

Projektbericht

Aktualisierte und erweiterte Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse

Ein Gemeinsames Projekt im Auftrag des
Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
in Zusammenarbeit mit der
Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH
und dem Deutschen Wetterdienst (DWD)

Offenbach im Juli 2011

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkung	3
1. Einleitung	4
1.1 Regionen und Repräsentanzstationen	4
1.2 Anmerkungen zum Verfahren	8
2. Daten- und Qualitätskontrolle	9
2.1 Datenquellen	9
2.2 Ergebnisse der Datenprüfung	9
2.2.1 Kriterien zur Qualitätskontrolle	9
2.2.2 Prüfung auf Vollständigkeit	10
2.2.3 Prüfung auf Fehler bei Einzelwerten	10
2.2.4 Suche nach Inhomogenitäten	10
2.2.5 Vergleich der Datensätze	11
3. Beschreibung des Verfahrens	16
3.1 Kernidee und Strategie	16
3.2 Relevanz der Datenquellen	16
3.3 Erstellung von Testreferenzjahren (TRJ)	21
4. Implementierung der TRJ-Strategien	24
4.1 Mittlere gegenwärtige TRJ	24
4.2 Extreme TRJ	24
4.2.1 Verwendete Indikatoren	25
4.2.2 Ergebnisse Sommerhalbjahr	26
4.2.3 Ergebnisse Winterhalbjahr	28
4.3 Implementierung der extremen gegenwärtigen TRJ	29
5. Berücksichtigung der urbanen Wärmeinsel in den TRJ-Daten	31
5.1 Der Stadteffekt	31
5.2 Die Wärmeinselintensität bestimmende Parameter	32
5.3 Falluntersuchung: Reproduktion der Temperaturdifferenzen zwischen Innenstadt und Umland	39
6. TRJ für die Zukunft	42
6.1 Hintergrund und Datenlage	42
6.2 Ortskonkordanz zwischen TRJ-Regionen und Modellrechnungen	43
6.3 Strategie zur Erzeugung zukünftiger TRJ	43
6.3.1 Extreme zukünftige TRJ	46
6.3.2 Mittlere zukünftige TRJ	49
7. Fazit	51
8. Literatur	52
9. Anhang Format der TRJ-Dateien	55
9.1 Metainformationen	55
9.2 Ausgabeformat der extremen gegenwärtigen TRJ	58

Vorbemerkung

Im Rahmen des Forschungsprojekts „Nachhaltiger sommerlicher Wärmeschutz“ wurde der Deutsche Wetterdienst (DWD) im Dezember 2008 vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) mit der Aktualisierung und Erweiterung der bestehenden Testreferenzjahresdatensätze (TRJ) beauftragt. Die Durchführung der Arbeiten hierzu wurde in einem Werkvertrag vom DWD an die Fa. Climate & Environment Consulting GmbH, David –Gilly-Straße 1, 14469 Potsdam vergeben. Die Laufzeit des hierfür beim DWD aufgelegten Projekts „NEUE TRJ“ umfasste den Zeitraum Juni 2009 bis September 2010.

Testreferenzjahre für Zwecke der thermischen Gebäudesimulation werden vom DWD seit 1986 bereitgestellt. Die bisher verfügbaren im Jahr 2004 [Christoffer et al., 2004] erschienenen TRJ-Datensätze basieren im Wesentlichen auf der Klimanormalperiode 1961 bis 1990. Der Klimawandel, der sich in Deutschland vor allem durch einen deutlichen Temperaturanstieg seit Ende der 1980er Jahre manifestiert, legt nahe, die Datenbasis der TRJ zu aktualisieren. Darüber hinaus bestehen zunehmend Anforderungen an die TRJ-Datensätze auch die mögliche zukünftige Klimaentwicklung und lokale Besonderheiten, wie die Auswirkungen des Stadtklimas mit zu berücksichtigen.

Im Projekt wurde daher zunächst ein TRJ-Datensatz mit Vergleichsbasis aus dem Zeitraum 1988 bis 2007, der Periode mit der bisher ausgeprägtesten Temperaturzunahme seit Mitte des 19. Jahrhunderts, entwickelt. Des Weiteren erfolgte die Bewertung des zu erwartenden Klimawandels in den kommenden 40 Jahren unter Verwendung mehrerer regionaler Klimamodelle. Ein Programmmodul zur Abschätzung des Einflusses der städtischen Wärmeinsel sowie der Höhenabhängigkeit von Lufttemperatur und Wasserdampfgehalt rundet das Gesamtpaket der neuen Testreferenzjahre ab.

Das Projekt „Neue TRJ“ gliederte sich in 4 Arbeitspakete. Im Einzelnen handelte es sich dabei um:

1. Erstellung mittlerer Testreferenzjahre auf Basis stündlicher Mess- und Beobachtungsdaten aus dem Zeitraum 1988 bis 2007 mit Datenprüfung auf Kontinuität und Homogenität
2. Parametrisierung des städtischen Wärmeinseleffekts zur Anwendung auf die TRJ-Daten
3. Erstellung extremer TRJ unter Heranziehung eines sehr warmen Sommer- und eines sehr kalten Winterhalbjahres
4. Konstruktion zukünftiger mittlerer und extremer TRJ anhand regionaler Klimaprojektionen für den Zeitraum 2021 bis 2050

Für jedes Arbeitspaket wurde von der Fa. Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH ein Zwischenbericht erstellt. Für das erste Arbeitspaket existiert zusätzlich ein Zwischenbericht, der sich mit der Homogenitätsprüfung der verwendeten Mess- und Beobachtungsdaten befasst. Der vorliegende Projektbericht wurde aus den jeweiligen Zwischenberichten der Fa. Climate & Environment Consulting [SPEKAT et al.; 2009a], [SPEKAT et al. 2009b], [SPEKAT et al. 2009c], [SPEKAT et al. 2010a], [SPEKAT et al. 2010b] zusammengestellt.

1. Einleitung

Testreferenzjahre (TRJ), wegen der gelegentlich benutzten englischen Bezeichnung „test reference year“ auch unter der Abkürzung TRY bekannt, fassen auf statistische Weise den charakteristischen Witterungsverlauf eines Jahres zusammen. Sie dienen beispielsweise als Planungsgrundlage für klima-relevante Aktivitäten und Investitionen in einer Vielzahl von Bereichen. Im konkreten Fall dieses Vorhabens geht es um den Einflussfaktor Klima bezüglich des Energiehaushalts von Heizungs-, Klima- und Lüftungsanlagen.

Da das Klima räumlich unterschiedlich ausgeprägt ist, erfolgt die Erstellung von TRJ auch für mehrere Klimagebiete. Die Datenbasis für TRJ sind stündliche Mess- und Beobachtungsdaten an 15 Stationen, die jeweils für ein Klimagebiet repräsentativ sind. Aus diesen werden zusammenhängende reale Witterungsabschnitte ausgewählt und zu den Testreferenzreihen zusammengesetzt. Ein wichtiges Auswahlkriterium ist, dass charakteristische zeitliche Verläufe von Jahreszeit zu Jahreszeit möglichst gut in den Testreferenzreihen enthalten sind.

Für das Gebiet der alten Bundesländer wurden im Rahmen eines BMBF-Projektes [BLÜMEL et al. 1986] Testreferenzjahre erstellt. Eine erweiterte Neuentwicklung für ganz Deutschland erfolgte unter Federführung des Deutschen Wetterdienstes und wurde 2004 publiziert [CHRISTOFFER et al. 2004]. Im Jahr 2009 startete ein neues TRJ-Vorhaben, in dem es um folgende Aspekte geht:

1. Ausweitung des Zeitraums, aus dem die Witterungsabschnitte selektiert werden auf die Jahre bis 2007 – angestrebt wird, die Extreme der jüngsten Vergangenheit besser in die mittleren TRJ einzuarbeiten. Zur besseren Abschätzung von potenziellen Unsicherheitsquellen wurden die Stundendaten einer Prüfung unterzogen. Der hiermit vorgelegte erste Zwischenbericht befasst sich weitgehend mit der Datensituation.
2. Erweiterung um ein Wärmeinsel-Modul – die 15 Klimaregionen mögen zwar die regionale Bandbreite des Klimas gut widerspiegeln; für die Anwendung in städtischen Ballungsräumen sind jedoch detaillierte Betrachtungen des städtischen Wärmeinseleffekts notwendig.
3. Erweiterung der auf TRJ gestützten Planungsmöglichkeiten durch die Erzeugung extremer TRJ in Halbjahresauflösung.
4. Erstellung von „zukünftigen TRJ“, in die, anhand von Klimaprojektionen der Regionalmodelle, der Klimawandel in das System eingearbeitet wird. Der Projektionszeitraum ist dabei die Periode 2021–2050.

1.1 Regionen und Repräsentanzstationen

Es ist weder sinnvoll noch ökonomisch praktikabel, Testreferenzjahre für alle rund 100 Einzelstationen, an denen es Stundenwerte gibt, zu erstellen. Stattdessen erfolgt das Herunterbrechen (die Reduktion der Dimensionalität) auf eine

kleine Zahl von Regionen, die einerseits in sich möglichst gleichartig sind und die sich andererseits gut von allen anderen Regionen abheben. Die Gebietseinteilung erfolgte in [BLÜMEL et. al. 1986] mittels einer Clusteranalyse, die für die alten

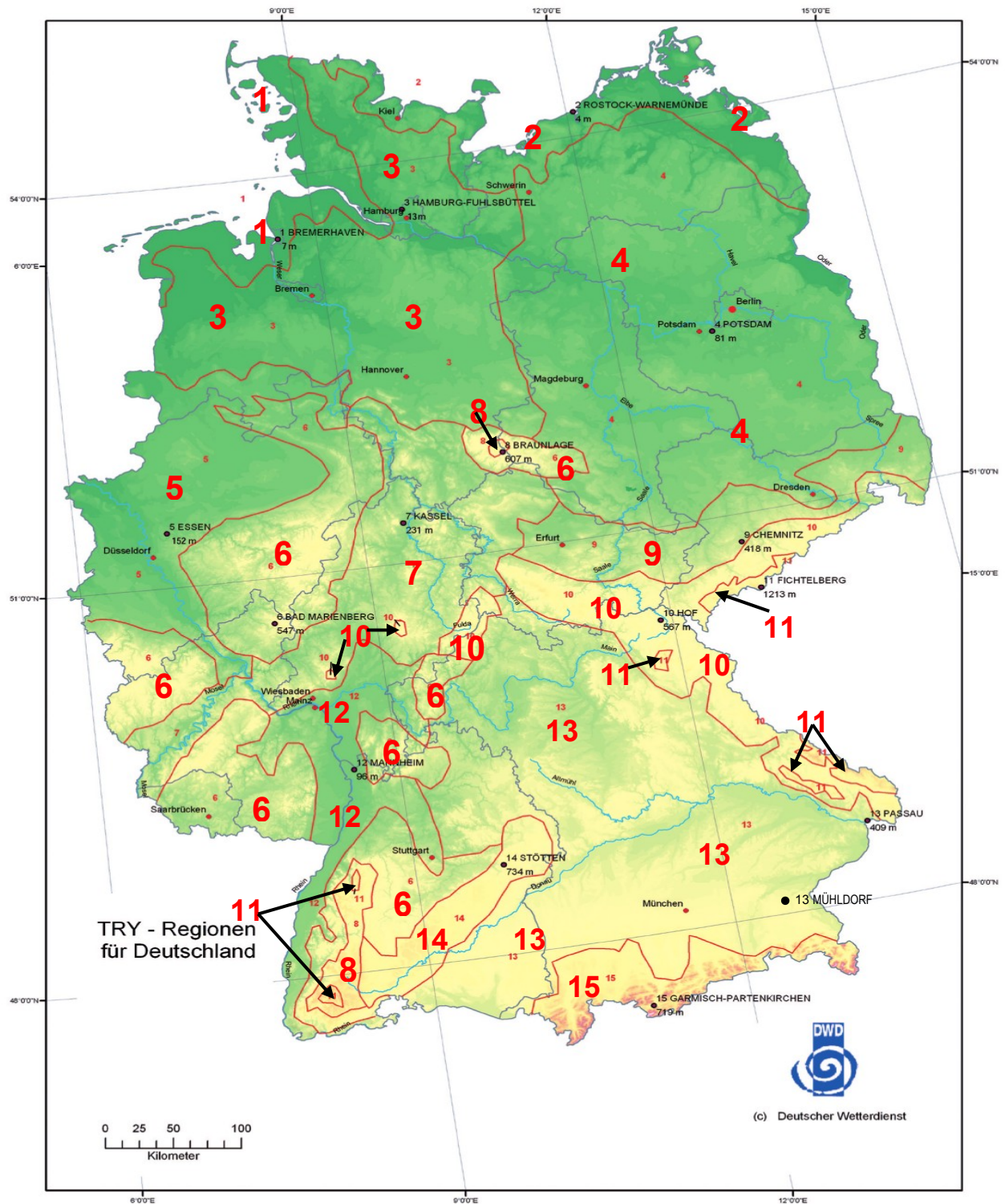


Abb. 1.1: Einteilung Deutschlands in 15 TRJ-Klimaregionen [aus Christoffer et al. 2004] (wegen Auflösung der Station Passau in 1997 neue Repräsentanzstation Mühldorf/Inn für die TRJ-Region 13)

Bundesländer 12 Regionen erbrachte und in CHRISTOFFER et al. [2004] mittels einer Abfolge von Faktoren- und Clusteranalysen ganz Deutschland in 15 Klimaregionen segmentierte, wie in Abb. 1.1 dargestellt. Um kompatibel mit [CHRISTOFFER et al. 2004] zu sein, wird die dort erarbeitete Gebietseinteilung beibehalten, auch wenn u.U. eine stärkere Differenzierung insbesondere der Region 13 (s. Tab. 1.1) dort ein Verbesserungspotenzial besitzt.

Man beachte: Jedwede Modellierung ist auch immer eine Vereinfachung. Dies ist aber kein Defizit, sondern eine Notwendigkeit, die sich aus der Optimierung der widerstrebenden Forderungen nach Detailtreue einerseits und statistischer Stabilität andererseits ergibt. Wer z.B. aus einer Datenmenge eine Häufigkeitsverteilung berechnet, tut dies möglicherweise primär um der Veranschaulichung Willen. Im Grunde wird dabei die Dimensionalität des Problems reduziert und es werden robuste Charakteristika herausgearbeitet, die eine erhöhte statistische Stabilität aufweisen.

Tab. 1.1: TRJ-Regionen und Repräsentanz- (R) sowie Umgebungsstationen (U).

Nr.	Name der Region	Station	WMO-Kennziffer	Höhe in m NN	Art
1	Nordseeküste	Bremerhaven	10129	7	R
		Helgoland	10015	4	U
		Cuxhaven	10131	5	U
2	Ostseeküste	Rostock-Warnemünde	10170	4	R
		Boltenhagen	10161	15	U
		Schwerin	10162	59	U
3	Nordwestdeutsches Tiefland	Hamburg-Fuhlsbüttel	10147	11	R
		Schleswig	10035	43	U
		Boizenburg	10249	45	U
4	Nordostdeutsches Tiefland	Potsdam	10379	81	R
		Berlin-Tempelhof	10384	48	U
		Leipzig-Schkeuditz	10469	131	U
5	Niederrheinisch-westfälische Bucht und Emsland	Essen-Bredeney	10410	150	R
		Düsseldorf	10400	37	U
		Köln-Wahn	10513	92	U
6	Nörtl. und westl. Mittelgebirge (Randgebiete)	Bad Marienberg	10526	547	R
		Kahler Asten	10427	839	U
		Deuselbach	10615	481	U
7	Nörtl. und westl. Mittelgebirge (zentrale Bereiche)	Kassel	10438	231	R
		Leinefelde	10449	356	U
		Bad Hersfeld	10542	273	U
8	Oberharz und Schwarzwald (mittlere Lagen)	Braunlage	10452	607	R
		Leinefelde	10449	356	U
		Wernigerode	10454	234	U
9	Thüringer Becken und sächsisches Hügelland	Chemnitz	10577	418	R
		Gera-Leumnitz	10567	311	U
		Plauen	10569	386	U
10	Südöstliche Mittelgebirge	Hof-Hohensaas	10685	565	R
		Plauen	10569	386	U
		Weiden/Oberpfalz	10688	440	U

11	Erzgebirge, Böhmer- und Schwarzwald o- berhalb 1000 m	Fichtelberg Plauen Chemnitz	10578 10569 10577	1213 386 418	R U U
12	Oberrheingraben und unteres Ne- ckartal	Mannheim Frankfurt/Main Karlsruhe	10729 10637 10727	98 112 112	R U U
13	Schwäbisch- fränkisches Stu- fen- und Alpen- vorland	Mühldorf/Inn Regensburg Augsburg-Mühlhausen	10875 10776 10852	405 365 461	R U U
14	Schwäbische Alb und Baar	Stötten Stuttgart-Echterdingen Ulm	10836 10738 10838	734 371 567	R U U
15	Alpenrand und -täler	Garmisch-Partenkirchen Kempten Oberstdorf	10963 10946 10948	719 705 806	R U U

Anmerkungen zur Tabelle 1.1:

1. Die Nomenklatur der Regionen wurde aus [CHRISTOFFER et. al. 2004] fortgeschrieben. Die räumliche Verteilung ist auch auf der Karte in Abb. 1.1 dargestellt.
2. Umgebungsstationen wurden so ausgewählt, dass sie sich im Umkreis von 100 km um die Repräsentanzstation befinden.
3. Region 6 umfasst sieben nicht zusammenhängende Teilregionen: Harz (ohne Hochlagen), Sauerland/Bergisches Land/Teutoburger Wald, Eifel, Hunsrück, Spessart, Odenwald sowie Tieflagen des Schwarzwalds und nördliches Vorland der Schwäbischen Alb.
4. Region 7 beinhaltet als Einlagerungen die Gipfellagen von Taunus und Vogelsberg (Teile der Region 10).
5. Region 8 umfasst zwei nicht zusammenhängende Teilregionen: Gipfellagen des Harzes sowie Mittellagen des Schwarzwalds.
6. Region 9 enthält als Repräsentanzstation Chemnitz, die gleichzeitig Umgebungsstation für die Region 11 ist. Zudem ist die Umgebungsstation Plauen auch Umgebungsstation in den Regionen 10 und 11.
7. Region 10 umfasst vier nicht zusammenhängende Teilregionen: Erzgebirgsvorland/Thüringer Wald/Fichtelgebirge/Oberpfälzer Wald /Böhmerwald/tiefe Lagen des Bayerischen Waldes, Rhön, Gipfellagen von Taunus und Vogelsberg.
8. Region 11 umfasst sechs nicht zusammenhängende Teilregionen in den folgenden Hochlagen: Erzgebirge, OberpfälzerWald, Böhmerwald, Bayerischer Wald, Nordschwarzwald, Hochschwarzwald.
9. Region 13 umfasst ausgedehnte Mittelgebirgs- und Tallagen in Bayern,

Südhessen, dem nordöstlichen sowie dem südöstlichen Baden-Württemberg.

Die Repräsentanzstation Passau in [CHRISTOFFER et al. 2004] befindet sich in einer extremen Randlage zur gesamten Region. Sie ist die einzige, die für diese Novelle der TRJ geändert wird, da die Station zudem durch Verlegung für den Zeitraum bis 2007 nicht mehr verwendbar ist. Ersatz-Repräsentanzstation für Region 13 ist Mühldorf am Inn (s. entsprechenden Eintrag in der Tabelle). Die Stationsdichte ist in weitem Teile dieser Region gering. Daher musste das Kriterium für die Umgebungsstationen hier weiter gefasst werden: Die Station Augsburg wurde als Umgebungsstation für Mühldorf ausgewählt, wiewohl sie mehr als 100 km entfernt liegt.

1.2 Anmerkungen zum Verfahren

Die Herangehensweise zur Erstellung von TRJ folgt einer ähnlichen Strategie, wie sie auch bei der Synthetisierung von Zeitreihen für die statistische Regionalisierung zum Einsatz kommt: Der stochastische Wettergenerator [ENKE et al. 2005]. Dazu werden Zeitreihen gemessener Daten segmentiert und diese Segmente zu neuen Reihen rekombiniert. Die Entscheidung, ob ein Kandidat-Segment tatsächlich als Baustein in der rekombinierten Reihe zum Einsatz kommt hängt von Steuerkriterien ab. Diese können je nach Zielstellung recht unterschiedlich sein.

Es gibt im Vergleich von WETTREG, das z.B. für die vom Umweltbundesamt (U-BA) in Auftrag gegebene Deutschland-Studie [SPEKAT et al. 2007] verwendet wird, und TRJ einige Besonderheiten:

- WETTREG: Die Selektion der Kandidat-Segmente zum Aufbau der Reihen ist zufällig; Ein Segment wird verworfen wenn damit keine bessere Anpassung an die Vorgabe erzielbar ist;
TRJ: Die Selektion erfolgt nach Optimierungskriterien und unter strenger Bewahrung der Zuordnung eines Tages im Jahr, d.h. eine Episode, die an Tag n beginnt kann auch nur ab Tag n in die synthetische Reihe eingebaut werden.
- WETTREG: Segmente können mehrfach in der Zeitreihe verwendet werden.
TRJ: Ein Zeitreihensegment wird nur ein einziges Mal verwendet.
- WETTREG: Die Segmente werden so gewählt, dass die Häufigkeitsverteilung von Zirkulationsmustern in den neu generierten Reihen bestmöglich approximiert wird.
TRJ: Die bestmögliche Reproduktion von Faktoren wie dem mittleren Jahresgangs bestimmt, ob ein Kandidaten-Segment verwendet wird oder nicht.

Basierend auf den obigen Aussagen müssen die für das TRJ verwendeten Datensätze mit hoher Priorität homogen sein, da innerhalb der Segmente, auch auf Stundenbasis keine Sprünge auftreten sollen.

2. Daten und Qualitätskontrolle

2.1 Datenquellen

Im Zuge der TRJ-Erstellung werden Zeitreihen in stündlicher Auflösung zur Verfügung gestellt. Für diese Datenart wurden zwei Datenquellen betrachtet:

- **Beo:** Auszug aus der MIRAKEL-Datenbank – rund 100 Stationen wurden mit Hilfe des Kriteriums Messnetz id=8 selektiert und aus diesen die Umgebungsstationen für die 15 Repräsentanzstationen der TRJ-Klimagebiete ausgewählt (vgl. Tab. 1.1).
- **LW:** Daten aus der so genannten Landwirtschaftsdatenbank des DWD – das Datenprüfungs- und Vervollständigungsverfahren wird in [JANSEN und SEDLATSCHKE 2001] beschrieben, wobei die Plausibilitätskontrollen auf der Studie von VOGELGESANG [1993] beruhen.

