

Andersson, T. & Mattisson, I. (1991). A Field test of thermometer screens. Report No.: RMK 62. – Swedish Meteorological and Hydrological Institute; Norrköpping, Sweden, 41.

Aoshima, T., Nakashima, K., Kawamura, H., Kumamoto, M., Sakai, T. & Kawano, S. et al. (2010): RIC-Tsukuba (Japan) intercomparison of thermometer screens/shields in 2009–2010. – In: WMO technical conference on meteorological and environmental instruments and methods of observation.

Barnett, A, Hatton, D. B. & Jones, D. W. (1998). Recent changes in thermometer screen design and their impact. Instruments and observing methods, Report No. 66. (WMO/TD-No. 871). – WMO: Geneva; 12.

Brandsma, T. & Van der Meulen, J. P. (2008) Thermometer screen intercomparison in De Bilt (The Netherlands), Part I: Understanding the weather-dependent temperature differences. – International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 28(3): 371–387.

Brandsma, T. & Van der Meulen, J. P. (2008). Thermometer screen intercomparison in De Bilt (the Netherlands), Part II: Description and modeling of mean temperature differences and extremes. – International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 28(3): 389–400.

Brock F. V., Semmer, S. R. & Jirak, C. (1995): Passive solar radiation shields: wind tunnel testing. – In: 9th Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation. American Meteorological Society: 179–183 Charlotte, North Carolina.

Burt, S., (2018): A multi-year comparison between screened and aspirated air temperature measurements. Ext. abstract der WMO-Konferenz CIMO TECO 2018, Amsterdam. – https://www.wmocimo.net/wp-content/uploads/P1_7_Burt_2018-10-WMO-TECO-Stephen-Burt-Thermometer-screens-extended-abstract.pdf(Abruf am 21.09.2022).

Coppa, G., Quarello, A., Steeneveld, G. J., Jandrić, N. & Merlone, A. (2021): Metrological evaluation of the effect of the presence of a road on near-surface air temperatures. – International Journal of Climatology, 41(6): 3705–3724.

Deutscher Wetterdienst (2020): Richtlinie – Automatische nebenamtliche Wetterstationen im DWD (Stand: September 2020). – Offenbach am Main. https://www.dwd.de/DE/derdwd/beobachter/richtlinie_auto_na_wetterstationen.html

Hannak, L. & Brinckmann, S. (2020): Parallelmessungen an deutschen Klimareferenzstationen: Schlussfolgerungen im Hinblick auf Homogenität und Messunsicherheiten. – Berichte des Deutschen Wetterdienstes. Bd. 253. Offenbach a. Main.

Hatton, D. B. (2002): Results of an intercomparison of wooden and plastic thermometer screens. – In Papers presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2002), Bratislava, Slovak Republic, 23–25 September 2002. Instruments and Observing Methods Report No. 75, (WMO/TD–No. 1123). WMO, Geneva; p 1.1(19).

International Standardization Organization (2007): ISO 17714:2007: Meteorology – air temperature measurements – test methods for comparing the performance of thermometer shields/screens and defining important characteristics. First edition 2007-07-01. – Genf.

Lacombe, M. (2010): Results of the WMO intercomparison of thermometer screens/shields and hygro-' meters in hot desert conditions. – In: Proceedings of the TECO-2010 –WMO technical conference on meteorological and environmental instruments and methods of observation, Helsinki, Finland (vol. 30).

Larre, M. H. & Hegg, K. (2002): Norwegian National Thermometer Screen Intercomparison. In Papers presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2002), Bratislava, Slovak Republic, 23–25 September 2002. Instruments and Observing Methods Report No. 75, (WMO/TD–No. 1123). WMO, Geneva; p1.1(1).

Lefebvre, G. (1998): Comparison of meteorological screens for temperature measurement. – In Papers presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-98), Casablanca, Morocco, 13–15 May 1998. – Instruments and Observing Methods Report No. 75, (WMO/TD–No. 1123), WMO Geneva; 315.

Leroy, M., Tammelin, B., Hyvönen, R., Rast, J. & Musa M. (2002): Temperature and humidity measurements during icing conditions. – In Papers presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2002), Bratislava, Slovak Republic, 23–25 September 2002. – Instruments and Observing Methods Report No. 74, WMO/TD–No. 1028, Geneva.

Lopardo, G., Bertiglia, F., Curci, S., Roggero, G. & Merlone, A. (2014): Comparative analysis of the influence of solar radiation screen ageing on temperature measurements by means of weather stations. – International Journal of Climatology, 34(4): 1297–1310.

Mawley, E. (1897) Shade temperature. – Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 23(102): 69–87.

Oke, T. R. (2006): Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites. – WMO/TD-No. 1250; IOM Report No. 81.World Meteorological Organization (WMO). Genf.

Park, J. W., Kim, J. W., Lee, S., & Kim, Y. G. (2022): Air temperature dependencies on the structure of thermometer screens in summer at Daejeon, South Korea. – Meteorological Applications, 29(3): e2064. https://doi.org/10.1002/met.2064.

Perry, M. C., Prior, M. J. & Parker, D. E. (2007): An assessment of the suitability of a plastic thermometer screen for climatic data collection. – International Journal of Climatology 27: 267–276.

Schwarz, P. Th., (1926): Einfluß der Thermometeraufstellung auf die Beobachtungsresultate der Temperatur in Kremsmünster. – Sitz. Ber. Akad. Wiss. Wien, Abt. II a, 135, 293 (1926): 293–306.

Spetalen, A., Lofseik, C. & Nordli, P.O. (2000): A Comparison of air temperature radiation screens by field experiments and Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations. – In Papers presented at the WMO Technical Conference on Meteorological Instruments and Methods of Observation (TECO-2000), Beijing, China, 23–27 October 2000. – Instruments and Observing Methods report No.74 (WMO/TD – No 1028). WMO, Geneva.

Sprung, A. W. F. (1890). Bericht über vergleichende Beobachtungen an verschiedenen Thermometer-Auf-stellungen zu Gr. Lichterfelde bei Berlin. – Veröffentlichungen des Königlich Preussischen Meteorologischen Instituts. Abhandlungen, Bd. 1: 33–60.

World Meteorological Organization (1996) Guide to meteorological instruments and methods of observation.

World Meteorological Organization (2003): Commission for instruments and methods of observation. 13 th session, Bratislava, 25 September – 3 October 2002. WMO-No.947. WMO: Geneva.

World Meteorological Organization.int. (2008) Guide to meteorological instruments and methods of observation („CIMO guide“). – WMO guide 8, 7th edition. WMO: Geneva. Available at: https://community.wmo.int/activity-areas/imop/wmo-no_8.

Zanghi, F. (1987): A comparison of meteorological screens (comparison des abris météorologiques), Meteo France, Equipment and Instrument Department (SETIM), Technical Memorandum No. 11, Trappes.

Anschrift des Autors:
Dr. Wolfgang Lähne
Bruckner Str. 13
67354 Römerberg
Deutschland
E-Mail: laehne@pollichia.de

Eingegangen bei der Schriftleitung am 4. Oktober 2022

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Mitteilungen der POLLICHIA

Jahr/Year: 2022

Band/Volume: 101

Autor(en)/Author(s): Lähne Wolfgang

Artikel/Article: Vergleichsmessungen der Lufttemperatur in der !ermometerhütte LAM 630 und in der Englischen Hütte an der Georg-von-Neumayer-Wetterstation in Neustadt an der Weinstraße 17-44