

## **Inhalt**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Zusammenfassung .....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>1 Einleitung .....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>2 Struktur der TRY-Datensätze .....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>3 Die Elemente der TRY-Datensätze .....</b>   | <b>10</b> |
| 3.1 Übersicht und Beschreibung.....  | 10        |
| 3.2 Vorgehensweise bei der Berechnung der kurzwelligen<br>Strahlungsgrößen .....   | 13        |
| 3.3 Vorgehensweise bei der Berechnung der langwelligen<br>Strahlungsgrößen .....   | 14        |
| <b>4 Die TRY-Regionen von Deutschland und regionale Besonderheiten</b>   | <b>16</b> |
| 4.1 Gebietseinteilung .....  | 16        |
| 4.2 Korrekturen zur Höhenlage .....  | 19        |
| 4.3 Bewertung des Stadteffekts in Form der städtischen Wärmeinsel<br>21  |           |
| <b>5 Zeitliche Auswahl zum Testreferenzjahr .....</b>  | <b>29</b> |
| <b>6 Datenaufbereitung .....</b>   | <b>31</b> |
| 6.1 Prüfung, Ergänzung und Anpassung der Daten .....   | 31        |
| 6.2 Berechnung des Luftdrucks in Stationshöhe .....  | 33        |
| 6.3 Berechnung der Feuchtegrößen.....  | 34        |
| 6.4 Berechnung der Strahlungsgrößen .....  | 35        |
| <b>7 Datensätze für extreme Jahre .....</b>  | <b>39</b> |
| 7.1 Anwendungszweck.....   | 39        |
| 7.2 Auswahl extremer Testreferenzjahre .....   | 39        |
| <b>8 Berücksichtigung des Klimawandels in den TRY-Datensätzen.....</b>   | <b>42</b> |
| 8.1 Vorgehensweise bei der Erstellung zukünftiger TRY .....  | 43        |
| 8.2 Auswahl der mittleren Zukunfts-TRY .....   | 43        |
| 8.3 Auswahl der extremen Zukunfts-TRY .....  | 45        |
| <b>Literatur .....</b>   | <b>48</b> |
| <b>Anhang 1: Informationen zu den TRY-Regionen und<br/>Repräsentanzstationen .....</b>   | <b>51</b> |
| <b>Anhang 2: Dekodierungstabelle zu den Wetterereignissen.....</b>   | <b>66</b> |
| <b>Anhang 3: Programmmodul zur Aufprägung des städtischen<br/>Wärmeinseleffekts sowie der Höhenabhängigkeit von Lufttemperatur<br/>und Wasserdampfgehalt .....</b> | <b>69</b> |

## **Zusammenfassung**

Die bestehenden Testreferenzjahre (TRY) für Deutschland sind aufgrund der sich verändernden klimatischen Verhältnisse und daraus erwachsender neuer Anforderungen durch die Nutzerseite aktualisiert und mit zusätzlichen Funktionalitäten wie der Bewertung des Stadteinflusses auf Lufttemperatur und -feuchte sowie einem Berechnungsmodul zur Korrektur der Höhenlage versehen worden. Von der Grundstruktur her orientieren sich die nun herausgegebenen TRY jedoch weiterhin an den bisher vorhandenen Datensätzen.

So bestehen die Testreferenzjahre nach wie vor aus Datensätzen ausgewählter meteorologischer Parameter für jede Stunde eines Jahres. Die anhand einer Faktoren- und Clusteranalyse vorgenommene Einteilung Deutschlands in 15 Klimaregionen mit je einer Repräsentanzstation wurde von den Vorgänger-TRY übernommen. Aus langjährigen Mess- und Beobachtungsreihen der Repräsentanzstationen wurden die erforderlichen stündlichen Daten für die Testreferenzjahre gewonnen. Die TRY werden aus konkret aufgetretenen Witterungsabschnitten so zusammengesetzt, dass die Monats- und Jahreszeitenmittelwerte insbesondere der Lufttemperatur an den Repräsentanzstationen möglichst gut mit den langjährigen Mittelwerten der Basisperiode 1988 bis 2007 übereinstimmen.

Da heiz- und raumluftechnische Anlagen auch für extreme Belastungen ausgelegt werden, wurden zusätzlich Datensätze für je ein Jahr mit einem sehr kalten Winterhalbjahr (Oktober bis März) und einem sehr warmen Sommerhalbjahr (April bis September) erstellt. Bei diesen sog. winter- bzw. sommer-fokussierten extremen Jahren handelt es sich um reale Jahreszeiträume.

Um die klimatischen Anforderungen an die Heiz-, Klimatisierungs- und Lüftungstechnik auch für den Zeitraum einer längeren Betriebsdauer berücksichtigen zu können, wurden zusätzlich Testreferenzjahre auf Basis von 5 regionalen Klimamodellen für den Zeitraum 2021 bis 2050 entwickelt. Diese Zukunfts-TRY enthalten sowohl die mittleren als auch die extremen Testreferenzjahre und sind mit dem Aufbau der übrigen TRY-Datensätze identisch.

## 1 Einleitung

Die sich verändernden Klimaverhältnisse vor allem der Anstieg der Lufttemperaturen in den vergangenen 30 Jahren ließen auf der Nutzerseite zunehmend die Forderung nach einer Aktualisierung der bestehenden Testreferenzjahre für Deutschland, die gemäß der international gebräuchlichen Nomenklatur als TRY = **T**est **R**eference **Y**ear abgekürzt werden, aufkommen. Im Wesentlichen basierten die vorherigen TRY (CHRISTOFFER, J. et al.; 2004) noch auf der 30-jährigen Klimanormalperiode 1961 bis 1990. Gerade ab dem Ende der 1980iger Jahre wurde eine deutliche Zunahme der Lufttemperatur beobachtet. So fielen seit 1988 mit Ausnahme von 1996 alle Jahre in Deutschland in Relation zur gültigen Klimanormalperiode zu warm aus.

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) wurde im Dezember 2008 vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunft Bau mit der Erarbeitung neuer TRY-Datensätze beauftragt. Die Methodik sollte sich dabei eng an derjenigen der bestehenden Testreferenzjahre orientieren, um Aussagen zu den Auswirkungen des bisherigen Klimawandels auf den Energiebedarf zur Heizung, Kühlung oder Lüftung von Gebäuden zu erhalten. Darüber hinaus bestand aber auch die Forderung den künftigen Energiebedarf über einen Zeithorizont von 40 Jahren bis zur Mitte des Jahrhunderts abschätzen zu können.

Daher werden die neuen TRY-Datensätze durch sog. Zukunfts-TRY, die auf den Projektionen diverser regionaler Klimamodelle für den Zeitraum 2021 bis 2050 beruhen, ergänzt. Eine weitere Neuerung stellt auch die Entwicklung extrem warmer bzw. extrem kalter TRY dar, die sich jeweils auf einen ganzen Jahreszeitraum anstatt wie bisher nur auf die meteorologischen Jahreszeiten Sommer (Juni bis August) und Winter (Dezember bis Februar) beziehen. Ergänzt werden die neu herausgegebenen TRY noch durch ein Stadtklimamodul, mit dem die Auswirkungen der städtischen Wärmeinsel bewertet werden können sowie durch ein weiteres Werkzeug zur Berechnung der Höhenkorrektur von Lufttemperatur und Wasserdampfgehalt.

Die Umsetzung sowohl der vorgesehenen Aktualisierung und Erweiterung der Testreferenzjahre auf einen neueren sowie zukünftigen Zeitraum bis zu Mitte des Jahrhunderts als auch die Realisierung ergänzender Werkzeuge zur Bewertung des Einflusses der urbanen Wärmeinsel und der Höhenabhängigkeit von Lufttemperatur und Wasserdampfgehalt wurde von der Firma Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH (CEC) im Auftrag des DWD vorgenommen.

Bei den Testreferenzjahren handelt es sich um Datensätze ausgewählter meteorologischer Parameter für jede Stunde eines Jahres für unterschiedliche Regionen in Deutschland. Die mittleren TRY repräsentieren den charakteristischen Witterungsverlauf eines kompletten Jahres. Sie werden aus realen Witterungsabschnitten derart zusammengesetzt, dass Mittel und Streuung vor allem der Lufttemperatur bestmöglich zu den langjährigen monatlichen und jahreszeitlichen Mittelwerten der jeweiligen Repräsentanzstation passen. Die langjährigen Vergleichswerte sowie die Witterungsabschnitte für die TRY-Datensätze werden aus den Mess- und Beobachtungsreihen von Stationen des DWD der Periode 1988 bis 2007 gewonnen. Mit Glättungs- und Interpolationsverfahren werden die einzelnen Witterungsabschnitte aneinander angeglichen.

Die extremen Testreferenzjahre umfassen jeweils einen realen Jahreszeitraum, bestehen sozusagen aus einem Jahr „am Stück“. Das extrem kalte TRY, auch als winter-fokussiert extrem warmes TRY bezeichnet, enthält dabei ein sehr kaltes Winterhalbjahr (Oktober bis März), das extrem warme TRY, auch als sommer-fokussiert extrem warmes TRY benannt, beinhaltet eine sehr warmes Sommerhalbjahr (April bis September). Zur Klarstellung sei nochmals betont, dass beide Extremjahre aus 365 Tagen, also einem kompletten Jahr, bestehen. Die genannten Halbjahre (Oktober bis März) bzw. (April bis September) dienen dabei als Auswahlkriterium des betreffenden Jahres.

Sowohl die mittleren als auch die extremen Testreferenzjahre beziehen sich auf die Mess- und Beobachtungsdaten von Repräsentanzstationen. Dazu wurde die Einteilung der Bundesrepublik Deutschland in 15 Klimaregionen aus den vorhergehenden im Jahr 2004 erschienenen TRY übernommen. Für jede dieser Klimaregionen existiert eine Station, die das typische Klima dieser Region repräsentiert. Die Einteilung Deutschlands in Klimaregionen sowie die Ermittlung der Repräsentanzstationen wurde mittels statistischer Methoden wie Faktoren- und Clusteranalyse durchgeführt, die in CHRISTOFFER et al. (2004) näher beschrieben werden. Insgesamt ergeben sich damit 15 mittlere, 15 extrem warme und 15 extrem kalte Testreferenzjahre.

Die zyklischen TRY-Datensätze für ein komplettes Jahr haben den Zweck, klimatologische Randbedingungen zur Simulation von heiz- und raumluftechnischen Anlagen und des thermischen Verhaltens von Gebäuden zu liefern. Sie haben sich in den vergangenen 20 Jahren als Grundlage für entsprechende Simulationsrechnungen bewährt.

Wie die Erfahrung mit den bisherigen Testreferenzjahren zeigt, verleitet die Existenz eines repräsentativen stündlichen Wetterdatensatzes aber dazu, diese Daten auch für Fragestellung zu verwenden, für die sie nicht geeignet sind, wie zum Beispiel die Berechnung von Windenergiepotentialen, Simulationen zur Ausbreitung von Schadstoffen und Kühlturmschwaden oder die Ermittlung von Andauerstatistiken von Windflauten. **Bei Anwendung der TRY-Daten für andere Zwecke als für die oben beschriebenen ist daher zunächst die Verwendungsfähigkeit der Testreferenzjahre für das jeweilige Problem zu überprüfen.**

Die Verwendung der Testreferenzjahre in orographisch gegliederten Regionen erfordert eine höhenabhängige Korrektur der einzelnen Klimaelemente. Im Fall der vorliegenden TRY werden Lufttemperatur und Wasserdampfgehalt (Mischungsverhältnis) hinsichtlich ihrer Höhenabhängigkeit berücksichtigt. Dies erfolgt in einem speziellen Berechnungsmodul, das je nach Höhendifferenz zur betreffenden Repräsentanzstation direkt entsprechend korrigierte TRY-Datensätze erzeugt.

Andere Parameter, wie z.B. der gesamte Strahlungskomplex werden nicht höhenkorrigiert, obgleich die Höhenlage und die unmittelbare Umgebung (Tal-, Hanglage, Geländeorientierung) erheblichen Einfluss haben können. Da die lokalen Windverhältnisse entscheidend durch die Oberflächenbeschaffenheit beeinflusst werden, sind der Übertragbarkeit von Winddaten von einer Repräsentanzstation enge Grenzen gesetzt. Außerdem hängt die Windgeschwindigkeit entscheidend von der Höhe über Grund ab. Ein allgemein gültiger Korrekturansatz

für die Wind- und Strahlungsdaten aus dem Testreferenzjahr ist daher nicht möglich.

Größere Stadtgebiete modifizieren das lokale Klima nicht unerheblich. Das gilt insbesondere für die Lufttemperatur. Aus einer Vielzahl von Untersuchungen ist die Überhöhung der Lufttemperatur in der Stadt unter dem Begriff „städtische Wärmeinsel“ bekannt. In den vorliegenden Testreferenzjahren kann dieser Einfluss der Stadt auf die Lufttemperatur auf Basis statistischer empirisch ermittelter Beziehungen abgeschätzt und direkt in die TRY-Datensätzen eingebracht werden.

Gebäude aber auch deren technische Ausrüstung zur Heizung, Klimatisierung und Lüftung werden für längere Zeiträume von zum Teil mehreren Jahrzehnten geplant. Aus diesem Grund ist bei deren Planung die zukünftige Klimaentwicklung besonders unter dem heutigen Aspekt des Klimawandels von Interesse. Unter dieser Voraussetzung wurden in den neuen Testreferenzjahren auch zukünftige TRY-Datensätze auf Basis mehrerer regionaler Klimamodelle für den Zeitraum 2021 bis 2050 implementiert. Diese sog. Zukunfts-TRY bestehen sowohl aus mittleren als auch extremen Testreferenzjahren. Sie ermöglichen eine Abschätzung der möglichen klimatischen Auswirkungen auf das thermische Verhalten bestehender bzw. geplanter Gebäude sowie auf die Funktion der Gebäudetechnik.

## 2 Struktur der TRY-Datensätze

Der Aufbau der TRY-Datensätze wurde weitestgehend unverändert von den bisherigen Testreferenzjahren übernommen. Die Testreferenzjahre enthalten stündliche meteorologische Daten für 365 Tage eines Jahres für 15 Repräsentanzstationen der Bundesrepublik Deutschland. In der Tabelle 1 sind die 15 Repräsentanzstationen mit ihrer Zuordnung zu den jeweiligen Klimaregionen aufgeführt. Jeder dieser 15 Datensätze besteht aus 8760 Records im ASCII-Format, wobei jeder Record die meteorologischen Daten einer Stunde des Jahres enthält. Da die in

**Tabelle 1: TRY-Klimaregionen und Repräsentanzstationen**

|    |  |                        |
|----|--|------------------------|
| 1  | Nordseeküste   | Bremerhaven            |
| 2  | Ostseeküste  | Rostock-Warnemünde     |
| 3  | Nordwestdeutsches Tiefland                               | Hamburg-Fuhlsbüttel    |
| 4  | Nordostdeutsches Tiefland                                | Potsdam                |
| 5  | Niederrheinisch-westfälische Bucht und Emsland           | Essen                  |
| 6  | Nördliche und westliche Mittelgebirge, Randgebiete       | Bad Marienberg         |
| 7  | Nördliche und westliche Mittelgebirge, zentrale Bereiche | Kassel                 |
| 8  | Oberharz und Schwarzwald (mittlere Lagen)                | Braunlage              |
| 9  | Thüringer Becken und Sächsisches Hügelland               | Chemnitz               |
| 10 | Südöstliche Mittelgebirge bis 1000 m                     | Hof                    |
| 11 | Erzgebirge, Böhmer- und Schwarzwald oberhalb 1000 m      | Fichtelberg            |
| 12 | Ober rheingraben und unteres Neckartal                   | Mannheim               |
| 13 | Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland       | Mühldorf/Inn           |
| 14 | Schwäbische Alb und Baar                                 | Stötten                |
| 15 | Alpenrand und -täler                                     | Garmisch-Partenkirchen |

den bisherigen TRY (CHRISTOFFER et al., 2004) verwendete Repräsentanzstation Passau 1997 aufgelöst wurde, musste hierfür ein Ersatz gefunden werden. Klimatologische Untersuchungen haben ergeben, dass die Station Mühldorf am Inn die klimatischen Verhältnisse in der TRY-Klimaregion 13 am besten repräsentiert.

Jeder Record beinhaltet für jede Stunde die folgenden Angaben:

- Regionskennung
- Information, ob der Standort der Strahlungsmessstation mit dem Standort der Repräsentanzstation übereinstimmt oder differiert
- Monat
- Tag
- Stunde
- Bedeckungsgrad
- Windrichtung
- Windgeschwindigkeit
- Lufttemperatur
- Wasserdampfgehalt
- Relative Feuchte
- Wetterereignis der aktuellen Stunde
- Direkte Sonnenbestrahlungsstärke bezogen auf die horizontale Fläche
- Diffuse Sonnenbestrahlungsstärke bezogen auf die horizontale Fläche
- Information, ob die direkten und/oder diffusen Bestrahlungsstärken Mess- oder Rechenwerte sind
- Bestrahlungsstärke der atmosphärischen Wärmestrahlung bezogen auf die horizontale Fläche

- Spezifische Ausstrahlung der Wärmestrahlung der Erdoberfläche
- Qualitätsbit für die langwelligen Strahlungsgrößen

Die einzelnen Parameter sind (siehe Kapitel 3) zur besseren Übersichtlichkeit jeweils durch Leerzeichen voneinander getrennt. Jeder Record umfasst 100 Zeichen im folgenden **Datenformat**:

I2,2X,I4,2X,I2,2X,I2,2X,I2,2X,I1,2X,I3,2X,F6.1,2X,F6.1,2X,F7.1,2X,F6.1,2X,I3,2X,I2,2X,I4,2X,I4,1X,I1,2X,I4,2X,I5,2X,I1

Der erste Datensatz bezieht sich auf den 1. Januar 01 Uhr MEZ und der letzte Datensatz auf den 31. Dezember 24 Uhr MEZ. Die Daten können über den Jahreswechsel hinweg zyklisch miteinander verbunden werden.

Im Gegensatz zu den bisherigen TRY wird den Testreferenzjahren nun wieder ein Informationsblock in Form eines Headers vorangestellt. Der Header enthält alle wesentlichen Informationen zum jeweiligen TRY-Datensatz und endet mit der Zeile „\*\*\*“. Der Inhalt dieses Informationsblocks variiert etwas je nachdem, ob es sich um ein „Gegenwarts-TRY“ auf Basis der Mess- und Beobachtungsdaten 1988 bis 2007 oder um ein „Zukunfts-TRY“ auf Basis regionaler Klimamodelle für den Zeitraum 2021 bis 2050 handelt, wie in der Tabelle 2 dargestellt.

**Tabelle 2:** Beispiel eines Headers der TRY-Datensätze

TRY06 NÖRDLICHE UND WESTLICHE MITTELGEBIRGE, RANDGEBIETE (Klimaregion 6)

Station: Bad Marienberg WMO-Nummer: 10526

Lage: 50°40'N <- B. 7°58'O <- L. 547 Meter über NN

Zeitpunkt der Erstellung: November 2010

Art des TRY : mittleres Jahr

Bezugszeitraum : 1988-2007

Stadteffekt : gewählte Bevölkerungsanzahl: 200000 Einwohner; Stadttyp: eng bebaute Innenstadt

Höhenkorrektur : aktuelle Höhenlage: 250 Meter über NN

Datenbasis : Beobachtungsdaten Zeitraum 1988-2007

Format: (i2,2x,i4,2x,i2,2x,i2,2x,i2,2x,i1,2x,i3,2x,f6.1,2x,f6.1,2x,f7.1,2x,f6.1,2x,i3,2x,i2,2x,i4,2x,i4,1x,i1,2x,i4,2x,i5,2x,i1)

Reihenfolge der Parameter:

|  |                                    |
|--|------------------------------------|
| RG TRY-Region  | {1..15}                            |
| IS Standortinformation                                     | {1,2}                              |
| MM Monat   | {1..12}                            |
| DD Tag   | {1..28,30,31}                      |
| HH Stunde (MEZ)  | {1..24}                            |
| N Bedeckungsgrad   | [Achte] {0..8;9}                   |
| WR Windrichtung in 10 m Höhe über Grund                    | [*] {0;10..360;999}                |
| WG Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe über Grund             | [m/s]                              |
| t Lufttemperatur in 2m Höhe über Grund                     | [°C]                               |
| p Luftdruck in Stationshöhe                                | [hPa]                              |
| x Wasserdampfgehalt, Mischungsverhältnis                   | [g/kg]                             |
| RF Relative Feuchte in 2 m Höhe über Grund                 | [%]                                |
| W Wetterereignis der aktuellen Stunde                      | {1..100}                           |
| B Direkte Sonnenbestrahlungsstärke (horiz. Ebene)          | [W/m²] abwärts gerichtet: positiv  |
| D Diffuse Sonnenbestrahlungsstärke (horiz. Ebene)          | [W/m²] abwärts gerichtet: positiv  |
| IK Information, ob B und oder D Messwert/Rechenwert        | {1;2;3;4;9}                        |
| A Bestrahlungsstärke d. atm. Wärmestrahlung (horiz. Ebene) | [W/m²] abwärts gerichtet: positiv  |
| E Bestrahlungsstärke d. terr. Wärmestrahlung               | [W/m²] aufwärts gerichtet: negativ |
| IL Qualitätsbit für die langwelligen Strahlungsgrößen      | {1;2;3;4;5;6;7;8;9}                |

| RG  | IS | MM | DD | HH | N | WR  | WG  | t    | p     | x   | RF | W | B | D IK | A   | E IL   |
|-----|----|----|----|----|---|-----|-----|------|-------|-----|----|---|---|------|-----|--------|
| *** |    |    |    |    |   |     |     |      |       |     |    |   |   |      |     |        |
| 6   | 1  | 1  | 1  | 1  | 6 | 140 | 7.1 | -0.9 | 973.7 | 3.2 | 89 | 0 | 0 | 0 9  | 220 | -295 9 |
| 6   | 1  | 1  | 1  | 2  | 6 | 140 | 8.6 | -1.7 | 976.7 | 3.1 | 91 | 0 | 0 | 0 9  | 220 | -295 9 |
| 6   | 1  | 1  | 1  | 3  | 6 | 140 | 9.7 | -2.3 | 978.7 | 2.9 | 89 | 0 | 0 | 0 9  | 221 | -296 9 |

Der Inhalt des Headers erklärt sich weitgehend von selbst. Die erste Zeile enthält die Nummer des TRY-Datensatzes, in Tabelle 2 z.B. TRY06 für den 6. Datensatz gefolgt von der Bezeichnung der jeweiligen Klimaregion. In den nachstehenden Zeilen werden Informationen zur Repräsentanzstation wie Stationsname, Kennziffer laut WMO (World Meteorological Organization), geographische Breite (B.)

und Länge (L.) sowie Stationshöhe über NN und Zeitpunkt der Erstellung des jeweiligen TRY-Datensatzes angegeben.

Dann folgen 3 Zeilen mit wichtigen Informationen zur Art des TRY sowie dazu, ob der Stadteffekt (Wärmeinseleffekt) bzw. eine Höhenkorrektur bezüglich Lufttemperatur und Wasserdampfgehalt (Mischungsverhältnis) berechnet wurde. Bei der Art der TRY werden unterschieden mittleres Jahr, extremer Sommer und extremer Winter. Sowohl beim extremen Sommer als auch beim extremen Winter handelt es sich um einen ganzen Jahreszeitraum mit jeweils einem sehr warmen Sommer- bzw. einem sehr kalten Winterhalbjahr. Die vollständige Bezeichnung für die beiden extremen Testreferenzjahre lautet dann auch sommer-fokussiertes extrem warmes bzw. winter-fokussiertes extrem kaltes TRY.

Im Beispiel der Tabelle 2 wurde der Wärmeinseleffekt einer Stadt mit 200.000 Einwohnern berücksichtigt. Außerdem erfolgte eine Korrektur von Lufttemperatur und Mischungsverhältnis auf eine Höhe von 250 m über NN gegenüber der Höhenlage der Repräsentanzstation von 547 m über NN. In Fällen ohne Bewertung des städtischen Wärmeinseleffektes bzw. der Höhenkorrektur erscheint im Header in den Zeilen „Stadteffekt“ bzw. „Höhenkorrektur“ jeweils „-----“.

Bei der nachfolgend aufgeführten Datenbasis gibt es einen Unterschied zwischen den sog. Gegenwarts-TRY und den Zukunfts-TRY. Im ersteren Fall (siehe Tabelle 2) ist als Datenbasis der Zeitraum 1988 bis 2007 angegeben, was den verwendeten Mess- und Beobachtungsdaten entspricht. Im Fall der Zukunfts-TRY sind insgesamt 3 Datenbasen aufgeführt. Die erste Datenbasis bezieht sich wieder auf die Mess- und Beobachtungsdaten 1988 bis 2007. Die Datenbasis 2 beschreibt den Kontrollzeitraum, z.B. 1971 bis 2000 sowie in Klammern das berücksichtigte Emissionsszenario, das verwendete globale und die benutzten regionalen Klimamodelle. In der Datenbasis 3 schließlich steht der Zeitraum für den die Zukunfts-TRY ermittelt werden, also 2021 bis 2050 sowie wiederum in Klammern das berücksichtigte Emissionsszenario, das verwendete globale und die benutzten regionalen Klimamodelle. Näheres zum Zukunfts-TRY ist im Kapitel 8 zu finden.

Hinter der Zeile mit der Formatbeschreibung befindet sich ein umfangreicherer Block mit einer Erläuterung der in den Testreferenzjahren verwendeten Parameter. Neben der Parameterbezeichnung sind darin die zugehörigen Abkürzungen nebst Einheiten in eckigen Klammern und dem Wertebereich in geschweiften Klammern enthalten. Zum Abschluss des Headers sind die Parameterabkürzungen in der letzten Zeile so eingetragen, dass sie direkt den darunter stehenden Datenspalten zugeordnet werden können.

Auch die Dateinamen der Testreferenzjahre folgen einer definierten Namenskonvention, um bereits aus der Dateibezeichnung die TRY-Datensätze unterscheiden zu können. Es gilt nachfolgend aufgeführte **Namenskonvention** für die Dateibezeichnung:

**TRYJJJJ\_RG\_AAAA\_EEEEEK\_HHHHHm**

**JJJJ:** Schlüsseljahr zur Unterscheidung zwischen aktuellem und zukünftigem TRY (JJJJ = 2010 entspricht dem Gegenwarts-TRY auf Basis der Mess- und Beobachtungsdaten 1988 bis 2007; JJJJ = 2035 entspricht dem Zukunfts-TRY auf Basis der regionalen Klimamodelle für 2021 bis 2050)

**RG:** Kennziffer der jeweiligen Klimaregion von 01 bis 15



**AAAA:** Art des TRY (AAAA = Jahr für mittleres Jahr; AAAA = Somm für sommer-fokussiertes extrem warmes Jahr; AAAA = Wint für winter-fokussiertes extrem kaltes Jahr)  
**EEEE:** Einwohnerzahl in Tausend, z.B.: 04000K = 4.000.000 Einwohner  
**HHHH:** Geländehöhe über NN, z.B. 00300m = 300 m über NN

Werden weder der Stadteffekt noch die Höhenkorrektur berechnet, so entfallen beide Bezeichnungen im Dateinamen. Nachfolgend sind Beispiele für mögliche Dateinamen aufgeführt.