Die rund 40 benötigten Stationen (15 Repräsentanzstationen mit je 2 Umgebungsstationen, davon einige in mehreren Klimaregionen) sind in beiden Datenquellen vorhanden, so dass die Möglichkeit zu Vergleichen besteht.

2.2 Ergebnisse der Datenprüfung

Es gibt eine Vielzahl von Homogenitätstests, die aber zur Untersuchung von Jahres-, Monats- oder Tageswerten erstellt wurden. Seit 2008 und bis 2011 läuft eine COST-Aktion, HOME (ES0601, Advances in Homogenisation Methods of Climate Series2). Eine wichtige aktuelle Publikation stammt von RUST et al. [2005]. Die Homogenisierung von Daten mit zeitlicher Auflösung unter einem Tag wurde wegen ihrer Komplexität praktisch noch nirgends systematisch durchgeführt und ist im Rahmen dieser Aktion nicht vorgesehen (O. Mestre, Vorsitzender der COST-Aktion, pers. Mitteilung).

2.2.1 Kriterien zur Qualitätskontrolle

Im Rahmen der Entwicklung einer Qualitätsprüfung von Luftgütedaten wurde durch die Mitarbeiter von CEC in den Jahren 2000 bis 2005 ein System zur Prüfung von Stundendatensätzen entwickelt [KREIENKAMP und ENKE 2005]. Dieses System wäre auch für den vorhandenen Datensatz einsetzbar. Da die Anpassung extrem aufwendig ist, wäre ein Einsatz nur nach abschließender Festlegung auf einen bestimmten Datensatz sinnvoll.

Um einen Überblick bezüglich der Datenlage und -qualität für das TRJ-Vorhaben zu bekommen, wurden mehrere Tests durchgeführt, die in den folgenden Abschnitten kurz beschrieben sind:

- Vollständigkeit der Daten. Die Nutzbarkeit eines Datensatzes nimmt mit dessen Lückenhaftigkeit ab – gegebenenfalls müssen fehlende Informationen nach Kriterien rekonstruiert und eingefügt werden, die entweder aus dem Datensatz an der betreffenden Station oder aus Zeitreihen in der Umgebung zu extrahieren sind.

- Plausibilität von Einzelwerten.
- Suche nach Inhomogenitäten mit dem Alexandersson-Test.
- Vergleich von Stationsdaten aus der MIRAKEL-Datenbank und der Landwirtschaftsdatenbank.

2.2.2 Prüfung der Vollständigkeit

Mit Blick auf die beispielhaften Abbildungen 2.1 bis 2.4 wird ersichtlich, dass die Beobachtungsdaten Lücken aufweisen. Diese Lücken treten sowohl über kurze Zeiträume, z.B. bei den Stationen Essen-Bredeney oder Hof-Hohensaas, aber auch über längere Episoden, z.B. bei Braunlage oder Mühldorf auf – nicht notwendigerweise bei allen Wetterelementen gemeinsam.

Lücken in den Landwirtschaftsdaten (jeweils rechte Abbildungen) sollten systembedingt nicht auftreten. Einzelnen Lücken z.B. beim „ww“ (Schlüsselziffer für den aktuellen Wetterverlauf) sind trotzdem vorhanden. Sie stellen aber die Ausnahme dar. Weitere Hinweise auf Lücken geben die Abb. 2.1 bis 2.4; dort ist beispielsweise erkennbar, ob in den Beobachtungsdaten bestimmte Termine fehlen und daher ggfs. für einzelne Wetterelemente und/oder Teile des Zeitraums 1981–2007 die Stündlichkeit nicht gewahrt ist.

Eingehende Betrachtungen des Datenbestands zu Anfang dieses Vorhabens ergaben zudem, dass in den Jahren bis zu den 1980ern die Daten bei vielen Stationen entweder gar nicht in der Datenbank vorhanden sind oder das Kriterium der Stündlichkeit nicht erfüllt ist. Daher wurde der Pool der nutzbaren Episoden auf Zeitraum 1981–2007 (27 Jahre) festgesetzt.

2.2.3 Prüfung auf Fehler bei Einzelwerten

Der Beobachtungsdatensatz kann aus vielen Gründen fehlerhafte Einzelwerte haben. Das beginnt mit klar erkennbaren Fehlern bei denen die Werte außerhalb bestimmter elementspezifischer Grenzwerte liegen. Andere als diese Fehler sind meist schwer auffindbar. Im Landwirtschaftsdatensatz sind sehr viele Fehler durch eine sehr umfangreiche Prüfung gefunden und ersetzt worden – die Testverfahren sind in [JANSEN und SEDLATSCHKE 2001] dokumentiert.

Auf eine weitere Prüfung der Einzelwerte im Rahmen dieses Vorhabens wurde verzichtet. Ausnahme: Es wurde ein Fehler in beiden Datensätzen (Beo und LW) identifiziert. Die Windgeschwindigkeit an der Station Garmisch-Partenkirchen (10963) erscheint deutlich zu niedrig.

2.2.4 Suche nach Inhomogenitäten

Die Suche nach Inhomogenitäten erfolgte auf der Basis des Alexandersson-Tests [ALEXANDERSSON 1986]. Hierfür wurden die in Tab. 1.1 genannten Umgebungsstationen herangezogen. Es wurde jeweils die Differenz der Jahresmittelwerte zwischen der Repräsentanzstation und beiden Umgebungsstationen berechnet und

als XY-Plot entsprechend der Beispiele in Abb. 2.1 bis 2.4 dargestellt. Der Test erfolgte sowohl für die Beobachtungsdaten als auch für die Landwirtschaftsdaten. Eine Inhomogenität wurde nicht gefunden.

2.2.5 Vergleich der Datensätze

Die Grundidee ist schlicht. Ihr zu Folge sollen die Beobachtungsdaten Basis für alle weiteren Nutzungen der Daten sein. Wenn dort eine Lücke vorhanden ist, soll diese mit den Daten der Landwirtschaftsdatenbank gefüllt werden. So wurde auch bei der Erstellung der TRJ-Daten in [CHRISTOFFER et al. 2004] vorgegangen. Um zu prüfen ob auch bei diesem TRJ-Vorhaben so vorgegangen werden sollte, wurde ein direkter Vergleich zwischen beiden Datensätzen durchgeführt.

Für jeden Zeitpunkt, zu dem bei beiden Datensätzen ein Messwert vorhanden ist, wurde die Differenz beider Werte berechnet (LW minus Beo). „LW“ steht für die Landwirtschaftsdatenbank, „Beo“ für die Mess- und Beobachtungsdaten. Die Abbildungen 2.1 bis 2.4 zeigen beispielhaft einige Ergebnisse. Idealerweise müsste immer der Wert Null auftreten (in den Abbildungen mit der Farbe gelb gekennzeichnet). Es ist erkennbar, dass dieses nicht immer auftritt. In Abb. 2.1 und 2.2 (BREMERHAVEN (WEWA) Element: Bedeckungsgrad und Lufttemperatur) sind nur vereinzelt andere Farbwerte sichtbar.

Schon in Abb. 2.3 (BREMERHAVEN (WEWA). Element: Windrichtung) sind systematische Unterschiede sichtbar. Es betrifft hier die Jahre 1981 bis 1990 und jeweils die Messzeitpunkte 7, 14 und 21 Uhr. Ein anderes Beispiel ist Abb. 2.4 von POTSDAM (OBS). Element: Lufttemperatur. Bei dieser Station sind für die Jahre 1981 bis 1992 deutliche Differenzmuster sichtbar.

Dabei ist interessant, dass dieses Muster keinen Einfluss auf den Tagesmittelwert hat. Hier gibt es keine Unterschiede zwischen beiden Datensätzen. Die Auflistung der Auffälligkeiten könnte an dieser Stelle sehr umfänglich weitergeführt werden. Auch die Palette der möglichen Ursachen ist umfänglich. Wesentlich ist nur eine Feststellung: Die Datensätze unterscheiden sich deutlich. Die Nutzung eines Datensatzes zum Lücken füllen des anderen für den gesamten Zeitraum ist daher nicht empfehlenswert.

Eine Alternative ist möglich. Die deutlichen Unterschiede treten in der Hauptsache nur bis zum Jahr 1993 auf und beziehen sich im Wesentlichen nur auf die zeitliche Auflösung Stundendaten. Wird für die Rahmenbedingungen (1988 bis 2007) der TRJ auf die Tageswerte zurückgegriffen und wird als Basis für die Segmente der Zeitraum 1993 bis 2007 gewählt, so ist eine Nutzung der Beobachtungsdaten auch möglich. Das hat natürlich Folgen im Bereich der Qualität der Anpassung der zu schaffenden TRJ-Reihe an die entsprechenden Vorgaben.

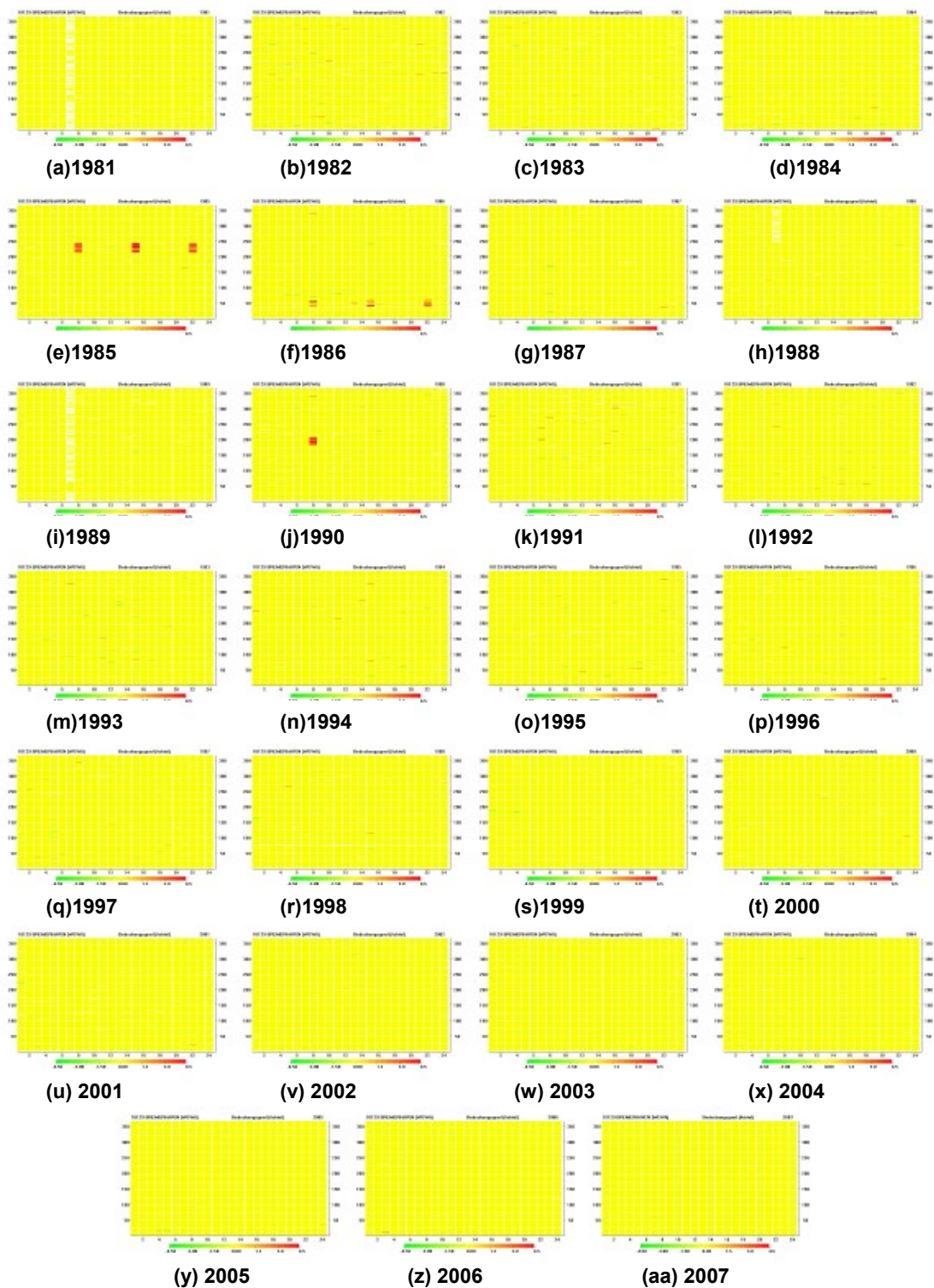


Abb. 2.1: Differenzendarstellung (Diff) der Beobachtungsdaten (Beo) und der Daten aus der Landwirtschaftsdatenbank (LW) für die Station 10129 BREMERHAVEN. Element: Lufttemperatur (°C). Diff = Beo – LW (grün: negative, rot: positive Differenzen, gelb: Übereinstimmung mit Diff = 0) [aus SPEKAT et al. 2009a]

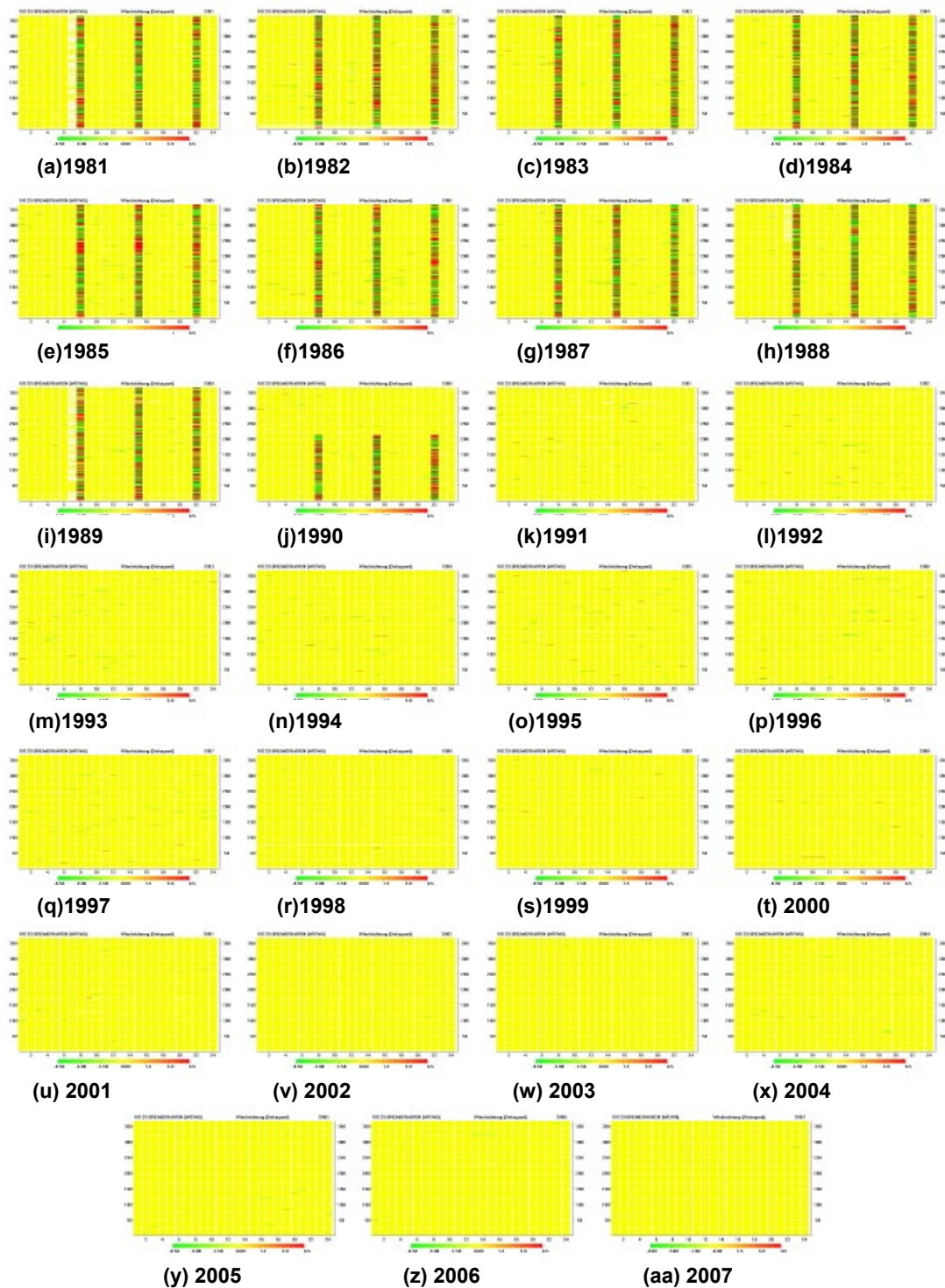


Abb. 2.2: Differenzendarstellung (Diff) der Beobachtungsdaten (Beo) und der Daten aus der Landwirtschaftsdatenbank (LW) für die Station 10129 BREMERHAVEN. Element: Wolkenbedeckungsgrad (Achtel). Diff = Beo – LW (grün: negative, rot: positive Differenzen, gelb: Übereinstimmung mit Diff = 0) [aus SPEKAT et al. 2009a]

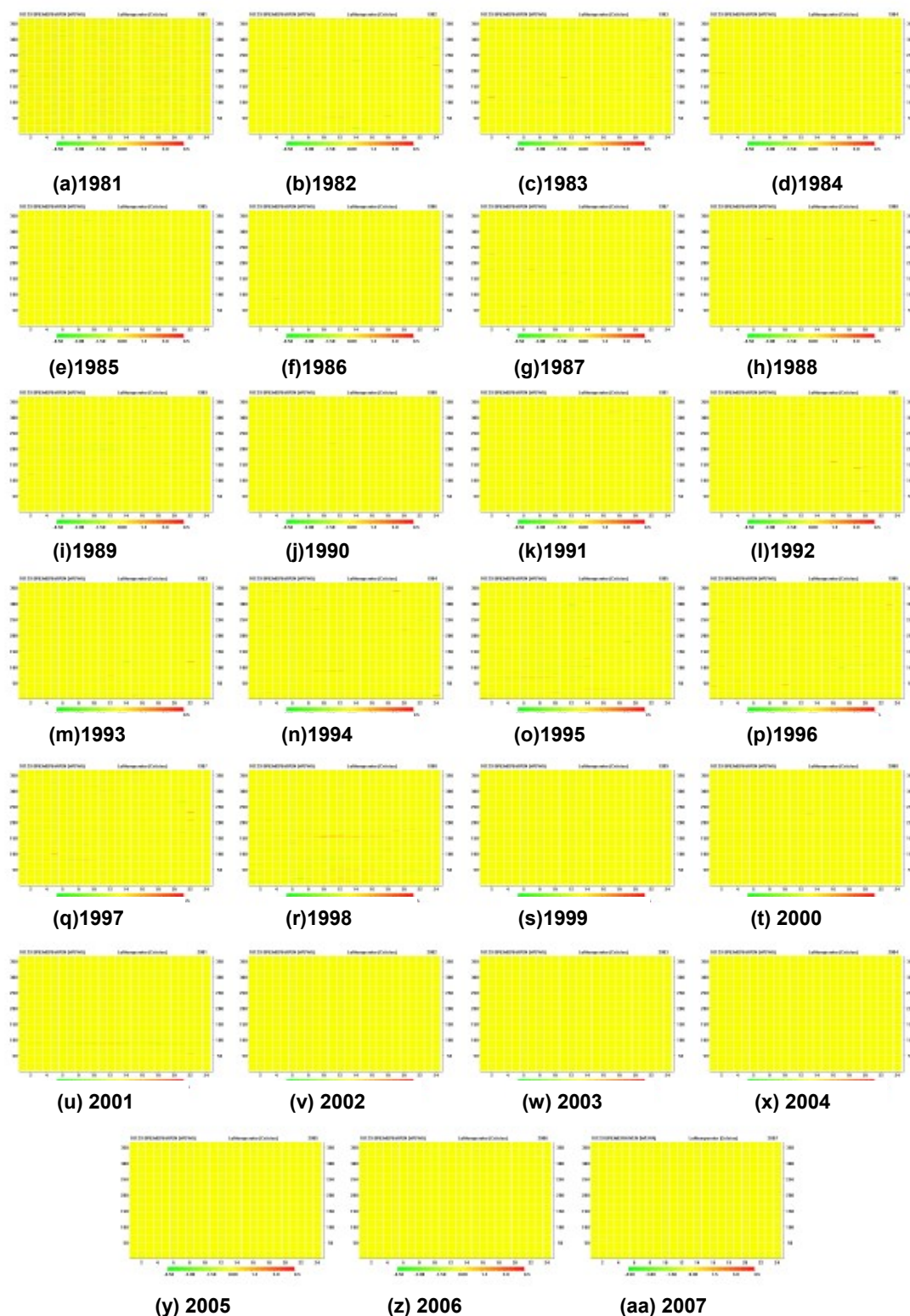


Abb. 2.3: Differenzendarstellung (Diff) der Beobachtungsdaten (Beo) und der Daten aus der Landwirtschaftsdatenbank (LW) für die Station 10129 BREMERHAVEN. Element: Windrichtung (Dekagrad). Diff = Beo – LW (grün: negative, rot: positive Differenzen, gelb: Übereinstimmung mit Diff = 0) [aus SPEKAT et al. 2009a]

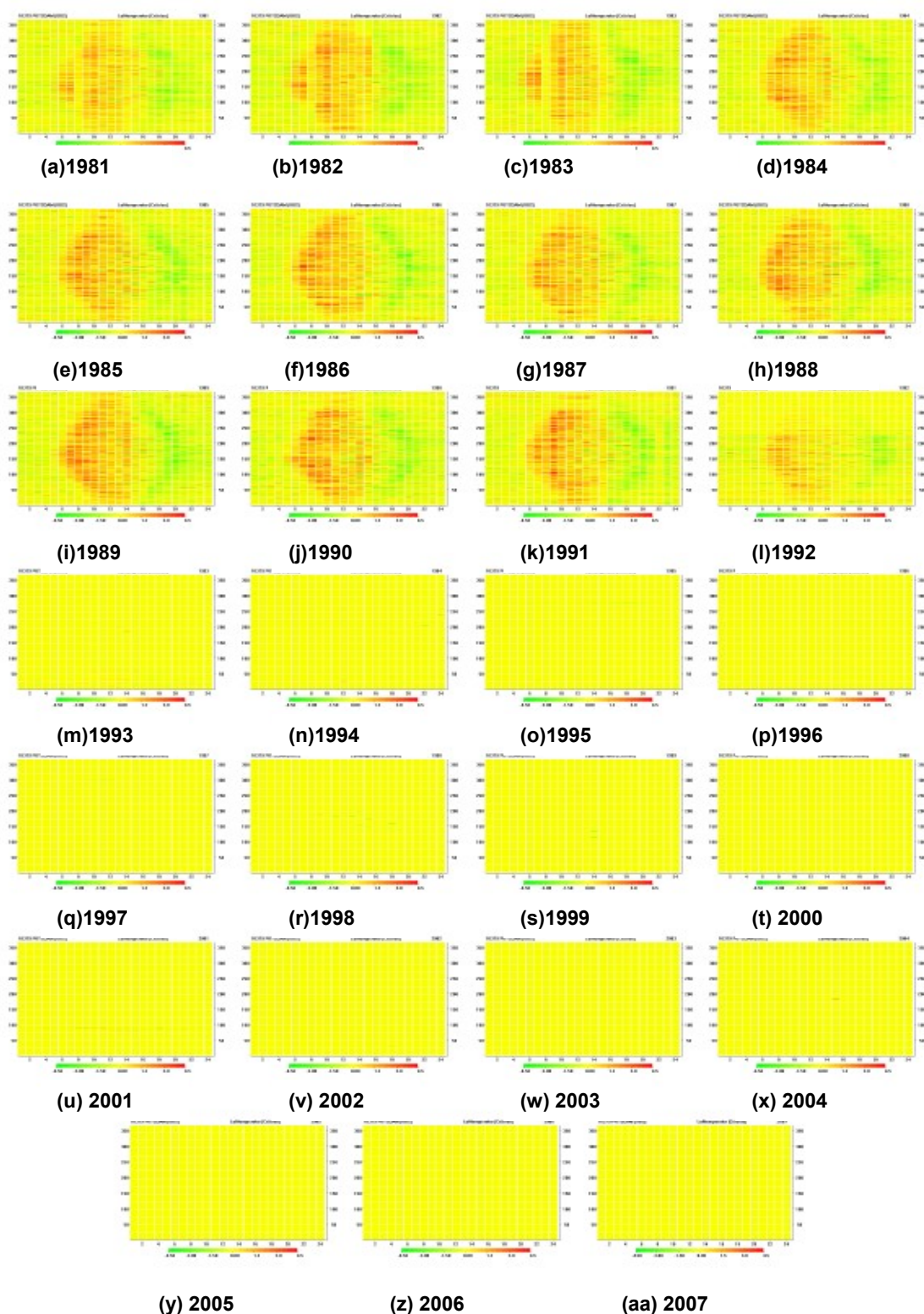


Abb. 2.4: Differenzendarstellung (Diff) der Beobachtungsdaten (Beo) und der Daten aus der Landwirtschaftsdatenbank (LW) für die Station 10379 POTSDAM (OBS). Element: Lufttemperatur (Celsius). Diff = Beo – LW (grün: negative, rot: positive Differenzen, gelb: Übereinstimmung mit Diff = 0) [aus SPEKAT et al. 2009a]

3. Beschreibung des Verfahrens

3.1 Kernidee und Strategie

Die zentrale Idee beim TRJ ist, ein möglichst typisches Jahr für das Klima eines Zeitabschnitts zu synthetisieren. Damit die innere Konsistenz zwischen den meteorologischen Elementen erhalten bleibt, erfolgt dies durch Kombination von bereits aufgetretenen Witterungsabschnitten. Es gilt folglich, ein Regelwerk zu entwerfen, das bei seiner Anwendung dazu führt, Abschnitte aus verschiedenen Jahren zu einem möglichst repräsentativen Gesamtjahr zusammenzusetzen. Das Regelwerk beinhaltet sowohl Kriterien für die Auswahl der verwendeten Segmente als auch für die Übergänge zwischen den ausgewählten Segmenten. Die Synthese von Zeitreihen ist in Abschnitt 1.2 näher beschrieben.