- 1) **TRY2010\_05\_Jahr**
- 2) **TRY2010\_13\_Somm\_00100K\_00650m**
- 3) **TRY2035\_13\_Wint\_00000K\_00650m**

Im Detail lesen sich die genannten Beispiele folgendermaßen:

- 1) Gegenwärtiges mittleres TRY mit Erstellungsjahr 2010 der Klimaregion 5 (Niederrheinisch-westfälische Bucht und Emsland) basierend auf den Mess- und Beobachtungsreihen 1988 bis 2007 ohne Stadteffekt und ohne Höhenkorrektur. Es handelt sich um das mittlere TRY der Repräsentanzstation aus der Region 5.
- 2) Gegenwärtiges sommer-fokussiertes extrem warmes TRY mit Erstellungsjahr 2010 der Region 13 (Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland) basierend auf den Mess- und Beobachtungsreihen 1988 bis 2007 unter Berücksichtigung der städtischen Wärmeinsel für eine Stadt mit 100.000 Einwohnern und der Höhenkorrektur von Lufttemperatur und Mischungsverhältnis für eine Geländehöhe von 650 m über NN.
- 3) Zukünftiges winter-fokussiertes extrem kaltes TRY basierend auf regionalen Klimamodellen für den Zeitraum 2021 bis 2050 (mittleres Jahr 2035) der Region 13 ohne Berücksichtigung des Stadteffekts (0 Einwohner) aber mit Höhenkorrektur von Lufttemperatur und Mischungsverhältnis für eine Geländehöhe von 650 m über NN.

### 3 Die Elemente der TRY-Datensätze

Für die vorliegenden Testreferenzjahre wurde der Parameterumfang der Vorgänger-TRY unverändert übernommen. Bei den Strahlungsgrößen wurde von der bisherigen Praxis, Daten einer von der Repräsentanzstation weit entfernten Strahlungsmessstation zu verwenden, abgewichen, um die dadurch bedingten Inkonsistenzen infolge unterschiedlicher Wetterbedingungen, z.B. wolkenloser Himmel an der Repräsentanzstation und Nebel an der Strahlungsmessstation zu vermeiden. Näheres dazu ist in den Abschnitten 3.2 und 3.3 enthalten.

#### 3.1 Übersicht und Beschreibung

Eine Übersicht der in den TRY-Datensätzen verwendeten meteorologischen Parameter wird in der Tabelle 3 gegeben. Hierin sind neben den jeweiligen Bezeichnungen die entsprechenden Abkürzungen, in eckigen Klammern die Einheiten sowie in geschweiften Klammern der Wertebereich enthalten. In der letzten Spalte finden sich noch die Zahlenformate der Parameter.

**Tabelle 3:**

Bezeichnungen, Abkürzungen, [Einheiten], {Wertebereiche} (oder Zusatzinformationen) der meteorologischen Parameter in den Testreferenzjahren

|   |    |   |                    |
|---|----|---|--------------------|
| TRY-Region  | RG |   | {1..15}            |
| Standortinformation   | IS |   | {1;2}              |
| Monat   | MM |   | {1..12}            |
| Tag   | DD |   | {1..28,30,31}      |
| Stunde (MEZ)  | HH |   | {1..24}            |
| Bedeckungsgrad  | N  | [Achtel]  | {0..8;9}           |
| Windrichtung in 10 m Höhe über Grund                        | WR | [°]   | {0;10..360;999}    |
| Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe über Grund                 | WG | [m/s]   |                    |
| Lufttemperatur in 2 m Höhe über Grund                       | t  | [°C]  |                    |
| Luftdruck in Stationshöhe                                   | p  | [hPa]   |                    |
| Wasserdampfgehalt, Mischungsverhältnis                      | x  | [g/kg]  |                    |
| Relative Feuchte in 2 m Höhe über Grund                     | RF | [%]   | {1..100}           |
| Wetterereignis der aktuellen Stunde                         | W  |   | {-1;0..99}         |
| Direkte Sonnenbestrahlungsstärke (horiz. Ebene)             | B  | [W/m <sup>2</sup> ] abwärts gerichtet: positiv  |                    |
| Diffuse Sonnenbestrahlungsstärke (horiz. Ebene)             | D  | [W/m <sup>2</sup> ] abwärts gerichtet: positiv  |                    |
| Information, ob B und/oder D Messwert/Rechenwert            | IK |   | {1;2;3,4}          |
| Bestrahlungsstärke der atmos. Wärmestrahlung (horiz. Ebene) | A  | [W/m <sup>2</sup> ] abwärts gerichtet: positiv  |                    |
| Bestrahlungsstärke der terr. Wärmestrahlung                 | E  | [W/m <sup>2</sup> ] aufwärts gerichtet: negativ |                    |
| Qualitätsbit für die langwelligen Strahlungsgrößen          | IL |   | {1;2;3;4;;5;6;7;8} |

**Die einzelnen Wetterelemente bzw. Qualitätsmerkmale sind wie folgt definiert:**

#### **Standortinformation (IS):**

1 = Der Standort der Strahlungsmessstation ist mit dem Standort der Repräsentanzstation identisch.

2 = beide Standorte sind geographisch voneinander getrennt, was zu einer verringerten Qualität der kurzwelligen Strahlungsgrößen führen kann (siehe Unterabschnitt 3.2).

**Bedeckungsgrad (N):**

Bedeckung des Himmels mit Wolken in Achteln nach Augenbeobachtung. Schlüsselziffer 9 bedeutet: N war nicht bestimmbar, z.B. bei Nebel.

**Windrichtung (WR):**

Vorherrschende Richtung, aus der der Wind im 10-Minuten-Mittelungsintervall vor der vollen Stunde weht. Nach der 360°-Windrose in Grad, z.B. 90° (Ost); 180° (Süd); 270° (West); 360° (Nord).

Schlüsselziffer 0 = Windstille, 999 = umlaufender Wind. Messhöhe 10 m über Grund, in hindernisreicher Umgebung mindestens 6-10 m über der durchschnittlichen Bebauungshöhe.

**Windgeschwindigkeit (WG):**

Mittlere Windgeschwindigkeit im 10-Minuten-Mittelungsintervall vor der vollen Stunde in m/s. Messbedingungen wie bei der Windrichtung.

**Lufttemperatur (t):**

Lufttemperatur in °C mit Vorzeichen, gemessen in 2 m Höhe in der Wetterhütte. Die Messung erfolgt ½ Stunde vor der angegebenen Stunde mit einer Ventilationszeit von ca. 3 Minuten mit dem Aspirationspsychrometer nach Aßmann oder entsprechendem Widerstandsthermometer (Pt100).

**Luftdruck (p):**

Gemessener oder berechneter Luftdruck in Stationshöhe in hPa.

**Wasserdampfgehalt oder Mischungsverhältnis (x):**

Anteil des Wasserdampfes in g/kg trockener Luft.

Berechnet aus der trockenen und feuchten Temperaturmessung nach Aßmann (in 2 m Höhe in der Wetterhütte) und dem Luftdruck in Stationshöhe.

**Relative Feuchte (RF):**

Quotient aus dem aktuellen Dampfdruck und dem Sättigungsdampfdruck, durch Multiplikation mit 100 Angabe in %.

**Wetterereignis (W):**

Angabe über das Wetter zum Beobachtungstermin bzw. für die vorangegangene Stunde, z.B. Nebel, Regen, Gewitter in codierter Form (100 Unterscheidungen, siehe Anhang 3). Leerzeichen stehen für fehlende Daten, die nicht ergänzt wurden.

**Bestrahlungsstärke der direkten Sonnenstrahlung (B) auf der horizontalen Ebene:**

Stundenmittelwerte in W/m<sup>2</sup> wurden aus dem ursprünglichen Bezugssystem der Wahren Ortszeit (WOZ) auf die volle Stunde in MEZ interpoliert. Berechnete Werte wurden zur vollen Stunde in MEZ bestimmt. Nullen ergeben sich durch Abrundung geringer Bestrahlungsstärken, Leerzeichen bedeuten astronomisch bedingt keine Strahlung.

**Bestrahlungsstärke der diffusen Sonnenstrahlung (D) auf der horizontalen Ebene:**

Durch Streuung und Reflexion an atmosphärischen Bestandteilen aus dem oberen Halbraum einfallende Strahlung, vermindert um die direkte Sonnenstrahlung (die Summe aus der direkten und diffusen Sonnenstrahlung ist die Globalstrahlung).

lung **G**). Zeitbezug wie bei der direkten Sonnenstrahlung. Einheit in  $\text{W/m}^2$ . Leerzeichen bedeuten astronomisch bedingt keine Strahlung.

**Informationsgröße, ob B, D gemessen oder gerechnet sind:**

1 = G, D sind Messwerte;

2 = B, B sind gerechnete Werte;

3 = nur die Globalstrahlung liegt als Messwert vor;

4 = nur die diffuse Sonnenstrahlung liegt als Messwert vor (siehe auch Unterabschnitt 3.2).

**Bestrahlungsstärke der Wärmestrahlung der Atmosphäre (A) auf der horizontalen Ebene:**

Berechnete Werte, die zur vollen Stunde in MEZ bestimmt wurden. Einheit in  $\text{W/m}^2$ .

**Spezifische Ausstrahlung der Wärmestrahlung (E) der Erdoberfläche einschließlich der von ihr reflektierten Wärmestrahlung der Atmosphäre:**

Berechnete Werte, die zur vollen Stunde in MEZ bestimmt wurden. Einheit in  $\text{W/m}^2$ . Das Vorzeichen ist negativ, weil E aufwärts gerichtet ist.

**Qualitätsbit für die langwelligen Strahlungsgrößen (IL):**

Dieses Qualitätsmerkmal gibt Auskunft über die Vollständigkeit der zur Berechnung der langwelligen Strahlungskomponenten notwendigen Bewölkungsverhältnisse in den drei Atmosphärenstockwerken. Der Wert reicht von 1 bis 8, wobei allgemein gilt: Je höher der Wert, desto größer die Zuverlässigkeit der langwelligen Strahlungsgrößen (näheres dazu im Unterabschnitt 3.3)

Nach einer internationalen Vorschrift der WMO soll der Wind in 10 m Höhe über Grund in einer hindernisfreien Umgebung gemessen werden. An hindernisreichen Standorten, z.B. in städtischer oder bewaldeter Umgebung, wird die Störung des bodennahen Windfeldes dadurch kompensiert, dass der Wind in entsprechend größerer Höhe gemessen wird. Weil die lokalen Windverhältnisse entscheidend durch die Oberflächenbeschaffenheit und das Relief vor Ort beeinflusst werden, sind der Übertragbarkeit der Winddaten vom Messstandort auf andere Orte enge Grenzen gesetzt. Im Mittelgebirgsraum und in den Alpen wird die Luftströmung z.B. durch das Geländere Relief so beeinflusst, dass die Hauptwindrichtungen talachsenparallel verlaufen. Im Einzelfall ist es daher sinnvoll, sich bezüglich der Windverhältnisse an den Deutschen Wetterdienst zu wenden.

Die Lufttemperatur wird in einer Klimahütte in 2 m Höhe über einer Rasenfläche gemessen. Die Klimahütte schützt die Thermometer vor der direkten Sonneneinstrahlung. Wände, Boden und Decke der Hütte bestehen aber aus luftdurchlässigen Lamellen, die die Umgebungsluft ungehindert passieren lassen. Ein der Sonnenstrahlung direkt ausgesetztes Thermometer würde verfälschte Werte der Lufttemperatur liefern. Eine objektive Vergleichbarkeit der Temperaturmessungen zwischen verschiedenen Orten bzw. Terminen wäre nicht mehr möglich.

Die Geräte zur Messung der Sonnenstrahlung sind so aufgestellt, dass der Horizont durch keine Hindernisse eingeschränkt ist, die die Geräte beschatten können.

Weitere Informationen zu den Begriffen können z.B. MEYERS LEXIKONVERLAG (1987), speziell zu den Strahlungskomponenten auch der VDI 3789-2 (1994)

entnommen werden. Die Abkürzungen für die Strahlungskomponenten orientieren sich an der VDI 3789-2 und weichen von der DIN 4710 (2003) ab.

Die Lufttemperatur wird in einer Lamellenhütte in 2 m Höhe über einer Rasenfläche gemessen. Die Lamellenhütte schützt die Thermometer vor der direkten Sonneneinstrahlung. Ein der Sonnenstrahlung direkt ausgesetztes Thermometer würde verfälschte Werte der Lufttemperatur liefern. Eine objektive Vergleichbarkeit der Temperaturmessungen zwischen verschiedenen Orten wäre nicht mehr möglich.

Die Geräte zur Messung der Sonnenstrahlung sind so aufgestellt, dass der Horizont durch keine Hindernisse eingeschränkt ist, die die Geräte beschatten können.

### **3.2 Vorgehensweise bei der Berechnung der kurzwelligen Strahlungsgrößen**

Von der kurzwelligen Sonneneinstrahlung, die im Wesentlichen das sichtbare Spektrum sowie das nahe Infrarot in einem Wellenlängenbereich von 300 nm bis 1  $\mu\text{m}$  umfasst, wird in DWD in der Regel die diffuse und die Globalstrahlung gemessen. Die Globalstrahlung entspricht der gesamten am Messstandort ankommenden kurzwelligen solaren Strahlung, die sich aus der diffusen und der direkten Sonnenstrahlung zusammensetzt. Die direkte Sonnenstrahlung kann daher aus den beiden gemessenen Parametern wie diffuse und Globalstrahlung ermittelt werden.

Allerdings wurden im Zeitraum 1988 bis 2007 nur an einer vergleichsweise kleinen Auswahl von Stationen des DWD Messungen der kurzwelligen Sonnenstrahlung durchgeführt. Es stehen daher nicht von allen Repräsentanzstationen der 15 Klimaregionen Strahlungsmessungen zur Verfügung. In den bisherigen TRY wurden in Fällen, in denen an der Repräsentanzstation keine Strahlungsmessungen vorlagen, benachbarte Strahlungsmessstellen herangezogen. Bei dem relativ dünnen Strahlungsmessnetz bedeutete dies, dass größere Distanzen zwischen Repräsentanz- und Strahlungsmessstation von zum Teil über 60 km auftraten. Dadurch konnte es zu Inkonsistenzen zwischen den Strahlungsdaten und den an der Repräsentanzstation gemessenen bzw. beobachteten Parametern kommen, z.B. dann, wenn an der Repräsentanz ein bedeckter Himmel und Regen auftritt, während an der Strahlungsmessstation ein wolkenloser Himmel vorherrscht.

Um derartige Inkonsistenzen zu vermeiden, wurden in den vorliegenden Testreferenzjahren Messungen der kurzwelligen Sonnenstrahlung (diffuse und Globalstrahlung) ausschließlich nur dann verwendet, wenn sie auch an der Repräsentanzstation oder einer benachbarten nicht mehr als 20 km entfernten Station erhoben wurden. In allen anderen Fällen wurde die in den TRY-Datensätzen enthaltene direkte und diffuse Sonnenstrahlung nach der im Kapitel 6, Abschnitt 6.4 dargestellten Methode berechnet.

Die kurzwelligen Strahlungsgrößen wurden auch dann rechnerisch ermittelt, wenn von einer Station nur einer der beiden Strahlungsparameter, entweder Global- oder diffuse Sonnenstrahlung, vorlagen. Eine Vermischung gemessener

und berechneter Werte kann in Einzelfällen zu unsinnigen Werten führen. Ein Grund für dieses Phänomen ist neben der Ungenauigkeit der verwendeten Gleichungen wahrscheinlich auch die häufig nicht gleichmäßig am Himmel verteilte Bewölkung.

### **3.3 Vorgehensweise bei der Berechnung der langwelligen Strahlungsgrößen**

Von den in den TRY-Datensätzen aufgeführten langwelligen Strahlungsgrößen, die das thermische Infrarot von etwa 4  $\mu\text{m}$  bis 20  $\mu\text{m}$  umfassen, wie Wärmestrahlung der Erdoberfläche und Wärmestrahlung der Atmosphäre, die auch als atmosphärische Gegenstrahlung bezeichnet wird, wird im DWD nur die atmosphärische Gegenstrahlung an einzelnen Stationen routinemäßig gemessen. Bei den in den TRY verwendeten Repräsentanzstationen trifft dies nur auf die beiden Stationen Hamburg-Fuhlsbüttel und Potsdam zu. Allerdings lagen die entsprechenden Messwerte der atmosphärischen Gegenstrahlung auch nicht lückenlos über den Bezugszeitraum 1988 bis 2007 vor.

Daher wurden die langwelligen Strahlungsgrößen für alle Repräsentanzstationen grundsätzlich berechnet. Die Methodik dazu wird in Kapitel 6, Abschnitt 6.4 ausführlich erläutert. An dieser Stelle soll noch auf einige Besonderheiten eingegangen werden, die damit zusammenhängen, dass für die Berechnung der langwelligen Strahlungsparameter möglichst detaillierte Wolkenbeobachtungen benötigt werden.

Die erforderlichen Bewölkungsangaben zum Bedeckungsgrad der niedrigen, mittelhohen und hohen Wolken ( $n_L$ ,  $n_M$  und  $n_H$ ) sind in den routinemäßigen Wetterbeobachtungen nicht vollständig vorhanden. Die Beobachtungen enthalten lediglich den Bedeckungsgrad des untersten Stockwerkes, in dem überhaupt Wolken vorhanden sind, sowie eine Information für die Art der tiefen ( $c_L$ ), der mittelhohen ( $c_M$ ) und der hohen ( $c_H$ ) Wolken. Somit sind an dieser Stelle gewisse Annahmen und Vereinfachungen bei der Berechnung der langwelligen Strahlungsgrößen notwendig.

Obwohl keine direkten Angaben zum Bedeckungsgrad der mittelhohen und hohen Wolken vorhanden sind, lässt sich indirekt einiges ableiten. Da bekannt ist, welche Wolkenarten in den in der jeweiligen Schicht vorhanden sind, kann zumindest bestimmt werden, ob  $n_M$  bzw.  $n_H$  überhaupt von Null verschieden sind oder nicht. Zusätzlich hat man Kenntnis vom Gesamtbedeckungsgrad  $N$ . Daher lässt sich die Differenz zwischen  $N$  und  $n_L$  im Allgemeinen auf  $n_M$  und/oder  $n_H$  aufteilen. Diese Vorgehensweise ist zwar nicht immer ganz korrekt, liegt aber im Bereich der allgemeinen Genauigkeit der Parametrisierung gemäß den Darstellungen im Abschnitt 6.4.

Ein weiterer Vorteil ist der, dass bei Nichtvorhandensein tiefer Wolken (Bedeckungsgrad  $n_L = 0$ ) der Bedeckungsgrad der mittelhohen Wolken angegeben wird. In diesen Fällen ist lediglich  $n_H$  abzuschätzen. Ist die Differenz zwischen  $N$  und  $n_L$  klein oder gar gleich Null, so heißt das zwar nicht, dass keine mittelhohen und/oder hohen Wolken vorhanden sind, jedoch spielen diese dann bei der Bewertung der langwelligen Strahlungsgrößen nur eine untergeordnete Rolle. Die atmosphärische Gegenstrahlung wird in diesen Fällen nahezu ausschließlich durch die tiefe Wolkendecke bestimmt.

Aufgrund der Unsicherheiten in der Kenntnis der Bewölkungsverhältnisse, konnten die langwelligen Strahlungsgrößen nur auf Basis der jeweils vorliegenden Informationen berechnet werden. Dementsprechend variiert die Güte der langwelligen TRY-Strahlungsparameter zum Teil von Stunde zu Stunde. Aus diesem Grunde wird mittels eines Qualitätsbits eine Einschätzung der Zuverlässigkeit der langwelligen Strahlungswerte gegeben. Dieses Qualitätsbit variiert zwischen 1 und 8 (s.u.), wobei gilt: je höher der Wert, desto zuverlässiger die Aussage. Im Einzelnen bedeuten:

- 1 = nur der Bedeckungsgrad  $N$  ist bekannt, gleichmäßige Verteilung von  $N$  auf  $n_L$ ,  $n_M$  und  $n_H$ .  
Ausnahme: Ausschließlich in den Anpassungsintervallen (siehe Anhang 8) wurden für  $N = 9$  (Himmel nicht erkennbar)  $n_L = 8$ ,  $n_M = 0$  und  $n_H = 0$  gesetzt, wobei der Wert des Qualitätsbits im Gegensatz zum sonst für diese Kombination üblichen Wert von 5 (s. u.) bei 1 belassen wurde, um den synthetischen Charakter des Bedeckungsgrades innerhalb der Anpassungsintervalle zu betonen ( $N = 9$  ergibt sich hier ausschließlich bei Übereinstimmung von Temperatur und Taupunktstemperatur, d.h. bei 100% relativer Luftfeuchtigkeit)
- 2 =  $N$  sowie alle Wolkengattungen ( $c_L$ ,  $c_M$  sowie  $c_H$ ) sind bekannt,  $n_L$  jedoch nicht: Aufteilung von  $N$  auf alle vorhandenen, erkennbaren sowie verschlüsselten Stockwerke
- 3 =  $N$ ,  $n_L$ ,  $c_L$ ,  $c_M$  sowie  $c_H$  sind alle bekannt, wobei  $c_L \neq 0$ , d.h. tiefe Wolken vorhanden, Aufteilung der Differenz  $N - n_L$  auf  $n_M$  und/oder  $n_H$  oder  $N$ ,  $n_L$  sowie  $c_L$  bekannt, wobei ebenfalls  $c_L \neq 0$ ,  $c_M$  und  $c_H$  jedoch nicht gemeldet.  
Aufteilung von  $N - n_L$  auf  $n_M$  und  $n_H$
- 4 =  $N$ ,  $n_L$ ,  $c_L$ ,  $c_M$  sowie  $c_H$  sind alle bekannt, wobei  $c_L = 0$ , d.h. keine tiefen Wolken vorhanden -->  $n_M = \text{Meldewert von } n_L$  und  $n_H = N - \text{Meldewert von } n_L$  oder  $N$ ,  $n_L$ ,  $c_L$  sowie  $c_M$  bekannt, wobei  $c_L = 0$ , d.h. keine tiefen Wolken vorhanden,  $c_H$  jedoch nicht gemeldet -->  $n_M = \text{Meldewert von } n_M$  und  $n_H = N - \text{Meldewert von } n_L$
- 5 =  $N = 9$  (Himmel nicht erkennbar) -->  $n_L = 8$ ,  $n_M = 0$  und  $n_H = 0$  (Nichtberücksichtigung mittelhoher und hoher Wolken)
- 6 =  $c_L$  und  $c_H = 0$ , d.h. keine tiefen und hohen Wolken vorhanden bzw. erkennbar -->  $n_M = N$
- 7 =  $c_L$  und  $c_M = 0$ , d.h. keine tiefen und mittelhohen Wolken vorhanden oder erkennbar -->  $n_H = N$
- 8 = überhaupt keine Bewölkung vorhanden ( $N = 0$ )

## **4 Die TRY-Regionen von Deutschland und regionale Besonderheiten**

In den vorliegenden Testreferenzjahren wurde die Einteilung der Bundesrepublik Deutschland in 15 Klima- bzw. TRY-Regionen mit je einer Repräsentanzstation, die die charakteristischen Klimaverhältnisse der Region widerspiegelt, aus den Vorgänger-TRY übernommen. In orographisch gegliedertem Gelände wird zusätzlich die Höhenabhängigkeit von Lufttemperatur und Wasserdampfgehalt (Mischungsverhältnis) berücksichtigt. Diese Höhenkorrektur wurde überarbeitet, so dass jetzt auch der Tagesgang der Vertikalgradienten von Lufttemperatur und Mischungsverhältnis einbezogen werden. Darüber hinaus erfolgte die Entwicklung eines sog. Stadtklimamoduls, mit deren Hilfe die Auswirkungen des Wärmeinselleffekts auf Lufttemperatur und -feuchte abgeschätzt werden können.

### **4.1 Gebietseinteilung**

Eine ausführliche Beschreibung zur Einteilung Deutschlands in die 15 Klima- bzw. TRY-Regionen findet sich in der Publikation CHRISTOFFER et al. (2004), die anlässlich des Erscheinens der bisherigen Testreferenzjahre herausgegeben wurde. Hier sollen daher nur die Grundzüge der Methodik zur Einteilung in bestimmte Klimaregionen angesprochen werden.

Bei der Einteilung des Bundesgebietes in eine begrenzte Anzahl von TRY-Regionen sind folgende Gesichtspunkte zu beachten: Deutschland liegt überwiegend im Einflussbereich westlicher Strömungen, mit denen maritim geprägte Luftmassen herangeführt werden. Demzufolge können die Bewölkung und damit die Strahlungsbedingungen von Stunde zu Stunde stark variieren, wiederholt Niederschlag auftreten und die tägliche sowie auch jährliche Temperaturamplitude vergleichsweise gering sein. Kontinentale Einflüsse sind vor allem von Osten her in einzelnen trockenen Witterungsabschnitten zu erwarten.

Die Grundstruktur der räumlichen Verteilung der Klimaelemente wird durch den Anstieg der Geländehöhen von der Küste zu den Alpen hin und durch die Entfernung vom Meer bestimmt. Die östlichen Bundesländer haben im Winter wie auch im Hochsommer zeitweise ungehinderten Anschluss an kontinentale Luftmassen mit entsprechenden Kälteeinbrüchen oder Hitzeperioden. Die nord-südliche Veränderung der einzelnen Klimaelemente wird somit durch einen west-östlichen Gradienten überlagert. In den Mittelgebirgen wird diese allgemeine Struktur durch die Höhenabhängigkeit der Klimaelemente modifiziert.

Zur Regionalisierung Deutschlands wurden die Messdaten von 114 Klimastationen mit homogenen Datenreihen verwendet und einer statistischen Auswertung anhand einer Faktoren- und Clusteranalyse unterzogen. Dabei stellte sich heraus, dass die Lufttemperatur den größten Einfluss auf die räumliche Varianz der Klimaelemente hat. Aufgrund dieses Ergebnisses folgen die Grenzen der TRY-Regionen im orographisch gegliederten Gelände weitgehend den Höhenlinien.

Die Clusteranalyse, die sowohl für die Gesamtheit der Klimaelemente als auch zusätzlich für die einflussreichsten Parameter, wie z.B. die Lufttemperatur, durchgeführt wurde, ergab letztlich 15 deutlich voneinander zu trennende Gruppen von Klimastationen, die zur Definition der entsprechenden TRY-Regionen führten. Einzelne Regionen weisen große Höhenunterschiede auf, die aufgrund



der relativ guten Korrelation zwischen den für die wesentlichen Einsatzzwecke der TRY-Datensätze wichtigsten Klimaparameter (Lufttemperatur, Mischungsverhältnis) und der Höhe über NN aber keine weiteren Differenzierungen erfordern. So beträgt der Korrelationskoeffizient für die Abnahme der Lufttemperatur mit der Höhe -0,91 und für die Abnahme des Mischungsverhältnisses mit der Höhe -0,93.

Au Grundlage der beschriebenen Verfahrensweise wurde die bereits für die bisherigen Testreferenzjahre verwendete Gebieteinteilung Deutschlands in 15 TRY-Regionen gewonnen, wie in Abb. 1 dargestellt. Um mögliche Auswirkungen des Klimawandels zwischen den neuen und den bisherigen TRY-Datensätzen berücksichtigen zu können, wurde aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit die in den Vorgänger-TRY benutzte Regionalisierung beibehalten.