3.2 Relevanz der Datenquellen

Wie im ersten Zwischenbericht für das TRJ-Projekt [SPEKAT et al. 2009a] erwähnt, gibt es zwei Datenquellen für den Aufbau der TRJ: Die Zeitreihen aus der DWD-Landwirtschaftsdatenbank und die Stundenwerte aus der MIRAKEL-Datenbank. Letztere sind mit Datenlücken behaftet; erst in den frühen 90er Jahren tritt dort eine Verbesserung der Datensituation ein. Es wurde mit dem Auftraggeber vereinbart, die Werte der MIRAKEL-Datenbank des DWD als Grundlage der TRJ zu verwenden und die Datenlücken aus der Landwirtschaftsdatenbank auszufüllen.

Dazu werden die Jahre 1993–2007 (nicht, wie ursprünglich geplant, 1981–2007) als Quelle für die TRJ-Segmente verwendet. Zwei Elemente (Stationsdruck und Mischungsverhältnis) wurden auf der Basis der vorhandenen Daten, wenn notwendig, berechnet:

```
real ,parameter :: g0=9.80665,R=287.05,R_W=461.6
! Stationsdruck auffüllen wenn Druck NN vorhanden
! p0 Druck reduziert auf NN
! ph Druck auf Stationsniveau
! Tk Temperatur in Kelvin
! DD Dampfdruck
! H Höhe in m "ü NN"
ph=p0/exp( (g0)/(R*((Tk)+0.12*DD+0.0065*H/2.0))*H)
! Füllen der Lücke Mischungsverhaeltnis
! vmix Mischungsverhältnis
! ph Druck auf Stationsniveau
! Tk Temperatur in Kelvin
! DD Dampfdruck
rhow=DD*100/(R_W*tk)
rho=ph*100/(R*tk)
vmix=rhow/rho*1000
! vmix Mischungsverhaeltnis
```

Das Datenprüfungs- und Vervollständigungsverfahren für die Landwirtschaftsdatenbank wird in JANSEN und SEDLATSCHKE [2001] beschrieben, wobei die Plausibilitätskontrollen auf der Studie von VOGELGESANG [1993] beruhen.

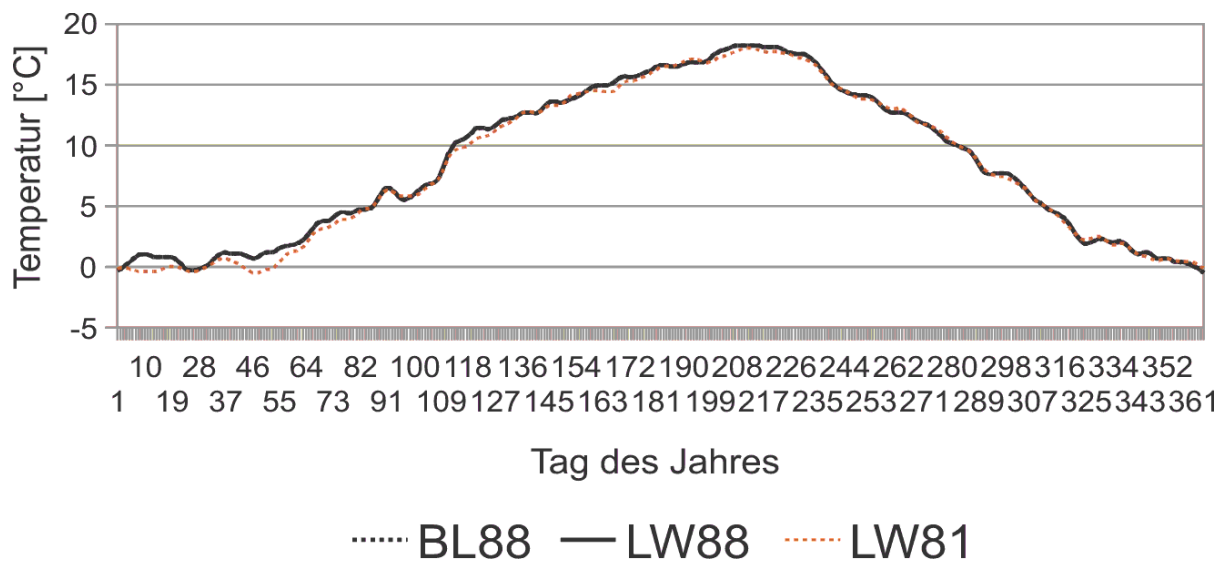


Abb. 3.1: Jahresgang der Tagesmitteltemperatur auf der Basis unterschiedlicher Berechnungsperioden und Datenquellen: BL88: Datenquelle Beobachtungen mit Lückenfüllung aus der Landwirtschaftsdatenbank, Jahre 1988–2007. LW88: Datenquelle Landwirtschaftsdatenbank, Jahre 1988–2007. LW81: Dito, jedoch aus den Jahren 1981–2007. [aus SPEKAT et 2009b]

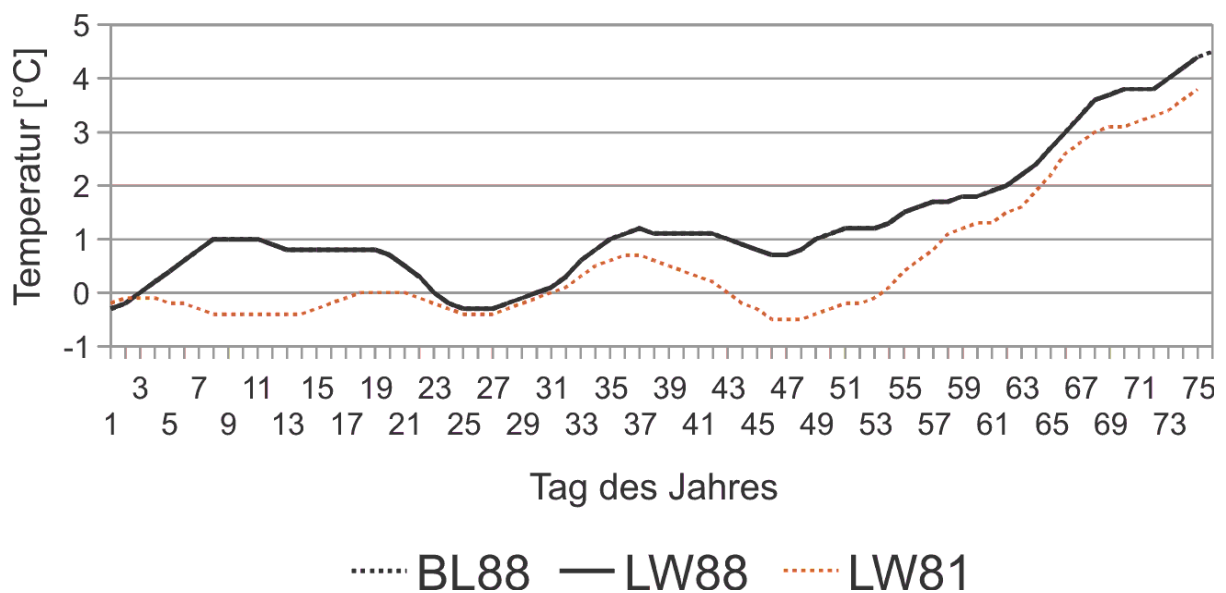


Abb. 3.2: Wie Abb. 3.1, jedoch für den Ausschnitt der ersten 75 Tage. [aus SPEKAT et al. 2009b] BL88: Datenquelle Beobachtungen mit Lückenfüllung aus der Landwirtschaftsdatenbank, Jahre 1988–2007. LW88: Datenquelle Landwirtschaftsdatenbank, Jahre 1988–2007. LW81: Dito, jedoch aus den Jahren 1981–2007

Wie macht sich diese etwas schmalere Datenbasis bemerkbar? Zunächst wird in Abb. 3.1 gezeigt, wie sich der Jahresgang des Gebietsmittels der Temperatur berechnet aus den Tagesmitteln der 15 Repräsentanzstationen, darstellt, wenn die Datenbasis aus den Jahren 1988–2007 (schwarze Linie) bzw. 1981–2007 (rote gepunktete Linie) besteht. Das dargestellte und für die Erstellung des TRJ verwendete Mittel entstammt nicht direkt den einzelnen Julian-Day-Tageswerten,

also der 1.1., 2.1., ... Vielmehr wurden diese Tiefpass-gefiltert. Die aus dem Zeitraum 1981–2007 ermittelte Kurve weist dabei eine geringere Welligkeit auf.

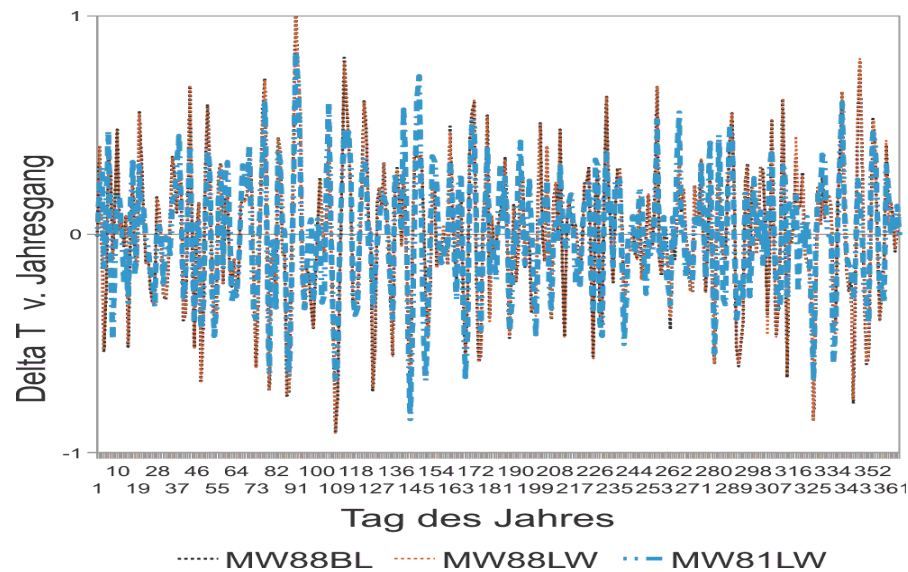


Abb. 3.3: Mittlere Abweichung des Gebietsmittels der Lufttemperatur vom Jahresgang (DELTA T), berechnet für jeden Kalendertag aus unterschiedlichen Datenbasen. MW81LW: Landwirtschaftsdatenbank 1981–2007; MW88LW: dito 1988–2007; MW88BL: MIRAKEL Klimadaten, Lückenfüllung aus der Landwirtschaftsdatenbank 1988–2007. [aus SPEKAT et al. 2009b]

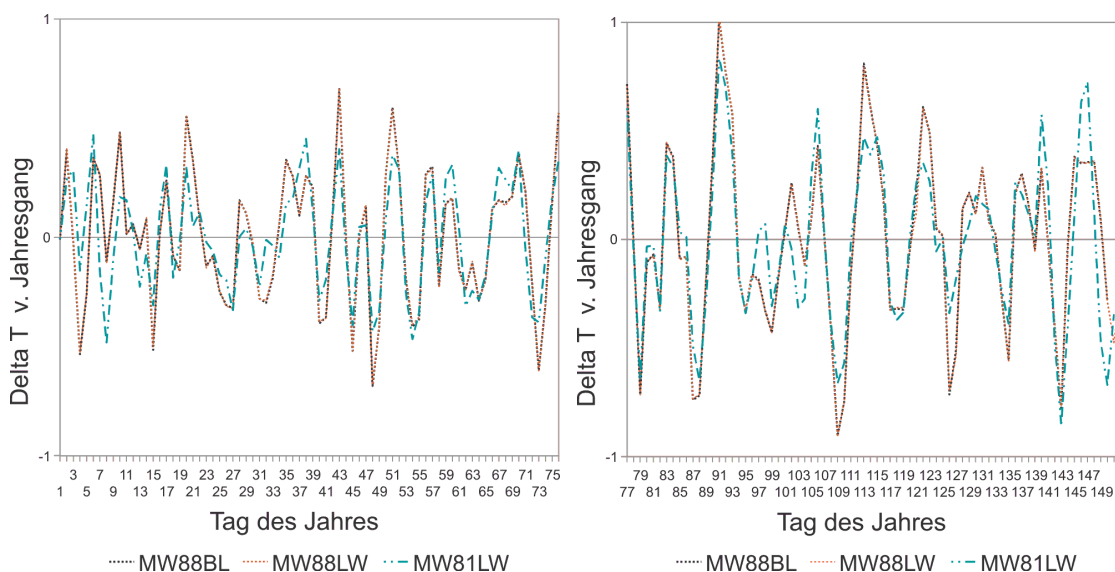


Abb. 3.4: Wie Abb. 3.3, jedoch als Ausschnittsvergrößerung für die ersten (links) und zweiten (rechts) 75 Tage Jahres. [aus SPEKAT et al. 2009b]

Die Abweichungen der Kurven voneinander sind insgesamt gering und werden nur am Jahresanfang etwas deutlicher, was der Zoom auf diesen Zeitabschnitt in Abb. 3.2 verdeutlicht. Dort liegen Unterschiede bis zu rund 1 K vor. Es fällt zudem auf, dass die 1981–2007 Kurve, sofern Abweichungen auftreten, häufig leicht unterhalb der 1988–2007 Kurve liegt.

In der Tat weichen die Jahresmittel auf der Basis der unterschiedlichen Berechnungsperioden um rund 0,2 K voneinander ab. Verbreitet werden Normalwerte

(clino) auf Basis 30-jähriger Mittel erstellt – im vorliegenden Fall wird dennoch mit einem kürzeren Zeitraum gearbeitet, da der beginnende Klimawandel Einfluss auf die Stationarität der Zeitreihen nimmt.

Bei den Tagesmitteln der Temperatur ist es für den Jahresgang praktisch ohne Relevanz, ob der Landwirtschaftsdatensatz oder der Beobachtungsdatensatz mit Ergänzungen aus der Landwirtschaftsdatenbank verwendet wird, denn die durchgezogenen und die gepunkteten schwarzen Linien in Abb. 3.1 und 3.2 sind im Rahmen des Darstellungsmaßstabs deckungsgleich. Für den Bestimmungsalgorithmus der TRJ kommen die Abweichungen der Leitgröße Temperatur vom Jahresgang zum Einsatz.

Daher wurde untersucht, inwiefern der Tiefpass-gefilterte Jahresgang und die nicht Tiefpass-gefilterte Reihe Unterschiede besitzt, wenn sie über verschiedene Bezugsperioden berechnet wird. In Abb. 3.3 und 3.4 ist der zeitliche Verlauf der mittleren Abweichung vom Jahresgang dargestellt, wie er sich aus unterschiedlichen Basis-Zeiträumen ergibt. Dafür wurde für jeden Kalendertag des Jahres im ersten Fall das Mittel über diese 27 Jahre berechnet und dann für eben diesen Zeitraum die Abweichungen vom (Tiefpass-gefilterten) Jahresgang 1981–2007 bestimmt. Das gleiche Vorgehen ergab die Bezüge zu einem Jahresgang aus 20 (1988–2007) Jahren. Zudem werden in den Abb. 3.3 und 3.4 auch mögliche Unterschiede zwischen den beiden Datenquellen gezeigt.

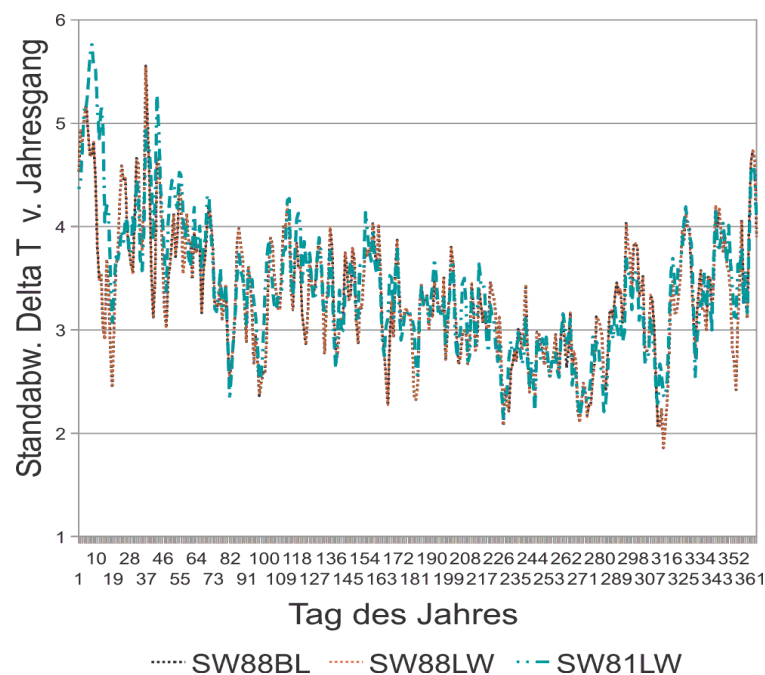


Abb. 3.5: Standardabweichung der mittleren Abweichung vom Jahresgang, berechnet für jeden Kalendertag aus unterschiedlichen Datenbasen. SW81LW: Landwirtschaftsdatenbank 1981–2007; SW88LW: dito 1988–2007; SW88BL: MIRAKEL Klimadaten, Lückenfüllung aus der Landwirtschaftsdatenbank 1988–2007. [aus SPEKAT et al. 2009b]

Wie nicht anders zu erwarten, bedeutet die Verwendung einer breiteren Datenbasis von 27 Jahren, dass die mittleren Abweichungen etwas geringer sind als bei einer 20-jährigen Basis. Der Effekt ist in den Abb. 3.3 und 3.4 sichtbar, jedoch

von einer Größenordnung von rund 0,1 K. Auch Umkehrungen des Verhaltens (Abweichungen 1988–2007 geringer als bei 1981–2007) kommen an einigen Stellen vor. Die Unterschiede zwischen den Datenarten BL und LW sind kaum nachweisbar.

Die Glättung des zeitlichen Verlaufs der in Abb. 3.3 dargestellten Werte zeigt sich auch in den von Tag zu Tag möglichen Sprüngen in der Reihe, wie sie in dieser Abbildung dargestellt ist. Während sich bei der Verwendung des Zeitraums 1988–2007 diese Sprünge im Intervall $[+0,77; -0,93]$ K bewegen, reduzieren sie sich auf $[+0,72; -0,72]$ K für 1981–2007. Anmerkung: Auch bei dieser Betrachtungsweise sind die Unterschiede zwischen den Datentypen BL und LW marginal.