In der Tabelle 4 sind die wesentlichen Merkmale der TRY-Regionen enthalten. Außerdem ist darin aufgeführt, ob Messungen der Solarstrahlung von einer Strahlungsmessstation vorliegen oder ob direkte und diffuse Sonnenstrahlung berechnet wurden. Wie bereits in Abschnitt 3.3 erwähnt wurden Strahlungsmessungen nur dann verwendet, wenn sie direkt an der Repräsentanzstation oder von einer nahegelegenen Station im Umkreis von bis zu 20 km erhoben wurden. In allen übrigen Fällen wurden die Strahlungsdaten in den TRY-Datensätzen rechnerisch ermittelt. Wegen Auflösung im Jahr 1997 wurde die Station Passau

**Tabelle 4:** Charakteristika der TRY-Regionen

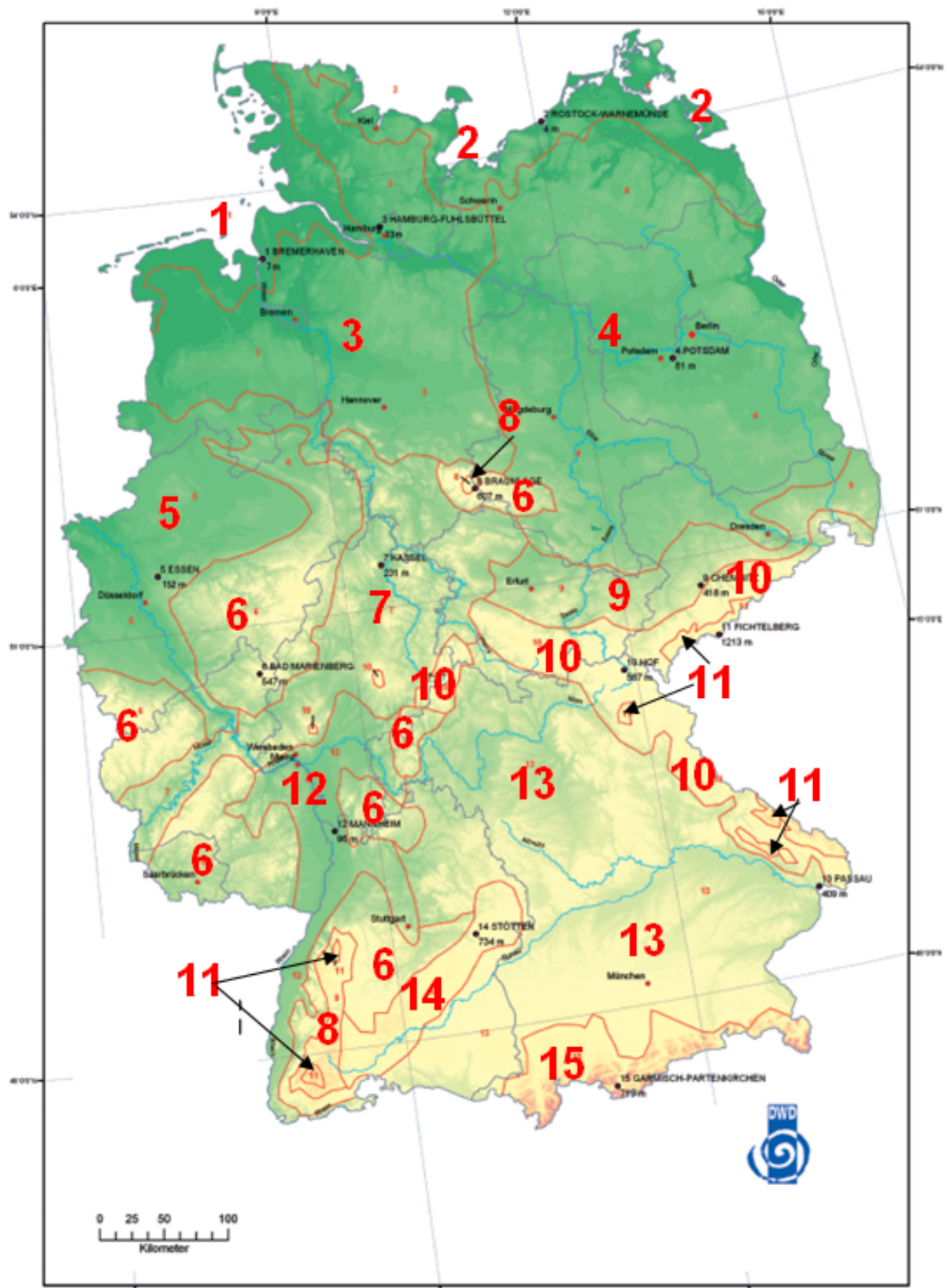
| TRY-REGION   | REPRÄSENTANZ-STATION          | HÖHE<br>ü. NN | STRAHLUNGS-<br>MESSSTATION |
|--|-------------------------------|---------------|----------------------------|
| 1 Nordseeküste   | Bremerhaven                   | 7 m           | (berechnet) <sup>3)</sup>  |
| 2 Ostseeküste  | Rostock-Warn. <sup>1)</sup>   | 4 m           | Heiligendamm               |
| 3 Nordwestdeutsches Tiefland                             | Hamburg-Fuhlsb. <sup>2)</sup> | 13 m          | Hamburg-Sasel              |
| 4 Nordostdeutsches Tiefland                              | Potsdam                       | 81 m          | Potsdam                    |
| 5 Niederrheinisch-westfälische Bucht und Emsland         | Essen                         | 152 m         | Gelsenkirchen              |
| 6 Nördliche und westliche Mittelgebirge, Randgebiete     | Bad Marienberg                | 547 m         | (berechnet)                |
| 7 Nördliche / westliche Mittelgebirge, zentrale Bereiche | Kassel                        | 231 m         | Kassel                     |
| 8 Oberharz und Schwarzwald (mittlere Lagen)              | Braunlage                     | 607 m         | (berechnet)                |
| 9 Thüringer Becken und Sächsisches Hügelland             | Chemnitz                      | 418 m         | Chemnitz                   |
| 10 Südöstliche Mittelgebirge bis 1000 m                  | Hof                           | 567 m         | (berechnet)                |
| 11 Erzgebirge, Böhmer- und Schwarzwald über 1000 m       | Fichtelberg                   | 1213 m        | Fichtelberg                |
| 12 Oberrheingraben und unteres Neckartal                 | Mannheim                      | 96 m          | Mannheim                   |
| 13 Schwäbisch-fränkisches Stufenland /Alpenvorland       | Mühlendorf/Inn                | 409 m         | (berechnet)                |
| 14 Schwäbische Alb / Baar                                | Stötten                       | 734 m         | (berechnet)                |
| 15 Alpenrand /-täler                                     | Garmisch-Partenkirchen        | 719 m         | (berechnet)                |

<sup>1)</sup> Rostock-Warnemünde

<sup>2)</sup> Hamburg-Fuhlsbüttel

<sup>3)</sup> keine Strahlungsmessung, Werte berechnet

durch Mühldorf/INN als Repräsentanzstation für die TRY-Klimaregion 13 (Schwäbisch-fränkisches Stufenland, Alpenvorland) ersetzt (siehe Kap. 2).



**Abb. 1:** Einteilung Deutschlands in 15 TRY-Klimaregionen

## 4.2 Korrekturen zur Höhenlage

Wie bereits in der Einleitung (Kapitel 1) erwähnt ist in orographisch gegliedertem Gelände prinzipiell die Höhenabhängigkeit der in den TRY-Datensätzen enthaltenen meteorologischen Parameter zu berücksichtigen. Allerdings existieren nicht für jeden dieser Parameter allgemein gültige Korrekturansätze bezüglich der Höhenkorrektur. Daher ist in den vorliegenden Testreferenzjahren die Höhenkorrektur nur für die Lufttemperatur und den Wasserdampfgehalt der Luft (Mischungsverhältnis) enthalten. Beides sind wesentliche Einflussgrößen auf das thermische Verhalten von Gebäuden sowie auf die Auslegung von Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage.

Sowohl die Lufttemperatur als auch das Mischungsverhältnis nehmen im Allgemeinen mit zunehmender Höhe ab. Weicht die Höhe eines Standortes um mehr als 100 m von der Höhe der Repräsentanzstation ab, sollte eine entsprechende Höhenkorrektur der Daten durchgeführt werden. In den bisherigen TRY-Datensätzen sind die Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung von Lufttemperatur und Mischungsverhältnis als langjährige monatliche Mittelwerte auf Basis der Klimanormalperiode 1961 bis 1990 in Tabellenform aufgeführt.

In den nun vorliegenden Testreferenzjahren wurde die Höhenkorrektur von Lufttemperatur und Wasserdampfgehalt überarbeitet und aktualisiert. Folgende Änderungen wurden vorgenommen:

1. Berechnung der Vertikalgradienten (Korrekturfaktoren) auf Basis der Messreihen 1988 bis 2007 (2009)
2. Bestimmung mittlerer monatlicher Stundenwerte der Vertikalgradienten von Lufttemperatur und Mischungsverhältnis
3. Einbindung der Höhenkorrektur in ein Programmmodul zur automatischen Erzeugung eines höhenkorrigierten Datensatzes

**ad 1:** Da die vorliegenden TRY-Datensätze auf den Mess- und Beobachtungsreihen 1988 bis 2007 basieren wurden aus Konsistenzgründen die Vertikalgradienten von Lufttemperatur und Mischungsverhältnis aus den Messdaten von Stationen ebenfalls aus dem Zeitraum 1988 bis 2007 ermittelt. In Einzelfällen wurde die Datenbasis auch bis 2009 erweitert und zwar in Fällen, in denen genügend Stationen erst seit Anfang der 1990er Jahre vorliegen. Für jede TRY-Region wurden Stationen in unterschiedlichen Höhenlagen (mehr als 100 m Höhendifferenz) zur Ermittlung der entsprechenden Vertikalgradienten von Temperatur und Wasserdampfgehalt herangezogen.

**ad 2:** Sowohl der Vertikalgradient der Lufttemperatur als auch der des Mischungsverhältnisses zeigen einen ausgeprägten Tagesgang. **Abb. 2** illustriert den mittleren monatlichen Tagesgang des Vertikalgradienten der Lufttemperatur von Januar bis Dezember über alle 15 TRY-Regionen. Daraus wird deutlich, dass die Höhenabnahme der Lufttemperatur tagsüber deutlich stärker ausgeprägt ist als nachts.

Hierin dokumentiert sich die bodennahe Abkühlung in den Nachtstunden, wobei sich die kälteste Luft an den am tiefsten gelegenen Stellen (Bodensenken, Tälern u.a.) sammelt, während höher gelegene Stationen nicht so stark abkühlen. Zeitweise werden in derartigen Wettersituationen auch sogar Temperaturzunahmen mit der Höhe, sog. Inversionen, beobachtet. Tagsüber dagegen erwärmt sich die

Luft durch die vom Erdboden aufgenommene Sonnenstrahlung, so dass dann die Luft mit der Höhe deutlicher abkühlt. Aus **Abb. 2** ist auch zu erkennen, dass dieser Effekt im Sommerhalbjahr wesentlich stärker ausgeprägt ist als im Winterhalbjahr. Die schwächere Sonneneinstrahlung sowie die häufigeren Luftmassenwechsel infolge durchziehender Tiefdruckgebiete reduzieren im Winterhalbjahr den Tagesgang des Vertikalgradienten der Lufttemperatur.

Auch der Vertikalgradient des Mischungsverhältnisses lässt in der warmen Jahreszeit einen ausgeprägten Tagesgang erkennen, wie **Abb. 3** zeigt. Nachts bis Sonnenaufgang verringert sich der Vertikalgradient des Mischungsverhältnisses als Folge der bodennahen Abkühlung. Kalte Luft kann weniger Wasserdampf enthalten als warme. Kühlt sich die Luft genügend stark ab, so fällt ein Teil des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes z.B. als Tau aus. Damit verringert sich das Mischungsverhältnis in der bodennahen Luftschicht und somit auch der entsprechende Vertikalgradient.

Nach Sonnenaufgang mit beginnender Erwärmung des Erdbodens setzt Verdunstung des in der Nacht abgesetzten Taus sowie auch die Evapotranspiration von Pflanzen ein, was zu einer vorübergehenden Erhöhung des Mischungsverhältnisses in Bodennähe führt, d.h. der Vertikalgradient des Mischungsverhältnisses nimmt am frühen Vormittag zu. Im weiteren Tagesverlauf erfasst die Erwärmung immer größere Luftschichten und mit der dadurch intensiveren vertikalen Durchmischung wird auch der Wasserdampf in größere Höhen verteilt, so dass der Vertikalgradient des Mischungsverhältnisses abnimmt und zum Nachmittag ein Minimum erreicht. Abends mit einsetzender Abkühlung in Bodennähe kehren sich die Verhältnisse wieder um und der Wasserdampfgehalt steigt in der bodennahen Luftschicht an, was zu einer Erhöhung des Vertikalgradienten des Mischungsverhältnisses führt. Wie bei der Lufttemperatur wird dieser Tagesgang im Winter durch die schwächere Sonneneinstrahlung sowie durch häufigere Tiefdruckgebiete mit Luftmassenwechseln gestört.

Wegen der geschilderten Tagesgänge der Vertikalgradienten erschien die alleinige Verwendung mittlere monatlicher Werte nicht mehr adäquat, zumal aus dem neueren Zeitraum nun auch ausreichend stündliche Messdaten zur Verfügung stehen.

**ad 3:** Die gewonnenen mittleren stündlichen Vertikalgradienten von Lufttemperatur und Mischungsverhältnis wurden als Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung der Höhenlage in ein Berechnungsmodul, das sowohl den Stadteffekt bezüglich der städtischen Wärmeinsel als auch die Höhenkorrektur beinhaltet, integriert. Eine ausführlichere Beschreibung dieses Berechnungsmoduls findet sich im Anhang 3. Nach Eingabe der Geländehöhe des Standortes über NN wird der TRY-Datensatz der jeweils betreffenden Repräsentanzstation hinsichtlich der Höhenabhängigkeit von Lufttemperatur und Mischungsverhältnis korrigiert und kann dann direkt z.B. in Gebäudesimulationsrechnungen weiter verwendet werden. Eine von Nutzerseite mühsam mit aus Tabellen entnommenen Korrekturfaktoren individuell durchgeführte Höhenkorrektur entfällt somit.

#### 4.3 Bewertung des Stadteffekts in Form der städtischen Wärmeinsel

Aufgrund der Veränderung der natürlichen Erdoberfläche durch Versiegelung und Bebauung sowie durch die Freisetzung von Gasen, Aerosolen und Wärme infolge Industrie, Gebäudeklimatisierung und Verkehr modifiziert die Stadt das Lokalklima. Diese Modifikation des Lokalklimas betrifft mehr oder weniger alle wesentlichen Klimaparameter, zeigt sich aber am ausgeprägtesten bei der Lufttemperatur. Aus einer Vielzahl von Untersuchungen im globalen Maßstab ist bekannt, dass die Stadt ein gegenüber dem Umland höheres Lufttemperaturniveau aufweist. Dieser Effekt wird auch als städtische Wärmeinsel bezeichnet und häufig mit UHI für den englischen Ausdruck „Urban Heat Island“ für städtische Wärmeinsel abgekürzt.

Die Intensität der UHI hängt sowohl von der Stadtgröße als auch von der Wetterlage ab. Insbesondere in windschwachen, wolkenarmen Wettersituationen erreicht die UHI ihre stärkste Ausprägung. Großstädte können dann durchaus um 6 K bis 8 K wärmer als das Stadtumland sein. Selbst im Jahresmittel dokumentiert sich der Stadteffekt durch eine um etwa 0,5 K bis 2 K höhere Temperatur. Um die Auswirkungen der städtischen Überwärmung auf die thermische Gebäudesimulation sowie auf die Auslegung von Heizungs-, Klima- und Lüftungsanlagen bewerten zu können, wurde in den vorliegenden TRY-Datensätzen ein Berechnungsmodul zur Abschätzung dieses Stadtklimaeffekts integriert.

Das hier verwendete Berechnungsmodul zur Abschätzung der städtischen Wärmeinsel, im Folgenden als Stadtklimamodul bezeichnet, basiert auf empirischen Beziehungen, die auf einer Vielzahl von in der Fachliteratur veröffentlichten Messungen beruhen (OKE, 1973; KRAUS, 1979; LANDSBERG, 1981; KUTTLER, 1997). Auf eine andere Methode, nämlich die Nutzung numerischer Stadtklimamodelle, wurde bewusst verzichtet, da im vorliegenden Fall zunächst die Möglichkeit einer einfachen und raschen Bewertung des Wärmeinseleffekts auf Basis leicht zugänglicher Stadtdaten geschaffen werden sollte. Numerische Stadtklimamodelle benötigen beispielsweise detaillierte Angaben zur Bebauungsstruktur, die in der Regel nicht allgemein verfügbar sind.

Grundlage des Stadtklimamoduls bildet die aus einer großen Anzahl empirischer Studien für unterschiedliche Regionen der Erde gewonnene Beziehung zwischen der maximalen Wärmeinselintensität ( $UHI_{\max}$ ) und der Einwohnerzahl einer Stadt. Für Mitteleuropa hat dieser Zusammenhang die Form (aus KUTTLER, 1997):

$$UHI_{\max} = 2,01 \cdot \log(E_w) - 4,06 \quad (4.1)$$

$UHI_{\max}$ : maximale Wärmeinselintensität einer Stadt in K  
 $E_w$ : Einwohnerzahl der Stadt

$UHI_{\max}$  stellt sich in der Regel bei windschwachen, wolkenarmen Wetter ein und erreicht für Großstädte Werte zwischen 6 K (100.000 Einwohner) und 9 K (3 Millionen Einwohner). Die Einwohnerzahl steht in (4.1) als Indikator für die räumliche Ausdehnung der Stadt sowie für die Versiegelungs- und Bebauungsdichte,

die ihrerseits wiederum das Ausmaß der städtischen Überwärmung bestimmen. Um die Unsicherheit, der mit (4.1) ermittelten Werte für UHI<sub>max</sub> einordnen zu können, sei darauf hingewiesen, dass 95% der Werte mit denen sich obige Regressionsgleichung ergibt, innerhalb einer Abweichung von  $\pm 2$  K zu den mit der Gleichung berechneten Daten liegen.

Wie bereits im obigen Abschnitt angedeutet, hängt die Intensität der städtischen Wärmeinsel (UHI) von den Wetterbedingungen, insbesondere Windgeschwindigkeit und Bewölkung ab. So erreicht die UHI bei Wolkenlosigkeit und Windstille ihr Maximum (UHI<sub>max</sub>). Bei bedecktem Himmel und hohen Windgeschwindigkeiten unterscheidet sich die Lufttemperatur in der Stadt kaum noch von derjenigen im Umland. Es ist daher erforderlich diese witterungsbedingten Einflüsse auf die UHI adäquat zu beschreiben.

Sowohl für den Windgeschwindigkeits- als auch für den Bewölkungseinfluss sind der Fachliteratur aus Messkampagnen abgeleitete Beziehungen zur UHI zu entnehmen. In Abhängigkeit von der Einwohnerzahl lässt sich mit (4.2) eine sog. Grenzwindgeschwindigkeit (Stundenmittel der Windgeschwindigkeit) ermitteln, bei der die städtische Überwärmung verschwindet, d.h. UHI=0 (OKE, 1973; BÖHM und GABL, 1978).

$$v_g = \left( \frac{1,91 \cdot \log(Ew) - 1,73}{3,37} \right)^2 \quad (4.2)$$

$v_g$ : Grenzwindgeschwindigkeit in m/s (Stundenmittel)  
 $Ew$ : Einwohnerzahl der Stadt

Mit dem Konzept der Grenzwindgeschwindigkeit lässt sich nun ein Korrekturfaktor einführen, mit dem der Windeinfluss auf die Wärmeinselintensität berücksichtigt werden kann. Dieser Korrekturfaktor umfasst den Wertebereich von 1 (Windgeschwindigkeit = 0 m/s) bis 0 (Windgeschwindigkeit entspricht  $v_g$ ). Für die aktuelle Wärmeinselintensität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit ergibt sich dann:

$$UHI = f(v_m) \cdot UHI_{\max} \quad (4.3)$$

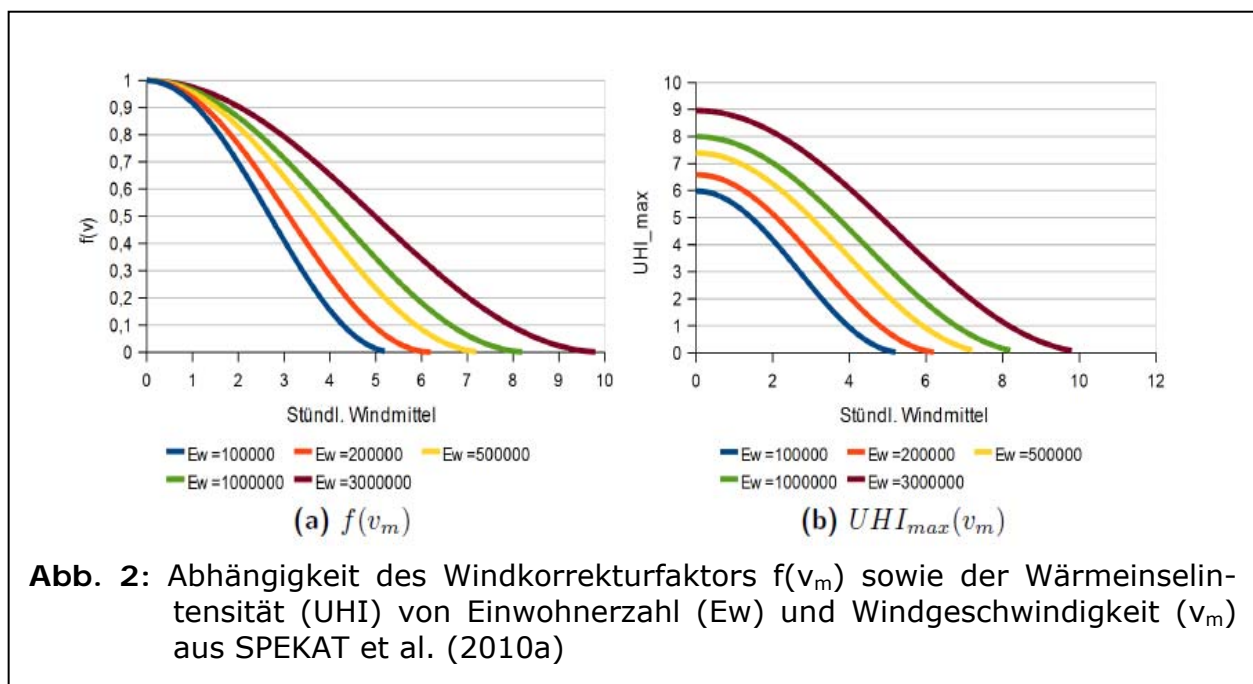
UHI: aktuelle Wärmeinselintensität in K  
 $f(v_m)$ : Korrekturfaktor für den Windgeschwindigkeitseinfluss  
 $v_m$ : mittlere stündliche Windgeschwindigkeit in m/s  
 $UHI_{\max}$ : maximale Wärmeinselintensität (wolkenlos,  $v_m = 0$  m/s)

Mit dem Konzept der Grenzwindgeschwindigkeit kann der für eine Stadtgröße (Einwohnerzahl) relevante Korrekturfaktor in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit gemäß (4.4) abgeleitet werden.

$$f(v_m) = \frac{1 + \cos\left(\frac{v_m}{v_g} \cdot \pi\right)}{2} \quad (4.4)$$

$f(v_m)$ : Korrekturfaktor für den Windgeschwindigkeitseinfluss  
 $v_m$ : mittlere stündliche Windgeschwindigkeit in m/s  
 $v_g$ : Grenzwindgeschwindigkeit in m/s (Stundenmittel)

Der Korrekturfaktor für den Windgeschwindigkeitseinfluss auf die Wärmeinselnintensität hängt über die Grenzwindgeschwindigkeit auch von der Stadtgröße (Einwohnerzahl) selbst ab. Für jede Stadtgröße existiert daher auch eine individuelle Windgeschwindigkeitskorrektur der UHI. In Abb. 2 ist der Verlauf des Windkorrekturfaktors sowie der Wärmeinselnintensität in Abhängigkeit von der Stadtgröße und der Windgeschwindigkeit dargestellt.



Des Weiteren wird die städtische Überwärmung auch durch die Bewölkungsverhältnisse beeinflusst und zwar derart, dass mit zunehmendem Bedeckungsgrad und zunehmender Bewölkungsdichte die Wärmeinselnintensität abnimmt. Auch für diesen Zusammenhang sind aus der Fachliteratur empirische Beziehungen vorhanden (NÜBLER, 1979), die eine Abschätzung des Bewölkungseinflusses ermöglichen. Ähnlich wie bei der Windgeschwindigkeit wurde dazu ein Faktor zur Bewölkungskorrektur (4.5) auf Basis des Gesamtbedeckungsgrades abgeleitet.

$$f(N) = 0,3 + 0,7 \cdot \frac{1 + \cos\left(\frac{N}{8} \cdot \pi\right)}{2} \quad (4.5)$$

$f(N)$ : Korrekturfaktor bezüglich der Bewölkung auf die städtische Wärmeinsel  
 $N$ : Gesamtbedeckungsgrad des Himmels mit Wolken in Achteln (0 bis 8)

Hierzu ist anzumerken, dass der Gesamtbedeckungsgrad des Himmels mit Wolken, so wie er aus Beobachtungen an DWD-Stationen vorliegt und auch in den Stundenwerten der TRY-Datensätze enthalten ist, keine Aussage über die Wolkenart enthält. Hohe dünne Federwolken (Cirrus) haben nur einen geringen Einfluss auf die Ausprägung der Wärmeinsel, während eine geschlossene tiefe Schichtwolkendecke (Stratus) die städtische Überwärmung deutlich reduziert. Mit (4.5) werden daher die klimatischen Verhältnisse, wie sie sich im Mittel aus einer Vielzahl von Beobachtungen für Mitteleuropa ergeben haben, widerspiegelt. In konkreten Einzelfällen können dagegen sowohl Über- als auch Unterschätzungen des Bewölkungseffekts vorkommen. Für die Zwecke der Testreferenzjahre ist jedoch nicht die Einzelfallbetrachtung sondern die Einordnung auf Basis typischer Klimaverhältnisse am Standort von Relevanz, so dass der Ansatz (4.5) adäquat erscheint.

Korrekturfaktor  $f(N)$  aus (4.5) bezüglich des Bewölkungseinflusses auf die UHI variiert zwischen 1 (keine Korrektur) und 0,3 (UHI auf 30% des Maximalwertes reduziert). Dass bei einem vollständig mit Wolken bedeckten Himmel (Gesamtbedeckungsgrad  $N = 8$ ) die UHI nicht gänzlich verschwindet, hängt mit den auch in diesem Fall unter der Voraussetzung einer gleichzeitig schwachwindigen Wetersituation zwar reduzierten aber dennoch auftretenden Unterschieden in der Strahlungsbilanz zwischen Stadt und Umland zusammen.