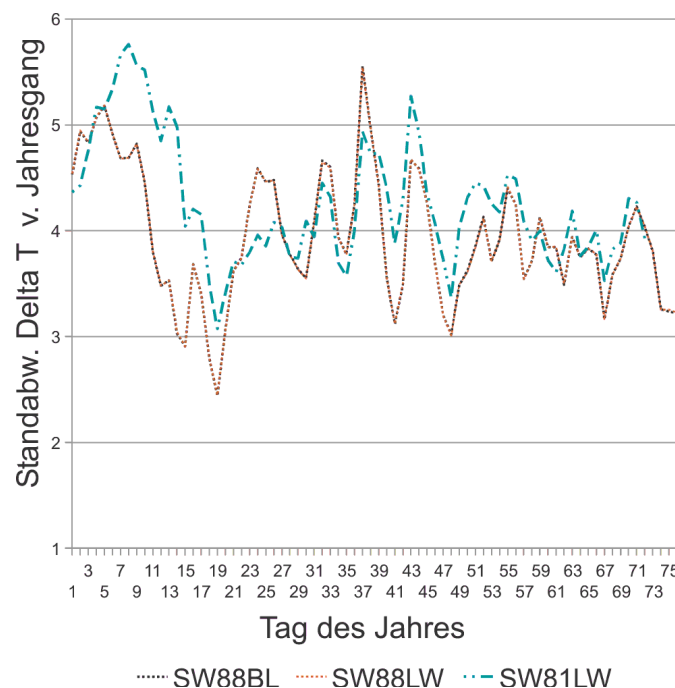


Abb. 3.6: Wie Abb. 3.5, jedoch als Ausschnittsvergrößerung für die ersten 75 Tage des Jahres. [aus SPEKAT et al. 2009b]

Zusätzlich wurden die Standardabweichungen für die jeweiligen Kalendertage ausgerechnet, also die Standardabweichung aller 1.1. (27 im Fall des Berechnungsintervalls 1981–2007, 20 für die Jahre 1988–2007), 2.1. etc. Abb. 3.5 und – fokussiert auf die ersten 75 Tage des Jahres – Abb. 3.6 stellen den zeitlichen Verlauf dar.

Besonders auffällige systematische Unterschiede zwischen den Datenquellen und den Mittlungszeiträumen sind nicht zu verzeichnen. Es wird aber deutlich, dass die Schwankungsbreite der einzelnen Kalendertage, die auch als interne Variabilität bezeichnet werden könnte, im Winter am größten ist und zudem über ein kurzperiodisches Auf und Ab verfügt.

3.3 Erstellung von Testreferenzjahren (TRJ)

Nach diesem Exkurs zur Datenbasis soll auf die Erstellung der TRJ-Versionen eingegangen werden. Wegen der geringer werdenden Zahl der Datenlücken in den stündlichen Stationsreihen werden Segmente aus den Jahren 1993–2007 benutzt. Berechnungsgrundlage ist das Gebietsmittel (aus den 15 Repräsentanzstationen bestimmt) der Temperaturtagesmittel (aus den 24 Stundenwerten bestimmt), d.h. das vom Jahresgang befreite Mittel aller Repräsentanzstationen.

Eine Hauptforderung an das TRJ ist, dass die Segmente „tagesscharf“ zur Referenzreihe komponiert werden. Das heißt, ein 7. Mai möge auch in der Referenzreihe nur dort verwendet werden (die Sonderbehandlung von Schaltjahren wird im nächsten Abschnitt dargelegt). Um dies sicher zu stellen wird eine Matrix potenzieller Übergangsstellen berechnet. Der triviale Fall ist, dass an einen Tag des Jahres der Nachfolgetag desselben Jahres anschließt. Kriterium für weitere Vermerke in der Matrix ist, ob zwischen dem Gebietsmittel des Jahres a_m und dem in anderen Jahren am Tag x eine (wählbare) Temperaturschwelle T nicht überschritten wird.

Ein Beispiel ist in Tab. 3.1 gegeben. Betrachtungen zur Sensitivität der Matrix bezüglich T finden sich in Abschnitt 3.4. Es sei angemerkt, dass in Schaltjahren ein etwas anderes Vorgehen gewählt wurde, denn die tagesscharfe Abbildung (der aus einem Jahr entnommene 7.5. wird immer an die Stelle eines 7.5. gesetzt) würde in diesen mit dem Beginn des Monats März ja zu Verschiebungen gegenüber der Zählung der Tage im Jahr führen. Den Schalttag zu unterdrücken, würde wiederum bei Perioden, die diesen beinhalten, zu Diskontinuitäten führen.

Da ein TRJ aber immer aus 365 Tagen besteht, wird für den Fall, dass eine Periode aus einem Schaltjahr ab dem 1.3. eingebaut werden soll, die Tageszählung modifiziert. Beispiel aus dem Reihenzusammenbau (Details zum Vorgehen: s.u.): Eine Periode aus einem Nichtschaltjahr (2003) endet am 27.2, das ist Tag 58 des Jahres. Ihr folgt eine Periode aus dem Jahr 2000, einem Schaltjahr. Tag 59 wird mit den Daten des 28.2.2000 gefüllt, Tag 60 mit den Daten des 29.2.2000 – bei einem Nichtschaltjahr wäre Tag 60 der 1.3.

Im Beispiel erstreckt sich die aus dem Jahr 2000 zu verwendende Periode bis zum 25.3. (Tag 85 des Jahres), gefolgt von einem Zeitreihenabschnitt aus einem Nichtschaltjahr, 1993. Damit die „Laufmasche“ wieder aufgenommen werden kann, wird nach dem 25.3.2000 der 27.3.1993 und die entsprechende Anzahl von Folgetagen aus dem Jahr 1993 eingebaut.

Zu den wählbaren Steuerparametern für die Reihenbildung gehört außerdem, in welcher Gewichtung eine Optimierung auf bestimmte statische Kenngrößen erfolgen soll. In jedem Kandidaten-Reihensegment werden Mittelwert, Streuung und Abweichung im Vergleich von diesem Segment und demjenigen des vieljährigen Jahreszeitenmittels bestimmt. Ziel der Optimierung ist, dass, je nach gewählten Steuerparametern, eine der drei statistischen Kenngrößen für sich oder eine gewichtete Kombination aus ihnen minimiert wird. Zudem sollten die Optimierungsgrößen gleichmäßig gut in den einzelnen Jahreszeiten und für das gesamte Jahr realisiert sein

Tab. 3.1: Beispiel für mögliche Übergänge zwischen Tag x und Tag x+1 am Anfang des Jahres 2000 zu den anderen Jahren bei einer Temperaturschwelle von 1 K. [aus SPEKAT et al. 2009b]

<i>Tag</i>	<i>Üb. 1</i>	<i>Üb. 2</i>	<i>Üb. 3</i>	<i>Üb. 4</i>	<i>Üb. 5</i>	<i>Üb. 6</i>
1.1.2000	2000	1994	1995	1999	2006	
2.1.2000	2000	1999	2007			
3.1.2000	2000	1994	1999	2005		
4.1.2000	2000	2001				
5.1.2000	2000	2005				
6.1.2000	2000	1993	2002			
7.1.2000	2000	1993	2001			
8.1.2000	2000	1994	1996	1999	2001	2004
9.1.2000	2000	1993	1994	1996	2001	
10.1.2000	2000	2001	1999			
11.1.2000	2000					
12.1.2000	2000	1995	2003			
...

Die Vorgehensweise bei der Zeitreihenkonstruktion für das TRJ folgt diesen Prinzipien:

1. Bestimmung der Startepisode des TRJ: Berechnung der statistischen Parameter Mittelwert und Streuung. Dazu werden die Tagessequenz aus dem Bezugsjahr und die Anschluss-Sequenz aus einem Jahr mit möglicher Reihenfortsetzung benutzt. Berechnungsgrundlage sind die Abweichungen vom vieljährigen Monats- und Jahreszeitenmittel aus der Periode 1988–2007 für dieselbe Tagessequenz. Daraus errechnet sich die Episodenspezifische Optimierungsgröße, je nach Wahl der Gewichtung der beiden statistischen Parameter.
2. Führt die Hinzunahme der neuen Tagessequenz zu einer Verbesserung der Anpassung? Dann Prüfwert registrieren und an die Tagessequenz aus dem Bezugsjahr einen weiteren Tag anhängen siehe Schritt 1.
3. Führt die Hinzunahme der neuen Tagessequenz zu keiner Verbesserung der Anpassung? Ist die Höchstlänge L_{\max} noch nicht erreicht? Dann an die Tagessequenz einen weiteren Tag anhängen siehe Schritt 1.

4. Ist die Höchstlänge einer Episode (L_{\max}) erreicht und es kam zu keiner Verbesserung der Anpassung? Dann erfolgt eine „Rückbesinnung“ auf diejenige Sequenzlänge mit dem bis dahin tiefsten Wert der Optimierungsgröße und vom dortigen Tag Sprung in die Konstruktion einer Anschlusssequenz in einem anderen Jahr.

Einige Sondervorkehrungen sind notwendig, weil am Ende eines Testreferenzjahres mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Bruch zum Anfang des Jahres auftritt. Die letzte Periode stammt nur in seltenen Fällen aus dem Vorjahr der Startsequenz. Um den Bruch so gering wie möglich zu halten, wird nach einer Periode gesucht, die am Jahresende zum Jahresanfang eine Temperaturschwelle ΔT_{zyk} , beispielsweise 3 K nicht überschreitet.

Ist ein Kandidaten-TRJ zusammengefügt, so wird die Optimierungsgröße aller darin enthaltenen Tage errechnet, sowohl mit Bezug auf das mittlere Verhalten des Jahres als auch der Jahreszeiten. Dasjenige Jahr, welches für alle Jahreszeiten über eine konsistent gute Anpassung verfügt und die beste Anpassung aller getesteten Jahre aufzeigt, wird als adäquates TRJ empfohlen. Dazu erfolgt eine Summation über die Absolutwerte der Jahreszeiten-spezifischen Optimierungsgrößen. Ziel ist, ein Minimum dieser Summe zu erhalten.

Mit dem oben beschriebenen Verfahren wird sozusagen die „Bauvorschrift“ erzeugt, derzufolge die Zeitreihen der Repräsentanzstationen zu regional spezifischen TRJ zusammengestellt werden. Diese sind in Stundenauflösung und bei der Synthese der Reihen wird am Ende einer N-tägigen Sequenz der Übergang zur nächsten Sequenz im Bereich der benachbarten Stunden geglättet.

4. Implementierung der TRJ-Strategien

4.1 Mittlere gegenwärtige TRJ

Bisher wurden die Hauptelemente der Strategie sowie Optionen vorgestellt, nach denen ein gegenwärtiges mittleres TRJ erstellt werden kann. Nach Praxiserprobung von ausgelieferten Kandidaten-TRJ erfolgte die Herstellung einer Endfassung der diesbezüglichen Software. Zum ganz überwiegenden Teil ist die Strategie beibehalten worden. Hier in einer Übersicht der implementierte Stand.

1. Nutzung der stündlichen Daten aus der MIRAKEL-Datenbank des DWD mit Auffüllung von Lücken aus der DWD Landwirtschaftsdatenbank (s. Abschnitt 2.1 in SPEKAT et al. [2009b]).
2. Berechnung der Größen (i) direkte Sonnenbestrahlungsstärke auf die horizontale Ebene, (ii) Diffuse Sonnenbestrahlungsstärke auf die horizontale Ebene, (iii) Bestrahlungsstärke der atmosphärischen Wärmestrahlung (horizontale Ebene) und (iv) Bestrahlungsstärke der terrestrischen Wärmestrahlung an allen Repräsentanzstationen mit Ausnahme von Hamburg (Region 2), Rostock (Region 3), Potsdam (Region 4), Chemnitz (Region 9), Fichtelberg (Region 11) und Mannheim (Region 12), wo Strahlungsmessungen vorliegen. Der Berechnungsalgorithmus nach VDI 3789 Blatt 2 [1994] wurde vom DWD zur Verfügung gestellt.
3. Prinzip der TRJ-Erstellung: Zusammensetzen des mittleren gegenwärtigen TRJ aus Segmenten des Zeitraums 1993 bis 2007 separat für jede der TRJ-Regionen. Zu erfüllende Kriterien:
 - Segment muss sich „tagesscharf“ an der richtigen Position im TRJ befinden.
 - Segment muss bestmögliche Anpassung an den Jahresgang und die Streuung (gewonnen aus dem Zeitraum 1988 bis 2007) gewährleisten. Gewichtung bei der Anpassungen: 70% Jahresgang, 30% Streuung.
 - Mindestlänge eines Segments: 10 Tage; Höchstlänge: 30 Tage. Ausnahmen sind am Jahresende möglich.
 - Maximale Temperaturdifferenz zweier aneinander grenzender Segmente um 00 Uhr: 4 K.
4. Objektive Bestimmung aller Segmente, die die o.a. Kriterien bestmöglich Erfüllen, wie in Abschnitt 3.3 beschrieben.

Zur Verfügung gestellt wird, für jede TRJ-Region, eine ASCII-Datei des mittleren gegenwärtigen TRJ, die 22 Variable und Kontrollgrößen enthält. Sie besitzt das in Anhang 2 von CHRISTOFFER et al. [2004] dokumentierte Datenformat. Zudem ist für jede Region eine Protokolldatei verfügbar, in der die jeweils verwendeten Segmente aufgelistet sind.

4.2 Extreme TRJ

Kernbegriff bei den TRJ ist die Repräsentanz. Sie findet sich in vielen Aspekten des Vorhabens wieder: So werden ausgewählte Stationen in erster Näherung als

repräsentativ für relativ homogene Klimaregionen verwendet. Für die mittleren TRJ wird ein Verfahren angewendet, das Teilbereiche aus gemessenen Klimareihen aneinanderfügt und darauf optimiert ist, jahreszeitliche Verläufe, Variabilität und Auftretenshäufigkeiten repräsentativ darzustellen.

Es gibt verschiedene Anforderungen an ein TRJ, die jedoch nicht gemeinsam erfüllbar sind. Wenn das Ziel ist, die „Normalität“ abzubilden und Zeitreihen zu konstruieren, die mittlere Zustände und normale Schwankungen um diese Zustände enthalten, und die zusätzlich den synoptischen Charakter repräsentieren, so ist die Strategie von Kapitel 2 sicher zielführend.

Für die Extreme wird als Ansatz die Auswahl eines real zusammenhängenden Halbjahreszeitraumes verfolgt. Somit gilt folgende Vorgehensweise:

- Die Reihen werden nicht aus Segmenten aufgebaut sondern durchgehend verwendet.
- Es werden nicht extreme Jahre identifiziert, sondern extreme Halbjahre (April bis September für das Sommer- und Oktober bis März für das Winterhalbjahr).
- Die Identifikationskriterien beinhalten parameterfreie Komponenten, d.h. es kommen nicht Standardabweichungen oder damit verbundenen Maße zum Einsatz, sondern Rangfolge-Maße wie Quantile.
- Mehrere Indikatoren werden zur Identifikation herangezogen.

Anmerkung zur Selektion extremer Halbjahre: In [JONAS et al. 2005] ist dargelegt, dass die Temperaturanomalie des Sommers 2003 ein Extrem darstellt, das das Temperaturmittel um knapp vier Standardabweichungen übertrifft. Bei Annahme der Klimastationarität ist die Eintrittswahrscheinlichkeit mit 0,00007% verschwindend klein. Werden klimatologische Trends berücksichtigt, so nimmt die Wahrscheinlichkeit zwar auf 0,22% zu, aber mit einer Wiederkehrzeit von mehr als 450 Jahren ist ein solches Ereignis für die Gegenwart immer noch extrem unwahrscheinlich.

Aus diesem Grund wird im Rahmen der Erstellung extremer Testreferenz- Halbjahre favorisiert, nicht das stärkste im durch Stundenmessdaten gut belegten Zeitraum auftretende Extremhalbjahr zu verwenden, sondern eines, das die extremen 10% repräsentiert.

4.2.1 Verwendete Indikatoren

Sommer- und Winterhalbjahr werden bezüglich ihres Extremverhaltens getrennt betrachtet. Dabei kommen spezifische Indikatoren zum Einsatz.

Sommerhalbjahr: Die Lufttemperatur bildet die wichtigste Atmosphäreneigenschaft zur Festlegung einer Rangfolge der einzelnen Sommerhalbjahre. Aus der Temperatur werden verschiedene Indikatoren hergeleitet:

- Absolutes Maximum.
- Perzentile 98, 95 und 90 der stündlichen Temperaturwerte.
- „Hitzewellen“, d.h. Anzahl der Perioden mit 1. . .20 Tagen Länge, in denen

stationsabhängig eine Tageshöchsttemperatur von 26, 28, 30 oder 32 °C überschritten wurde. Zusatzindikatoren sind die Monatsmitteltemperatur und die Sonnenscheindauer, jeweils im September.

Winterhalbjahr: Im Winterhalbjahr stellt die Gradtagssumme (GTS) die wichtigste Informationsquelle dar. Sie errechnet sich aus der Temperatursumme aller Tage, an denen 12 °C oder weniger als Mitteltemperatur erreicht wurde. Zusätzliche Informationsquelle ist die stündliche Lufttemperatur. Zur Untermauerung der aus der GTS gewonnenen Rangfolge extremer Winter werden folgende Indikatoren hergeleitet:

- Absolutes Minimum.
- Perzentile 2, 5 und 10 der stündlichen Temperatur.
- „Kältewellen“, d.h. Anzahl der Perioden mit 1. . . 20 Tagen Länge, in denen Stationsabhängig eine Tiefsttemperatur von -6, -8, -10 oder -12 °C unterschritten wurde.

4.2.2 Ergebnisse – Sommerhalbjahr

Für Tab. 4.1 wurden in jedem der Sommerhalbjahre die 90-Perzentile der stündlichen Temperatur ermittelt und in eine Rangfolge gebracht (1: höchster Wert bis 27: niedrigster Wert). Die Zeilen der Tabelle sind nach diesem Quantil sortiert. Des Weiteren wurde die Mitteltemperatur im September in eine Rangfolge gebracht. Für die Perioden mit Temperaturwerten über 30 °C wurden zwei Eigenschaften evaluiert: Die Gesamtzahl der Tage, an denen ein Maximum über 30 °C auftrat und die mittlere Länge von Perioden, die dieses Merkmal aufweisen.

Diese wurden jeweils in eine Rangfolge gebracht. Als letzte Spalte enthält Tab. 4.1, die Ränge der jeweiligen Jahre bei Betrachtung des Sonnenscheins im September. In den Jahren bis 1988 sind keine Sonnenscheindaten in der verwendeten Datenbank enthalten; daher findet sich in den entsprechenden Zeilen der Eintrag

Auch in diesem Zusammenhang ist die Repräsentanz von Bedeutung. Daher erscheint es nicht sinnvoll, den ranghöchsten Sommer – beispielsweise 2003, unter Beachtung des Kriteriums Q90 – auszuwählen, weil dieser einen möglicherweise unrepräsentativ extremen Fall darstellt. Zum Verständnis der weiteren Analyse ist zu beachten, dass Perzentile einer Zeitreihe (Q90) gebildet werden, die selbst aus 90-Perzentilen besteht:

Das 98-Perzentil der Q90-Werte ist 23,6 °C; das 95-Perzentil ist 23,0 °C und das 90-Perzentil beträgt 22,6 °C. In Anbetracht dieser Zahlen wären die Jahre 2006 (Q90 = 23, 1 °C), 1994 (Q90 = 22, 7 °C), 1983 (Q90 = 22, 5 °C), 1992 (Q90 = 22, 4 °C) und 1995 (Q90 = 22, 3 °C) Kandidaten für extreme Testreferenz-Sommer.

Die eben genannten Sommer sind bezüglich der Extrem-Indikatoren recht unterschiedlich. Insbesondere die Septembermitteltemperatur T_{Sep} ist in den meisten Jahren nicht mit hohen 90-Perzentilen der stündlichen Temperatur gekoppelt. Die beiden Schwellwert-bezogenen Indikatoren Ü₃₀ und PerL₃₀ sind einander

relativ ähnlich: Nur selten sind die Ränge eines Jahres mehr als 4 Zähler auseinander.

Tab. 4.1: Rangfolge der Sommerhalbjahre 1981–2007 bei verschiedenen Indikatoren. Q90: 90-Perzentil der Maximumtemperatur. Tsep: Mitteltemperatur im September. „Üb30: Tage mit Tagesmaximum über 30_C. PerL30 : Mittlere Länge der Perioden mit Tagsmaximum über 30_C. Sonne Sep: Mittlere Sonnenscheindauer im September. [aus SPEKAT et al. 2009c]

Sommer	Q90	Tsep	Üb30	PerL30	Sonne_Sep
2003	1	8	1	3	4
2006	2	2	3	1	3
1994	3	18	2	2	13
1983	4	12	4	5	
1992	5	13	7	11	8
1995	6	20	6	6	17
1982	7	3	7	7	
1999	8	1	11	13	5
1997	9	10	17	13	1
2005	10	4	9	15	1
2002	11	16	14	8	9
2001	12	25	5	4	19
2007	13	20	17	18	12
1989	14	7	20	19	10
2000	15	13	16	15	20
1986	16	26	20	23	
1991	17	5	15	19	6
2004	18	8	11	9	7
1990	19	24	10	12	16
1998	20	19	11	9	18
1993	21	23	19	27	13
1985	22	13	22	24	
1988	23	17	25	26	11
1981	24	10	22	14	
1996	25	27	24	21	15
1987	26	6	26	25	
1984	27	20	17	22	

Auch ist die Ähnlichkeit zu Q90 sichtbar. Unter den ersten 10 in der Q90 Rangfolge sortierten Sommern befinden sich 8 „Üb30“-Sommer bzw. 7 „PerL30“-Sommer. Der als Zusatz verwendete Indikator „Sonne Sep“ ist nur in den Jahren nach 1988 vorhanden. Er zeigt die Neigung an, dass besonders warme Sommer auch viel Sonnenschein im September besaßen. Allerdings ist diese Beziehung weniger stringent als bei anderen Indikatoren.

Im Vordergrund finden sich auch die relativ September-sonnenscheinarmen Sommer 1994 und 1995, während die sonnenscheinreichen September 1991 und 2004 thermisch eher zum unteren Drittel gehören.

In der Zusammenschau der Evaluierung nach den verschiedenen Kriterien bietet es sich an, den Sommer 2006 als Extrem zu verwenden, da er nicht den ersten Platz einnimmt (auf diesem findet sich der Ausnahmesommer 2003) aber bei allen untersuchten Kriterien im Vordergrund rangiert.

4.2.3 Ergebnisse – Winterhalbjahr

Für Tabelle 4.2 wurde die Rangfolge der Winterhalbjahre nach der Gradtagssumme zur Referenz 12 °C bestimmt. Die Sortierreihenfolge der Zeilen folgt diesem Kriterium. In den übrigen Spalten findet sich Zusatzinformation aus der Rangfolge des 10-Perzentils (spiegelbildlich zum 90-Perzentil im Sommer) der stündlichen Temperatur, sowie der Tage, an denen –10 °C unterschritten wurde und der mittleren Periodenlänge von Episoden, die diese Eigenschaft besitzen.