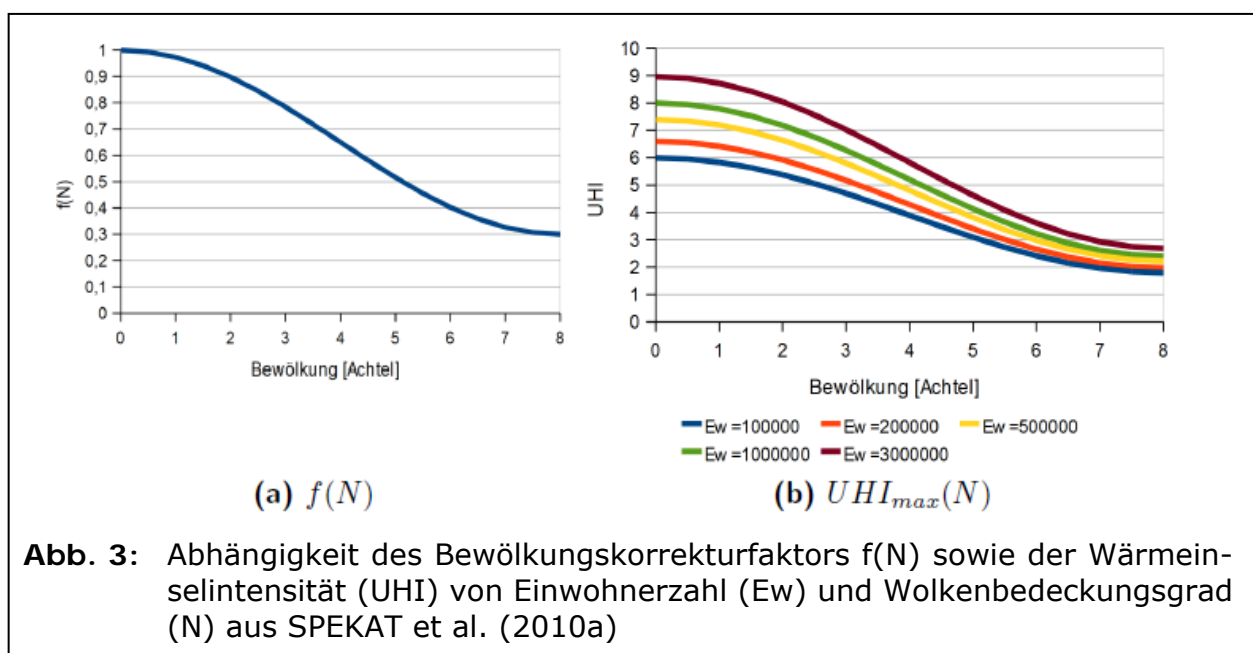




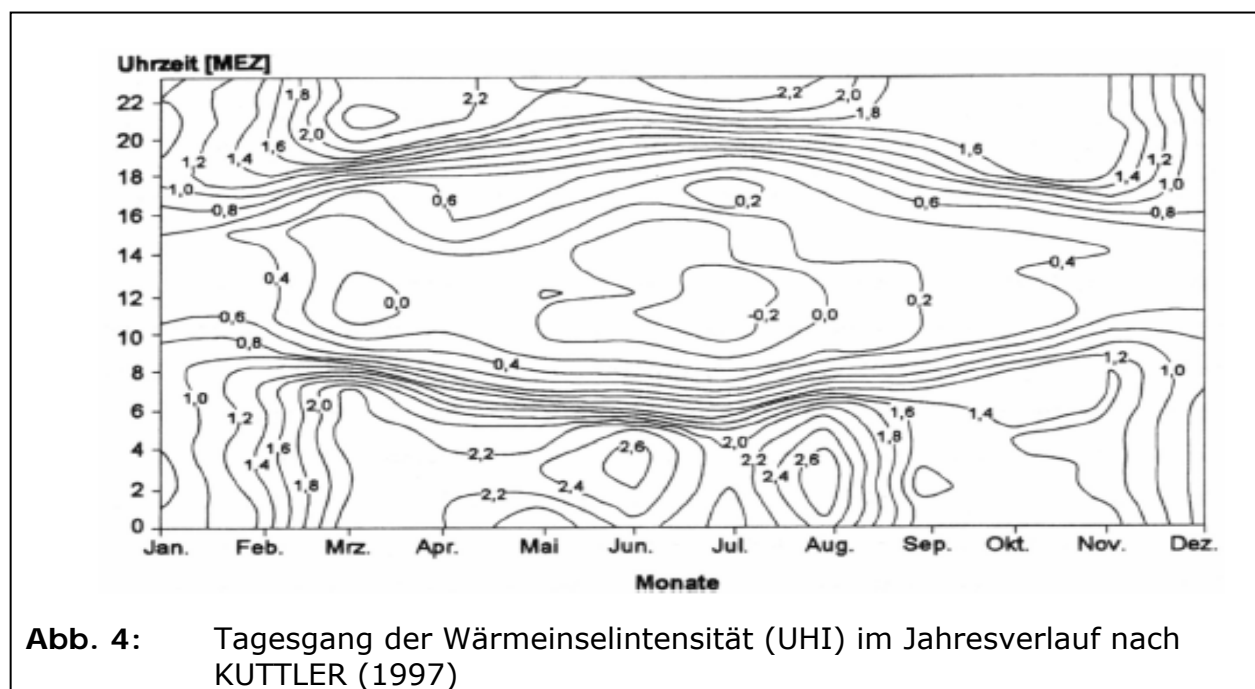
Abb. 3 zeigt die Abhängigkeit des Korrekturfaktors für den Bewölkungseinfluss auf die UHI vom Gesamtbedeckungsgrad des Himmels mit Wolken sowie beispielhaft für unterschiedliche Stadtgrößen.

Für die Bewertung der städtischen Wärmeinselintensität (UHI) bei unterschiedlichen Wind- und Bewölkungsverhältnissen ergibt sich damit:

$$UHI = f(v_m) \cdot f(N) \cdot UHI_{\max} \quad (4.6)$$

- UHI: (maximale) Wärmeinselintensität bei gegebenen Windgeschwindigkeits- und Bewölkungsverhältnissen  
 $f(v_m)$ : Korrekturfaktor zum Einfluss der Windgeschwindigkeit ( $v_m$ : mittlere stündliche Windgeschwindigkeit) auf die städtische Wärmeinsel  
 $f(N)$ : Korrekturfaktor zum Einfluss der Bewölkung ( $N$ : Gesamtbedeckungsgrad des Himmels mit Wolken) auf die Wärmeinselintensität  
 $UHI_{\max}$ : maximale Wärmeinselintensität bei Wolkenlosigkeit und Windstille

Sowohl die nach (4.1) unter optimalen Wetterbedingungen (windschwache, wolkenarme Wettersituation) als auch die nach (4.6) in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und Bewölkung abgeschätzte maximale Wärmeinselintensität wird in Stadtgebieten nur zu bestimmten Tageszeiten beobachtet. In der Regel treten die Lufttemperaturunterschiede in Bodennähe (2 m über Grund) zwischen Stadt und Umland am deutlichsten in den Frühstunden vor Sonnenaufgang im Sommerhalbjahr (April bis September) hervor.



Auch im Winterhalbjahr (Oktober bis März) ist die städtische Wärmeinsel besonders nachts erkennbar, wenn auch keine eindeutige Präferenz für die erste oder die zweite Nachthälfte besteht. Über Mittag ist die Wärmeinsel ganzjährig kaum ausgeprägt. Das beschriebene zeitliche Verhalten der städtischen Überwärmung ist exemplarisch in Abb. 4 enthalten. Messungen aus anderen Städten bestätigen qualitativ den hier beobachteten Tagesgang der UHI.

Aus den vorliegenden Untersuchungen zum Tagesgang der urbanen Wärmeinselintensität lassen sich allgemeine Rückschlüsse auf deren zeitliche Abhängigkeit ziehen. Diese Zeitabhängigkeit wurde in Form eines sog. Zeitkorrekturfaktors berücksichtigt. Er kann je nach Tageszeit Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Für jeden Monat wurde dieser Zeitkorrekturfaktor in einer Fourierreihe gemäß (4.7) entwickelt:

$$f(UHI_t) = const + a_1 \cdot \cos(t) + \dots + a_n \cdot \cos(n \cdot t) + b_1 \cdot \sin(t) + \dots + b_n \cdot \sin(n \cdot t) \quad (4.7)$$

$f(UHI_t)$ : Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des Tagesgangs der UHI  
 $t$ : Zeit als Stunde des Tages (0 bis 23)  
 $const$ : Fourierreihenkonstante  
 $a_n, b_n$ : Fourierkoeffizienten  
 $n$ : Anzahl der Fourierkoeffizienten

Die Anzahl der Fourierkoeffizienten in (4.7) kann auf 3 ( $a_1, \dots, a_3$  und  $b_1, \dots, b_3$ ) begrenzt, um bereits eine sehr gute Approximation des Tagesganges der UHI zu erreichen. Unter optimalen Wetterbedingungen (Windstille, wolkenlos) kann mit (4.8) bei Kenntnis von  $UHI_{max}$  aus (4.1) die Wärmeinselintensität zu jeder Tageszeit abgeschätzt werden.

$$UHI(t) = f(UHI_t) \cdot UHI_{max} \quad (4.8)$$

$UHI(t)$ : Wärmeinselintensität in K zur Zeit  $t$  (0 bis 23 h)  
 $f(UHI_t)$ : Tagesgangkorrekturfaktor der Wärmeinselintensität (0 bis 1)  
 $UHI_{max}$ : maximale Wärmeinselintensität nach (4.1) in K

Um die Wärmeinselintensität zu jeder Tageszeit abschätzen zu können, muss sowohl die Witterungskorrektur (Windgeschwindigkeit, Bewölkung) als auch die Tagesgangkorrektur der maximalen Wärmeinselintensität berücksichtigt werden. Da die städtische Überwärmung zu ihrer Ausprägung einen zeitlichen Vorlauf hinsichtlich der entsprechenden Wetterverhältnisse benötigt, werden nicht die momentanen Werte wie Windgeschwindigkeit und Wolkenbedeckungsgrad, sondern deren mittlere Werte über die vergangenen letzten 24 Stunden betrachtet, wie in (4.9) dargestellt:

$$UHI(t) = f(v_{24}) \cdot f(N_{24}) \cdot f(UHI_t) \cdot UHI_{\max} \quad (4.9)$$

|                       |  |
|-----------------------|--|
| UHI(t):               | Wärmeinselintensität in K zur Zeit t (0 h bis 23 h)                |
| f(v <sub>24</sub> ):  | Korrekturfaktor infolge der Windgeschwindigkeit                    |
| v <sub>24</sub> :     | mittlere Windgeschwindigkeit über die letzten 24 Stunden seit t-24 |
| f(N <sub>24</sub> ):  | Korrekturfaktor aufgrund des Wolkenbedeckungsgrades                |
| N <sub>24</sub> :     | mittlere Wolkenbedeckung über die letzten 24 Stunden seit t-24     |
| f(UHI <sub>t</sub> ): | Korrekturfaktor bezüglich des Tagesgangs der urbanen Wärmeinsel    |

Die Gleichung (4.9) stellt die Grundlage dar, auf der im Stadtklimamodul die jeweilige stündliche Lufttemperatur in der Stadt in den TRY-Datensätzen berechnet wird, und zwar in der Weise, dass auf die stündliche Lufttemperatur der Repräsentanzstation der Wärmeinselschlag UHI(t) addiert wird.

Unter der Annahme, dass sich der absolute Wasserdampfgehalt der Luft nur unwesentlich zwischen Stadt und Umland unterscheidet, wird mit der durch den Stadteffekt in Regel hervorgerufenen Temperaturerhöhung auch eine Veränderung der relativen Feuchte bedingt, wie aus der Definition für die relative Feuchte in (4.10) leicht ersichtlich.

$$rF = \frac{100 \cdot e}{e_s(TL)} \quad (4.10)$$

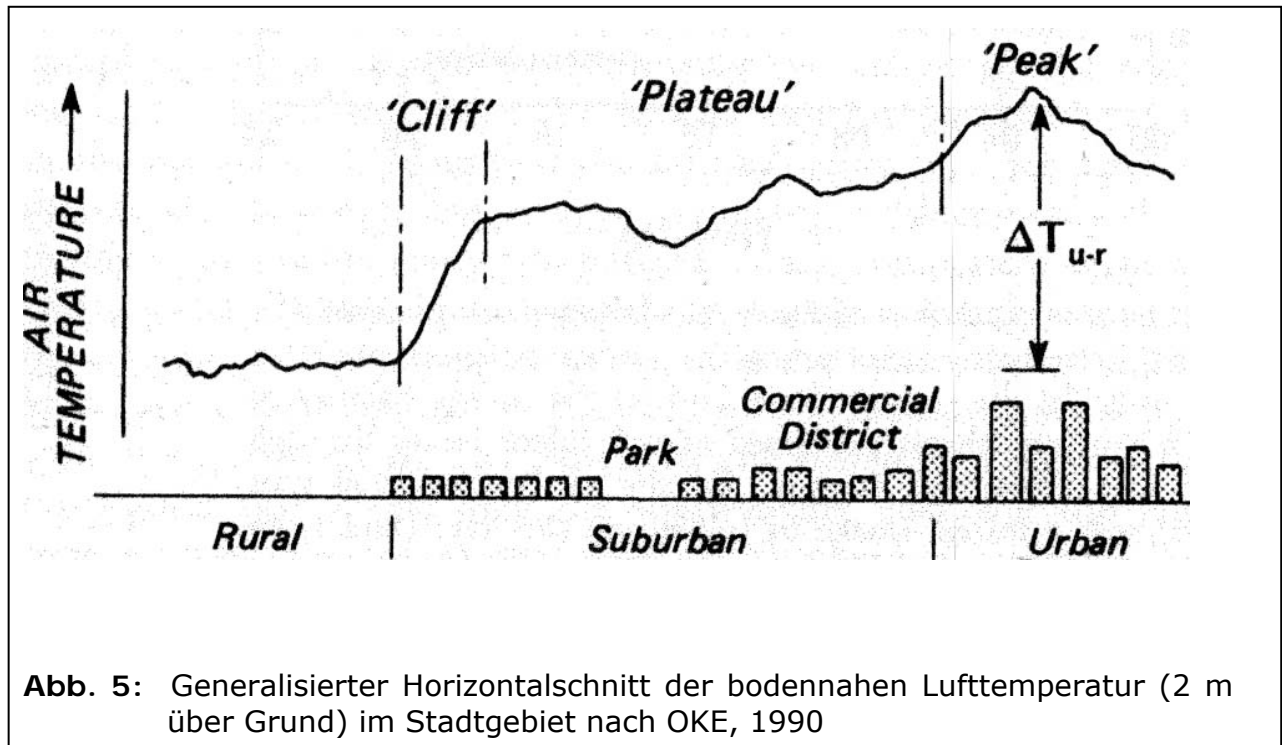
|                      |   |
|----------------------|---|
| rF:                  | relative Luftfeuchte in %                             |
| e:                   | aktueller Dampfdruck in hPa                           |
| e <sub>s</sub> (TL): | Sättigungsdampfdruck in hPa bei der Lufttemperatur TL |

Da der Sättigungsdampfdruck mit der Lufttemperatur zunimmt, wird bei ansteigender Lufttemperatur, z.B. durch den Wärmeinseleffekt, bei gleichzeitig unverändertem Dampfdruck die relative Luftfeuchte abnehmen. Dieser Effekt wird im Stadtklimamodul der neuen Testreferenzjahre berücksichtigt.

Da die städtische Erwärmung nicht gleichmäßig über das Stadtgebiet verteilt ist, bestand die Forderung, eine Möglichkeit der räumlichen Differenzierung zu schaffen. Diese wurde aus in der Fachliteratur publizierten Erkenntnissen abgeleitet. Abb. 5 zeigt einen schematischen Horizontalschnitt durch eine Modellstadt hinsichtlich der bodennahen Lufttemperatur dargestellt anhand der Temperaturdifferenz zwischen Stadt und Umland.

Die maximale Wärmeinselintensität tritt im Allgemeinen in den am dichtesten bebauten und versiegelten Innenstadtbereich auf. Im umgebenden Stadtgebiet liegt die Temperaturerhöhung gegenüber dem angrenzenden Freiland nicht ganz so hoch und erreicht etwa 70% der maximal anzutreffenden Überwärmung. Zum Stadtrand hin nimmt die städtische Überwärmung auf ca. 50% der UHImax ab, wobei hier dann auch am äußeren Stadtrand der Temperaturrückgang zu den Freiflächen des Stadtumlandes erfolgt.

Im in die vorliegenden Testreferenzjahre integrierten Stadtklimamodul sind diese räumlichen Differenzierungen ebenfalls enthalten. Hier kann ausgewählt werden zwischen „eng bebaute Innenstadt“, „mittleres Stadtgebiet“ und „Stadttrand“. Je nach Stadtgebiet werden die mit (4.9) ermittelten stündlichen Temperaturdifferenzen zwischen Stadt und Umland mit 1 (eng bebaute Innenstadt), mit 0,7 (mittleres Stadtgebiet) oder mit 0,5 (Stadttrand) multipliziert.



An dieser Stelle sei noch mal darauf hingewiesen, dass es sich bei dem beschriebenen Verfahren zur Berücksichtigung der städtischen Lufttemperaturmodifikation um ein Schätzverfahren anhand von Erkenntnissen aus der Fachliteratur handelt. Insbesondere Einzelfallbetrachtungen, z.B. einzelner Tage oder Tageszeiträume, können mit dieser Methodik nicht geleistet werden. Für eine klimatologische Betrachtungsweise über längere Zeiträume, wie sie auch in den Testreferenzjahressätzen verankert ist, kann der gewählte Ansatz als geeignet angesehen werden.

## 5 Zeitliche Auswahl zum Testreferenzjahr

Im Gegensatz zu den bisherigen Testreferenzjahren (CHRISTOFFER et al., 2004) wurde der Großwetterlagenbezug bei der Auswahl der Witterungsabschnitte für die Zusammenstellung der Testreferenzjahre fallen gelassen. Grund hierfür war, dass mit den aus der Großwetterlagenanalyse folgenden für ganz Deutschland, also für alle 15 Repräsentanzstationen einheitlichen Witterungsabschnitten, die regionale Klimavariabilität nur unzureichend wiedergegeben wird. Nach der geänderten Methodik können die Witterungsabschnitte für die TRY-Datensätze individuell bestimmt werden, so dass den regional unterschiedlichen Klimaverhältnissen besser Rechnung getragen wird.

Für alle Repräsentanzstationen des Testreferenzjahres müssen die Datensätze stündliche Werte der meteorologischen Parameter aufweisen, wie sie während konkreter Wetterabläufe auftreten. Zugleich sollen diese Datensätze die wahrscheinlichsten Wetterabläufe enthalten und so miteinander verknüpft sein, dass die Abweichungen vom monatlichen und jahreszeitlichen Mittel der Periode 1988 bis 2007 so gering wie möglich sind. Darüber hinaus ist es wünschenswert, dass auch die Variabilität der Parameter, z.B. in Form der jeweiligen Streuung, berücksichtigt wird. Weiterhin sollen die Datensätze zyklisch sein, d.h. zum Jahreswechsel kontinuierlich in sich selbst übergehen.

Diesen Forderungen kann nur teilweise entsprochen werden. Der Versuch ein einzelnes reales Jahr zu finden, dass am besten die monatlichen und jahreszeitlichen Klimamittel erfüllt, enthält mit Sicherheit eine Folge von Wetterabläufen, deren Auftreten und Andauer statistisch nicht repräsentativ sind. Außerdem können nicht alle Parameter gleich gut an ihre Klimamittel und ihre mittlere Variabilität angepasst werden. Für Zwecke zur Simulation des thermischen Verhaltens von Gebäuden sowie zur Auslegung von Heizungs-, Lüftungs- und Klimatisierungsanlagen als Schwerpunktanwendung der Testreferenzjahre sind besonders die Lufttemperatur, daneben auch noch Strahlung (vor allem direkte und diffuse Sonneneinstrahlung) und Wasserdampfgehalt der Luft von Bedeutung.

Die Auswahl der Witterungsabschnitte zur Konstruktion der TRY-Datensätze erfolgte daher im Wesentlichen unter Berücksichtigung der Lufttemperatur unter Beachtung nachfolgender Kriterien:

1. Für jede Repräsentanzstation individuell Auswahl geeigneter Witterungsabschnitte derart, dass Mittelwert und Streuung der stündlichen Lufttemperatur auf Basis der Periode 1988 bis 2007 monats- und jahreszeitenweise bestmöglich getroffen werden. Gewichtung bei der Anpassung zu 70% Mittelwert und zu 30% Streuung.
2. Mindestlänge eines Witterungsabschnitts : 10 Tage; Höchstlänge: 30 Tage. Ausnahmen sind am Jahresende möglich.
3. Maximale Temperaturdifferenz zweier aneinander grenzender Witterungsabschnitte um 00 Uhr 4 K
4. Witterungsabschnitt muss sich „tagesscharf“ an der richtigen Position im TRY-Datensatz befinden.

In der Tabelle 5 sind als Beispiel für die Auswahl der Witterungsabschnitte für die Zusammenstellung der TRY-Datensätze für die Repräsentanzstationen Bremer-

haven (TRY-Region 1) und Hohenpeißenberg (TRY-Region 15) einmal die realen Zeiträume aufgeführt, aus denen die entsprechenden Segmente stammen.

**Tabelle 5:** Beispiel für die Auswahl- (Quell-)zeiträume der Witterungsabschnitte der TRY-Datensätzen der Repräsentanzstationen Bremerhaven (TRY-Region 1) und Hohenpeißenberg (TRY-Region 15)

| Repräsentanzstat.: Bremerhaven |                          | Repräsentanzstat.: Hohenpeißenberg |                         |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| Testreferenzjahr               | Quellzeiträume           | Testreferenzjahr                   | Quellzeiträume          |
| 01.01. - 27.01.                | 01. 01.2002 - 27. 1.2002 | 01.01. - 19.01.                    | 01.01.2001 - 19.01.2001 |
| 28.01. - 06.01                 | 28. 1.2005 - 06.02.2005  | 20.01. - 30.01.                    | 20.01.1999 - 30.01.1999 |
| 07.01. - 17.01.                | 07.02.2007 - 17.02.2007  | 31.01. - 28.02.                    | 31.01.1994 - 28.02.1994 |
| 18.02. - 27.02.                | 18.02.2000 - 27.02.2000  | 01.03. - 09.03.                    | 01.03.1996 - 09.03.1996 |
| 28.02. - 09.03.                | 28.02.2001 - 09.03.2001  | 11.03. - 31.03.                    | 10.03.2001 - 31.03.2001 |
| 09.03. - 25.03.                | 09.03.2000 - 25.03.2000  | 01.04. - 18.04.                    | 01.04.2006 - 18.04.2006 |
| 26.03. - 05.04.                | 26.03.2005 - 05.04.2005  | 19.04. - 29.04.                    | 19.04.1999 - 29.04.1999 |
| 06.04. - 17.04.                | 06.04.1997 - 17.04.1997  | 30.04. - 09.05.                    | 30.04.1995 - 09.05.1995 |
| 18.04. - 27.04.                | 18.04.1999 - 27.04.1999  | 10.05. - 27.05.                    | 10.05.2003 - 27.05.2003 |
| 28.04. - 07.05.                | 28.04.2001 - 07.05.2001  | 28.05. - 05.06.                    | 28.05.1996 - 05.06.1996 |
| 08.05. - 22.05.                | 08.05.1997 - 22.05.1997  | 06.06. - 24.06.                    | 06.06.1994 - 24.06.1994 |
| 23.05. - 01.06.                | 23.05.1998 - 01.06.1998  | 25.06. - 04.07.                    | 25.06.1995 - 04.07.1995 |
| 02.06. - 23.06.                | 02.06.1993 - 23.06.1993  | 05.07. - 31.07.                    | 05.07.2004 - 31.07.2004 |
| 24.06. - 03.07.                | 24.06.2005 - 03.07.2005  | 01.08. - 26.08.                    | 01.08.1993 - 26.08.1993 |
| 04.07. - 16.07.                | 04.07.2007 - 16.07.2007  | 27.08. - 04.09.                    | 27.08.2000 - 04.09.2000 |
| 17.07. - 26.07.                | 17.07.1998 - 26.07.1998  | 05.09. - 29.09.                    | 05.09.1993 - 29.09.1993 |
| 27.07. - 05.08.                | 27.07.2005 - 05.08.2005  | 29.09. - 08.10.                    | 30.09.1996 - 08.10.1996 |
| 06.08. - 19.08.                | 06.08.1995 - 19.08.1995  | 09.10. - 19.10.                    | 09.10.2006 - 19.10.2006 |
| 20.08. - 31.08.                | 20.08.2003 - 31.08.2003  | 20.10. - 31.10.                    | 20.10.1998 - 31.10.1998 |
| 01.09. - 20.09.                | 01.09.1997 - 20.09.1997  | 01.11. - 09.11.                    | 01.11.1996 - 09.11.1996 |
| 21.09. - 30.09.                | 21.09.2007 - 30.09.2007  | 10.11. - 23.11.                    | 10.11.2005 - 23.11.2005 |
| 01.10. - 09.10.                | 01.10.2004 - 09.10.2004  | 24.11. - 03.12.                    | 24.11.1995 - 03.12.1995 |
| 11.10. - 22.10.                | 11.10.2007 - 22.10.2007  | 04.12. - 28.12.                    | 04.12.2006 - 28.12.2006 |
| 23.10. - 01.11.                | 23.10.2002 - 01.11.2002  | 29.12. - 31.12.                    | 29.12.2004 - 31.12.2004 |
| 02.11. - 21.11.                | 02.11.2007 - 21.11.2007  |                                    |                         |
| 22.11. - 01.12.                | 22.11.1995 - 01.12.1995  |                                    |                         |
| 02.12. - 28.12.                | 02.12.2007 - 28.12.2007  |                                    |                         |
| 29.12. - 31.12.                |                          |                                    |                         |

Die Daten der Testreferenzjahre und die zugrunde liegenden realen Witterungsabschnitte aus den in Tabelle 5 aufgeführten Quellzeiträumen entsprechen den gleichen Kalendertagen, d.h. die Daten vom 01.01. stammen tatsächlich von einem 01. Januar. Darüber hinaus wird deutlich, dass entgegen den bisherigen TRY-Datensätzen die Quellzeiträume von Repräsentanzstation zu Repräsentanzstation variieren.

## 6 Datenaufbereitung

Zur Erstellung der TRY-Datensätze wurden Zeitreihen in stündlicher Auflösung aus dem Zeitraum 1981 bis 2007 herangezogen. Dabei handelt es sich um Mess- und Beobachtungsdaten von ca. 100 Stationen des DWD aus der sog. MIRAKEL-Datenbank (MIRAKEL = **M**eteorologische **I**nformationen in einer **R**elationalen **D**atenbank **A**blegen sowie **K**omfortabel und **E**ffektiv **L**esen). Aus diesem Datenkollektiv wurden für die 15 Repräsentanzstationen jeweils 2 Umgebungsstationen zum Zweck des Datenvergleichs ausgewählt. Darüber hinaus wurden Daten der agrarmeteorologischen Datenbank des DWD verwendet, in der nach einem Datenprüfungs- und -vervollständigungsverfahren (JANSEN und SEDLATSCHKE, 2001) Lücken in den Zeitreihen geschlossen werden, wobei die Plausibilitätskontrollen auf einer speziellen Studie (VOGELGESANG, 1993) beruhen.

Die rund 40 benötigten Stationen (15 Repräsentanzstationen mit je 2 Umgebungsstationen, davon einige in mehreren TRY-Klimaregionen) sind in beiden Datenquellen (MIRAKEL- und agrarmeteorologische Datenbank) enthalten, so dass die Möglichkeit zu Vergleichen besteht.

### 6.1 Prüfung, Ergänzung und Anpassung der Daten

Um einen Überblick bezüglich der Datenlage und -qualität für die Erstellung von TRY-Datensätzen zu erhalten, wurden mehrere Tests (SPEKAT et al., 2009) durchgeführt, die nachfolgend kurz beschrieben sind:

- 1 Vollständigkeit der Daten
- 2 Plausibilität von Einzelwerten
- 3 Suche nach Inhomogenitäten
- 4 Vergleich von Stationsdaten aus der MIRAKEL und der agrarmeteorologischen Datenbank

**ad 1:** Die Nutzbarkeit eines Datensatzes nimmt mit dessen Lückenhaftigkeit ab. Gegebenenfalls müssen fehlende Informationen entweder aus dem Datensatz der betreffenden Station oder aus Zeitreihen einer Station in der Umgebung rekonstruiert und eingefügt werden. Die Prüfung auf Vollständigkeit ergab bei den Zeitreihen der Mess- und Beobachtungsdaten aus der MIRAKEL-Datenbank teils kürzere, teils aber auch längere Lücken.

Die agrarmeteorologische Datenbank ist dagegen systembedingt nahezu vollständig. Einzelne Lücken, z.B. bei den stündlichen Wettererscheinungen (ww), sind dort trotzdem vorhanden. Bei ww handelt es sich um eine qualitative Angabe über das Wetter zum Beobachtungszeitpunkt. Hierzu existiert kein geeignetes Verfahren fehlende Werte zu ergänzen. Daher wurde diese Größe in der agrarmeteorologischen Datenbank auch nicht interpoliert oder vervollständigt.

**ad 2:** Hauptinhalt der Plausibilitätsprüfung ist die Prüfung auf innere Konsistenz, d.h. auf Widerspruchsfreiheit innerhalb eines meteorologischen Datensatzes. So kann z.B. die Lufttemperatur nicht niedriger als die Taupunkttemperatur sein. Bei der Prüfung auf zeitliche Konsistenz werden die Terminwerte der einzelnen meteorologischen Parameter mit dem Vor- und Folgetermin verglichen. Überschreiten die zeitlichen Änderungen klimatologische Erfahrungswerte, so können die Terminwerte durch Interpolation korrigiert werden.

In der agrarmeteorologischen Datenbank sind sehr viele Fehler durch eine umfangreiche Prüfung gefunden und korrigiert worden. Die Test- und Korrekturverfahren sind ausführlich in JANSEN und SEDLATSCHKE (2001) dokumentiert worden. Auf eine weitere Prüfung der Einzelwerte im Rahmen der Erstellung von TRY-Datensätzen wurde verzichtet.

**ad 3:** Die Suche nach Inhomogenitäten erfolgte auf Basis des Alexandersson-Tests (ALEXANDERSSON, 1986). Hierfür wurden die zu Punkt 1 erwähnten Stationen in der Umgebung der Repräsentanzstationen für die jeweiligen TRY-Klimaregionen herangezogen. Es wurde jeweils die Differenz der Jahresmittelwerte zwischen der Repräsentanzstation und der beiden Umgebungsstationen berechnet und über den Zeitraum der Datenreihe (1981 bis 2007) bewertet. Der Test erfolgte sowohl für die Mess- und Beobachtungsdaten aus der MIRAKEL-Datenbank als auch für die Daten aus der agrarmeteorologischen Datenbank.

**ad 4:** Die Mess- und Beobachtungsdaten sollen als Basis für die Konstruktion der TRY dienen. Tritt dort eine Lücke auf, so soll diese mit den Werten aus der agrarmeteorologischen Datenbank gefüllt werden. Entsprechend wurde bei der Erstellung der bestehenden TRY-Datensätze (CHRISTOFFER et al., 2004) vorgegangen.

Um zu prüfen, inwieweit auch bei den neu zu erarbeitenden TRY so vorgegangen werden sollte, wurde ein direkter Vergleich zwischen beiden Datensätzen durchgeführt. Für jeden Zeitpunkt, zu dem sowohl bei den Mess- und Beobachtungsdaten (MIRAKEL-Datenbank) als auch bei den Daten der agrarmeteorologischen Datenbank ein Wert vorhanden ist, wurde die Differenz beider Werte gebildet. Idealerweise müsste diese Differenz Null ergeben, d.h. die Datensätze aus beiden Datenbanken stimmen überein.

Der Vergleich zeigt allerdings, dass zwischen den Datenbanken Unterschiede auftreten, die teils auch systematischer Natur sind. So werden beim Wind in den Jahren 1981 bis 1990 zu den Messzeitpunkten 07, 14 und 21 Uhr Abweichungen zwischen den Datenbanken erkennbar. Bei der Lufttemperatur sind für die Jahre 1981 bis 1992 deutliche Differenzmuster vorhanden. Interessanterweise treten aber bei den Tagesmittelwerten hier keine Unterschiede auf.

Die Auflistung der Auffälligkeiten könnte an dieser Stelle umfangreich weitergeführt werden. Auch die Palette der möglichen Ursachen ist umfangreich. Wesentlich ist jedoch die Feststellung: Die Mess- und Beobachtungsreihen unterscheiden sich zum Teil deutlich von der agrarmeteorologischen Datenbank. **Die Nutzung der Daten vor 1993 aus der agrarmeteorologischen Datenbank zum Auffüllen von Lücken ist daher nicht empfehlenswert.**

Im vorliegenden Fall wurde das o.g. Problem folgendermaßen gelöst: Die deutlichen Unterschiede zwischen den beiden Datenbanken treten hauptsächlich bis zum Jahr 1993 auf und beziehen sich im Wesentlichen nur auf die Stundenwerte. Wird für die langjährige Vergleichsbasis der TRY von 1988 bis 2007 auf die Tageswerte zurückgegriffen und wird als Grundlage für die Segmente, aus denen die Testreferenzjahre zusammengesetzt werden, der Zeitraum 1993 bis 2007 gewählt, so können auch die Mess- und Beobachtungsdaten verwendet werden.



## 6.2 Berechnung des Luftdrucks in Stationshöhe

Für die Berechnung des Wasserdampfgehaltes und der relativen Feuchte in den TRY-Daten wird der **Luftdruck in Stationshöhe** benötigt. Die Quelldaten enthielten bis auf wenige Ausnahmen den gemessenen Luftdruck in Barometerhöhe (Stationshöhe plus Aufstellungshöhe in der Wetterstation) und den auf Normal Null (NN) reduzierten Luftdruck. Die Reduktionsrechnung beruht auf einem international vereinbarten Verfahren (WMO, 1959), das sich auf das Niveau des mittleren Amsterdamer Pegels (gleich Normal Null) bezieht.

Für mitteleuropäische Stationen wird der Luftdruck in Barometerhöhe nach Gleichung 6.1 (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2008) aus dem reduzierten Luftdruck berechnet. Diese Formel ermöglicht es dem Anwender ggf. auch, die Luftdruckdaten aus dem Testreferenzjahr an die vom Repräsentanzort abweichende Höhe des Standortes anzupassen.

$$p_b = \frac{p_{red}}{\exp\left\{\frac{\frac{g_n}{R} H_b}{T + C_h \cdot e' + \frac{a \cdot H_b}{2}}\right\}} \quad [hPa] \quad (6.1)$$

|           |   |  |
|-----------|---|--|
| $p_b$     | = | Luftdruck in Barometerhöhe in hPa  |
| $p_{red}$ | = | reduzierter Luftdruck auf NN in hPa  |
| $g_n$     | = | Normalfallbeschleunigung $9,80665 \text{ m s}^{-2}$  |
| $R$       | = | Gaskonstante trockener Luft $287,05 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ K}^{-1}$                                       |
| $H_b$     | = | Barometerhöhe in m   |
| $T$       | = | Lufttemperatur in 2 m Höhe über Grund in K, berechnet aus der Lufttemperatur $t$ in °C nach: $T = 273,15 + t$        |
| $e'$      | = | Wasserdampfdruck in Stationshöhe in hPa  |
| $C_h$     | = | Beiwert zur Berücksichtigung der mittleren Dampfdruckänderung mit der Höhe [K / hPa] (hier Eins gesetzt) (WMO, 1959) |
| $a$       | = | vertikaler Temperaturgradient $0,65 \text{ K} / 100 \text{ m}$   |

Zur Bestimmung des aktuellen Wasserdampfdruckes  $e'$  mit dem Aspirations-Psychrometer wird auf DEUTSCHER WETTERDIENST (1998) verwiesen.

Bergstationen zwischen 750 m und 2300 m über NN rechnen ihren Luftdruck auf die Standardfläche 850 hPa um, damit bei der obigen Reduktion der Fehler durch eine Luftschicht mit angenommenen Eigenschaften bis zum Reduktionsniveau möglichst gering bleibt (Einzelheiten hierzu siehe DEUTSCHER WETTERDIENST, 1998).

### 6.3 Berechnung der Feuchtegrößen

Der **Wasserdampfgehalt**  $x$  lässt sich aus der Lufttemperatur, der Taupunkttemperatur  $t_d$  und dem Luftdruck (s.o.) bestimmen.

Hierzu gibt es zum einen Aspirations-Psychrometer-Tafeln (DEUTSCHER WETTERDIENST, 1998), zum anderen lässt sich der Wasserdampfgehalt nach folgenden Gleichungen berechnen.

$$x = \frac{621,98 \cdot 1,0047 \cdot e_w(t_d)}{p - 1,0047 \cdot e_w(t_d)} [g/kg] \quad (6.2)$$

Der Sättigungsdampfdruck über Eis  $e_i$  ist etwas niedriger als der Sättigungsdampfdruck über unterkühltem Wasser  $e_w$ . Er berechnet sich für beide Aggregatzustände wie folgt:

$$\ln e_w(t) = -6096,9385 \cdot T^{-1} + 16,635794 - 2,711193 \cdot 10^{-2} \cdot T + 1,673952 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 2,433502 \cdot \ln T \quad (6.3)$$

(über Wasser)

$$\ln e_i(t) = -6024,5282 \cdot T^{-1} + 24,7219 + 1,0613868 \cdot 10^{-2} \cdot T - 1,3198825 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - 0,49382577 \cdot \ln T \quad (6.4)$$

(über Eis)

|       |   |   |
|-------|---|---|
| $T$   | = | Lufttemperatur in 2 m Höhe über Grund in K, berechnet aus der Lufttemperatur $t$ in °C nach: $T = 273.15 + t$ |
| $e$   | = | Sättigungsdampfdruck über Wasser $e_w$ oder über Eis $e_i$ in hPa   |
| $t_d$ | = | Taupunkttemperatur °C   |
| $p_b$ | = | Luftdruck in Stationshöhe in hPa  |

Beispiel: Für eine Taupunkttemperatur von 16.2 °C und eine Luftdruck von 990 hPa ergibt sich ein Wasserdampfgehalt von 11.85 g Wasserdampf pro kg trockene Luft.

Hinweis: Bei der tatsächlichen Berechnung des Sättigungsdampfdrucks wurde ausschließlich auf Gleichung 6.3 zurückgegriffen, da die zugrunde liegenden Beobachtungsdaten keine Auskunft darüber geben, ob die Messung der Taupunkttemperatur über Wasser oder über Eis stattfand. Dies führt bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt zu einem jedoch zumeist geringen Fehler. Lediglich bei strengem Frost (unter – 10 °C) sind die Unterschiede von größerer Bedeutung.

Die relative Feuchte wird aus der Lufttemperatur  $t$  und der Taupunkttemperatur  $t_d$  bestimmt:

$$U = 100 \frac{e(t_d)}{e(t)} \quad [\%] \quad (6.5)$$

Beispiel: Für eine Lufttemperatur  $t = 21 \text{ °C}$  und eine Taupunkttemperatur  $t_d = 7 \text{ °C}$  muss für  $t$  und  $t_d$  jeweils der Sättigungsdampfdruck nach Gleichung 6.3 berechnet werden und in Gleichung 6.5 eingesetzt werden.  
Es ergibt sich  $U = 40 \text{ %}$ .

#### 6.4 Berechnung der Strahlungsgrößen

Sofern die kurzwelligen Strahlungskomponenten nicht als Messwerte aus dem Strahlungsmessnetz des Deutschen Wetterdienstes vorlagen, wurden sie gemäß VDI 3789-2 (1994) berechnet.

Die **Bestrahlungsstärke  $B$  der direkten Sonnenstrahlung** auf die horizontale Ebene ergibt sich zu:

$$B = I \cdot \sin \gamma \quad [W / m^2] \quad (6.6)$$

$I$  = Bestrahlungsstärke der direkten Sonnenstrahlung auf der zur Einfallrichtung normalen Ebene in  $W / m^2$   
 $\gamma$  = Sonnenhöhenwinkel in Grad, zur Berechnung siehe VDI 3789-2 (1994)

Unter Verwendung der mittleren Solarkonstante (Bestrahlungsstärke der extra-terrestrischen Sonnenstrahlung bei mittlerem Abstand zur Sonne)  $I_0 = 1367 \text{ W/m}^2$  und unter Berücksichtigung der Strahlungsschwächung durch Streuung und Absorption in der Atmosphäre berechnet sich die Bestrahlungsstärke der direkten Sonnenstrahlung auf die horizontale Ebene wie folgt.

$$B = I_0 \cdot \sin \gamma \cdot \exp\left(-T_L \cdot \delta_{Ro} \cdot m \cdot p / p_0\right) \quad [W / m^2] \quad (6.7)$$

|               |   |   |
|---------------|---|---|
| $I_0$         | = | mittlere Solarkonstante   |
| $T_L$         | = | mittlerer monatlicher Linke-Trübungsfaktor                                      |
| $\delta_{Ro}$ | = | vertikale optische Dicke der reinen, trockenen Atmosphäre (Rayleigh-Atmosphäre) |
| $m$           | = | relative optische Luftmasse   |
| $p$           | = | Luftdruck in Standorthöhe in hPa  |
| $p_0$         | = | Luftdruck an der Erdoberfläche in der Normatmosphäre,<br>$p_0 = 1013,25$ hPa    |

Die monatlichen Trübungsfaktoren können der Tabelle 16 entnommen werden (nach KASTEN et al., 1984). Bei der tatsächlichen Berechnung der kurzwelligen Strahlungskomponenten wurden diese mittels Spline-Interpolation geglättet, um stufenförmige Übergänge zu den Monatswechseln zu vermeiden.

Nach KASTEN und YOUNG (1989) kann die relative optische Luftmasse  $m$  mit weniger als 0.5 % Fehler berechnet werden nach:

$$m = 1 / \left( \sin \gamma + a \cdot (\gamma + b)^{-c} \right) \quad (6.8)$$

mit  $a = 0,50572$   
 $b = 6,07995^\circ$   
 $c = 1,6364$

Die vertikale optische Dicke  $\delta_{Ro}$  der reinen und trockenen Normatmosphäre kann für  $\gamma > 5^\circ$  mit folgender Näherungsformel bestimmt werden (KASTEN, 1980):

$$\delta_{Ro} = 1 / (0.9m + 9.4) \quad (6.9)$$

Die **Bestrahlungsstärke  $D(N)$  der diffusen Sonnenstrahlung** auf die horizontale Ebene bei bewölktem Himmel mit einem Gesamtbedeckungsgrad  $N$  ergibt sich aus:

$$D(N) = G(N) - I(N) \cdot \sin \gamma \quad [W / m^2] \quad (6.10)$$

|        |   |  |
|--------|---|--|
| $G(N)$ | = | Bestrahlungsstärke der Globalstrahlung auf die horizontale Ebene bei bewölktem Himmel mit einem Gesamtbedeckungsgrad $N$ |
| $I(N)$ | = | zeitlicher Mittelwert der Bestrahlungsstärke der direkten Sonnen-  |

strahlung auf der zur Einfallsrichtung normalen Ebene bei bewölktem Himmel mit einem Gesamtbedeckungsgrad N

Es gilt folgende Abschätzung:

$$G(N) = \left[ \left( 0.84 \cdot I_0 \cdot \sin \gamma \cdot \exp \left( -0.027 \cdot p/p_0 \cdot T_L / \sin \gamma \right) \right) \cdot \left( 1 - a \cdot (N/8)^b \right) \right] \quad (6.11)$$

Der erste Term auf der rechten Seite ist die Bestrahlungsstärke der Globalstrahlung G (0) auf der horizontalen Ebene bei wolkenlosem Himmel (N=0), der zweite Term ist ein Abminderungsfaktor aufgrund der realen Bedeckung. Die Einheit von G(N) ist [W/m²].

$$\begin{aligned} a &= 0.72 \\ b &= 3.2 \end{aligned}$$

Weiterhin gilt:

$$I(N) = I \cdot (1 - N/8) \quad [W/m^2] \quad (6.12)$$

Die **langwelligen Strahlungskomponenten** wurden ebenfalls nach der VDI 3789-2 berechnet. Für die **Bestrahlungsstärke der abwärts gerichteten Wärmestrahlung A der Atmosphäre** auf der horizontalen Ebene gilt für wolkenlosen Himmel:

$$A(0) = \varepsilon_{eff} \cdot \sigma \cdot T^4 \quad [W/m^2] \quad (6.13)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{eff} &= \text{effektiver halbräumlicher Emissionsgrad der Atmosphäre bei wolkenlosem Himmel } (9.9 \cdot 10^{-6} \cdot (T/K)^2) \\ \sigma &= \text{Stefan-Boltzmann-Konstante } (5.6781 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4) \\ T &= \text{Absolute Lufttemperatur in 2 m Höhe über Grund in K, berechnet nach } T = 273.15 + t \end{aligned}$$

Für bewölkten Himmel (mit dem Gesamtbedeckungsgrad  $N$ ) gilt die Abschätzung:

$$A(N) = A(0) \cdot \left[ 1 + a_L \cdot n_L^{2,5} + (1 - n_L) \cdot a_M \cdot n_M^{2,5} + (1 - n_L) \cdot (1 - n_M) \cdot a_H \cdot n_H^{2,5} \right] \quad [W/m^2] \quad (6.14)$$

$a_L, a_M, a_H$  = Koeffizienten für niedrige, mittlere und hohe Bewölkung  
 $n_L, n_M, n_H$  = Bedeckungsgrad für niedrige, mittlere und hohe Bewölkung

Nach CZEPLAK und KASTEN (1987) bestimmen sich die oben genannten Koeffizienten für Deutschland zu:

$$a_L = 2,30 - 7,37 \cdot 10^{-3} \cdot T / K$$

$$a_M = 2,48 - 8,23 \cdot 10^{-3} \cdot T / K$$

$$a_H = 2,89 - 1,00 \cdot 10^{-2} \cdot T / K$$

Für die **spezifische Ausstrahlung der Wärmestrahlung  $E$**  der horizontalen Erdoberfläche einschließlich der von ihr reflektierten Wärmestrahlung der Atmosphäre gilt:

$$E = \varepsilon_E \cdot \sigma \cdot T^4 + (1 - \varepsilon_E) \cdot A(N) \quad [W/m^2] \quad (6.15)$$

$\varepsilon_E$  = effektiver langwelliger Emissionsgrad der Körper (K) bzw. Erdoberfläche (E)

Für die Berechnung wurde ein Wert von  $\varepsilon_K = 0,93$  gewählt (gängiger Wert für bebaute Oberflächen und Grünflächen nach VDI 3789-2, 1994).

## **7 Datensätze für extreme Jahre**

Die Repräsentanz bildet den Kernbegriff bei den TRY-Datensätzen. So werden ausgewählte Stationen in erster Näherung als repräsentativ für eine relativ homogene Klimaregion angesehen. Für die mittleren TRY wird ein Verfahren angewendet, das Segmente aus gemessenen Klimareihen aneinanderfügt und darauf optimiert ist, monatliche und jahreszeitliche Verläufe sowie Variabilität und Auftretenshäufigkeit meteorologischer Parameter repräsentativ darzustellen. Neben diesen sog. mittleren TRY sind jedoch auch spezielle TRY-Datensätze für Zeiträume, die als charakteristisch für extreme Witterungsverhältnisse gelten können, zu Zwecken z.B. der thermischen Gebäudesimulation von Bedeutung.

### **7.1 Anwendungszweck**

Insbesondere für die Auslegung heiz- und raumluftechnischer Anlagen sind auch TRY-Datensätzen extremer Witterungsabschnitte erforderlich. Für die Extremwertbetrachtungen wurden anders als bei den mittleren TRY keine neuen synthetischen aus realen Witterungsabschnitten zusammengesetzte Zeitreihen erstellt, sondern jeweils ein realer zusammenhängender Jahreszeitraum gewählt. Für diese Datensätze wurde die für die mittleren TRY bestimmten Klimaregionen und Repräsentanzstationen übernommen. Damit sind Vergleichsrechnungen zwischen den mittelwerttreuen und den extremen Wetterdatensätzen möglich.

### **7.2 Auswahl extremer Testreferenzjahre**

Im Rahmen der extremen TRY wurden zwei unterschiedliche Datensätze definiert und zwar ein sog. sommer-fokussiertes extrem warmes und ein sog. winter-fokussiertes extrem kaltes Testreferenzjahr. Bei diesen TRY wird zunächst ein extrem warmes Sommerhalbjahr (April bis September) und ein extrem kaltes Winterhalbjahr (Oktober Vorjahr bis März Folgejahr) ausgewählt. Das jeweilige Halbjahr wird dann um den angrenzenden Jahreszeitraum ergänzt.

Beispiel: Würde das extrem warme Sommerhalbjahr aus dem Jahr 2006 stammen, so entspricht der gesamte Jahreszeitraum 01.01.2006 bis 31.12.2006 dem sommer-fokussierten extrem warmen TRY. Im Fall des beispielsweise das extreme Winterhalbjahr in den Zeitraum vom 01.10.2004 bis zum 31.03.2005 fiel, würde das winter-fokussierte extrem kalte TRY den Jahreszeitraum vom 01.07.2004 bis zum 30.06.2005 umfassen.

Um die extremen TRY-Datensätze für thermische Gebäudesimulationsprogramme handhabbar zu halten, müssen diese prinzipiell am 01.01. beginnen und am 31.12. enden. Daher wurde für das winter-fokussierte extrem kalte TRY das zweite vor das erste Halbjahr gestellt. Beispielsweise wird somit aus dem winterzentrierten TRY 2004/2005 ein solches, das mit dem 01.01.2005 beginnt und mit dem 31.12.2004 endet. Somit umfassen auch die extremen TRY-Datensätze stets eine Jahreszeitspanne (365 Tage) vom 01. Januar bis zum 31. Dezember.

Die extremen Datensätze enthalten dieselben Wetterelemente wie die mittleren Testreferenzjahre. Die Datenstruktur ist ebenfalls dieselbe. Analog zu den mittleren Testreferenzjahren sind ggf. Korrekturen für Unterschiede in der Geländehöhe zwischen Standort und Repräsentanzstation anzubringen.

Das Auswahlprinzip für die extremen Testreferenzjahre besteht also zunächst darin, einen geeigneten zusammenhängenden realen Zeitraum (keine Segmentierung) für je ein Sommerhalbjahr (April bis September) und ein Winterhalbjahr (Oktober bis März), zu finden. Der Auswahlzeitraum umfasst die Periode 1993 bis 2007. Diese etwas kürzere Auswahlperiode ist, wie schon bei den mittleren TRY, dadurch begründet, dass ab 1993 die stündlichen Datensätze der Mess- und Beobachtungsreihen mit denen aus der agrarmeteorologischen Datenbank weitgehend übereinstimmen und so auftretende Lücken in den Zeitreihen auch durch Daten aus der agrarmeteorologischen Datenbank ergänzt werden können.

Im Einzelnen ergibt sich nachfolgend aufgeführtes Vorgehen bei der Auswahl extremer Halbjahre:

a) extrem warmes Sommerhalbjahr (01.04. bis 30.09.):

- Bestimmung des 90%-Quantils der stündlichen Lufttemperatur (T90)
- Berechnung des (regionsspezifischen) 95%-Quantils der Tageshöchsttemperatur (Tx95)
- Bestimmung der Anzahl von Tagen (NTx95), an denen das errechnete 95%-Quantil der Tageshöchsttemperatur überschritten wird
- Erstellung der Rangfolge der Sommerhalbjahre für T90 und NTx95; gemeinsame Betrachtung beider Rangfolgen mit den Gewichten 0,7 (T90) und 0,3 (NTx95).
- Nutzung des Sommerhalbjahres mit der zweithöchsten Position in dieser Rangfolge (90%-Wert der Rangfolge)

b) extrem kaltes Winterhalbjahr (01.10. bis 31.03.):

- Berechnung der (regionsspezifischen) Gradtagssumme (GTS) bezogen auf 12 °C
- Berechnung des (regionsspezifischen) 5%-Quantils der Tageshöchsttemperatur (Tx05)
- Bestimmung der Anzahl der Tage (NTx05), an denen das berechnete 5%-Quantil der Tageshöchsttemperatur unterschritten wird
- Erstellung der Rangfolge der Winterhalbjahre für GTS und NTx05; gemeinsame Betrachtung beider Rangfolgen mit den Gewichten 0,7 (GTS) und 0,3 (NTx05)
- Nutzung des Winters mit der zweithöchsten Position in dieser kombinierten Rangfolge (90%-Wert der Rangfolge)

Das extrem warme sommer-fokussierte TRY wird dann aus dem Gesamtjahr (01.01. bis 31.12.), in dem das gemäß a) bestimmte Sommerhalbjahr liegt, gebildet. Das extrem kalte winter-fokussierte TRY entspricht dem Gesamtjahreszeitraum (01.07. bis 30.06.), in dem sich das gemäß b) ermittelte Winterhalbjahr befindet, wobei zwecks Einsatz in Gebäudesimulationsprogrammen die Halbjahre für das winter-kalte TRY getauscht werden, so dass auch dieses TRY mit dem 01.01. beginnt und mit dem 31.12. endet.. Die Tabelle 6 enthält die ausgewählten Zeiträume für die extremen Testreferenzjahre.

Die Auslegung der technischen Gebäudeausstattung auf Basis des im betrachteten Zeitraum absolut kältesten oder wärmsten Jahres stellt keine sehr wirtschaftliche Lösung dar. In Abstimmung mit anwendenden Ingenieuren in der Projekt-



begleitgruppe wurde daher entschieden, das Jahr als extrem auszuwählen, welches in der Reihung nach den weiter oben in a) und b) genannten Kriterien dem 90%-Wert der Rangfolge entspricht. Im vorliegenden Fall ist dies das jeweils zweitwärmste bzw. zweitkälteste Jahr.

Zur Verfügung gestellt wird für jede TRY-Klimaregion eine ASCII-Datei des extrem warmen Sommer- und des extrem kalten Winter-TRY, die 22 Variablen und Kontrollgrößen enthält. Sie besitzt dasselbe Datenformat wie die mittleren Testreferenzjahre.