Tab. 4.2: Rangfolge der Winter 1981/82–2006/07 bei verschiedenen Indikatoren. GTS: Gradtagssumme mit Bezugstemperatur 12 °C. Q10: 10-Perzentil der stündlichen Temperatur. Unt-10 : Tage mit Tagesminimum unter –10 °C. PerL-10: Mittlere Länge der Perioden mit Tagesminimum unter –10 °C. [aus SPEKAT et al. 2009c]

<i>Winter</i>	<i>GTS</i>	<i>Q10</i>	<i>Unt-10</i>	<i>PerL-10</i>
1995/96	1	3	8	17
1985/85	2	3	6	6
1986/87	3	2	2	3
1984/85	4	1	1	1
1981/82	5	5	4	8
2005/06	6	6	3	9
1983/84	7	9	9	18
2002/03	8	8	5	4
1998/99	9	12	16	20
1992/93	10	13	16	15
1996/97	11	7	14	13
2003/05	12	15	18	25
2004/05	13	9	10	12
1990/91	14	9	7	5
1993/94	15	14	12	10
1991/92	16	17	20	19
1999/00	17	21	20	22
1987/88	18	23	23	14
1982/83	19	19	15	2
1997/98	20	18	11	7
1994/95	21	21	24	23
2001/02	22	16	13	11
2000/01	23	20	22	16
1988/89	24	25	25	24
1989/90	25	23	19	21
2006/07	26	26	26	26

Die Auswahl des extremen Testreferenzwinters ist an die Perzentile der Gradtagssumme gekoppelt. Für die untersuchten 26 Winter liegt das 98-Perzentil bei -2008,8, das 95-Perzentil bei -1980,9 und das 90-Perzentil bei -1943,0. Die Gradtagssummen vom den Wintern 1986/87 und 1984/85 liegen im Bereich des 90-Perzentils. Wenn zusätzlich betrachtet wird, dass der Winter 1984/85 bei den anderen Kriterien an erster Stelle liegt und demzufolge für die Auswahl eines repräsentativen Extrems zu pointiert erscheint, bietet sich an, den Winter 1986/87 als Extremwinter zu verwenden.

Hier besteht jedoch eine Komplikation. Die stündlichen Werte der Temperatur liegen zwar auch aus den 80er Jahren vor. Auf Grund der Datenlage für die Gesamtheit der meteorologischen Größen, analysiert in SPEKAT et al. [2009a], können TRJ jedoch nur für die Jahre ab 1993 erstellt werden. In diesem Lichte ist also der nächstplatzierte nutzbare Winter 2005/06.

4.3 Implementierung der extremen gegenwärtigen TRJ

Bei den extremen gegenwärtigen TRJ wurde die oben beschriebene Strategie unter Verwendung bestimmter Optionen implementiert. In Übersichtsform:

1. Nutzung der stündlichen Daten aus der MIRAKEL-Datenbank des DWD mit Auffüllung von Lücken aus der DWD Landwirtschaftsdatenbank (s. Kapitel 2)
2. Berechnung der Größen (i) direkte Sonnenbestrahlungsstärke auf die horizontale Ebene, (ii) Diffuse Sonnenbestrahlungsstärke auf die horizontale Ebene, (iii) Bestrahlungsstärke der atmosphärischen Wärmestrahlung (horizontale Ebene) und (iv) Bestrahlungsstärke der terrestrischen Wärmestrahlung an allen Repräsentanzstationen mit Ausnahme von Hamburg (Region 2), Rostock (Region 3), Potsdam (Region 4), Chemnitz (Region 9), Fichtelberg (Region 11) und Mannheim (Region 12), wo Strahlungsmessungen vorliegen. Der Berechnungsalgorithmus wurde vom DWD zur Verfügung gestellt.
3. Prinzip der TRJ-Erstellung: Suche eines zusammenhängenden Zeitraums (keine Segmentierung) für jede TRJ-Region wie folgt:
4. Extrem warmes Sommerhalbjahr
 - Bestimmung des 90%-Perzentils der stündlichen Temperaturwerte T90.
 - Berechnung des (regionsspezifischen) 95%-Perzentils der Tageshöchsttemperatur Tx95 im Sommerhalbjahr (1.4.bis 30.9.).
 - Bestimmung der Anzahl der Tage NTx95 in den Sommermonaten jedes Jahres 1993{2007, an denen das errechnete Perzentil übertroffen wird.
 - Erstellung der Rangfolge der Sommer 1993 bis 2007 für T90 und NTx95; gemeinsame Betrachtung beider Rangfolgen mit den Gewichten 0,7 (T90) und 0,3 (NTx95).
 - Nutzung des Sommers mit der zweithöchsten Position in dieser kombinierten Rangfolge (s. Spalte 2 in Tab. 4.1).
 - Ausgabe des vollständigen Jahres (1.1.bis 31.12.) in dem der so bestimmte Sommer liegt.
5. Extrem kaltes Winterhalbjahr

- Berechnung der (regionsspezifischen) Gradtagssumme GTS, bezogen auf 12 °C, im Winterhalbjahr (Jahr n 1.10. bis 31.12. und Jahr n+1 1.1. bis 31.3.).
- Berechnung des (regionsspezifischen) 5%-Perzentils der Tageshöchsttemperatur Tx05 im Winterhalbjahr (1.10. bis 31.3.).
- Bestimmung der Anzahl der Tage NTx05 in den Wintermonaten des Zeitraums 1993 bis 2007, an denen das errechnete Perzentil übertroffen wird.
- Erstellung der Rangfolge der Winter 1993/94 bis 2006/07 für GTS und NTx05; gemeinsame Betrachtung beider Rangfolgen mit den Gewichten 0,7 (GTS) und 0,3 (NTx05).
- Nutzung des Winters mit dem zweittiefsten Position in dieser kombinierten Rangfolge (s. Spalte 3 in Tab. 4.3)
- Ausgabe eines Jahreszeitraums (1.7. bis 30.6.), in dem der so bestimmte Winter liegt

Zur Verfügung gestellt wird, für jede TRJ-Region, eine ASCII-Datei des mittleren gegenwärtigen TRJ, die 22 Variable und Kontrollgrößen enthält. Sie besitzt das in Anhang 2 von CHRISTOFFER et al. [2004] dokumentierte Datenformat.

Tab. 4.3: Ausgewählte Zeitbereiche für die gegenwärtigen extremen sommer- bzw. winterbezogenen TRJ in den 15 Regionen. „Sommer“ entspricht dem Sommerhalbjahr April bis September, „Winter“ entspricht dem Winterhalbjahr Oktober bis März. [aus SPEKAT et al. 2010b]

<i>Region</i>	<i>Sommer</i>	<i>Winter</i>
1 (Bremerhaven)	2003	2002/2003
2 (Rostock)	1992	2002/2003
3 (Hamburg)	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 (Mühlendorf)	1994	2004/2005
14 (Stötten)	2006	2005/2006
15 (Garmisch-Partenkirchen)	2006	2004/2005

5. Berücksichtigung der urbanen Wärmeinsel in den TRJ-Datensätzen

Die Auswirkungen von städtischer Überwärmung (Urban Heat Islands) war bisher in den Testreferenz-Reihen nicht enthalten. In diesem Abschnitt wird beschrieben, auf welche Weise der Stadteffekt in die Zeitreihen Eingang findet. Dazu wird die Abhängigkeit von verschiedenen Einflussgrößen betrachtet:

- Einwohnerzahl.
- Windgeschwindigkeit.
- Bedeckungsgrad.
- Tageszeit.

Als Ergebnis entsteht ein Programmmodul für die TRJ, das unter Berücksichtigung dieser Faktoren Temperaturkorrekturen an den Reihen vornimmt.

5.1 Der Stadteffekt

Die Urbanisierung beeinflusst das Klima, insbesondere auf der Mikro- und Mesoskala. Ein bedeutender Effekt ist die Ausbildung städtischer Wärmeinseln (Urban Heat Islands, kurz UHI) durch die veränderte Strahlungsbilanz von Ballungsräumen. Andere Auswirkungen umfassen beispielsweise das Windfeld durch die veränderte Rauigkeit, die hydrologische Bilanz durch urban modifizierte Bodenbeschaffenheit und Vegetation sowie die Luftqualität durch die urbanen Schadstoffquellen und die Ausbreitung der atmosphärischen Beimengungen.

Ein Überblick zum Stadtklima als Teilgebiet der Umweltmeteorologie findet sich z.B. in Kapitel 13 von [HUPFER und KUTTLER 2005]. Im Wesentlichen wird es bei der Implementierung des Stadteffekts in die TRJ um die UHI und deren Modifikation durch Bevölkerungszahl, Wind, Bewölkung und den Tagesgang der Einstrahlung gehen.

Damit eine nachweisbare UHI entstehen kann, ist eine Mindestgröße des Ballungsraumes erforderlich, in Abschnitt 5.2 werden Ansätze zur Parametrisierung dieses Faktors vorgestellt. Dort wird die maximal zu erwartende Stärke der UHI definiert, die durch äußere Einflussgrößen weitere Modifikationen erfährt. Besonders stark ist ein UHI bei Windstille ausgeprägt. Nimmt die Windgeschwindigkeit zu, entsteht Turbulenz und Durchmischung und eine Reduktion der UHI bis zur Auflösung ist die Folge.

Abschnitt 5.2 beschreibt die zugehörigen Ansätze. Zusätzlich zum Einfluss des Windfelds ist auch der Bedeckungsgrad und die damit verbunden Änderung der Strahlungsbilanz ein Wirkfaktor für die UHI-Stärke. Geringe Bewölkung erhöht die Ausstrahlung und reduziert die UHI-Stärke. Eine Beschreibung der Auswirkung des Bedeckungsgrads findet sich ebenfalls in Abschnitt 5.2.

Eine weitere Einflussgröße, die ebenfalls mit den Strahlungsverhältnissen zusammenhängt ist die Tagesphase. In Folge der über den Tag variierenden Einstrahlung bildet sich Turbulenz aus, was die UHI-Stärke reduziert. In Abschnitt 5.2 finden sich entsprechende Betrachtungen.

5.2 Die Wärmeinselintensität bestimmende Parameter

Der Zusammenhang zwischen Einwohnerzahl (E_w) und maximal ausgeprägter UHI ist Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Empirische Studien von [OKE 1973] oder [PARK 1986] finden für unterschiedliche Regionen der Welt logarithmische Beziehungen zwischen UHI_{\max} und E_w . Für Mitteleuropa ist dies bei windarmem Strahlungswetter:

$$UHI_{\max} = 2,01 \cdot \log(E_w) - 4,06 \quad (5.1)$$

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 (5.1) 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 (5.1) ermittelten Werte für UHI_{\max} einordnen zu können, sei darauf hingewiesen, dass 95% der Werte mit denen sich obige Regressionsgleichung ergibt, innerhalb einer Abweichung von ± 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_{\max}). 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 (5.2) eine sog. Grenzwindgeschwindigkeit (Stundenmittel der Windgeschwindigkeit) ermitteln, bei der die städtische Überwärmung verschwindet, d.h. $UHI=0$ [OKE, 1973; BÖHM und GABL, 1978].

$$v_g = \left(\frac{1,91 \cdot \log(E_w) - 1,73}{3,37} \right)^2 \quad (5.2)$$

v_g : Grenzwindgeschwindigkeit in m/s (Stundenmittel)
 E_w : 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:

$$UHI = f(v_m) \cdot UHI_{\max} \quad (5.3)$$

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 (5.4) abgeleitet werden.

$$f(v_m) = \frac{1 + \cos\left(\frac{v_m}{v_g} \cdot \pi\right)}{2} \quad (5.4)$$

$f(v_m)$: 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 Wärmeinselintensität hängt über die Grenzwindgeschwindigkeit auch von der Stadtgröße (Einwohnerzahl) selbst ab. Für jede Stadtgröße existiert daher auch eine individuelle Windgeschwindigkeitskorrektur der UHI. In Abb. 5.1 ist der Verlauf des Windkorrekturfaktors sowie der Wärmeinselintensität 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 Wärmeinselintensität 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 (5.5) auf Basis des Gesamtbedeckungsgrades abgeleitet.

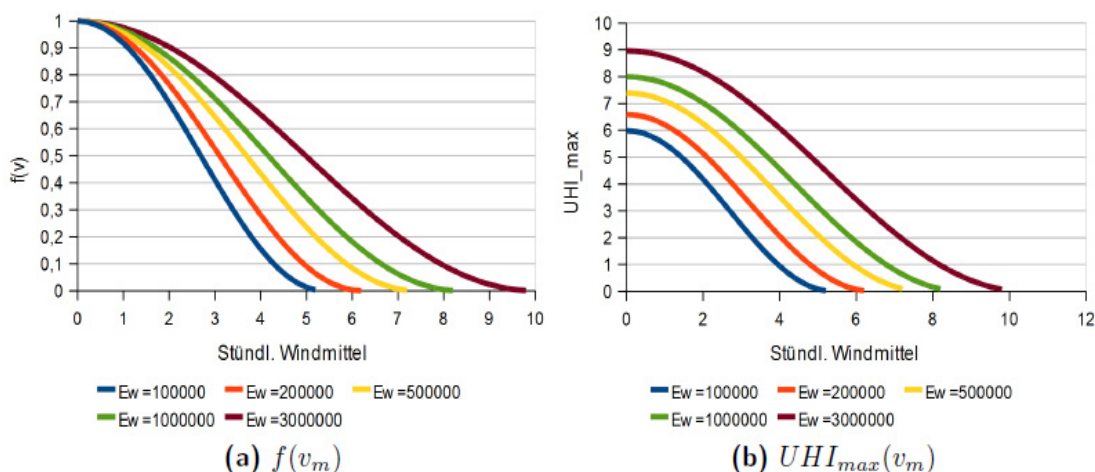


Abb. 5.1: Abhängigkeit des Windkorrekturfaktors $f(v_m)$ sowie der Wärmeinselintensität (UHI) von Einwohnerzahl (E_w) und Windgeschwindigkeit (v_m) aus SPEKAT et al. [2010a]

$$f(N) = 0,3 + 0,7 \cdot \frac{1 + \cos\left(\frac{N}{8} \cdot \pi\right)}{2} \quad (5.5)$$

$f(N)$: 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 TRJ-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 (5.5) 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 (5.5) adäquat erscheint.

Korrekturfaktor $f(N)$ aus (5.5) 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. 5.2 zeigt die Abhängigkeit des Korrekturfaktors für den Bewölkungseinfluss auf die UHI vom Gesamtbedeckungsgrad des Himmels mit Wolken sowie beispielhaft für unterschiedliche Stadtgrößen.

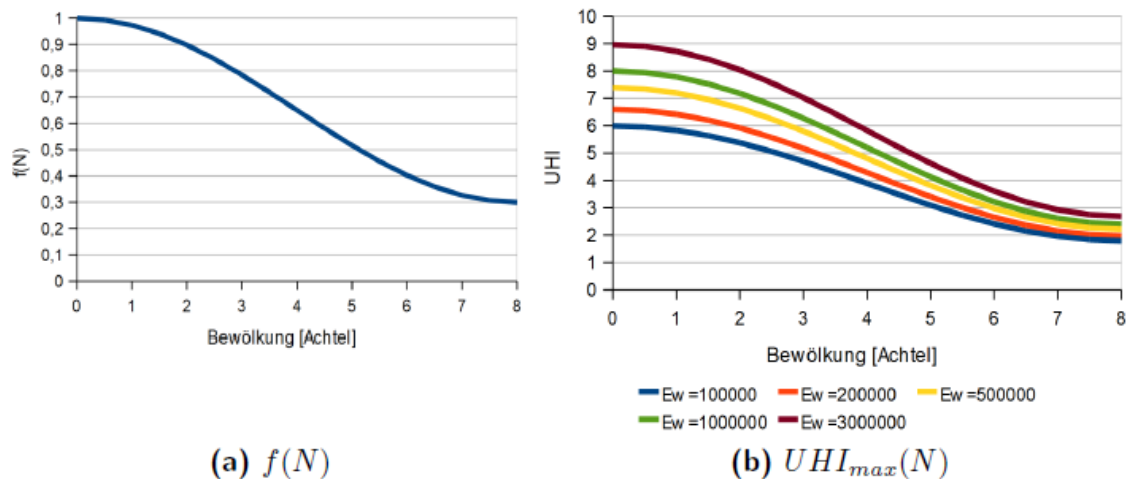


Abb. 5.2: Abhängigkeit des Bewölkungskorrekturfaktors $f(N)$ sowie der Wärmeinselintensität (UHI) von Einwohnerzahl (E_w) und Wolkenbedeckungsgrad (N) aus SPEKAT et al. [2010a]

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

$$UHI = f(v_m) \cdot f(N) \cdot UHI_{\max} \quad (5.6)$$

- 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 (5.1) unter optimalen Wetterbedingungen (windschwache, wolkenarme Wetersituation) als auch die nach (5.6) 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. 5.3 enthalten. Messungen aus anderen Städten bestätigen qualitativ den hier beobachteten Tagesgang der UHI.

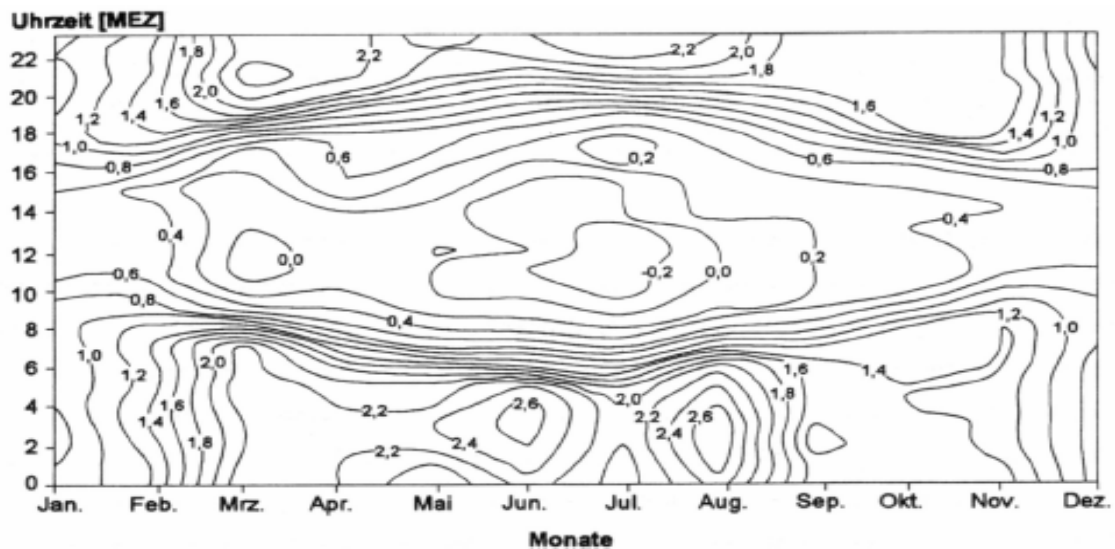


Abb. 5.3: Tagesgang der Wärmeinselintensität (UHI) im Jahresverlauf nach KUTTLER [1997]

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 (5.7) entwickelt:

$$f(UHI_t) = const + a_1 \cdot \cos(t) + \dots + a_n \cdot \cos(n \cdot t) + b_1 \cdot \sin(t) + \dots + b_n \cdot \sin(n \cdot t) \quad (5.7)$$

$f(UHI_t)$: 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 (5.7) 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 (5.8) bei Kenntnis von UHI_{max} aus (5.1) die Wärmeinselintensität zu jeder Tageszeit abgeschätzt werden.

$$UHI(t) = f(UHI_t) \cdot UHI_{\max} \quad (5.8)$$

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 (5.9) dargestellt:

$$UHI(t) = f(v_{24}) \cdot f(N_{24}) \cdot f(UHI_t) \cdot UHI_{\max} \quad (5.9)$$

UHI(t): Wärmeinselintensität in K zur Zeit t (0 h bis 23 h)
 f(v₂₄): Korrekturfaktor infolge der Windgeschwindigkeit
 v₂₄: mittlere Windgeschwindigkeit über die letzten 24 Stunden seit t-24
 f(N₂₄): Korrekturfaktor aufgrund des Wolkenbedeckungsgrades
 N₂₄: mittlere Wolkenbedeckung über die letzten 24 Stunden seit t-24
 f(UHI_t): Korrekturfaktor bezüglich des Tagesgangs der urbanen Wärmeinsel

Die Gleichung (5.9) stellt die Grundlage dar, auf der im Stadtklimamodul die jeweilige stündliche Lufttemperatur in der Stadt in den TRJ-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 (5.10) leicht ersichtlich.

$$rF = \frac{100 \cdot e}{e_s(TL)} \quad (5.10)$$

rF: relative Luftfeuchte in %
 e: aktueller Dampfdruck in hPa
 e_s(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 unver-

ändertem 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. 5.4 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 UHI_{max} 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 „Stadtrand“. Je nach Stadtgebiet werden die mit (5.9) ermittelten stündlichen Temperaturdifferenzen zwischen Stadt und Umland mit 1 (eng bebaute Innenstadt), mit 0,7 (mittleres Stadtgebiet) oder mit 0,5 (Stadtrand) multipliziert.

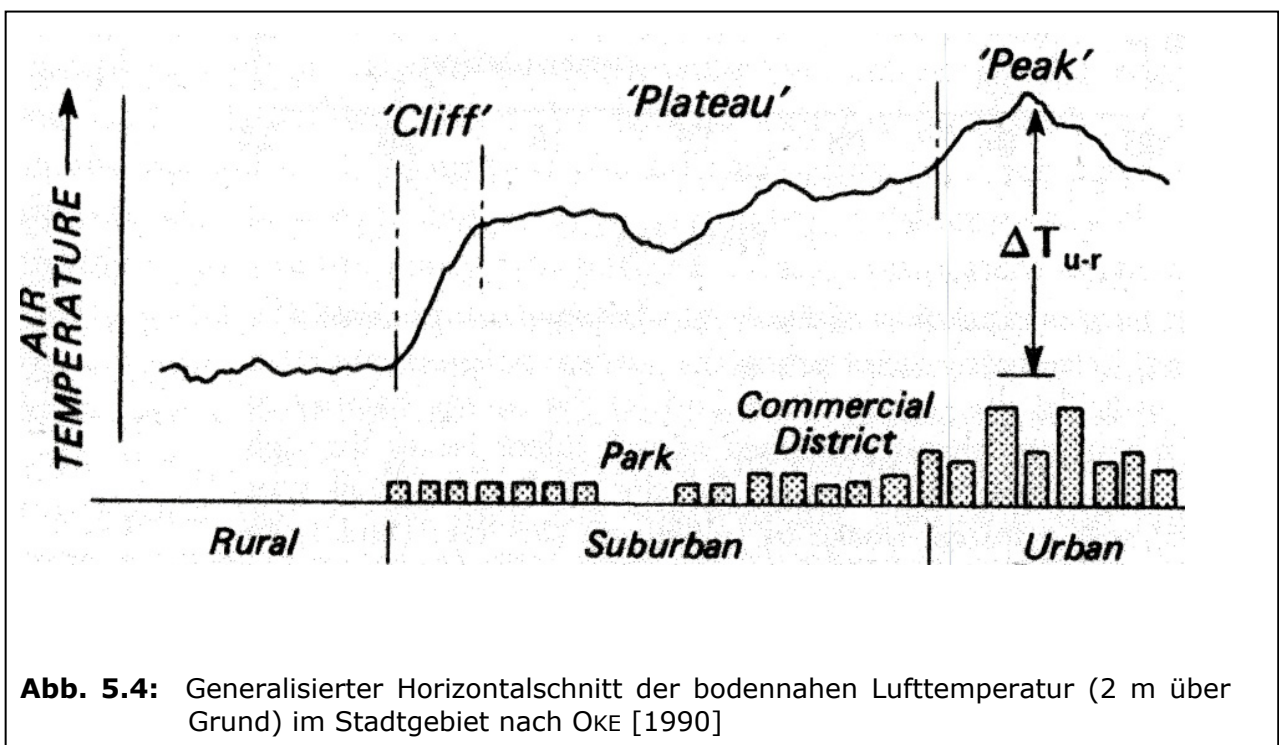


Abb. 5.4: Generalisierter Horizontalschnitt der bodennahen Lufttemperatur (2 m über Grund) im Stadtgebiet nach Oke [1990]

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 klimatologi-

sche Betrachtungsweise über längere Zeiträume, wie sie auch in den Testreferenzjahressätzen verankert ist, kann der gewählte Ansatz als geeignet angesehen werden.

5.3 Falluntersuchung: Reproduktion der Temperaturdifferenz zwischen Innenstadt und Umland

In diesem Beispiel wird die stündliche Datenreihe für die Repräsentanzstation Potsdam mit einem UHI-Zuschlag entsprechend einer Einwohnerzahl von 3.000.000 versehen und getestet, ob dies den Temperaturversatz zur Reihe der Station Alexanderplatz (Berliner Innenstadt) reproduziert.

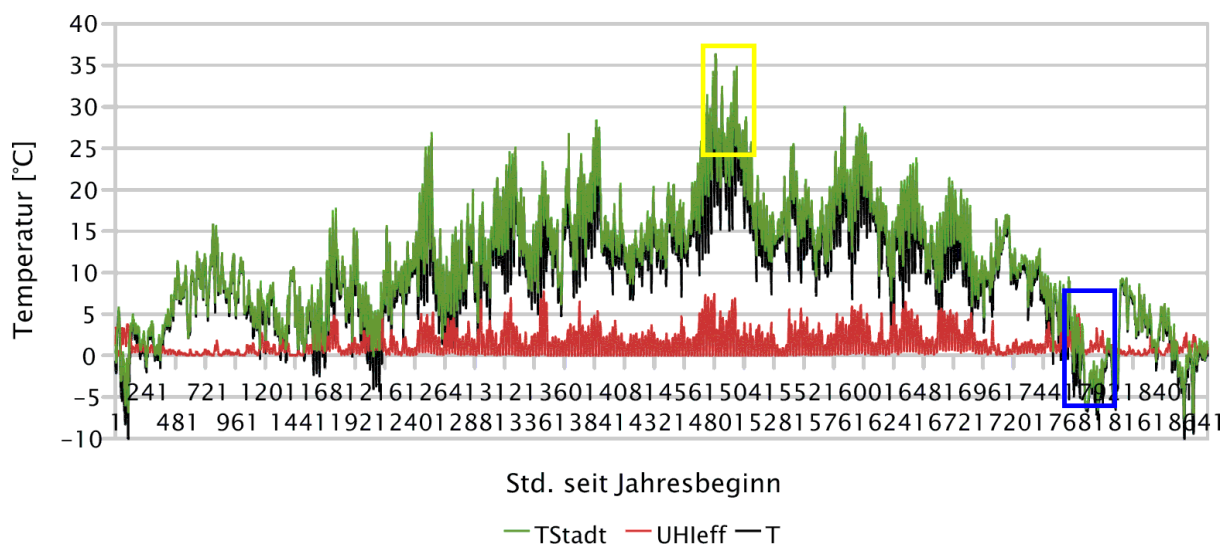
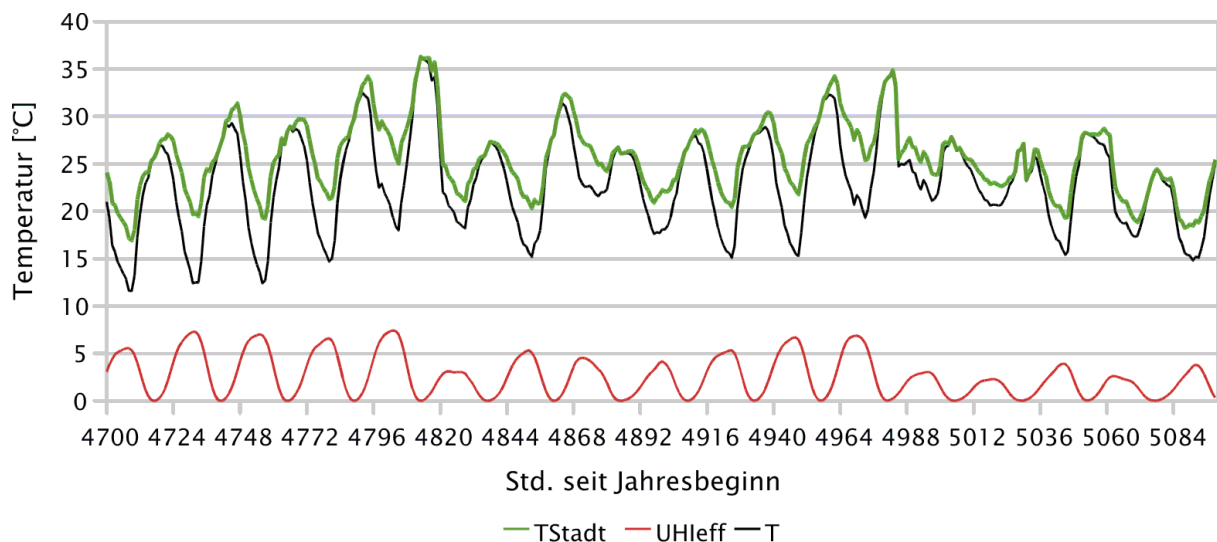
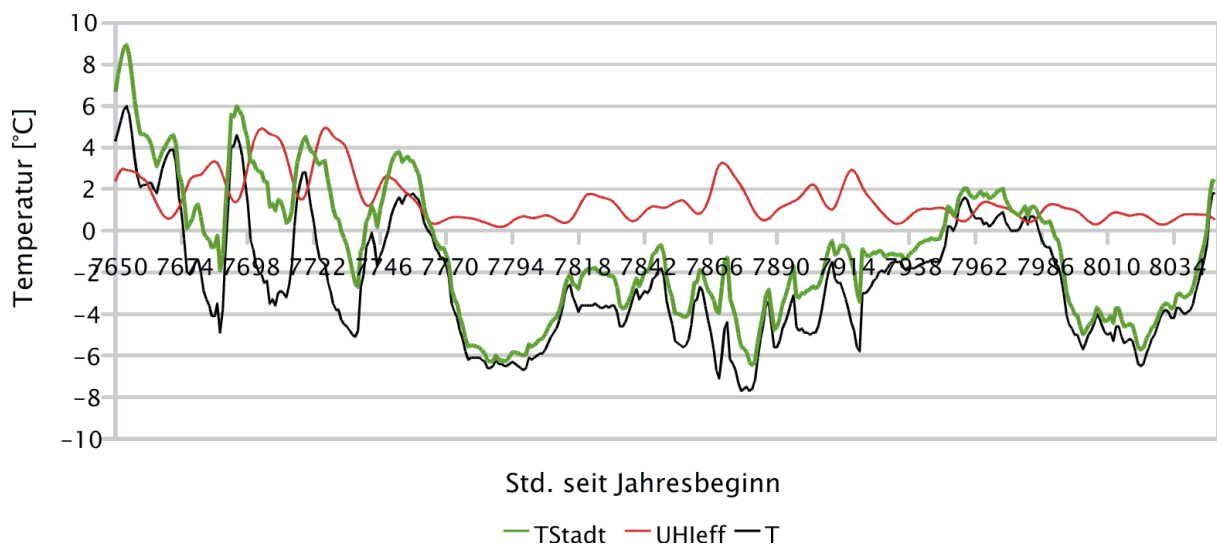


Abb. 5.5: Aufprägen eines Stadteffektes für die Einwohnerzahl 3.000.000 auf die Stationsreihe von Potsdam. Die rote Kurve zeigt den zeitlich variablen Zuschlag durch den Stadteffekt. Die schwarze Kurve zeigt die ursprüngliche Temperatur und die grüne Kurve den Stadteffekt geänderten Temperaturverlauf. Die beiden farbigen Boxen geben die Lage der Ausschnittsvergrößerungen in Abb. 5.6 an. [aus SPEKAT et al. 2010a]

Abb. 5.5 stellt für ein Beispieljahr den Verlauf der Temperatur, der UHI-Korrektur und der modifizierten Temperatur dar. In Abb. 5.6 (a) ist die Episode in der Umgebung des Jahresmaximums (gelbe Box in Abb. 5.5 wiedergeben. Abb. 5.6 (b) zeigt den mit einer blauen Box in Abb. 5.5 gekennzeichneten raschen Übergang von relativ warmer zu kalter Witterung im November.



a) Sommer



b) Winter

Abb. 5.6: Ausschnitte aus Abb. 5.5 für eine Sommer- und eine Winterperiode. [aus SPE-KAT et al. 2010a]

Der Jahresdarstellung (Abb. 5.5) ist ersehbar, dass die Stadteffekt-bedingte Korrektur in dem Sommermonate stärker als im Winter ist. Die Ausschnittsvergrößerungen (Abb. 5.6) zeigen überdies, wie der Korrekturfaktor durch den Tagesgang bedingt „pulsiert“. Dies ist die sich am deutlichsten abzeichnende Eigenschaft, die Wind- und Bewölkungs-bedingten Korrekturen modulieren dieses Verhalten gelegentlich, wie der Rückgang der Amplitude von UHleff am Ende der Sommerperiode und der ebenfalls deutlich flachere Verlauf von UHleff im zweiten Viertel der Winterperiode zeigen.

In diesem Experiment wird nun für den 20-jährigen Zeitraum 1988 bis 2007 für jede Stunde die Differenz T zwischen der Reihe von Potsdam und dem aufgeprägten Stadteffekt für 3.000.000 Einwohner mit der Differenzenreihe Berlin-Alexanderplatz minus Potsdam (ohne Stadteffekt) verglichen. Im Mittel sind die

Abweichungen nahe 0 - der entsprechende Bereich ist in Abb. 5.7 durch einen schwarzen Kasten gekennzeichnet.

Es treten aber auch an einzelnen Tagen Unterschiede zwischen der Stadteffekt-korrigierten Reihe von Potsdam und den Messungen in der Berliner Innenstadt bis zu 3 K in beide Richtungen auf, die mit dem lokalen Klima ohne spezifischen Bezug zum Stadteffekt zusammenhängen. Die farbcodierte Abbildung 5.7 zeigt mehrere Effekte:

- Die Unterschiede zwischen beiden Reihen besitzen eine über den Tag variable Größenordnung.
- Die Verteilung ist in den Mittagsstunden relativ schmal, d.h. die Unterschiede sind zu dieser Tageszeit geringer als in den Nachtstunden.
- Insgesamt ist es bei einer aufgeprägten Stadtgröße von 3.000.000 Einwohnern die Temperaturdifferenz leicht negativ, d.h. die aufgeprägte Stadtgröße ist u.U. etwas zu hoch.

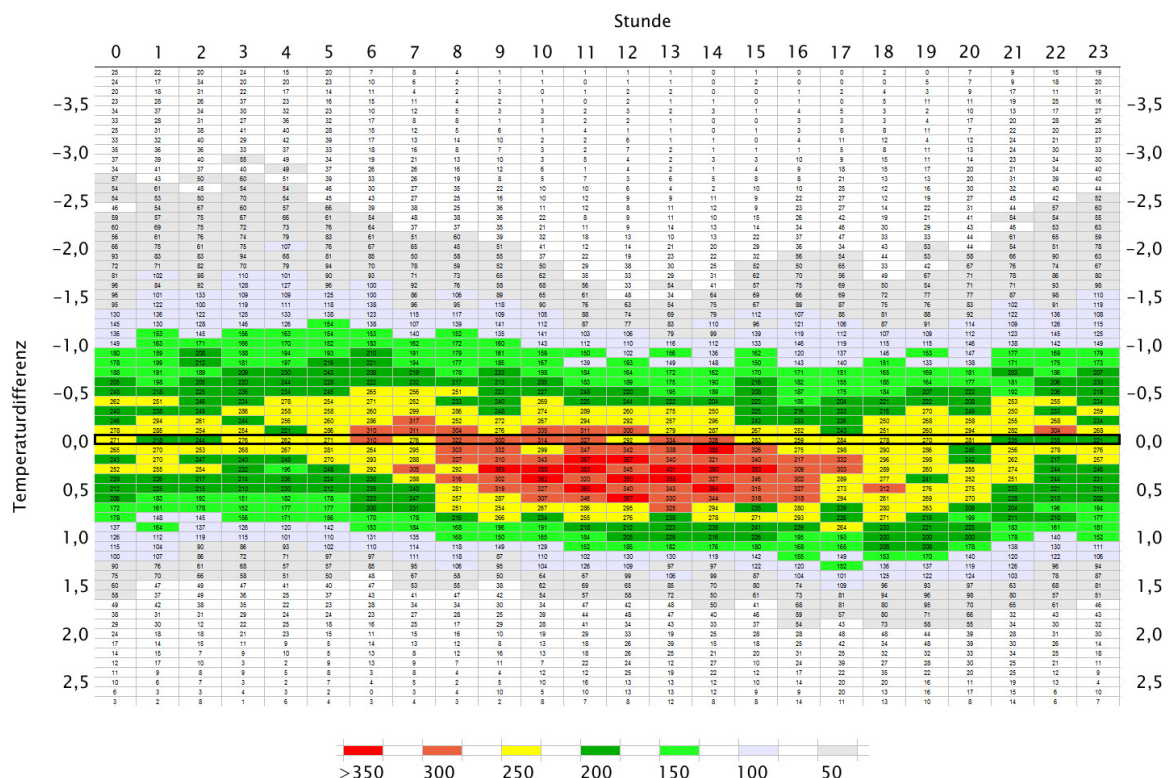


Abb. 5.7: Häufigkeitsverteilung der Unterschiede zwischen der Stadteffekt-aufgeprägten Temperaturreihe von Potsdam einerseits und der Differenz zwischen den Messungen der Berliner Innenstadtstation Alexanderplatz und der Messreihe von Potsdam andererseits zu den einzelnen Stunden, gemittelt über 20 Jahre. Positive Werte bedeuten, dass der gemessene Stadteffekt größer als seine Simulation ist und negative Werte bedeuten, dass der der simulierte Stadteffekt größer als der gemessene ist. [aus SPEKAT et al. 2010a]

Dieses Beispiel soll aufzeigen, dass es möglich ist, Effekte von urbanen Wärmeinseln durch Aufprägen auf eine Repräsentanzreihe zu simulieren und damit die Variabilität der Testreferenzjahre in der Fläche genauer zu beschreiben. Es ist aber zu beachten das lokale Wettererscheinungen diese Aufprägung sowohl verstärken als auch kompensieren können.

6. TRJ für die Zukunft

6.1 Hintergrund und Datenlage

Für die Bemessung von Heizungs-, Klima- und Lüftungsanlagen ist es bedeutungsvoll sowohl mittlere als auch extreme TRJ auf der Basis des gegenwärtigen Klimas einsetzen zu können. Es ist aber darüber hinaus sehr wichtig, die TRJ für ein zukünftiges Klima zu erstellen. Basis für Zukunftsaussagen sind die Simulationen von Klimamodellen. Die direkte Verwendung der Rechnungen globaler Modelle ist dabei wegen ihrer groben Auflösung nicht möglich. Vielmehr werden Regionalisierungsstrategien eingesetzt, um höher aufgelöste Daten zu erhalten.

Es gibt zwei Hauptarten dieser Strategien:

- **Dynamische Regionalisierung**
In einem räumlich eingeschränkten Bereich wird das Klimasystem mit hoher Auflösung simuliert. Dazu wird in das relativ grob aufgelöste globale Modell ein regionales Fenster gesetzt (so genanntes Nesting). Der Antrieb außerhalb des Fensters erfolgt durch das globale Modell. In Deutschland sind zwei verschiedene 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].
- **Statistische Regionalisierung**
Hierbei werden im gegenwärtigen Klima statistische Beziehungen zwischen großräumigen atmosphärischen Zuständen und lokalen Wettergrößen ermittelt und dann mit Hilfe von Transferfunktionen auf den zukünftigen Klimazustand übertragen. Der Antrieb, also der Zustand, in den es zu transferieren gilt, entstammt ebenfalls den Szenariorechnungen eines großräumigen Klimamodells. In Deutschland sind zwei verschiedene statistische Regionalisierungen verfügbar:
 - STAR vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung [Orlowsky 2007].
 - WETTREG von der Firma Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH in den Versionen WETTREG06 [Spekat et al. 2007] und WETTREG10 [Kreienkamp et al. 2010].

Alle vier Modelle sind in Regionalisierungsläufen verfügbar, die ihre Antriebsdaten vom Globalmodell ECHAM5 [Roeckner et al. 2003] beziehen und sollen auch für die TRJ mit berücksichtigtem Klimasignal eingesetzt werden. Diese Vorgehensweise entspricht anerkannter Praxis bei Studien der zukünftigen Klimaentwicklung, derzufolge in einer Ensemble-Betrachtung mehrere Modelle einzusetzen sind.

Es sei hinzugefügt, dass die Klimasignale für einen Zeithorizont 2021-2050 als relevant für die zukünftigen TRJ, erarbeitet zur Anwendung in der Heizungs-, Klima- und Lüftungstechnik, erachtet werden. Dabei ist das von den Modellen reproduzierte Klimasignal noch nicht so stark wie ein entsprechendes Signal am Ende des 21. Jahrhunderts, andererseits sind die Unsicherheitsfaktoren gegenüber einem weiter in der Zukunft liegenden Zeithorizont geringer.

Wie bereits bei den TRJ für das gegenwärtige Klima, beschrieben in den Abschnitten 3 und 4 dieses Vorhabens (s.o.), besteht der Wunsch der Anwender, jeweils ein TRJ zu erhalten, das die mittleren resp. die extremen zukünftigen Bedingungen wiedergeben möge. Dies hat Auswirkungen auf die Art, wie die Information der vier Regionalisierungsmethoden für die zukünftigen TRJ genutzt werden können.

6.2 Ortskonkordanz zwischen TRJ-Regionen und Modellrechnungen

Zunächst ist bei der Auswertung von Modell-Simulationen zu beachten, an welchen Koordinaten diese ihre Ergebnisse produzieren. Damit eine Konkordanz zu den TRJ des gegenwärtigen Klimas bestehen bleibt sind Koordinaten zu benutzen, die sich möglichst dicht an den Orten der Repräsentanzstationen befinden. Bei den statistischen Modellen ist die Herstellung der Konkordanz relativ einfach, da sie ihre Daten an Stationsorten erzeugen - es kann vorkommen, dass die spezifisch vom Modell verwendeten Stationskataloge in Einzelfällen nicht deckungsgleich mit den TRJ- Repräsentanzstationen ist. In einem solchen Fall wird eine möglichst nahe liegende Station des Modells verwendet, z.B. bei den Regionen 6 und 13.

Dynamische Modelle geben ihre Resultate auf einem Rasterfeld aus, so dass für jede Repräsentanzstation der nächstgelegene Gitterpunkt zu identifizieren ist. Dabei wird die Höhenlage der Repräsentanzstation unterschiedlich gut approximiert, denn die Rasterfeldausgabe der dynamischen Modelle bringt mit sich, dass in jedem Feld dessen mittlere Höhe verwendet wird. Besonders auffällige Unterschiede finden sich dabei in orografisch stark gegliedertem Gelände. Die Tabelle 6.1 zeigt die räumliche Zuordnung der Repräsentanzstationen in den verwendeten regionalen Klimamodellen.

6.3 Strategie zur Erzeugung zukünftiger TRJ

Eine denkbare Herangehensweise zur Erzeugung zukünftiger TRJ wäre die Analyse von simulierten Jahren eines Klimamodells, Zeithorizont 2021 - 2050. In diesen könnte die Identifikation eines Jahres erfolgen, das dem Median (für das mittlere TRJ) oder einem 90%-Quantil (für das extreme TRJ) der simulierten Jahre entspricht. Die zu Grunde liegende Sortierung könnte anhand von Beurteilungskriterien wie der Mitteltemperatur oder der Zahl der Überschreitungen einer Temperaturschwelle (TRJ mit warmen Sommern) resp. der Gradtagssumme (TRJ mit kalten Wintern) erzeugt werden.

Dies ist jedoch nicht praktikabel, denn es gilt, mehrere Anforderungen zu erfüllen:

- Verwendung eines Ensembles von Klimamodellen, um die Repräsentativität der Datenbasis zu erhöhen.
- Erzeugung eines mittleren, resp. extremen TRJ.
- TRJ werden in stündlicher Auflösung erzeugt - von den regionalen Modellen ist dies nur bei REMO erfüllt. Der „gemeinsame Nenner“ der Modelle WETTREG06, WETTREG10, CCLM, REMO und STAR ist die tägliche Auflösung.

Tabelle 6.1: Ortskonkordanz der Repräsentanzstationen für die 15 Klimaregionen (in diesem Tabellenteil TRJ-Regionen 1 bis 8) und die 5 verwendeten regionalen Klimamodelle. Für die Modelle CCLM und REMO sind die zur Repräsentanzstation nächstgelegenen Gitterpunkte angegeben.