**Tabelle 6:** Ausgewählte Zeiträume für die extremen winter- bzw. sommerfokussierten Testreferenzjahre in den 15 TRY-Klimaregionen

| Nr. Region | Repräsentanzstation    | Sommer | Winter    |
|------------|------------------------|--------|-----------|
| 1          | Bremerhaven            | 2003   | 2002/2003 |
| 2          | Rostock-Warnemünde     | 1992   | 2002/2003 |
| 3          | Hamburg-Fuhlsbüttel    | 2003   | 2002/2003 |
| 4          | Potsdam                | 2006   | 2002/2003 |
| 5          | Essen                  | 2006   | 1996/1997 |
| 6          | Bad Marienberg         | 1995   | 2005/2006 |
| 7          | Kassel                 | 2006   | 2005/2006 |
| 8          | Braunlage              | 2006   | 1993/1994 |
| 9          | Chemnitz               | 1994   | 2005/2006 |
| 10         | Hof                    | 2006   | 2002/2003 |
| 11         | Fichtelberg            | 1994   | 2002/2003 |
| 12         | Mannheim               | 2006   | 2005/2006 |
| 13         | Mühldorf/Inn           | 1994   | 2004/2005 |
| 14         | Stötten                | 2006   | 2005/2006 |
| 15         | Garmisch-Partenkirchen | 2006   | 2004/2005 |

## 8 Berücksichtigung des Klimawandels in den TRY-Datensätzen

Gebäude und deren technisch Ausstattung zur Lüftung, Heizung und Kühlung werden für einen längeren Zeitraum, in der Regel mehrere Jahrzehnte, geplant. Bei der Planung ist es daher erforderlich nicht nur die gegenwärtigen, sondern auch die zukünftig zu erwartenden Klimaverhältnisse zu berücksichtigen. Im Fall der neuen TRY-Datensätze wurde mit dem Auftraggeber vereinbart, die als wahrscheinlich anzunehmende Klimaentwicklung bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts in entsprechende Testreferenzjahre einfließen zu lassen.

Basis für Zukunftsaussagen hinsichtlich der Klimaentwicklung sind Simulationen von Klimamodellen. Die direkte Verwendung derartiger Berechnungen globaler Modelle ist wegen der groben räumlichen Auflösung nicht möglich. Vielmehr werden Regionalisierungsstrategien eingesetzt, um räumlich höher aufgelöste Daten zu erhalten. Es gibt zwei Hauptarten dieser Strategien:

### a) dynamische Regionalisierung:

Hierbei wird in das grob aufgelöste globale Modell ein regionales Fenster gesetzt (sog. Nesting). In diesem Fenster wird das Klimasystem mit sehr viel höherer räumlicher Auflösung simuliert. Der Antrieb außerhalb des Fensters erfolgt durch das globale Modell. In Deutschland sind zwei unterschiedliche dynamische Regionalisierungen verfügbar:

- REMO vom Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg (JACOB et al. 2008)
- CCLM (COSMO-CLM) von der CLM-Community (BÖHM et al. 2006)

### b) statistische Regionalisierung

In diesem Fall werden im gegenwärtigen Klima statistische Beziehungen zwischen großräumigen atmosphärischen Zuständen und lokalen Wetterparametern ermittelt und dann mit Hilfe von Transferfunktionen auf die zukünftige Klimasituation übertragen. Der Antrieb, hier der Zustand, in den die gefundenen statistischen Beziehungen übertragen werden, entstammt ebenfalls Szenariorechnungen eines globalen Klimamodells. In Deutschland stehen zwei verschiedene statistische Regionalisierungen zur Verfügung:

- STAR vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (ORLOWSKY 2007)
- WETTREG von der Firma Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH in den Versionen WETTREG2006 (SPEKAT et al. 2007) und WETTREG2010 (KREIENKAMP et al. 2010)

Alle genannten regionalen Klimamodelle beziehen ihre Antriebsdaten aus den Modellläufen mit dem Globalmodell ECHAM 5 / MPI-OM (ROECKNER et al. 2003), die für den 4. Sachstandsbericht des IPCC gerechnet wurden, und sollen mit ihren jeweiligen Klimasignalen auch für die vorliegenden Testreferenzjahre eingesetzt werden. Diese Vorgehensweise entspricht anerkannter Praxis bei Studien der zukünftigen Klimaentwicklung, derzufolge mehrere Modelle in einem Ensemble zu betrachten sind.

Es sei hinzugefügt, dass die Klimasignale im Fall der Anwendung auf dem Gebiet der thermischen Gebäudesimulation für einen Zeithorizont von 2021 bis 2050 als relevant erachtet werden.

## **8.1 Vorgehensweise bei der Erstellung zukünftiger TRY**

Bei der Erstellung von Testreferenzjahren, die die zukünftige Klimaentwicklung berücksichtigen, gilt es mehrere Anforderungen zu erfüllen:

- Verwendung eines Ensembles von Klimamodellen zur Erhöhung der Repräsentativität der Datenbasis
- Erzeugung eines einzigen mittleren bzw. extremen TRY-Datensatzes
- Die TRY werden in stündlicher Auflösung erzeugt – von den regionalen Klimamodellen ist dies nur bei REMO der Fall. Allen Modellen gemeinsam ist die tägliche Auflösung der Daten

Um den genannten Anforderungen gerecht zu werden, wurde eine Kombination der bereits für die gegenwärtigen TRY benutzten Verfahren angewandt. Dabei erfolgt eine Zusammensetzung der TRY aus Witterungsepisoden des Zeitraumes 1993 bis 2007. Die für den Zusammenbau ausgewählten Witterungsepisoden müssen dabei den Jahresgang und die Streuung der von den regionalen Klimamodellen projizierten Lufttemperatur möglichst treffend wiedergeben.

Des Weiteren ist bei der Auswertung von Modellsimulationen zu beachten, an welchen Ortskoordinaten diese ihre Ergebnisse erzeugen. Um eine Übereinstimmung mit den gegenwärtigen TRY zu gewährleisten, sind Koordinaten zu benutzen, die möglichst nahe an den Repräsentanzstationen der TRY-Klimaregionen liegen. Eine Übersicht hierzu gibt der Anhang 1, der für alle 15 TRY-Klimaregionen die verwendeten Koordinaten der jeweiligen Repräsentanzstationen enthält.

Bei den statistischen Modellen gestaltet sich die Übereinstimmung zwischen Modellkoordinaten und Repräsentanzstation noch relativ einfach, da hier die Daten an Stationsorten erzeugt werden. Im Einzelfall kann es aber dennoch vorkommen, dass die vom Modell verwendeten Stationskataloge nicht deckungsgleich mit den Repräsentanzstationen sind. In einem solchen Fall wird eine möglichst nahe liegende Station des Modells, z.B. bei den TRY-Klimaregionen 6 und 13, verwendet.

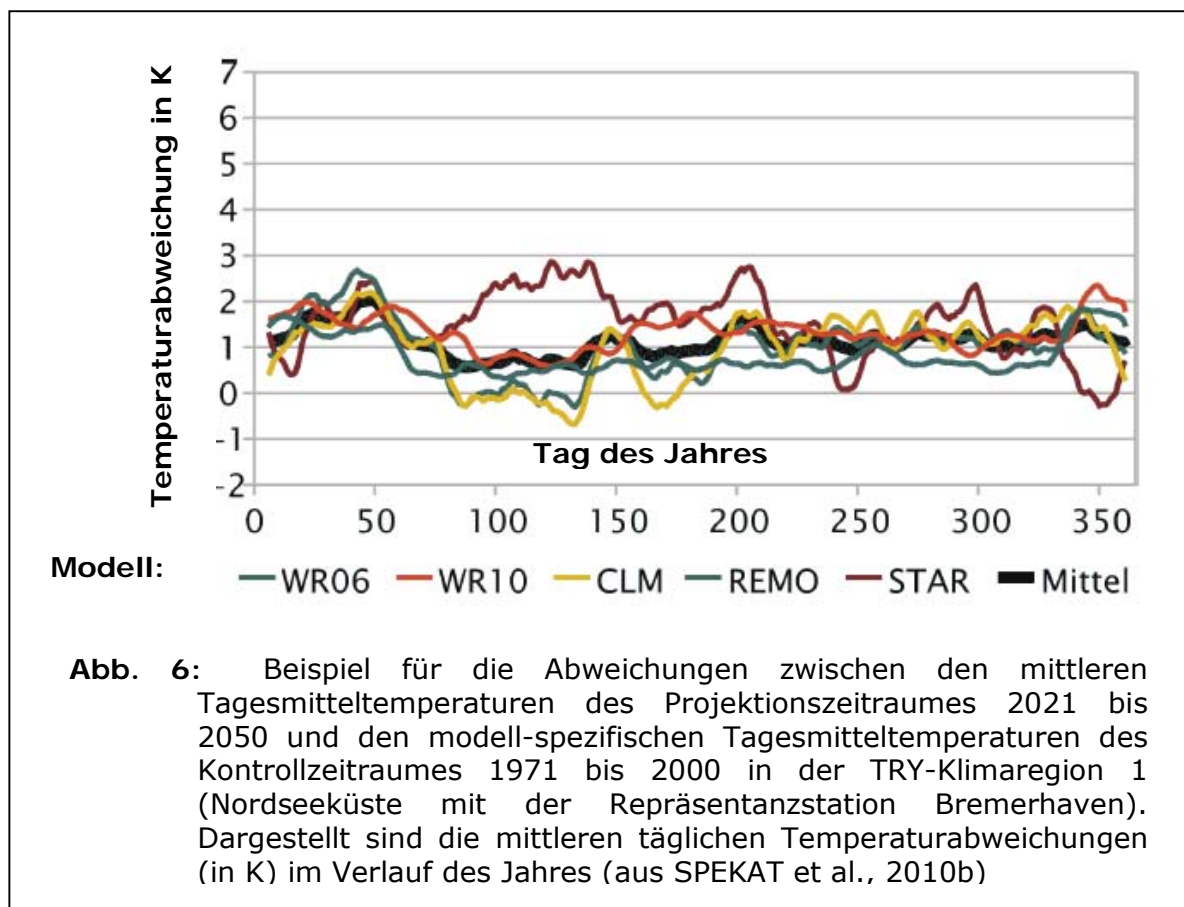
Dynamische Modelle geben ihre Ergebnisse auf einem Rasterfeld aus, so dass für jede Repräsentanzstation der nächstgelegene Gitterpunkt zu identifizieren ist. Dabei wird die Höhe der Repräsentanzstation allerdings unterschiedlich gut approximiert, da in jedem Rasterfeld eine mittlere Geländehöhe angegeben wird. Besonders auffällige Höhenunterschiede zur Repräsentanzstation finden sich daher in orographisch stark gegliedertem Gelände (vergl. Anhang 1).

## **8.2 Auswahl der mittleren Zukunfts-TRY**

Analog zum gegenwärtigen Testreferenzjahr wird auch das zukünftige TRY durch Zusammenfügen von realen Witterungssegmenten aus dem Zeitraum 1993 bis 2007 erstellt und zwar so, dass Jahresgang und Standardabweichung der Lufttemperatur bestmöglich angepasst werden. Der Temperaturjahresgang wird bei

mittleren Zukunfts-TRY aber anders erzeugt als im Fall des mittleren gegenwärtigen TRY. Basis für das mittlere zukünftige TRY stellt das Temperaturmittel über alle verfügbaren Modelljahre des Zeitraums 2021 bis 2050 ausgedrückt als modellspezifische Abweichung vom jeweiligen Mittelwert, den das Modell für den sog. Kontrollzeitraum 1971 bis 2000 berechnet hat.

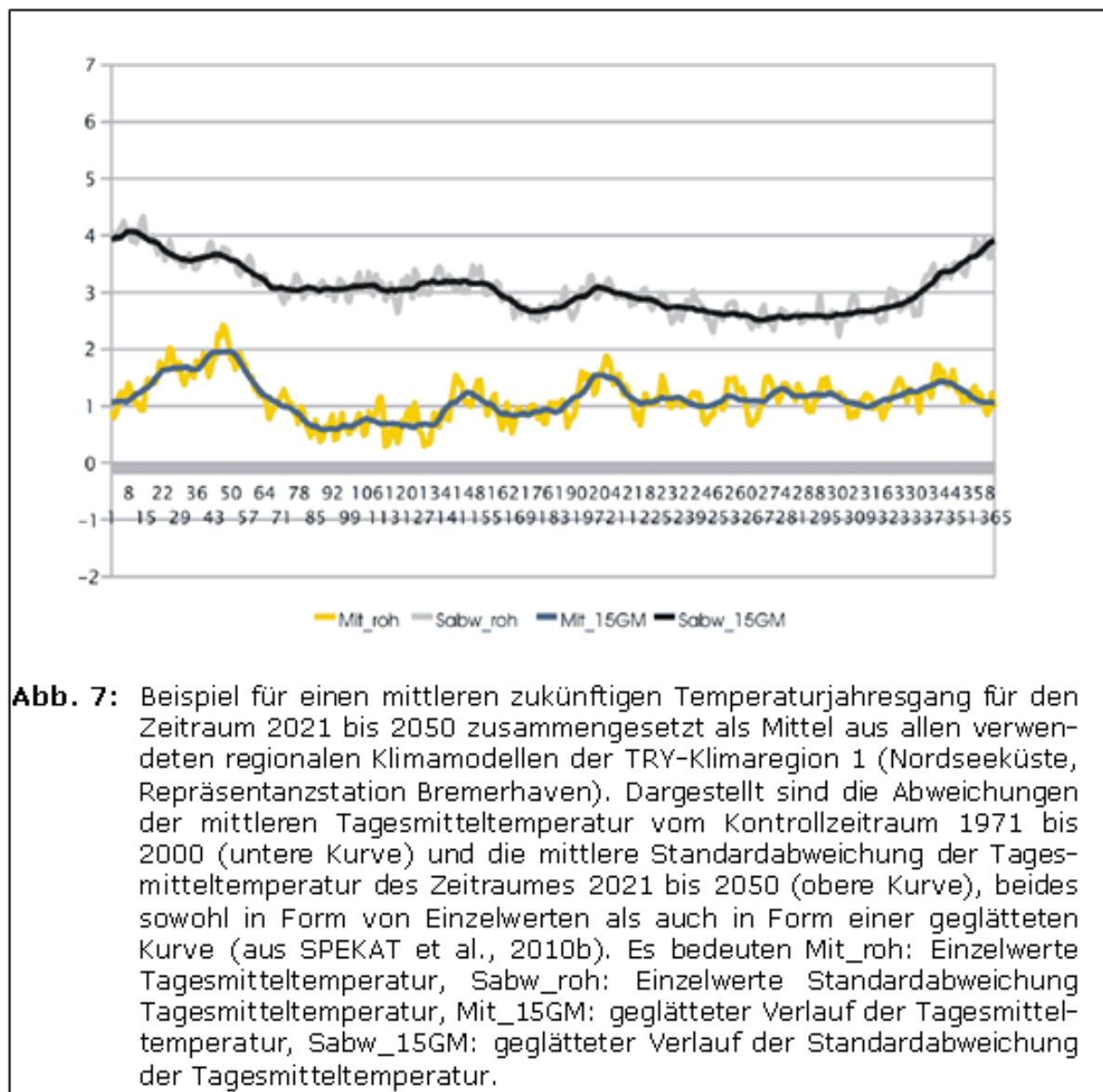
Abb. 6 zeigt beispielhaft für die Repräsentanzstation Bremerhaven (TRY-Klimaregion 1) die modellspezifischen Abweichungen der mittleren täglichen Lufttemperatur des Zeitraumes 2021 bis 2050 von den entsprechenden Werten des Kontrollzeitraumes 1971 bis 2000. Unterschiede zwischen den benutzten Modellen sind gut erkennbar, insbesondere beim Modell STAR. Die Verläufe der anderen Modelle sind einander recht ähnlich.



In Abb. 7 sind als Beispiel die Abweichung des mittleren Jahresganges der Lufttemperatur für die Repräsentanzstation Bremerhaven aus allen verwendeten regionalen Klimamodellen zwischen dem Projektionszeitraum 2021 bis 2050 und dem Kontrollzeitraum 1971 bis 2000 sowie die Standardabweichung der mittleren Tagesmitteltemperatur der Periode 2021 bis 2050.

Durch Addition des aus allen verwendeten regionalen Klimamodellen gewonnenen mittleren Änderungssignals des Temperaturjahresganges auf den aus Messungen gebildeten mittleren Temperaturjahresgang der Periode 1971 bis 2000 erhält man eine mittleren zukünftigen Jahresverlauf der Lufttemperatur für den Projektionszeitraum 2021 bis 2050. Zur Ermittlung des mittleren Zukunfts-TRY werden nun reale Witterungsabschnitte aus dem Zeitraum 1993 bis 2007 so aus-

gewählt, dass der für 2021 bis 2050 projizierte mittlere Temperaturjahresgang sowie dessen Streuung bestmöglich repräsentiert werden.



### 8.3 Auswahl der extremen Zukunfts-TRY

Getrennt für jede TRY-Klimaregion wird zunächst für jedes der 5 verwendeten regionalen Klimamodelle eine Rangfolge der simulierten Jahre 2021 bis 2050 gebildet. Die Modelle CCLM, REMO und STAR liegen mit je einem Modelllauf vor, was 30 Modelljahren bezogen auf den Projektionszeitraum 2021 bis 2050 entspricht. WETTREG2006 und WETTREG2010 sind mit 20 bzw. 10 Modellläufen verfügbar, womit sich für den 30-jährigen Projektionszeitraum insgesamt 600 bzw. 300 Modelljahre ergeben.

Zur Beurteilung warmer Sommerhalbjahre (April bis September) ist das Sortiermaß die Zahl der Tage, an denen das 90%-Quantil der Tagesmaximumtemperatur überschritten wird. Zur Beurteilung kalter Winterhalbjahre (Oktober bis März)

wird die Gradtagssumme bezogen auf 12 °C herangezogen. Von den entsprechend sortierten Modelljahren wird dasjenige ausgewählt, welches beim 90%-Wert der Rangfolge liegt. Bei 30 Modelljahren (CCLM, REMO, STAR) wäre das der 4. Rang. Bei 600 Modellläufen (WETTREG2006) bzw. 200 Modellläufen (WETTREG2010) wären das die Ränge 61 bzw. 31.

Um die Repräsentativität der Aussage zu erhöhen, werden zusätzlich bei jedem Modell die benachbarten drei Ränge ober- und unterhalb des ausgewählten Jahres einbezogen. Danach erfolgt die Bewertung der jeweiligen Differenz der Szenariodaten zu den Werten des Kontrollzeitraumes 1971 bis 2000 bezogen auf die mittleren täglichen Lufttemperaturen, um den Bias zu eliminieren. Verwendet wird hier der mittlere Jahresgang der Lufttemperatur aus 1971 bis 2000 von allen 5 regionalen Klimamodellen.

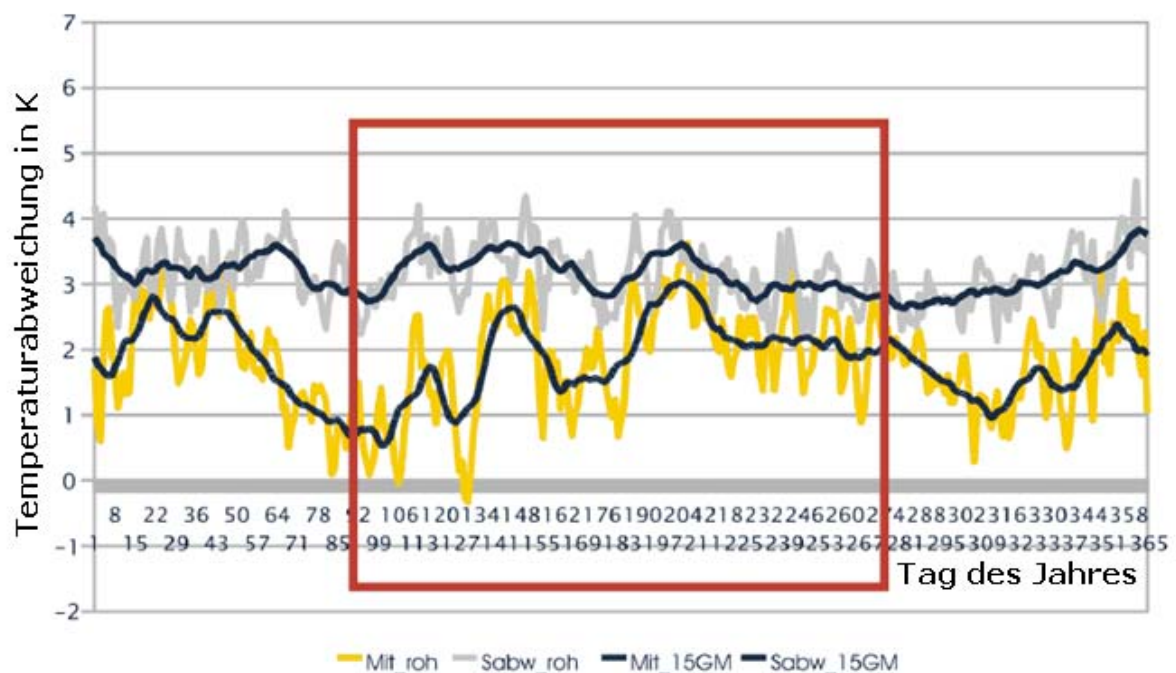
Die so gewonnenen 7 (90%-Wert der Rangfolge sowie jeweils 3 Nachbarn darüber und darunter) x 5 (regionale Klimamodelle) Jahre in Einheiten der Abweichung zum mittleren Jahresgang 1971 bis 2000 der Lufttemperatur werden für jeden Tag des Jahres gemittelt und es wird die Streuung der an jedem Tag verwendeten 7 x 5 Szenariowerte berechnet. Es entsteht ein modifizierter Jahresgang der Lufttemperatur nebst Angaben zur täglichen Streuung der verwendeten Modelldaten. Dieser Jahresgang ist charakteristisch für Extreme im Klima der Periode 2021 bis 2050 und basiert auf einem Ensemble von Regionalisierungen, die alle auf demselben globalen Klimamodell beruhen.

Abb. 8 zeigt als Beispiel für die Repräsentanzstation Bremerhaven die mittleren Abweichungen der Tagesmitteltemperaturen aus den 5 regionalen Klimamodellen zur Kontrollperiode 1971 bis 2000 sowie die mittlere Streuung der Tagesmitteltemperaturen. Der rote Rahmen markiert in diesem Fall das hinsichtlich des extremen Temperaturverhaltens untersuchte Sommerhalbjahr.

Um Missverständnissen vorzubeugen: Ursprünglich war vorgesehen nur extreme Halbjahre zu definieren. Von den Anwendern aus der Projektbegleitgruppe wurde allerdings die Forderung nach einem ganzjährigen Zeitraum, in dem die jeweils extremen Halbjahre eingebettet sind. Dies führte zum Konzept des extrem warmen sommer-fokussierten und des extrem kalten winter-fokussierten TRY, das auch für die extremen Zukunfts-TRY beibehalten wurde (siehe auch Kap. 7.2).

Die aus den 35 Modelljahren so gefundene mittlere Abweichung der Tagesmitteltemperatur zwischen der Projektion 2021 bis 2050 und dem Kontrollzeitraum 1971 bis 2000 wurde anschließend auf den gemessenen mittleren Jahresgang der Lufttemperatur 1971 bis 2000 addiert, woraus sich der zu erwartende zukünftige mittlere Temperaturjahresgang für den Zeitraum 2021 bis 2050 ergibt. Nun wurden, anders als beim Verfahren für die extremen TRY der Gegenwart (siehe Kap. 7.2), reale Witterungsabschnitte aus dem Zeitraum 1993 bis 2007 derart ausgewählt und zusammengefügt, dass sich eine bestmöglich Anpassung an den projizierten Jahresgang der Lufttemperatur und deren mittleren Streuung ergab.

Die auf diese Weise bestimmten extrem warmen sommer- bzw. extrem kalten winter-fokussierten Testreferenzjahre werden für jede TRY-Klimaregion in einer ASCII-Datei zur Verfügung gestellt. Format und Parameterumfang entsprechen den gegenwärtigen TRY-Datensätzen (siehe Kap. 2).



**Abb. 8:** Beispiel für einen aus 35 beitragenden modellierten Jahren im Bereich des 90%-Wertes der Rangfolge bezüglich dem 90%-Quantil der Tagesmitteltemperatur aus dem Projektionszeitraum 2021 bis 2050 gewonnenen mittleren Jahresverlauf der Temperaturabweichung zum modellspezifischen Vergleichszeitraum 1971 bis 2000 sowie der Standardabweichung der Tagesmitteltemperatur. Der rote Rahmen markiert den Auswahlzeitraum für das Sommerhalbjahr (aus SPEKAT et al. 2010b)  
 (Es bedeuten: Mit\_roh: Einzelwerte Abweichung Tagesmitteltemperatur, Sabw\_roh: Einzelwerte Standardabweichung Tagesmitteltemperatur, Mit\_15 GM: geglätteter Verlauf der Temperaturabweichung, Sabw\_15GM: geglätteter Verlauf Standardabweichung)

## Literatur

ALEXANDERSSON, H.; 1986: A Homogeneity Test Applied to Precipitation Data. J. Climatology 6, 661-675.

BÖHM, R.; GABL, K.; 1978: Die Wärmeinsel einer Großstadt in Abhängigkeit von verschiedenen meteorologischen Parametern. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B. 26: 219-237.

BÖHM, U.; KÜCKEN, M.; AHRENS, W.; BLOCK, A.; HAUFFE, D.; KEULER, D.; ROCKEL, B.; WILL, A.; 2006: CLM - The Climate Version of LM: Brief description and long-term applications. In: COSMO Newsletter 6.

CHRISTOFFER, J.; DEUTSCHLÄNDER, T.; WEBS, M.; 2004: Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse TRY. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes. Offenbach.

CZEPLAK, G.; KASTEN, F.; 1987: Parametrisierung der atmosphärischen Wärmestrahlung bei bewölktem Himmel. Meteorol. Rdsch. 40, 184-187.

DEUTSCHER WETTERDIENST (Hrsg.), 1998: Aspirations-Psychrometer-Tafeln 7, vollständig überarbeitete Auflage. Vieweg, Braunschweig / Wiesbaden.

DEUTSCHER WETTERDIENST (Hrsg.), 2008: Vorschriften und Betriebsunterlagen Nr. 3, Beobachterhandbuch (BHB) 6-11. Offenbach am Main.

DIN 4710, 2003: Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von heiz- und raumluftechnischen Anlagen in Deutschland. Beuth-Verlag, Berlin.

JACOB, D.; GÖTTEL, H.; KOTLARSKI, S.; LORENZ, P.; SIECK, K.; 2008: Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland - Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland / Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M) Hamburg, Forschungsbericht.

JANSEN, W.; SEDLATSCHKE, R.; 2001: Ablauf der Datenprüfung und -vervollständigung im Geschäftsbereich Landwirtschaft. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 216.

KASTEN, F.; DEHNE, K.; BEHR, H.D.; BERGHOLTER, U.; 1984: Die räumliche und zeitliche Verteilung der diffusen und direkten Sonnenstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland. Forschungsbericht BMFT-FB-T84-125.

KASTEN, F.; YOUNG, A.T.; 1989: Revised Optical Air Mass Tables and Approximation Formula. Appl. Optics 28, 4735-4738.

KRAUS, H.; 1979: Der städtische Lebensraum – energetisch betrachtet. Promet 4'79, 3-7.

KREIENKAMP, F.; SPEKAT, A.; ENKE, W.; 2010: Ergebnisse eines regionalen Szenarienlaufs für Deutschland mit dem statistischen Modell WETTREG2010 / Climate and Environment Consulting Potsdam GmbH im Auftrag des Umweltbundesamtes. Forschungsbericht.



KUTTLER, W.; 1997: Städtische Klimamodifikation. VDI-Berichte Nr. 1330, 87-108.

LANDSBERG, H.E.; 1981: The Urban Climate. Internat. Geophys. Ser., 28, New York, London, Academic Press.