<i>Reg.</i>	<i>TRJ</i>	<i>WR06</i>	<i>WR10</i>	<i>STAR</i>	<i>CCLM</i>	<i>REMO</i>
1	Bremerhaven 53,53°N 08,58°E 7 m ü. NN	Bremerhaven 53,53°N 08,59°E 7 m ü. NN	Bremerhaven (WEWA) 53,53°N 08,59°E 7 m ü. NN	Bremerhaven (WST) 53,53°N 08,58°E 6 m ü. NN	096_097 53,60°N 08,60°E 11 m ü. NN	043_093 53,50°N 08,58°E 3 m ü. NN
2	Rostock 54,18°N 12,08°E 4 m ü. NN	Rostock-Warnemünde 54,19°N 12,09°E 4 m ü. NN	Rostock-Warnemünde 54,18°N 12,08°E 4 m ü. NN	Rostock-Warnemünde 54,19°N 12,09°E 4 m ü. NN	099_114 54,20°N 12,00°E 16 m ü. NN	067_098 54,15°N 12,06°E 15 m ü. NN
3	Hamburg 53,63°N 10,00°E 13 m ü. NN	Hamburg 53,63°N 10,00°E 13 m ü. NN	Hamburg-Fuhls. (FLUGW.) 53,63°N 09,98°E 11 m ü. NN	Hamburg 53,63°N 10,00°E 13 m ü. NN	096_104 53,60°N 10,00°E 38 m ü. NN	053_093 53,60°N 10,05°E 15 m ü. NN
4	Potsdam 52,38°N 13,07°E 81 m ü. NN	Potsdam 52,38°N 13,07°E 81 m ü. NN	Potsdam (OBS) 52,38°N 13,07°E 81 m ü. NN	Potsdam (OBS) 52,38°N 13,07°E 81 m ü. NN	090_119 52,40°N 13,00°E 42 m ü. NN	072_077 52,34°N 13,02°E 45 m ü. NN
5	Essen 51,40°N 06,97°E 152 m ü. NN	Essen-Bredeney 51,40°N 06,97°E 152 m ü. NN	Essen-Bredeney (AWST) 51,40°N 06,97°E 150 m ü. NN	Essen-Bredeney 51,40°N 06,97°E 152 m ü. NN	085_089 51,40°N 07,00°E 255 m ü. NN	029_071 51,41°N 07,02°E 103 m ü. NN
6	Bad Marienberg 50,67°N 07,97°E 547 m ü. NN	Waldems 50,67°N 08,30°E 400 m ü. NN	Bad Marienberg 50,67°N 07,97°E 547 m ü. NN	Driedorf 50,63°N 08,18°E 482 m ü. NN	081_094 50,60°N 08,00°E 245 m ü. NN	035_062 50,70°N 08,03°E 536 m ü. NN
7	Kassel 51,30°N 09,45°E 231 m ü. NN	Kassel 51,30°N 09,45°E 231 m ü. NN	Kassel (AWST) 51,30°N 09,45°E 231 m ü. NN	Kassel 51,30°N 09,45°E 231 m ü. NN	084_101 51,20°N 09,40°E 326 m ü. NN	046_068 51,34°N 09,45°E 232 m ü. NN
8	Braunlage 51,73°N 10,60°E 607 m ü. NN	Braunlage 51,73°N 10,60°E 607 m ü. NN	Braunlage (AWST) 51,73°N 10,60°E 607 m ü. NN	Braunlage 51,80°N 10,60°E 607 m ü. NN	087_107 51,78°N 10,65°E 139 m ü. NN	055_072 687 m ü. NN

Tabelle 6.2: Fortsetzung der Tabelle 6.1 für die TRJ-Regionen 9 bis 15

<i>Reg.</i>	<i>TRJ</i>	<i>WR06</i>	<i>WR10</i>	<i>STAR</i>	<i>CCLM</i>	<i>REMO</i>
9	Chemnitz 50,80°N 12,87°E 418 m ü. NN	Chemnitz 50,80°N 12,86°E 418 m ü. NN	Chemnitz (WEWA) 50,80°N 12,87°E 418 m ü. NN	Chemnitz 50,80°N 12,86°E 418 m ü. NN	082_118 50,80°N 12,80°E 596 m ü. NN	070_060 50,84°N 12,90°E 325 m ü. NN
10	Hof 50,32°N 11,88°E 567 m ü. NN	Hof 50,32°N 11,88°E 567 m ü. NN	Hof-Hohensaas (WEWA) 50,32°N 11,88°E 565 m ü. NN	Hof 50,32°N 11,88°E 567 m ü. NN	080_113 50,40°N 11,80°E 768 m ü. NN	062_055 50,35°N 11,85°E 543 m ü. NN
11	Fichtelberg 50,47°N 12,95°E 1213 m ü. NN	Fichtelberg 50,43°N 12,95°E 1213 m ü. NN	Fichtelberg (WEWA) 50,43°N 12,95°E 1213 m ü. NN	Fichtelberg 50,43°N 12,95°E 1213 m ü. NN	080_119 50,40°N 13,00°E 274 m ü. NN	070_056 50,49°N 12,94°E 759 m ü. NN
12	Mannheim 49,52°N 08,55°E 96 m ü. NN	Mannheim 49,52°N 08,55°E 96 m ü. NN	Mannheim (WEWA) 49,52°N 08,55°E 96 m ü. NN	Mannheim 49,52°N 08,55°E 96 m ü. NN	076_097 49,60°N 08,60°E 344 m ü. NN	037_048 49,50°N 08,55°E 98 m ü. NN
13	Mühlendorf 48,28°N 12,50°E 405 m ü. NN	Trostberg 48,02°N 12,55°E 487 m ü. NN	Mühlendorf (WEWA) 48,28°N 12,50°E 405 m ü. NN	Oberbergkirchen Scho. 48,30°N 12,37°E 458 m ü. NN	069_117 48,20°N 12,60°E 461 m ü. NN	065_031 48,26°N 12,51°E 409 m ü. NN
14	Stötten 48,67°N 09,87°E 734 m ü. NN	Stötten 48,67°N 09,87°E 734 m ü. NN	Stötten (AWST) 48,67°N 09,87°E 734 m ü. NN	Stötten 48,67°N 09,87°E 734 m ü. NN	071_103 48,60°N 09,80°E 438 m ü. NN	046_037 48,63°N 09,92°E 644 m ü. NN
15	Garmisch-Partenk. 47,48°N 11,07°E 719 m ü. NN	Garmisch-Partenk. 47,48°N 11,07°E 719 m ü. NN	Garmisch-Partenkirchen 47,48°N 11,07°E 719 m ü. NN	Garmisch-Partenkirchen 47,40°N 11,00°E 719 m ü. NN	065_109 47,47°N 11,03°E 1228 m ü. NN	053_023 1230 m ü. NN

Die Lösung liegt in der Kombination von bereits für die TRJ der Gegenwart verwendeten Verfahren. Dabei erfolgt eine Zusammensetzung der TRJ aus Episoden des Zeitraums 1993 bis 2007, wie bei den mittleren TRJ für die Gegenwart, beschrieben im zweiten Zwischenbericht [SPEKAT et al. 2009b]. Die für den Zusammenbau selektierten Episoden müssen dabei den Jahresgang und die Streuung möglichst treffend wiedergeben.

6.3.1 Extreme zukünftige TRJ

Zunächst wird, getrennt für jede TRJ-Region, für jedes der fünf Modelle eine Rangfolge der simulierten Jahre 2021 bis 2050 gebildet. CCLM, REMO und STAR liegen in je einer Realisierung vor, daher sind es 30 Modelljahre, WETTREG06 besitzt 20 Realisierungen, also 600 Modelljahre aus diesem Zeitraum und bei WETTREG10 sind es 300 Modelljahre. Zur Beurteilung warmer Sommer ist das Sortiermaß die Zahl der Tage, an denen das 90%-Quantil der Tagesmaximumtemperatur überschritten wird. Zur Beurteilung kalter Winter ist es die Gradtagzahl mit Bezugstemperatur 12 °C.

Von den entsprechend sortierten Modelljahren wird dasjenige ausgewählt, das in der Rangfolge dem 90% Quantil entspricht, also der Rang 540 bei 600 Modelljahren (WETTREG10), bei 300 Modelljahren (WETTREG06) Rang 270 und bei 30 Modelljahren (CCLM, REMO, STAR) Rang 27 (Bei der Gradtagssumme sind es die komplementären Rangplätze am Anfang der Sortierung). Um die Repräsentativität zu erhöhen werden zusätzlich bei jedem Modell die benachbarten drei Ränge ober- und unterhalb des selektierten Jahres einbezogen.

Danach erfolgt die Berechnung der Differenz der jeweiligen Szenariodaten zu den 20C-Daten (verwendet wird der mittlere simulierte Jahresgang 1971 bis 2000, der zusätzlich mit einem Tiefpassfilter geglättet wird), um den Bias zu eliminieren. Die so gewonnenen 7 (Rangplatz des 90%-Quantils und jeweils drei Nachbarn darüber und darunter) \times 5 (Regionalisierungsmodelle) Jahre in Einheiten der Abweichung zum mittleren Jahresgang 1971 bis 2000, werden für jeden Tag des Jahres gemittelt und es wird die Streuung der an jedem Tag verwendeten 7 \times 5 Szenariowerte berechnet. Es entsteht ein modifizierter Jahresgang nebst Angaben zur täglichen Streuung der verwendeten Szenariodaten.

Dieser Jahresgang ist charakteristisch für Extreme im Klima der Periode 2021 bis 2050 und basiert auf einem Ensemble von Regionalisierungen, die alle mit demselben globalen Klimamodell angetrieben wurden. Das in Abb. 6.1 dargestellte Beispiel illustriert den Auswahlprozess. Er basiert in diesem Fall auf der Rangfolge der Gradtagssummen (bezogen auf 12 °C). für die modellierten Winterhalbjahre aus 20 Realisierungen der Jahre 2021 bis 2050 des Modells WETTREG06. Die Plätze 58...64 der Rangfolge werden zum Aufbau des Jahresgangs verwendet. Markiert ist in der Abbildung der Eintrag für den Rangplatz 61 (Gradtagssumme = -1689,6), der in diesem Beispiel dem 12. von 20 WETTREG06-Realisierungen entstammt.

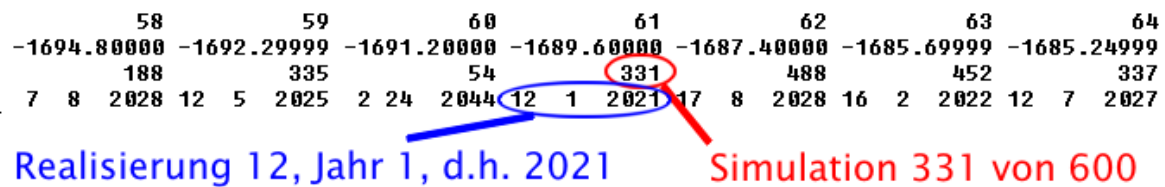


Abbildung 6.1: Beispiel für die Auswahl von sieben Winterhalbjahren anhand der Gradtagssumme. TRJ-Region 4 (Repräsentanzstation Potsdam). Modell: WETTREG06.

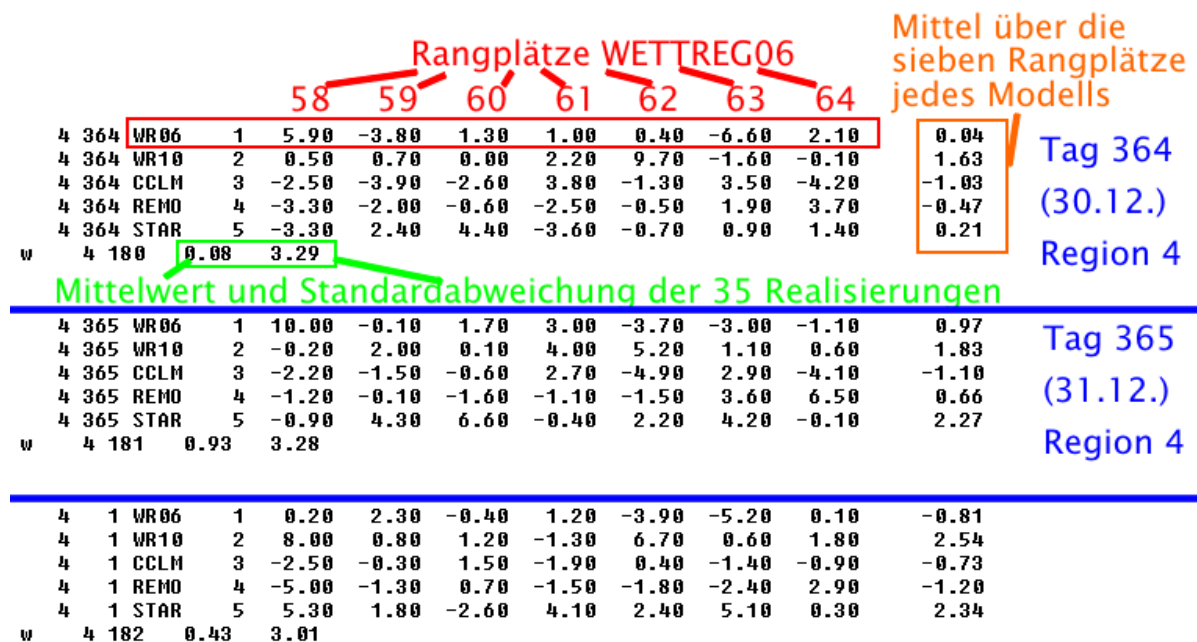


Abbildung 6.2: Beispiel für die Zusammensetzung der einzelnen Tage des modellierten Jahresgang. TRJ-Region 4 (Repräsentanzstation Potsdam). Modell: WETTREG06. [aus SPEKAT et al. 2010b]

Wie Abb. 6.2 anhand eines Beispiels (ebenfalls GTS-Werte des Winterhalbjahres) zeigt, werden für jedes der selektierten Jahre die Differenzen zum Mittel 1971 bis 2000 (20C-Daten des betreffenden Modells) gebildet. Bei WETTREG06 wurden die Jahre der Rangplätze 58...64 verwendet, bei WETTREG10 sind es die Rangplätze 28...34 (von 300) und bei CCLM, REMO und STAR sind es die Rangplätze 1...7. Es gibt für jeden Tag des Jahres 35 beitragende Temperaturdifferenzwerte, aus denen das (in der Abb. grün umrandete) Ensemblemittel und die Standardabweichung gebildet werden.

Aus den 35 beitragenden Temperaturdifferenzwerten jedes Tages werden ein mittlerer Jahresverlauf und die Standardabweichung erzeugt, wie im Beispiel für die sommer-bezogene Auswahl, Region 1, in Abb. 6.3 dargestellt. Es erfolgt eine Glättung mit einem gleitenden 15-Punkte-Filter (dunkelblaue bzw. schwarze Kurve in der Abbildung). Der rote Rahmen soll verdeutlichen, für welchen Zeitbereich die Evaluierung erfolgte - im abgebildeten Beispiel der Sommer.

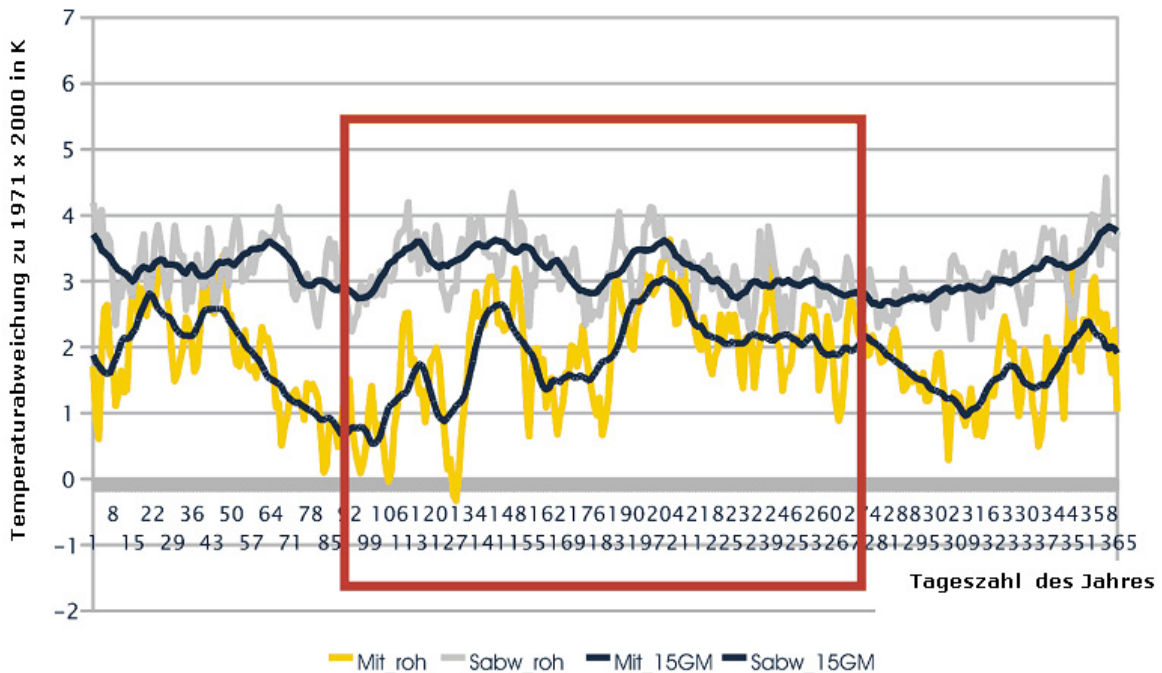


Abbildung 6.3: Beispiel für einen aus 35 beitragenden modellierten Jahren zusammengesetzten Jahresgang der Abweichungen der Tagesmitteltemperatur (Abweichungen von den modell-spezifischen 20C-Werten für 1971 bis 2000) und der zeitliche Verlauf der Standardabweichung. (TRJ-Region 1, Repräsentanzstation Bremerhaven). Sommerbezogene Auswahl - der Rahmen markiert den Zeitraum, der für die Evaluierung verwendet wurde. (Mit_roh: Projektionsdaten der Tagesmitteltemperaturabweichung, Sabw_roh: Standardabweichung der projizierten Tagesmitteltemperatur, Mit_15GM: mit 15 Punkte-Filter geglätteter Verlauf der Tagesmitteltemperaturabweichungen, Sabw_15GM mit 15 Punkte-Filter geglätteter Verlauf der Standardabweichung der projizierten Tagesmitteltemperatur) [aus SPEKAT et al. 2010b]

Um Missverständnissen vorzubeugen: Ursprünglich war vorgesehen, extreme Testreferenz-Halbjahre auszuliefern. In der Projekt-Begleitgruppe wurde der Wunsch geäußert, stattdessen 365-tägige Zeitbereiche zur Verfügung gestellt zu bekommen, in die die Sommer bzw. Winter eingebettet sind. Daten außerhalb des eingerahmten Zeitbereichs gehören zwar zu den von dem Modell simulierten Jahren, wurden aber zur Evaluierung, ob es sich um eine extreme Jahreszeit handelt, nicht hinzugezogen. Analysen im Zeitbereich außerhalb des Halbjahresfensters sind mithin im Grunde nicht zulässig.

Die oben gezeigten Beispiele sollen den Weg verdeutlichen, auf dem die Randbedingungen für den darauf folgenden Verfahrensschritt entstehen. In diesem Schritt wird das in Abschnitt 4.2 umrissene Verfahren angewandt, also eine Zeitreihe aus Segmenten des Klimas im Zeitraum 1993 bis 2007 zusammengesetzt, wobei deren Selektion so erfolgt, dass die Anpassung an den oben illustrierten Jahresgang nebst Streuung möglichst gut ist. Zur Verfügung gestellt wird, für jede TRJ-Region, eine ASCII-Datei der extremen zukünftigen sommer- bzw. winterorientierten TRJ, die 22 Variablen und Kontrollgrößen enthält. Die Daten besitzen das Format der bisherigen TRJ [Christoffer et al. 2004]. Zudem ist für jede Region eine Sommer- bzw. Winter-Protokolldatei verfügbar, in der die jeweils verwendeten Segmente aufgelistet sind.

6.3.2 Mittlere zukünftige TRJ

Auch das mittlere zukünftige TRJ wird mit einem Verfahren hergestellt, das Segmente des Klimas im Zeitraum 1993 bis 2007 zusammensetzt und dabei eine möglichst gute Anpassung an Jahresgang und Standardabweichung eines zukünftigen Klimas anstrebt. Dieser Jahresgang wird beim mittleren zukünftigen TRJ aber anders als bei den extremen zukünftigen TRJ erzeugt. Basis ist das Mittel der Temperatur über alle verfügbaren Modelljahre des Zeitraums 2021 bis 2050 (WETTREG06: 600 Modelljahre, WETTREG10: 300 Modelljahre, etc.), ausgedrückt als modellspezifische Abweichung vom jeweiligen 20C-Mittelwert (1971 bis 2000).

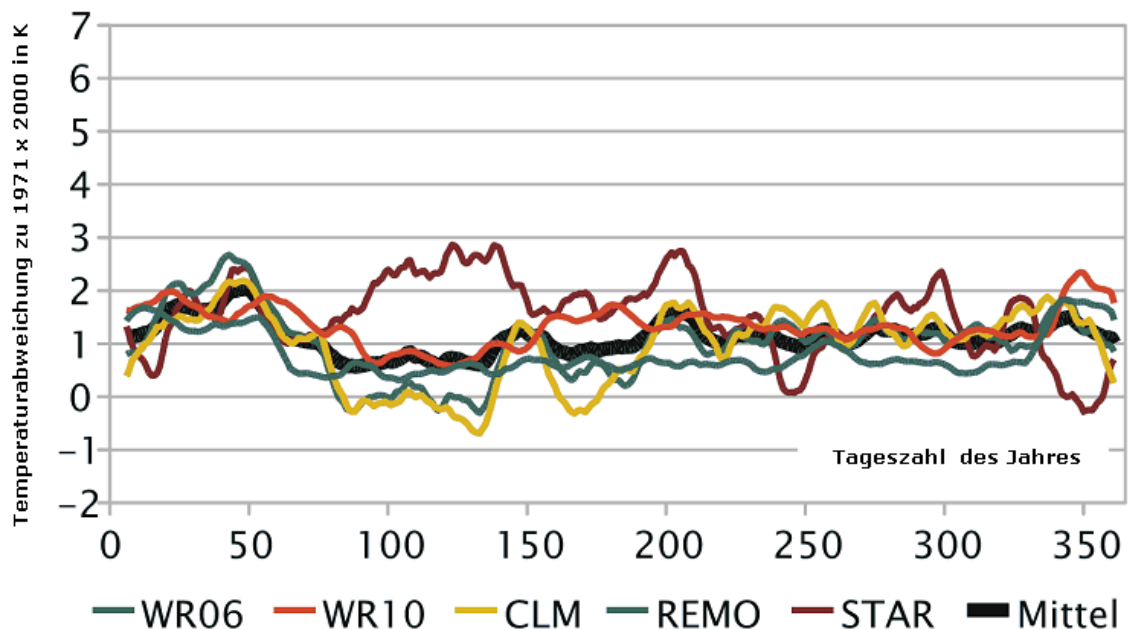


Abbildung 6.4: Beispiel für einen aus modellierten Jahren zusammengesetzten Temperaturjahresgang (Abweichungen von den modell-spezifischen 20C-Werten für 1971 bis 2000). TRJ-Region 1 (Repräsentanzstation Bremerhaven). Dargestellt sind die zeitlichen Verläufe der Temperaturabweichung [in °C] für jedes der fünf Modelle sowie das Mittel über alle Modelle. [aus SPEKAT et al. 2010b]

Als Beispiel ist in Abb. 6.4 dieser Jahresverlauf für die TRJ-Region 1 gezeigt. Unterschiede zwischen den verschiedenen benutzten Modellen sind gut erkennbar, insbesondere beim Modell STAR. Die Verläufe der anderen Modelle sind einander relativ ähnlich.