MEYERS LEXIKONVERLAG (Hrsg.), 1987: Meyers kleines Lexikon , Wetter und Klima. Mannheim/Wien/Zürich.

NÜBLER, W.; 1979: Konfiguration und Genese der Wärmeinsel der Stadt Freiburg. Freiburger Geogr. Hefte 16.

OKE, T.R.; 1973: City size and the Urban Heat Island. Atmos. Environ., 7, 769-779.

OKE, T.R.; 1990: Boundary Layer Climates. 2<sup>nd</sup> edition. Methuen, London/New York.

ORLOWSKY, B.; 2007: Setzkasten Vergangenheit - ein kombinatorischer Ansatz für regionale Klimasimulationen, Department Geowissenschaften der Universität Hamburg, Dissertation.

ROECKNER, E.; BAEUML, G.; BONAVENTURA, L.; BROKOPF, R.; ESCH, M.; GIORGETTA, M.; HAGEMANN, S.; KIRCHNER, I.; KORNBLUEH, L.; MANZINI, E.; RHODIN, A.; SCHLESE, U.; SCHULZWEIDA, U.; TOMPKINS, A.; 2003: MPI-Berichte. Bd. 349: The Atmospheric General Circulation Model ECHAM5 - Part 1: Model Description. Hamburg : Max-Planck-Institut für Meteorologie.

SPEKAT, A.; ENKE, W.; KREIENKAMP, F.; 2007: Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2 (Endbericht). Im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens: Klimaauswirkungen und Anpassungen in Deutschland - Phase I: Erstellung regionaler Klimaszenarios für Deutschland des Umweltbundesamtes. Umweltbundesamt. (Förderkennzeichen 204 41 138). Forschungsbericht. Available at [www.umwelt-daten.de/publikationen/fpdf-l/3133.pdf](http://www.umwelt-daten.de/publikationen/fpdf-l/3133.pdf).

SPEKAT, A.; KREIENKAMP, F.; ENKE, W.; 2009: Erstellung neuer Datensätze zu den Testreferenzjahren in Deutschland. Teilbericht 1: Datensituation. Climate & Environment Consulting Potsdam (CEC) GmbH und Deutscher Wetterdienst (DWD) Offenbach. (interne Mitteilung).

SPEKAT, A.; KREIENKAMP, F.; ENKE, W.; 2010a: Erstellung neuer Datensätze zu den Testreferenzjahren in Deutschland. Teilbericht 4: Stadteffekt in den TRJ. Climate & Environment Consulting Potsdam (CEC) GmbH und Deutscher Wetterdienst (DWD) Offenbach. (interne Mitteilung).

SPEKAT, A.; KREIENKAMP, F.; ENKE, W.; 2010b: Erstellung neuer Datensätze zu den Testreferenzjahren in Deutschland. Teilbericht 5: Implementierung der gegenwärtigen TRJ sowie Erstellung zukünftiger TRJ. Climate & Environment Con-

sulting Potsdam (CEC) GmbH und Deutscher Wetterdienst (DWD) Offenbach. (interne Mitteilung).

VDI 3789-2, 1994: Umweltmeteorologie, Wechselwirkung zwischen Atmosphäre und Oberflächen, Berechnung der kurz- und langwelligen Strahlung. Beuth-Verlag, Berlin.

VOGELGESANG, R.; 1993: Plausibilitätskontrollen meteorologischer Daten. Dt. Wetterd. Abschlussbericht des FE-Vorhabens AM1-Nr. 90/98 – Forschungsbericht.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO, Hrsg.), 1959: Values of some Physical Functions and Constants Used in Meteorology. Technical Regulations, Basic Doc. No. 2, WMO-No. 49 Vol. 1.

## **Anhang**

### **Anhang 1: Informationen zu den TRY-Regionen und Repräsentanzstationen**

**TRY-Region 1:** Nordseeküste, Nordseeinseln, Schleswig-Holsteinische Marsch, Untere Elbeniederung, Weser-Ems-Marsch

**Repräsentanzstation:**

Bremerhaven, 7 m      53° 32' N 08° 34' E

Für die Strahlungsdaten: Strahlungsdaten wurden berechnet, da keine Strahlungsmessungen an der Station oder in unmittelbarer Umgebung vorhanden.

**Umgebung der Repräsentanzstation:**

Die Station liegt am Ufer der Außenweser und befindet sich in einer Randlage zur Stadt. Die nähere Umgebung (Hafengebiet) ist locker bebaut und hat einen mäßigen Bewuchs mit höheren Bäumen.

**Messhöhe des Windmessers:** 12 m, November 1997 bis Juni 1998 10 m

**Höhenbereich der Region:** 0 bis 30 m

**Klimatologische Angaben und Besonderheiten:**

Gemäßigt mit milden Wintern. Unterschied zwischen tiefstem und höchstem mittleren Monatsmittel der Lufttemperatur an der Repräsentanzstation: von 3,0 °C bis 18,2 °C. Bei sommerlichen Hochdruckwetterlagen entstehen Land-Seewind-Zirkulationen. Die Durchlüftung ist sehr gut. Fast überall besteht die unmittelbare Nähe zu Wasserflächen oder Feuchtgebieten. Alle Inseln sowie der Westteil der Halbinsel Eiderstedt sind vor allem im Frühsommer strahlungsbegünstigt.

**TRY-Region 2:** Ostseeküste, Ostseeinseln, ca. 10 – 40 km breiter Streifen entlang der Küste

**Repräsentanzstation:**

Rostock-Warnemünde, 4 m      54° 11' N 12° 05' E

Für die Strahlungsdaten: Heiligendamm 54° 09' N 11° 51' E

**Umgebung der Repräsentanzstation:**

Die Station liegt am Ufer der Ostsee und befindet sich in einer Randlage zur Stadt. Die nähere Umgebung ist locker bebaut und hat einen mäßigen Bewuchs mit höheren Bäumen.

**Messhöhe des Windmessers:** 22 m

**Höhenbereich der Region:** 0 bis 130 m

**Klimatologische Angaben und Besonderheiten:**

Gemäßigt. Unterschied zwischen tiefstem und höchstem mittleren Monatsmittel der Lufttemperatur an der Repräsentanzstation: von 2,3 °C bis 18,1 °C. Bei sommerlichen Hochdruckwetterlagen entstehen Land-Seewindzirkulationen. Die Durchlüftung ist sehr gut. Fast überall besteht die unmittelbare Nähe zu Wasserflächen oder Feuchtgebieten. Alle Inseln sind vor allem im Frühsommer strahlungsbegünstigt.

**TRY-Region 3:** Nordwestdeutsches Tiefland, Schleswig-Holsteinische Geest, Schleswig-Holstein, Hügelland (ohne Ostseeküste), Ratzeburger Seenplatte, Hagenower Sandplatte, Stader Geest, Ostfriesisch-Oldenburgische Geest, Ems-Hunte-Geest, Mittelweser, Hamburg, Bremen, Lüneburger Heide, Weser-Aller-Flachland, Niedersächsische Börden, nordwestliches Harzvorland

**Repräsentanzstation:**

Hamburg-Fuhlsbüttel, 13 m      53° 38' N 09° 59' E

Für die Strahlungsdaten: Hamburg-Sasel 53° 39' N 10° 07' E

**Umgebung der Repräsentanzstation:**

Die Station liegt im Flughafengebiet und befindet sich in einer Randlage zur Stadt. Die nähere Umgebung besteht aus Landebahnen und Grasland, im Norden befindet sich eine lockere Bebauung und mäßiger Baumbewuchs. In der weiteren Umgebung gibt es Gewässerflächen und feuchtes Gelände.

**Messhöhe des Windmessers:** 10 m

**Höhenbereich der Region:** 0 bis 170 m

**Klimatologische Angaben und Besonderheiten:**

Gemäßigt. Unterschied zwischen tiefstem und höchstem mittleren Monatsmittel der Lufttemperatur an der Repräsentanzstation: von 2,5 °C bis 18,1 °C. Die Durchlüftung ist im Allgemeinen gut und umso besser je näher der Standort der Küste ist. Bei Südwestlagen gibt es in der Nähe der benachbarten Mittelgebirge (z.B. nördliches Harzvorland) Föhnerscheinungen.

**TRY-Region 4:** Nordostdeutsches Tiefland Mecklenburg-Vorpommern (ohne Küstenbereich), Altmark (mit Wendland), Bundesländer Brandenburg (mit Fläming und Niederlausitz) und Berlin, mittlere Elbniederungen bis Dresden einschl. Dresdner Elbtal, Magdeburger und Obersächsische Börden, nordöstliches und östliches Harzvorland, Goldene Aue, Sächsische Tieflandsbucht

**Repräsentanzstation:**

Potsdam, 81 m    52° 23' N 13° 04' E

Für die Strahlungsdaten: Messungen an der Station Potsdam

**Umgebung der Repräsentanzstation:**

Die Station liegt außerhalb der Stadt im oberen Teil eines nach Westen gerichteten Hanges mit dichtem Baumbewuchs. Die weitere Umgebung ist locker bebaut oder bewaldet und weist zum Teil größere Wasserflächen auf.

**Messhöhe des Windmessers:** 39 m, August 1992 bis Dezember 2004 und ab Mai 2005 38 m

**Höhenbereich der Region:** 5 bis 200 m, im östlichen Harzvorland bis 400 m

**Klimatologische Angaben und Besonderheiten:**

Winter: kühl und trocken; Sommer: warm und trocken. Gemäßigt bei südlichen bis nordwestlichen Wetterlagen. Deutlich kontinentaler Einfluss bei nördlichen bis südöstlichen Wetterlagen (häufig trockene und warme Sommer sowie trockene und kalte Winter). Unterschied zwischen tiefstem und höchstem mittleren Monatsmittel der Lufttemperatur an der Repräsentanzstation: von 1,1 °C bis 19,0 °C. Im Osten der Region ist im Winter und im Sommer kontinentaler Einfluss vorhanden. Luvlagen und Leelagen entstehen überwiegend im Einflussbereich der benachbarten Mittelgebirge. Insbesondere sind die Region zwischen Halle und Magdeburg und das Oderbruch die niederschlagsärmsten Gebiete Deutschlands. Die Durchlüftung ist in Freilandgebieten und mit Annäherung an die Küste gut. Großstadtregionen sind gegenüber freiem Umland trockener und wärmer.

**TRY-Region 5:** Niederrheinisch-westfälische Bucht und Emsland, Dümmer Geestniederung, Ravensberger Mulde, Münsterland, Ruhrgebiet, Niederrheinische Bucht, unterer Mittelrhein, Neuwieder Becken

**Repräsentanzstation:**

Essen, 150 m      51° 24' N 06° 58' E

Für die Strahlungsdaten: Strahlungsdaten wurden berechnet, da keine Strahlungsmessungen an der Station oder in unmittelbarer Umgebung vorhanden.

**Umgebung der Repräsentanzstation:**

Die Station liegt außerhalb der Stadt auf einem freien Höhenrücken. In der näheren Umgebung befinden sich ein Gewässer sowie z.T. walddreiehes und z.T. nicht bewaldetes von lockerer Bebauung unterbrochenes Gelände. Nach Südosten und Süden öffnet sich das allmählich abfallende Gelände zum ca. 100 m tiefer gelegenen Tal der Ruhr, die hier den Stationsstandort in einem Bogen und in einer mittleren Entfernung von ca. 3 km umfließt.

**Messhöhe des Windmessers:** 16 m, ab Juli 2000 15 m

**Höhenbereich der Region:** 30 bis 200 m

**Klimatologische Angaben und Besonderheiten:**

Winter: warm; Sommer: gemäßigt. Unterschied zwischen tiefstem und höchstem mittleren Monatsmittel der Lufttemperatur an der Repräsentanzstation: von 3,2 °C bis 18,4 °C. Luvlagen und Leelagen entstehen überwiegend im Einflussbereich der benachbarten Mittelgebirge. Die Durchlüftung ist im unbebauten Flachland gut, in städtischen Ballungsräumen ist sie hingegen schlecht. In den großen Ballungsgebieten gibt es bei sommerlichen Hochdruckwetterlagen häufig Erwärmungen gegenüber dem Umland.

**TRY-Region 6:** Nördliche und westliche Mittelgebirge, Randgebiete Eifel, nördlicher Westerwald, Bergisches Land, Sauerland, Eggebirge, Teutoburger Wald, Harz (bis 600 m), Saar-Nahe-Bergland, Hunsrück, Pfälzer Wald, Odenwald, Bauland, Spessart, Schwarzwald (bis 650 m), Gebiete um Enz, Nagold, oberen Neckar und Fils

**Repräsentanzstation:**

Bad Marienberg, 547 m 50° 40' N 07° 58' E

Für die Strahlungsdaten: Strahlungsdaten wurden berechnet, da keine Strahlungsmessungen an der Station oder in unmittelbarer Umgebung vorhanden.

**Umgebung der Repräsentanzstation:**

Die Station liegt außerhalb der Stadt auf einem freien und trockenen Höhenrücken des Westerwaldes. Das Gelände ist von Wiesen und Äckern umgeben, die in einem von etwa Südwest über West nach Nordost reichenden Sektor von Baumgruppen durchzogen bzw. von Wald begrenzt werden. Im nördlichen Sektor verläuft ein Höhenzug, der die Station um etwa 50 m überragt.

**Messhöhe des Windmessers:** 10 m, ab Juni 1999 12 m

**Höhenbereich der Region:** 150 bis 840 m

**Klimatologische Angaben und Besonderheiten:**

Gemäßigt und niederschlagsreich, in Höhenlagen kühl. Unterschied zwischen tiefstem und höchstem mittleren Monatsmittel der Lufttemperatur an der Repräsentanzstation: von - 0,1 °C bis 16,2 °C. Es gibt stärkere Bewölkung und höhere Niederschläge in Luvlagen und entgegengesetzte Begünstigung in Leelagen. In den Wintermonaten können die Höhenlagen mehr Sonnenschein aufweisen als die Tallagen. In den Tallagen ist die Durchlüftung gering bis schlecht. Die Höhenlagen weisen hohe Niederschläge (Nebel, Regen, Schnee) auf und sind kälter und sehr gut durchlüftet.



**TRY-Region 7:** Nördliche und westliche Mittelgebirge, zentrale Bereiche Weser- und Leinebergland, Eichsfeld, Nordwestthüringen, Hessisches Bergland, Vogelsberg ohne Gipfellagen, Moseltal, südlicher Westerwald, Taunus ohne Hochtaunus

**Repräsentanzstation:**

Kassel, 231 m      51° 18' N 09° 27' E

Für die Strahlungsdaten: Strahlungsdaten wurden berechnet, da nicht über den gesamten Zeitraum 1988 bis 2007 Strahlungsmessungen an der Station vorhanden sind.

**Umgebung der Repräsentanzstation:**

Die Station liegt auf einem nach Süden gerichteten Hang mit mäßigem Baumbewuchs und lockerer Bebauung im Osten. Der Sektor von Südost bis Nordwest zeigt sich weitgehend unbebaut. Es ist eine Stadtrandlage. Wegen der Kessellage von Kassel kann die Sonnenscheindauer im Winter geringer sein als auf den Höhenlagen der TRY-Region.

**Messhöhe des Windmessers:** 10 m, ab Oktober 2001 15 m

**Höhenbereich der Region:** 100 bis 750 m

**Klimatologische Angaben und Besonderheiten:**

Gemäßigt, in Höhenlagen kühl. Unterschied zwischen tiefstem und höchstem mittleren Monatsmittel der Lufttemperatur an der Repräsentanzstation: von 1,3 °C bis 18,1 °C. Es gibt stärkere Bewölkung und höhere Niederschläge in Luvlagen und entgegengesetzte Begünstigung in Leelagen. In den Wintermonaten können die Höhenlagen mehr Sonnenschein aufweisen als die Tallagen. Die Durchlüftung ist mäßig, in den Höhenlagen sehr gut. In den Tälern gibt es tagsüber schattige bzw. strahlungsbegünstigte Lagen und nachts bei wolkenarmen Wetterlagen Kaltluftabflüsse in die tieferen Regionen.

**TRY-Region 8:** Oberharz und Schwarzwald, mittlere Lagen Harz (über 600 m), Schwarzwald (zwischen 650 und 1000 m)

**Repräsentanzstation:**

Braunlage, 607 m 51° 44' N 10° 36' E

Für die Strahlungsdaten: Strahlungsdaten wurden berechnet, da nicht über den gesamten Zeitraum 1988 bis 2007 Strahlungsmessungen an der Station vorhanden sind.

**Umgebung der Repräsentanzstation:**

Die Station liegt auf einem Hangrücken am Rande der Stadt im hügeligen Gelände mit lockerer Bebauung und mäßigem Baumbewuchs. Das Tal der Bode verläuft von Nordnordwest nach Südsüdost und wird im oberen Teil in etwa 2 km bis 3 km von 800 m bis 970 m hohen Bergen abgeschlossen. Die weitere Umgebung ist waldreich.

**Messhöhe des Windmessers:** 14 m, seit August 1991 16 m

**Höhenbereich der Region:** 600 bis 1000 m (Harz > 1000 m)

**Klimatologische Angaben und Besonderheiten:**

Kühl und niederschlagsreich. Unterschied zwischen tiefstem und höchstem mittleren Monatsmittel der Lufttemperatur an der Repräsentanzstation: von - 0,8 °C bis 15,3 °C. Es gibt stärkere Bewölkung und höhere Niederschläge in Luvlagen und entgegengesetzte Begünstigung in Leelagen. In den Wintermonaten können die Höhenlagen mehr Sonnenschein aufweisen als die Tallagen. Die Durchlüftung ist mäßig, in den Höhenlagen sehr gut. In den Tälern gibt es tagsüber schattige bzw. strahlungsbegünstigte Lagen und nachts bei wolkenarmen Wetterlagen Kaltluftabflüsse in die tieferen Regionen. Die Höhenlagen erhalten viel Niederschlag (Nebel, Regen, Schnee); sie sind kälter und sehr gut durchlüftet.

**TRY-Region 9:** Thüringer Becken und Sächsisches Hügelland Thüringer Becken und angrenzende Randgebirge, Sächsisches Hügelland, Oberlausitzer Bergland

**Repräsentanzstation:**

Chemnitz, 418 m 50° 48' N 12° 52' E

**Umgebung der Repräsentanzstation:**

Die Station liegt außerhalb der Stadt auf einem Höhenrücken an einem nach Norden orientierten Hang. In unmittelbarer Umgebung befinden sich eine lockere Bebauung, mäßiger Baumbewuchs und landwirtschaftliche Nutzflächen. Das umliegende Berghügelland ist durch Plateaurücken, Hochflächen und Seitentäler gekennzeichnet. Nach Süden bis Südosten steigt das Gelände in Richtung Erzgebirgskamm (ca. 30 km entfernt) allgemein an.

**Messhöhe des Windmessers:** 15 m, seit September 2005 12 m

**Höhenbereich der Region:** 200 bis 430 m

**Klimatologische Angaben und Besonderheiten:**

Winter: kühl und trocken; Sommer: warm und trocken. Unterschied zwischen tiefstem und höchstem mittleren Monatsmittel der Lufttemperatur an der Repräsentanzstation: von 0,5 °C bis 17,7 °C. Leelagen entstehen bei Wetterlagen mit südöstlicher bis westlicher Luftströmung. Im Osten der Region ist im Winter und im Sommer kontinentaler Einfluss vorhanden (warme und trockene Sommer, kalte und trockene Winter). Die Durchlüftung ist mäßig und in den Tallagen teilweise schlecht. In den Tälern gibt es tagsüber schattige bzw. strahlungsbegünstigte Lagen und nachts bei wolkenarmen Wetterlagen Kaltluftabflüsse in die tieferen Regionen.

**TRY-Region 10:** Südöstliche Mittelgebirge bis 1000 m, Hochtaunus, Gipfella-  
gen des Vogelsbergs, Rhön, Thüringer Wald, Vogtland, Erzge-  
birge, Elbsandsteingebirge, Frankenwald, Fichtelgebirge, O-  
berpfälzer Wald, Bayerischer Wald

**Repräsentanzstation:**

Hof (Hof-Hohensaas), 565 m 50° 19' N 11° 53' E

Für die Strahlungsdaten: Strahlungsdaten wurden berechnet, da keine Strah-  
lungsmessungen an der Station oder in unmittelbarer Umgebung vorhanden.

**Umgebung der Repräsentanzstation:**

Die Station liegt außerhalb der Stadt auf dem oberen Teil eines nach Süden ge-  
richteten Hanges. In unmittelbarer Umgebung befindet sich eine lockere Bebau-  
ung. Ansonsten wird das leicht wellige Gelände durch Wiesen- und Ackerland  
dominiert und geht in einiger Entfernung in bewaldetes Hügelland über.

**Messhöhe des Windmessers:** 16 m, seit August 2002 12 m

**Höhenbereich der Region:** 200 bis 1000 m

**Klimatologische Angaben und Besonderheiten:**

Kühl und niederschlagsreich. Unterschied zwischen tiefstem und höchstem mitt-  
leren Monatsmittel der Lufttemperatur an der Repräsentanzstation: von - 1,2 °C  
bis 16,6 °C. Es gibt stärkere Bewölkung und höhere Niederschläge in Luvlagen  
und entgegengesetzte Begünstigung in Leelagen. Die Durchlüftung ist mäßig, in  
den Höhenlagen sehr gut. In den Tälern gibt es tagsüber schattige bzw. strah-  
lungsbegünstigte Lagen und nachts bei wolkenarmen Wetterlagen Kaltluftabflüs-  
se in die tieferen Regionen. Die Höhenlagen erhalten viel Niederschlag (Nebel,  
Regen, Schnee), sie sind kälter und sehr gut durchlüftet.

**TRY-Region 11:** Erzgebirge, Böhmer- und Schwarzwald oberhalb 1000 m Höhenlagen oberhalb 1000 m des Fichtel- und Erzgebirges, Böhmer- und Schwarzwaldes

**Repräsentanzstation:**

Fichtelberg, 1213 m      50° 26' N 12° 57' E

Für die Strahlungsdaten: Messungen an der Station Fichtelberg

**Umgebung der Repräsentanzstation:**

Die Station liegt auf dem Berggipfel südlich von einzelnen Gebäuden. Das Gelände in der unmittelbaren Umgebung ist schwach nach Westen bis Südwesten geneigt und allseitig offen. Im Plateaubereich des Gipfels befinden sich nur noch im Südwesten Restwaldbestände. Geschlossene Waldbestände beginnen ca. 500 m westlich des Gipfels.

**Messhöhe des Windmessers:** 23 m, September 1992 bis November 2001 24 m, seit November 2001 29 m

**Höhenbereich der Region:** oberhalb 1000 m

**Klimatologische Angaben und Besonderheiten:**

Kalt und niederschlagsreich. Unterschied zwischen tiefstem und höchstem mittleren Monatsmittel der Lufttemperatur an der Repräsentanzstation: von - 3,5 °C bis 12,3 °C. Höhen- und Gipfellagen befinden sich häufig in den Wolken, daher sind sie niederschlagsreich. Die Durchlüftung ist sehr gut.

**TRY-Region 12:** Oberrheingraben und unteres Neckartal Wetterau, Untermainebene, Rheingau, unteres Nahetal, Rheinhessen, Oberrheingraben mit Kaiserstuhl, Kraichgau, Neckartal ab Stuttgarter Talkessel, Hochrheintal

**Repräsentanzstation:**

Mannheim, 96 m 49° 31' N 08° 33' E

Für die Strahlungsdaten: Messungen an der Station Mannheim

**Umgebung der Repräsentanzstation:**

Die Station liegt am östlichen Stadtrand in locker bebauter Umgebung mitmäßigem Baumbewuchs. Im Osten befindet sich freies Ackerland.

**Messhöhe des Windmessers:** 22 m

**Höhenbereich der Region:** 90 bis 400 m

**Klimatologische Angaben und Besonderheiten:**

Winter: gemäßigt; Sommer: warm. Unterschied zwischen tiefstem und höchstem mittleren Monatsmittel der Lufttemperatur an der Repräsentanzstation: von 2,5 °C bis 20,4 °C. Überwiegend geschützte Tallagen mit geringer Durchlüftung und geringem Niederschlag ähnlich wie bei der Leewirkung benachbarter Mittelgebirge. Die geschützten Lagen führen zu ausgeprägten Erwärmungen im gesamten Talgebiet, die mit Stadteinfluß noch gesteigert werden.

**TRY-Region 13:** Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland Südthüringen, Werratal, Franken (ohne Spessart, Rhön, Frankenwald und Fichtelgebirge), Gebiete an Tauber, Jagst, Kocher, Murr und Rems, Oberpfalz (ohne Oberpfälzer Wald), Donauniederungen, Oberschwaben, Bodenseegebiet, Alpenvorland (bis 700 m)

**Repräsentanzstation:**

Mühldorf, 405 m    48° 17' N 12° 30' E

Für die Strahlungsdaten: Strahlungsdaten wurden berechnet, da keine Strahlungsmessungen an der Station oder in unmittelbarer Umgebung vorhanden.

**Umgebung der Repräsentanzstation:**

Die Station befindet sich etwa 4 km vom Stadtkern Mühldorf am nördlichen Rand des Innthalbeckens in ebenem, freiem Gelände. 600 m nördlich beginnt eine Hügelkette mit Höhen bis zu 480 m ü. NN. Etwa 2 km südlich des Inn werden weitere Höhenzüge angetroffen. Das die Station umgebende Gebiet wird vorwiegend landwirtschaftlich genutzt.

**Messhöhe des Windmessers:** 10 m

**Höhenbereich der Region:** 200 bis 700 m

**Klimatologische Angaben und Besonderheiten:**

Winter: kühl; Sommer: gemäßigt bis warm. Unterschied zwischen tiefstem und höchstem mittleren Monatsmittel der Lufttemperatur an der Repräsentanzstation: von - 1,1 °C bis 18,1 °C. Es gibt stärkere Bewölkung und höhere Niederschläge in Luvlagen und entgegengesetzte Begünstigung in Leelagen. Die Durchlüftung ist mäßig, in den Höhenlagen sehr gut. In den Tälern gibt es tagsüber schattige bzw. strahlungsbegünstigte Lagen und nachts bei wolkenarmen Wetterlagen Kaltluftabflüsse in die tieferen Regionen. Es gibt ausgeprägte Föhnwetterlagen im Alpenvorland.

**Anmerkung:** In den bisherigen TRY-Datensätzen (CHRISTOFFER et al., 2004) war die Station Passau die Repräsentanzstation für die Klimaregion 13. Diese Station wurde im Jahre 1997 aufgelöst. Daher musste eine neue Repräsentanzstation gefunden werden. Auf Basis einer klimatologischen Untersuchung zeigte die Station Mühldorf am Inn die beste Übereinstimmung mit den mittleren Klimabedingungen in der betreffenden Region, so dass diese als Ersatz für Passau ausgewählt wurde.

## **TRY-Region 14: Schwäbische Alb und Baar**

### **Repräsentanzstation:**

Stötten, 734 m      48° 40' N 09° 52' E

Für die Strahlungsdaten: Strahlungsdaten wurden berechnet, da keine Strahlungsmessungen an der Station oder in unmittelbarer Umgebung vorhanden.

### **Umgebung der Repräsentanzstation:**

Die Station liegt auf einer flachen Bergkuppe. Die umgebende Hochfläche besteht aus Wiesen- und Ackergelände. Im Südosten in etwa 200 m Entfernung werden die weitgehend offenen Flächen durch geschlossenen Baumbestand begrenzt. Das hügelige Gelände setzt sich in der weiteren Umgebung fort, wobei die tiefer eingeschnittenen Täler der Eyb, Fils und Lauter die Station nahezu ringförmig umschließen.

**Messhöhe des Windmessers:** 10 m, seit Mai 2003 12 m

**Höhenbereich der Region:** oberhalb 400 m

### **Klimatologische Angaben und Besonderheiten:**

Kühl. Unterschied zwischen tiefstem und höchstem mittleren Monatsmittel der Lufttemperatur an der Repräsentanzstation: von – 0,6 °C bis 16,7 °C. Es gibt stärkere Bewölkung und höhere Niederschläge in Luvlagen und entgegengesetzte Begünstigung in Leelagen. Die Durchlüftung ist mäßig, in den Höhenlagen sehr gut. In den Tälern gibt es tagsüber schattige bzw. strahlungsbegünstigte Lagen und nachts bei wolkenarmen Wetterlagen Kaltluftabflüsse in die tieferen Regionen. Die Höhenlagen sind kälter und sehr gut durchlüftet.



**TRY-Region 15:** Alpenrand und -täler Alpenvorland (> 700 m), Alpenrand, Alpentäler (bis 1000 m)

**Repräsentanzstation:**

Garmisch-Partenkirchen, 719 m      47° 29' N 11° 04' E

Für die Strahlungsdaten: Strahlungsdaten wurden berechnet, da keine Strahlungsmessungen an der Station oder in unmittelbarer Umgebung vorhanden.

**Umgebung der Repräsentanzstation:**

Die Station liegt am westlichen Stadtrand in einem engen Tal auf dem nordwestlichen Ufer der Loisach. Die Stadt selbst befindet sich in einem Talkessel. In unmittelbarer Umgebung gibt es eine lockere Bebauung und mäßigen Baumbewuchs. Die Ausläufer der Ammergauer Alpen aus Nordwesten, der Walchenseeberge aus Nordosten und des Wettersteinmassivs im gesamten Südsektor reichen mit Erhebungen zwischen 1600 m und 1900 m ü. NN unmittelbar an den Ort heran.

**Messhöhe des Windmessers:** 10 m, seit November 2005 15 m

**Höhenbereich der Region:** oberhalb 700 bis 1000 m

**Klimatologische Angaben und Besonderheiten:**

Kühl. Unterschied zwischen tiefstem und höchstem mittleren Monatsmittel der Lufttemperatur an der Repräsentanzstation: von - 2,3 °C bis 16,7 °C. Belüftung, Erwärmung, Auskühlung, Sonnenscheindauer und Niederschlag sind stark abhängig von der Gipfel-, Hang- oder Tallage des jeweiligen Standortes. Die Durchlüftung ist mäßig, in den Höhenlagen sehr gut. In den Tälern gibt es tagsüber schattige bzw. strahlungsbegünstigte Lagen und nachts bei wolkenarmen Wetterlagen Kaltluftabflüsse in die tieferen Regionen.

## Anhang 2: Dekodierungstabelle zu den Wetterereignissen

### Verschiedene Wettererscheinungen

|    |   |
|----|---|
| -1 | Keine signifikante Wettererscheinung weder zum Termin noch in 3 bzw. 6 Stunden vor dem Termin                     |
| 0  | Wolkenentwicklung nicht festgestellt oder nicht feststellbar  |
| 1  | Wolken in Auflösung oder Rückentwicklung  |
| 2  | Himmelsbild im ganzen unverändert   |
| 3  | Wolken in Bildung oder Weiterentwicklung  |
| 4  | Sichtverminderung durch Rauch   |
| 5  | Trockener Dunst   |
| 6  | Lufttrübung durch Staub, der an der Station oder in deren Nähe nicht aufgewirbelt wurde                           |
| 7  | Staub oder Sand in Stationsnähe durch Wind aufgewirbelt; keine Staub- oder Sandwirbel, kein Staub- oder Sandsturm |
| 8  | Staub- oder Sandwirbel (Kleintromben)   |
| 9  | Staub- oder Sandsturm im Gesichtskreis oder in der letzten Stunde   |
| 10 | Feuchter Dunst  |
| 11 | Flacher Bodennebel, Schwaden oder Bänke   |
| 12 | Bodennebel mehr oder weniger zusammenhängend  |
| 13 | Wetterleuchten, kein Donner hörbar  |
| 14 | Niederschlag im Gesichtskreis nicht den Boden erreichend  |
| 15 | Niederschlag im Gesichtskreis den Boden erreichend > 5 km entfernt  |
| 16 | Niederschlag im Gesichtskreis den Boden erreichend < 5 km entfernt  |
| 17 | Gewitter ohne Niederschlag an der Station   |
| 18 | Böen (markante)   |
| 19 | Großtromben (Tornados)  |

### Wettererscheinungen in der letzten Stunde

|    |  |
|----|--|
| 20 | nach Sprühregen (nicht gefrierend) nach Schneegriesel oder Eisnadeln |
| 21 | nach Regen (nicht gefrierend)  |
| 22 | nach Schnee  |
| 23 | nach Regen und Schnee oder Eiskörner                                 |
| 24 | nach Sprühregen oder Regen (gefrierend)                              |
| 25 | nach Regenschauer  |
| 26 | nach Schneeschauer, nach Schneeregenschauer                          |
| 27 | nach Hagel- oder Graupelschauer (auch mit Regen)                     |
| 28 | nach Nebel oder Eisnebel   |
| 29 | nach Gewitter (mit oder ohne Niederschlag)                           |

### Staub- oder Sandsturm, Schneetreiben

|    |   |
|----|---|
| 30 | Staub oder Sandsturm (leicht oder mäßig) in der letzten Stunde nachgelassen             |
| 31 | Staub oder Sandsturm (leicht oder mäßig), keine wesentliche Änderung                    |
| 32 | Staub oder Sandsturm (leicht oder mäßig) in der letzten Stunde begonnen oder zugenommen |
| 33 | Staub- oder Sandsturm (schwer) in der letzten Stunde nachgelassen                       |
| 34 | Staub- oder Sandsturm (schwer), keine wesentliche Änderung                              |
| 35 | Staub- oder Sandsturm (schwer) in der letzten Stunde begonnen oder zugenommen           |

|           |  |
|-----------|--|
| <b>36</b> | Schneefegen unter Augenhöhe, leicht oder mäßig |
| <b>37</b> | Schneefegen unter Augenhöhe, stark             |
| <b>38</b> | Schneefegen über Augenhöhe, leicht oder mäßig  |
| <b>39</b> | Schneefegen über Augenhöhe, stark              |

#### **Nebel oder Eisnebel**

|           |   |
|-----------|---|
| <b>40</b> | im Gesichtskreis, nicht an der Station während der letzten Stunde; über die Höhe des Beobachters hinausreichend |
| <b>41</b> | Schwaden (Nebeltreiben)   |
| <b>42</b> | In der letzten Stunde dünner geworden, Himmel erkennbar   |
| <b>43</b> | In der letzten Stunde dünner geworden, Himmel nicht erkennbar   |
| <b>44</b> | keine wesentliche Änderung in der letzten Stunde, Himmel erkennbar  |
| <b>45</b> | keine wesentliche Änderung in der letzten Stunde, Himmel nicht erkennbar  |
| <b>46</b> | eingesetzt oder dichter geworden i.d. letzten Stunde, Himmel erkennbar  |
| <b>47</b> | eingesetzt oder dichter geworden i.d. letzten Stunde, Himmel nicht erkennbar                                    |
| <b>48</b> | schlägt sich als Raufrost nieder (Rauheis), Himmel erkennbar  |
| <b>49</b> | schlägt sich als Raufrost nieder (Rauheis), Himmel nicht erkennbar  |

#### **Sprühregen**

|           |   |
|-----------|---|
| <b>50</b> | leicht (nicht gefrierend), mit Unterbrechung  |
| <b>51</b> | leicht (nicht gefrierend), ohne Unterbrechung |
| <b>52</b> | mäßig (nicht gefrierend), mit Unterbrechung   |
| <b>53</b> | mäßig (nicht gefrierend), ohne Unterbrechung  |
| <b>54</b> | stark (nicht gefrierend), mit Unterbrechung   |
| <b>55</b> | stark (nicht gefrierend), ohne Unterbrechung  |
| <b>56</b> | Gefrierend, leicht                            |
| <b>57</b> | Gefrierend, mäßig oder stark                  |
| <b>58</b> | mit Regen, leicht                             |
| <b>59</b> | mit Regen, mäßig oder stark                   |

#### **Regen**

|           |   |
|-----------|---|
| <b>60</b> | leicht (nicht gefrierend), mit Unterbrechung  |
| <b>61</b> | leicht (nicht gefrierend), ohne Unterbrechung |
| <b>62</b> | mäßig (nicht gefrierend), mit Unterbrechung   |
| <b>63</b> | mäßig (nicht gefrierend), ohne Unterbrechung  |
| <b>64</b> | stark (nicht gefrierend), mit Unterbrechung   |
| <b>65</b> | stark (nicht gefrierend), ohne Unterbrechung  |
| <b>66</b> | Gefrierend, leicht                            |
| <b>67</b> | Gefrierend, mäßig oder stark                  |
| <b>68</b> | oder Sprühregen und Schnee, leicht            |
| <b>69</b> | oder Sprühregen und Schnee, mäßig oder stark  |

#### **Niederschlag in fester Form**

|           |  |
|-----------|--|
| <b>70</b> | Leichter Schneefall mit Unterbrechung  |
| <b>71</b> | Leichter Schneefall ohne Unterbrechung |
| <b>72</b> | Mäßiger Schneefall mit Unterbrechung   |

|           |  |
|-----------|--|
| <b>73</b> | Mäßiger Schneefall ohne Unterbrechung        |
| <b>74</b> | Starker Schneefall mit Unterbrechung         |
| <b>75</b> | Starker Schneefall ohne Unterbrechung        |
| <b>76</b> | Eisnadeln mit oder ohne Nebel                |
| <b>77</b> | Schneegriesel mit oder ohne Nebel            |
| <b>78</b> | vereinzelte Schneesterne mit oder ohne Nebel |
| <b>79</b> | Eiskörner                                    |

#### **Schauer**

|           |  |
|-----------|--|
| <b>80</b> | Regenschauer, leicht   |
| <b>81</b> | Regenschauer, mäßig oder stark   |
| <b>82</b> | Regenschauer, sehr stark   |
| <b>83</b> | Schneeregenschauer, leicht   |
| <b>84</b> | Schneeregenschauer, mäßig oder stark                                   |
| <b>85</b> | Schneeschaer, leicht   |
| <b>86</b> | Schneeschaer, mäßig oder stark   |
| <b>87</b> | Graupelschaer mit oder ohne Regen bzw. Schneeregen, leicht             |
| <b>88</b> | Graupelschaer mit oder ohne Regen bzw. Schneeregen, mäßig oder stark   |
| <b>89</b> | Hagelschaer mit oder ohne Regen bzw. Schneeregen (ohne Donner), leicht |

#### **Gewitter**

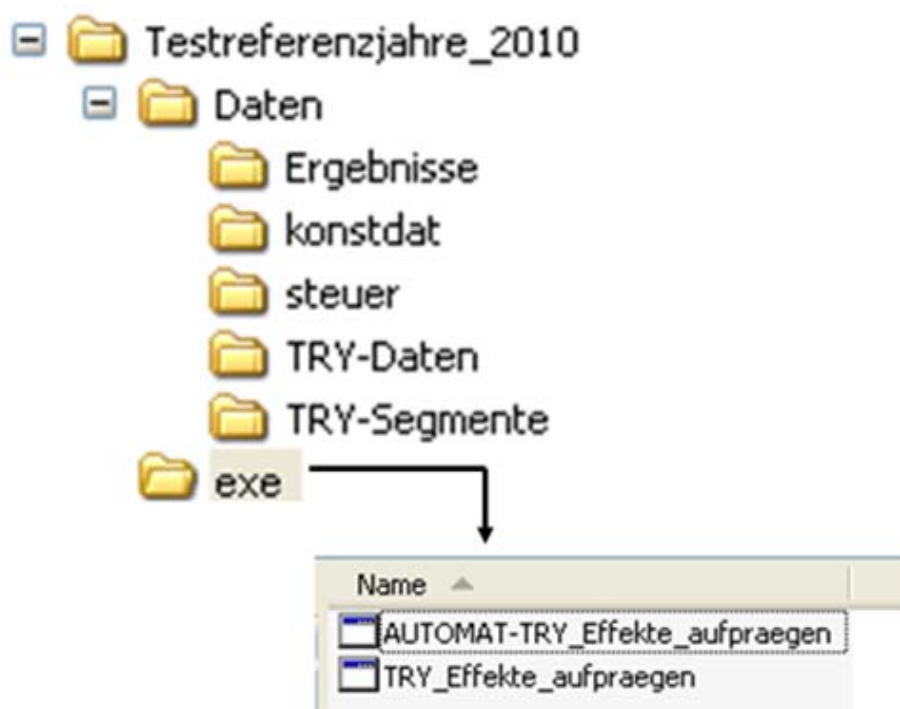
|           |   |
|-----------|---|
| <b>90</b> | Hagelschaer mit oder ohne Regen bzw. Schneeregen (ohne Donner), mäßig oder stark  |
| <b>91</b> | Gewitter in der letzten Stunde, aber nicht z.Zt. der Beobachtung, leichter Regen z.Zt. der Beobachtung  |
| <b>92</b> | Gewitter in der letzten Stunde, aber nicht z.Zt. der Beobachtung, mäßiger oder starker Regen z.Zt. der Beobachtung  |
| <b>93</b> | Gewitter in der letzten Stunde, aber nicht z.Zt. der Beobachtung, leichter Schnee oder Schneeregen, Graupeln oder Hagel z.Zt. der Beobachtung             |
| <b>94</b> | Gewitter in der letzten Stunde, aber nicht z.Zt. der Beobachtung, mäßiger oder starker Schnee oder Schneeregen, Graupeln oder Hagel z.Zt. der Beobachtung |
| <b>95</b> | Gewitter z.Zt. der Beobachtung, leicht oder mäßig, mit Regen oder Schnee oder Schneeregen   |
| <b>96</b> | Gewitter z.Zt. der Beobachtung, leicht oder mäßig, mit Hagel oder Graupeln  |
| <b>97</b> | Gewitter z.Zt. der Beobachtung, stark, mit Regen oder Schnee oder Schneeregen   |
| <b>98</b> | Gewitter z.Zt. der Beobachtung mit Staub- oder Sandsturm  |
| <b>99</b> | Gewitter z.Zt. der Beobachtung, stark, mit Hagel oder Graupeln  |

### Anhang 3: Programmmodul zur Aufprägung des städtischen Wärmeinsel effekts sowie der Höhenabhängigkeit von Lufttemperatur und Wasserdampfgehalt

Im Kapitel 4 wurden in den Abschnitten 4.2 und 4.3 die Methodiken zur Berücksichtigung der Höhenabhängigkeit von Lufttemperatur und Wasserdampfgehalt (Mischungsverhältnis) sowie der urbanen Wärmeinsel auf Lufttemperatur und relativer Feuchte in den TRY-Datensätzen vorgestellt. In Abstimmung mit dem DWD hat die Fa. CEC-Potsdam GmbH ein Programmmodul entwickelt, mit dem beide Effekte berechnet und in einem entsprechend modifizierten TRY-Datensatz zur Verfügung gestellt werden.

Dabei können sowohl beide Effekte gleichzeitig oder auch einzeln, also nur die Höhenabhängigkeit von Lufttemperatur und Wasserdampfgehalt oder nur die städtische Wärmeinsel bewertet werden. Im Ergebnis liefert das Programmmodul einen TRY-Datensatz mit den entsprechend modifizierten Parametern, der unmittelbar zum Beispiel in Gebäudesimulationsmodellen eingesetzt werden kann.

Abb. A3.1 zeigt die Verzeichnisstruktur, in der das Programmmodul zur Aufprägung eines Stadt- und/oder Höheneffektes zu finden ist. Das Hauptverzeichnis „Testreferenzjahre\_2010“ gliedert sich in 2 Unterverzeichnisse. Das Unterverzeichnis „Daten“ enthält neben den TRY-Datensätzen („TRY-Daten“) und den einzelnen Segmenten, aus denen die TRY zusammengesetzt sind („TRY-Segmente“), zwei weitere Verzeichnisse „steuer“ und „konstdat“, die für die Programmausführung relevante Daten beinhalten.



**Abb. A1:** Verzeichnisbaum für die Software zum Aufprägen eines Höheneffektes (Lufttemperatur, Wasserdampfgehalt) sowie eines Stadteffektes (urbane Wärmeinsel) bezüglich Lufttemperatur und relativer Feuchte

Das Verzeichnis „Ergebnisse“ nimmt die vom Programm erzeugten modifizierten TRY-Datensätze auf. Im zweiten Unterverzeichnis „exe“ sind die beiden Versionen des Programmmoduls abgelegt. Neben einer manuell aufrufbaren Version „TRY\_Effekte\_aufpraegen“ gibt es dort noch eine automatische Version mit dem Namen „AUTOMAT-TRY\_Effekte\_aufpraegen“. Die manuelle Programmversion wird mit Doppelklick (linke Maustaste) auf das Programmsymbol von „TRY\_Effekte\_aufpraegen“ gestartet. Daraufhin erscheint die in Abb. A3.2 dargestellte Eingabemaske.

**Abb. A3.2:** Eingabemaske des manuell aufrufbaren Programms zur Aufprägung einer Höhenabhängigkeit von Lufttemperatur und Wasserdampfgehalt und / oder des städtischen Wärmeinsellekts auf Lufttemperatur und relative Feuchte

Zur Kennzeichnung der einzelnen Eingabeschritte sind an den jeweiligen Stellen der Eingabemaske in Abb A3.2 rote Ziffern von 1 bis 6 vermerkt. Um nun einen urbanen Wärmeinseleffekt bezüglich Lufttemperatur und relativer Feuchte und / oder eine Höhenabhängigkeit von Lufttemperatur und Wasserdampfgehalt auf einen TRY-Datensatz aufzuprägen sind nacheinander im Folgenden aufgeführte Eingabeschritte vorzunehmen:

1. Im Fenster mit der Überschrift „TRY-Region“ sind die Repräsentanzstationen der 15 TRY-Regionen verzeichnet. Mit der Maus und Drücken der linken Maustaste kann eine Repräsentanzstation ausgewählt werden. Die ausgewählte Station bzw. Region wird blau hinterlegt dargestellt.
2. Im Fenster „TRY-Typ“ ist anzugeben, welche Art von Testreferenzjahr man verwenden will. Die Auswahl erfolgt analog zu Schritt 1. Das ausgewählte Testreferenzjahr wird wieder blau hinterlegt.
3. Hier ist zu entscheiden, welcher Effekt berücksichtigt werden soll. Durch Anklicken mit der Maus in dem kleinen Kästchen links neben dem jeweiligen Effekt kann dieser ausgewählt werden. Ein Häkchen symbolisiert die aktive Auswahl. Es besteht die Möglichkeit nur einen oder beide Effekte auszuwählen. Im Fall der Auswahl des Stadteffekts (Berücksichtigung der urbanen Wärmeinsel) muss noch die Einwohnerzahl des betreffenden Ortes im Feld „Anzahl der Einwohner“ eingegeben werden sowie anschließend der jeweilige Stadtbereich. Wird der Höheneffekt (Korrektur der Höhenabhängigkeit von Lufttemperatur und Wasserdampfgehalt) gewählt, ist im Feld „geog. Höhe des Standortes“ die Geländehöhe des betreffenden Ortes in m über dem Meeresspiegel einzugeben.
4. Um das Programm zu starten, klickt man die Schaltfläche „Effekt(e) aufprägen“ an.
5. In dem Feld „Statusinformationen“ wird dann über das Ergebnis der Berechnung informiert. War die Berechnung erfolgreich, werden hier die ausgewählten Parameter nochmals angezeigt. Das Ergebnis wird im Verzeichnis „Ergebnisse“ im Unterverzeichnis „Daten“ entsprechend dem in Abb. A3.1 gezeigten Verzeichnisbaum abgelegt. Die Bezeichnung der Ergebnisdatei folgt einem festgelegten Schema, wie an folgendem Beispiel erläutert:

**Beispiel: TRY2010\_04\_Jahr\_00020K1\_0107m.dat**

2010 – Kennzeichnung für den Bezugszeitraum des TRY

-2010: Zeitraum 1988 bis 2007

-2035: Zeitraum 2021 bis 2050

04 – Kennzeichnung der TRY-Region (hier Region 4 mit Repräsentanzstation Potsdam)

Jahr – Kennzeichnung der Art des TRY

-Jahr: mittleres TRY

-Somm: TRY mit extrem warmem Sommer

-Wint: TRY mit extrem kaltem Winter

00020K – (optional) Angabe der Einwohnerzahl in Tausend

0107m – (optional) Angabe der Geländehöhe in m über NN

6. Durch Anklicken der Schaltfläche „Ende“ wird das Programm beendet.

An einem konkreten Beispiel soll die Funktion des Programmmoduls zur Korrektur der Höhenabhängigkeit von Lufttemperatur und Wasserdampfgehalt sowie des urbanen Wärmeinseleffekts auf Lufttemperatur und relativer Feuchte demonstriert werden. Dazu soll in der TRY-Region 6 mit der Repräsentanz Bad Marienberg für eine Stadt mit 150000 Einwohnern in einer Geländehöhe von 240 m über NN eine Korrektur des mittleren Testreferenzjahres mit Datenbasis 1988 bis 2007 hinsichtlich der Höhenabhängigkeit von Lufttemperatur und Wasserdampfgehalt sowie des städtischen Wärmeinseleffekts erfolgen.

Der Inhalt der Eingabemaske der manuellen Version des Programmmoduls „TRY\_Effekte\_aufpraegen“ nach Durchführung der Eingabeschritte 1 bis 5 ist in Abb A3.3 dargestellt.

**Aufträgen eines Stadt- und /oder Höheneffekts für ein TRY**

**TRY - Region**

- Region 1: Bremerhaven
- Region 2: Rostock
- Region 3: Hamburg
- Region 4: Potsdam
- Region 5: Essen
- Region 6: Bad Marienberg**
- Region 7: Kassel
- Region 8: Braunlage
- Region 9: Chemnitz
- Region10: Hof
- Region11: Fichtelberg
- Region12: Mannheim
- Region13: Muehldorf
- Region14: Stoetten
- Region15: Garmisch

**TRY - Typ**

- mittleres TRY (1988-2007)**
- extremes TRY - Sommer (1988-2007)
- extremes TRY - Winter (1988-2007)
- mittleres TRY (2021-2050)
- extremes TRY - Sommer (2021-2050)
- extremes TRY - Winter (2021-2050)

**Stadteffekt**

☒ Stadteffekt aufprägen

Stadtbereich:

Stadtrand  
Mittleres Stadtgebiet  
**Eng bebaute Innenstadt**

Anzahl der Einwohner: 150000

**Höheneffekt**

☒ Höheneffekt aufprägen

geog. Höhe des Standortes: 240

**Statusinformationen**

gewählte TRY - Region: Bad Marienberg

gewählter TRY - Typ: mittleres TRY (1988-2007)

Anzahl der Einwohner: 150000

Höhe : 00240 m

**Abb. A3.3:** Eingabemaske des Programms „TRY\_Effekte\_aufpraegen“ nach Berechnung eines Beispiels



Die Auswahlparameter bezüglich TRY-Region, TRY-Typ und Stadtbereich sind blau hinterlegt. Sowohl die Berechnung des Stadteffekts (Einfluss der städtischen Wärmeinsel auf Lufttemperatur und relative Feuchte) als auch des Höheneffekts (Berücksichtigung der Höhenabhängigkeit von Lufttemperatur und Wasserdampfgehalt) sind im Beispiel der Abb. A3.3 aktiviert. Im vorliegenden Beispiel liegt der Ort, für den die TRY-Daten angewendet werden sollen, in 240 m über NN und damit um 307 m tiefer als die Repräsentanzstation Bad Marienberg. Daher ist es angezeigt, die Werte des TRY von Bad Marienberg bezüglich Lufttemperatur und Wasserdampf an die Höhe des zu bewertenden Ortes anzupassen.

Das Ergebnis der Berechnungen liegt im Verzeichnis „Ergebnisse“ im Unterverzeichnis „Daten“ (siehe Abb. A3.1).

### **TRY2010\_06\_Jahr\_00150K3\_00240m**

Gemäß der Konvention zur Bezeichnung der Ergebnisdatei handelt es sich um ein TRY auf Basis der Mess- und Beobachtungsdaten 1988 bis 2007 (Kennziffer 2010) der TRY-Klimaregion 6 (\_06\_). Als Art des TRY wurde das mittlere Testreferenzjahr (\_Jahr\_) verwendet. Der Wärmeinseleffekt wurde für eine Stadt mit 150000 Einwohnern (\_00150K... 150 „Kiloeinwohnern“) und für die dicht bebaute Innenstadt (Kennziffer 3 hinter „K“ in \_00150K3) bestimmt. Der zu berücksichtigende Ort liegt in einer Höhe von 240 m über NN (\_00240m).

Eingangs wurde bereits darauf hingewiesen, dass neben der eben beschriebenen manuellen Programmversion zur Bewertung von städtischer Wärmeinsel und Geländehöhe auf Lufttemperatur und Wasserdampfgehalt auch eine automatische existiert. Diese Version als „AUTOMAT\_TRY\_Effekte\_aufpraegen“ bezeichnet im Unterverzeichnis „exe“ (siehe Abb. A3.1) benötigt keine manuellen Eingaben in einer Bildschirmmaske mehr. Die für den Programmablauf notwendigen Informationen werden aus einer editierbaren Steuerdatei gelesen.

Die Steuerdatei für den automatischen Programmablauf befindet sich im Verzeichnis „steuer“ und hat den Dateinamen „Automat“ (siehe Abb. A3.1). Diese Datei weist den nachfolgend aufgeführten Inhalt auf:

|                            |     |   |
|----------------------------|-----|---|
| Automat aktiv (J/N):       | J   | ! Muss J eingetragen sein   |
| TRJ-Region (1-15):         | 5   | ! Angabe der TRJ-Regionsnummer  |
| TRJ-Typ (1-6):             | 1   | ! Position entsprechend der Datei<br>...\konstdat\TRY-Typ.steuer  |
| Einwohnerzahl (1-9999999): | 1   | ! Angabe der Einwohnerzahl bis max.<br>9999999; bis zu einer Einwohnerzahl von<br>499 wird kein Stadteffekt aufgeprägt    |
| Stadtbereich (0-3):        | 1   | ! Position entsprechend der Datei<br>...\konstdat\Stadtbereich.steuer; 0 wenn<br>kein Stadtbereich und Einwohnerzahl <500 |
| Höhenlage (1-9999):        | 200 | ! Angabe der Höhenlage der zu schaffenden<br>Station  |

Wenn das Programm „AUTOMAT\_TRY\_Effekte\_aufpraegen“ ausgeführt wird, greift es auf die Steuerdatei „Automat“ im Verzeichnis ... \Daten\steuer zu. In der ersten Zeile ist angegeben, ob der Automat aktiv sein soll oder nicht. Hier ist

entweder (J) für Ja oder (N) für Nein einzutragen. Die übrigen Einträge in der Steuerdatei entsprechen den Wahloptionen, die bei der manuellen Programmversion über die Eingabemaske eingegeben werden.