Abb. 6.5 zeigt, in Analogie zur Darstellung bei den extremen zukünftigen TRJ (vgl. Abb. 6.3), den Jahresverlauf der Temperaturabweichung, gemittelt über alle beitragenden Modelljahre des Zeitraums 2021 bis 2050 sowie den zeitlichen Verlauf der Standardabweichung - jeweils ungefiltert und Tiefpass-gefiltert. Wie schon bei den extremen zukünftigen TRJ wird im Folgeschritt das in Abschnitt 4.2 umrissene Verfahren angewandt, also eine Zeitreihe aus Segmenten des Klimas im Zeitraum 1993 bis 2007 zusammengesetzt, wobei deren Selektion so erfolgt, dass die Anpassung an den gerade beschriebenen Jahresgang nebst Streuung möglichst gut ist.

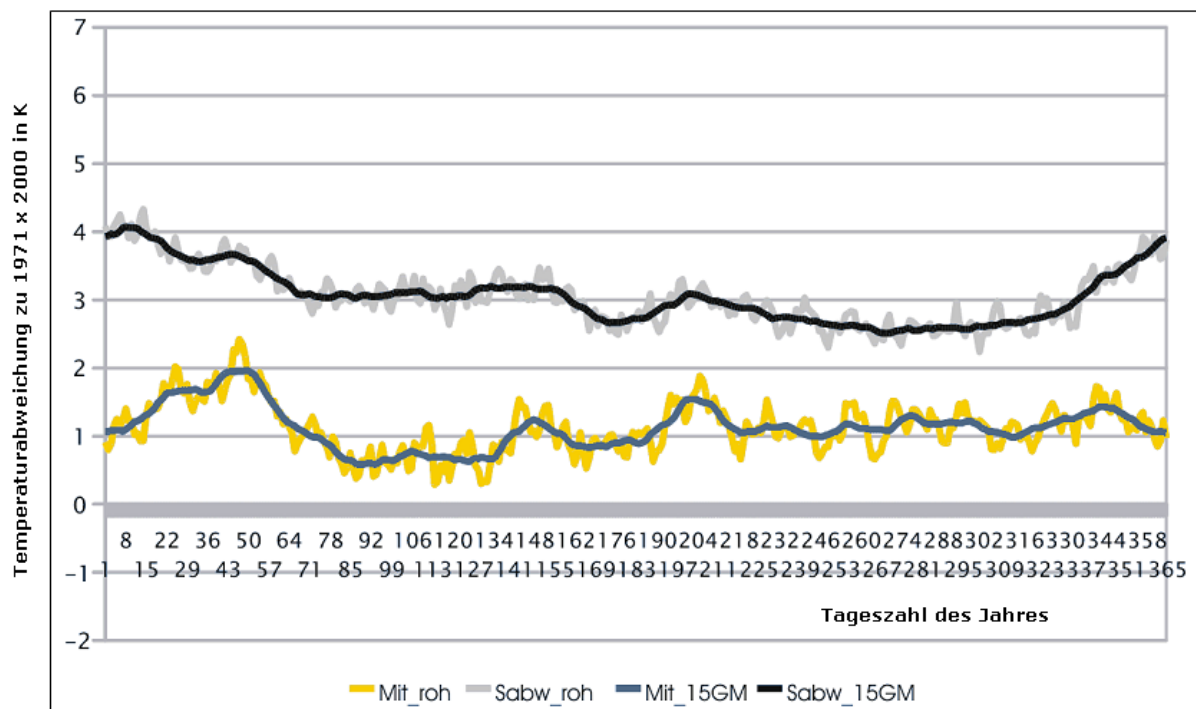


Abbildung 6.5: Beispiel für einen aus 990 beitragenden modellierten Jahren (600 Jahre WETTREG06, 300 Jahre WETTREG10, je 30 Jahre CCLM, REMO und STAR) des Zeitraums 2021 bis 2050 zusammengesetzten Jahresgang, dargestellt als Abweichungen von den modell-spezifischen 20C Werten für 1971 bis 2000. Zusätzlich TRJ-Region 1 (Repräsentanzstation Bremerhaven). Gelbe und hellgraue Kurven stellen die ungefilterten, blaue und schwarze Kurven die mit einem gleitenden 15-Punktemittel Tiefpass-gefilterten Werte dar. (Mit_roh: Projektionsdaten der Tagesmitteltemperaturabweichung, Sabw_roh: Standardabweichung der projizierten Tagesmitteltemperatur, Mit_15GM: mit 15 Punkte-Filter geglätteter Verlauf der Tagesmitteltemperaturabweichungen, Sabw_15GM mit 15 Punkte-Filter geglätteter Verlauf der Standardabweichung der projizierten Tagesmitteltemperatur) [aus SPEKAT et al. 2010b]

7. Fazit

In den bisherigen Projektphasen erfolgten wesentliche Teilschritte zur Erstellung neuer TRJ basierend auf den klimatischen Verhältnissen des gegenwärtigen Klimas.

- Analyse der Datenlage für die Erstellung neuer TRJ.
- Erweiterung der Methodik zur Erstellung mittlerer TRJ.
- Erarbeitung von methodischen Ansätzen zur Erstellung extremer Testreferenz-Sommer und -Winterhalbjahre.
- Implementierung des Stadteffekts in die TRJ.
- In dieser Phase: Zukünftige extreme und mittlere TRJ.

Damit stehen verschiedene Testreferenz-Datensätze für die Repräsentanzstationen zur Verfügung. Sie wurden mit dem Leitgedanken einer möglichst hohen Kompatibilität zu den 2004 publizierten Testreferenz-Jahren [Christoffer u. a. 2004] erstellt, befinden sich aber auf einer methodisch weiter entwickelten Basis. Bedeutende Erweiterungen erfolgten durch die Einbeziehung des Stadteffekts und der Entwicklung von TRJ für ein zukünftiges Klima. Die in diesem Vorhaben entwickelten TRJ können beispielsweise für Wirkmodelle im Bereich Heiz- und Klimatechnik eingesetzt werden.

8. 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.

HUPFER, P. (Hrsg.) ; KUTTLER, W. (Hrsg.), 2005: Witterung und Klima. Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie. Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden : B.G. Teubner.

JACOB, D.; GÖTTEL, H.; KOTLARSKI, S.; LORENZ, P.; SIECK, K.; 2008: Klima- auswirkungen 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.

KREIENKAMP, F. ; ENKE, W.; 2005: Nationale Luftreinhaltestrategie - Umsetzung von EU-Anforderungen. Teilprojekt 1: Entwicklung operationeller automatischer Verfahren zur Validierung von Immissionsmesswerten als Teil eines Qualitätssicherungssystems. Schlussbericht / Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. 2005 (FKZ 203 43 257/01). – Forschungsbericht

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.

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. 2nd edition. Methuen, London/New York.

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

PARK, H.S.; 1986: Features of the urban heat island in Seoul and its surrounding cities. In: Atm. Environ. 20 (1986), S. 1559 -1566.

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. Umweltbundsamt. (Förderkennzeichen 204 41 138). Forschungsbericht. Available at www.umwelt-daten.de/publikationen/fpdf-l/3133.pdf.

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

SPEKAT, A.; KREIENKAMP, F.; ENKE, W.; 2009b: Erstellung neuer Datensätze zu den Testreferenzjahren in Deutschland. Teilbericht 2: Dokumentation der Varianten für das mittlere TRJ. Climate & Environment Consulting Potsdam (CEC) GmbH und Deutscher Wetterdienst (DWD) Offenbach, Oktober 2009. (interne Mitteilung).

SPEKAT, A.; KREIENKAMP, F.; ENKE, W.; 2009c: Erstellung neuer Datensätze zu den Testreferenzjahren in Deutschland. Teilbericht 3: Extreme TRJ. Climate & Environment Consulting Potsdam (CEC) GmbH und Deutscher Wetterdienst (DWD) Offenbach, November 2009. (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, März 2010. (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 Consulting Potsdam (CEC) GmbH und Deutscher Wetterdienst (DWD) Offenbach, November 2010. (interne Mitteilung).

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

9. Anhang Format der TRJ-Dateien

9.1 Metainformationen

Die dem Nutzer zur Verfügung gestellten TRJ-Dateien sind bezüglich der enthaltenen Größen und der Formatierung der Datenzeilen kompatibel mit den Spezifikationen, die in [Christoffer u. a. 2004] dokumentiert sind. Zusätzlich enthielten TRJ-Dateien seit 1986 einen Informationsblock (Header) mit Details. Dieses Konzept wird auf die neuen TRJ-Dateien übertragen. Ein Beispiel findet sich in Abb. 9.1.

Der Header besitzt Abschnitte, die bei allen Dateien die gleiche Struktur haben während es in anderen Abschnitten, je nach Datenart, eine spezifische Zusammensetzung gibt. Da die Länge variabel ist, kennzeichnet eine Zeile mit der Eingabe `***` das Ende des Headers. Die einzelnen Abschnitte enthalten dabei Folgendes:

1. Information zur Region und der verwendeten Repräsentanzstation (im Beispiel Region 9 mit der Repräsentanzstation Chemnitz).
2. Art- und Bezugs-Beschreibungsblock. Die Datenart ist entweder mittleres Jahr, extremer Sommer oder extremer Winter. Der Bezugszeitraum ist bei den TRJ der Gegenwart 1988 bis 2007 und bei den zukünftigen TRJ 2021 bis 2050.
3. Stadteffekt-Beschreibungsblock. In der Ausgangsform ist der Stadteffekt in den TRJ nicht berücksichtigt und den entsprechenden Headerzeilen ist „ — “ vermerkt. Wenn mit Hilfe der in [SPEKAT et al. 2010a] und in Abschnitt 3.3 dieses Berichts beschriebenen Software ein Stadteffekt auf die entsprechende TRJ-Reihe aufgeprägt wird, erfolgen in diesem Abschnitt des Headers Einträge zu Bevölkerungszahl, Stadttyp und Höhenlage.
4. Datenbasis-Beschreibungsblock. Hier sind zwei Varianten möglich:
 - Gegenwart: Abschnitt besteht aus einer Zeile, in der der Zeitrahmen der stündlichen Eingangsdaten vermerkt ist (im Beispiel 1988 bis 2007).
 - Zukunft (vgl. Abschnitt 4): Abschnitt besteht aus drei Zeilen, vgl. Abb. . Die erste ist wie bei den TRJ der Gegenwart. Es folgt eine Zeile, die die Herkunft der Daten für die Resimulation 1971 bis 2000 beinhaltet. Die dritte Zeile listet die Herkunft der Dateien für das Zukunftsszenario auf. Details zu diesen Datenarten finden sich in Abschnitt 4.4.
5. Auflistung der Spaltenformate des Datenabschnitts. In dieser Zeile findet sich, in Fortran-Schreibweise, die Form (Ganzzahl, Fließkommazahl), in der die Variablen, s.u., abgespeichert sind.
6. Beschreibung der TRJ-Parameter, die sich im Anschluss an den Header in den Spalten befinden.
7. Zeile mit den Spaltenüberschriften (die Kennungen sind auch Teil des voraus gegangenen Beschreibungsblocks).
8. Header-Endzeile, bestehend aus der Markierung „***“.

TRY09 Thüringer Becken und Sächsisches Hügelland
 Station: Chemnitz WMO-Nummer: 10577
 Lage: 50°48'N (- B. 12°52'O (- L. 418 Meter über NN
 Zeitpunkt der Erstellung: November 2010

(Klinaregion 9)

} Stationsinformation

Art des TRY : extremer Winter
 Bezugszeitraum : 1988-2007
 Stadteffekt : gewählte Bevölkerungsanzahl: 200000 Einwohner; Stadttyp: mittleres Stadtgebiet
 Höhenkorrektur : aktuelle Höhenlage: 418 Meter über NN

} Art- und Bezugs-Beschreibungsblock
 } Stadteffekt-Beschreibungsblock

Datenbasis : Beobachtungsdaten Zeitraum 1988-2007

Datenbasis

Format: {i2,2x,i4,2x,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}

Format der TRJ-Daten

Reihenfolge der Parameter:

RG TRY-Region
 IS Standortinformation
 MH Monat
 DD Tag
 HH Stunde (MEZ)
 N Bedeckungsgrad
 UR Windrichtung in 10 m Höhe über Grund
 WG Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe über Grund
 t Lufttemperatur in 2m Höhe über Grund
 p Luftdruck in Stationshöhe
 x Wasserdampfgehalt, Mischungsverhältnis
 RF Relative Feuchte in 2 m Höhe über Grund
 W Wetterereignis der aktuellen Stunde
 B Direkte Sonnenbestrahlungsstärke (horiz. Ebene)
 D Diffuse Sonnenbestrahlungsstärke (horiz. Ebene)
 IK Information, ob B und oder D Messwert/Rechenwert
 A Bestrahlungsstärke d. atn. Wärmestrahlung (horiz. Ebene)
 E Bestrahlungsstärke d. terr. Wärmestrahlung
 IL Qualitätsbit für die langweiligen Strahlungsgrößen

{1..15}
 {1,2}
 {1..12}
 {1..28,30,31}
 {1..24}
 {0..8;9}
 {0;10..360;999}
 [n/s]
 [°C]
 [hPa]
 [g/kg]
 [%]
 {1..100}
 {0..99}
 [W/m²] abwärts gerichtet: positiv
 [W/m²] abwärts gerichtet: positiv
 {1;2;3;4;9}
 [W/m²] abwärts gerichtet: positiv
 [W/m²] aufwärts gerichtet: negativ
 {1;2;3;4;5;6;7;8;9}

Parameter-
 Beschreibungsblock

Spaltenüberschriften

RG	IS	MH	DD	HH	N	UR	WG	t	p	x	RF	W	B	D	IK	A	E	IL
9	1	1	1	1	8	220	5.0	3.4	952.3	4.2	82	3	0	0	0	263	-325	9
9	1	1	1	2	7	190	5.0	3.1	952.3	4.2	84	-1	0	0	0	280	-325	9
9	1	1	1	3	5	200	4.0	2.8	952.6	4.1	84	-1	0	0	0	266	-323	9
9	1	1	1	4	6	170	2.0	3.1	952.4	4.2	84	-1	0	0	0	280	-325	9
9	1	1	1	5	7	190	3.0	3.5	952.6	4.1	80	-1	0	0	0	297	-328	9
9	1	1	1	6	8	180	4.0	3.5	952.6	4.1	80	-1	0	0	0	270	-326	9
9	1	1	1	7	7	190	4.0	2.8	953.0	4.0	82	-1	0	0	0	283	-324	9
0	1	1	1	8	7	100	4.0	2.6	953.8	4.0	83	-1	0	0	0	250	-324	0

Endmarke für den Header

TRJ-Daten

Abb. 9.1: Beispiel für einen Dateiheder (gegenwärtige extreme TRJ, Winter.)

```

TRY08   Überharz und Schwarzwald (Gallensberg)
Station: Braunlage                               WMO-Nummer: 10452
Lage: 51°44'N <- B. 10°36'D <- L. 607 Meter über NN
Zeitpunkt der Erstellung: November 2010

Art des TRY : extremer Sommer
Bezugszeitraum : 2010-2050
Stadteffekt : gewählte Bevölkerungsanzahl: 100000 Einwohner; Stadttyp: eng bebaute Innenstadt
Höhenkorrektur : aktuelle Höhenlage: 100 Meter über NN

Datenbasis 1: Beobachtungsdaten Zeitraum 1988-2007
Datenbasis 2: Klimasimulationen Zeitraum 1971-2000 (Basis SRES-20C / ECHAM5-OM Lauf 1 / CLM; REMO-UBA; STAR2; WETTREG2006 und WETTREG2010)
Datenbasis 3: Klimasimulationen Zeitraum 2021-2050 (Basis SRES-A10 / ECHAM5-OM Lauf 1 / CLM; REMO-UBA; STAR2; WETTREG2006 und WETTREG2010)

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}
NM Monat                                     {1..12}
DD Tag                                       {1..28,30,31}
HH Stunde (MEZ)                             {1..24}
N Bedeckungsgrad                            [Achtel] {0..8;9}
VR Windrichtung in 10 m Höhe über Grund     [°]      {0;10..360;999}
UC Windschwindigkeit in 10 m Höhe über Grund [m/s]

```

Abb. 9.2: Ausschnitt aus dem Dateiheader mit Zusatzinformation zur Datenbasis bei zukünftigen TRJ. Beispiel für einen zukünftigen extremen Sommer.

Den größten Teil jeder Datei bilden die 24_365 Datenzeilen des Testreferenzjahres, die im Anschluss an den Header beginnen.

9.2 Ausgabeformat der extremen gegenwärtigen TRJ

Die Wirkmodelle, in denen extreme Testreferenz-Halbjahre verarbeitet werden, nutzen oftmals einen Zeitrahmen, der über das eigentliche Halbjahr hinausgeht. Daher wurde im Rahmen des Vorhabens die Herangehensweise angepasst und es erfolgt die Bestimmung von sommerzentrierten bzw. winterzentrierten Jahren. Das bedeutet, dass im Fall eines extremen Sommers die Identifikation anhand der relevanten Parameter, die innerhalb der Sommermonate auftreten, erfolgt. Die TRJ-Datei enthält dann das gesamte Kalenderjahr, in dessen Mitte sich der extreme Sommer befindet und dessen davor und danach liegenden Monate (Januar bis März und Oktober bis Dezember) zum „Aufüllen“ dienen und bei der Selektion keinen Bedeutung hatten.

Für den Winter liegt der Fall anders. Denkbar wäre ein winterzentriertes Jahr, dergestalt, dass es von Anfang Juli eines Jahres Y bis zum Ende eines Jahres Y +1 reicht und ein vollständiges Winterhalbjahr enthält, wie in Abb. 9.3 dargestellt.

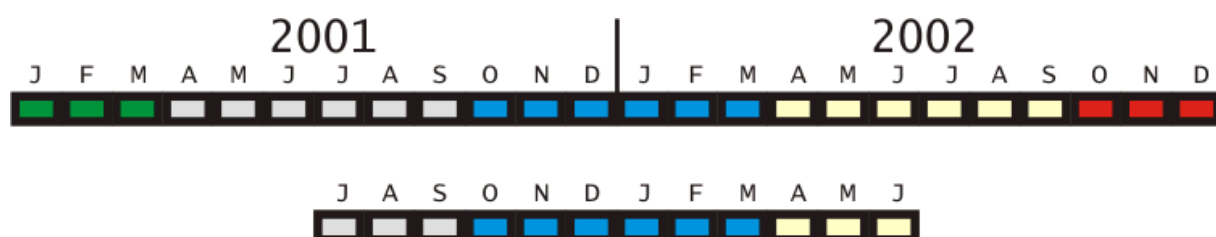


Abb. 9.3: Winterzentriertes Jahr, beginnend am 1. Juli. Die Selektion erfolgt anhand von Kriterien, die auf die Monate Oktober bis März (blau) angewandt werden.

Einige Wirkmodelle setzen jedoch eine einheitliche Zeitstruktur voraus und verlangen, dass dieses am 1.1. beginnt, egal, ob es sich um ein sommer- oder ein winterzentriertes Jahr handelt. Die einfachste Art, dieser Forderung nachzukommen ist in Abb. 9.4 aufgeführt.

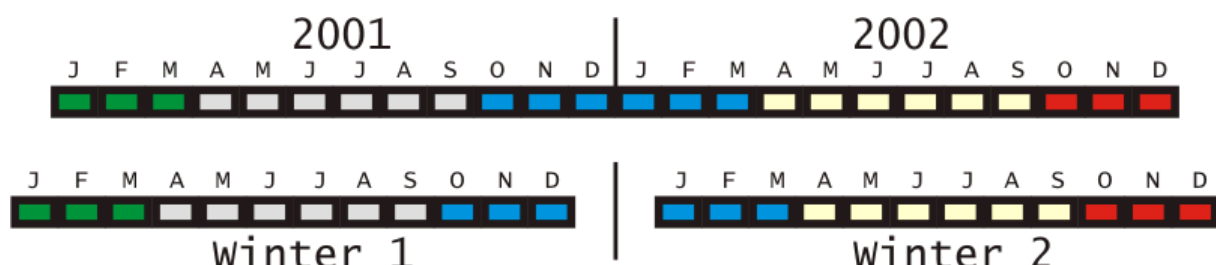


Abb. 9.4: Winterzentriertes Jahr, beginnend am 1. Januar. Variante 1: Kalenderjahre. Die Selektion für Winter 1 erfolgt anhand von Kriterien, die auf die Monate Oktober bis März (blau) angewandt werden. Die Selektion für Winter 2 erfolgt anhand von Kriterien, die auf die Monate Oktober bis Dezember des zweiten Jahres und die Monate Januar bis März des darauf folgenden Jahres (nicht in der Skizze enthalten) angewandt werden.

Es ist jedoch nur scheinbar die einfachste Art der Konstruktion eines solchen

TRJ. Erstens finden sich ein Teil der Tage, die zur Identifikation hinzugezogen wurde und mithin ein Teil des extremen Winters nicht in der TRJ-Datei sondern in derjenigen des Nachfolgejahrs. Zweitens ist das Jahr nicht zyklisch zu analysieren, denn es gibt keinen Anschluss zwischen 31.12. und 1.1. und somit einen Bruch in der Mitte des Winters.

Der Ausweg liegt in einer auf den ersten Blick komplizierter anmutenden Variante, bei der die Datei sowohl am 1.1. beginnt, als auch einen zusammenhängenden Winter enthält, wie Abb. 2.5 zeigt.

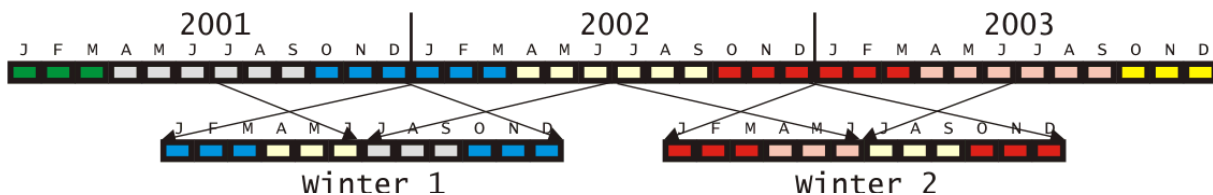


Abb. 9.5: Winterzentriertes Jahr, beginnend am 1. Januar. Variante 2: Konsistenter Winter.

Dabei wird, wie auch in Variante 1, der erste Winter aus den Monaten Oktober bis Dezember des Jahres Y sowie Januar bis März des Jahres Y + 1 gebildet. Anhand dieser sechs Monate findet die Beurteilung und ggfs. Selektion statt. Anders als in Variante 1 beginnt dann das extreme Testreferenzjahr mit dem Zeitraum 1.1. bis 30.6. des Jahres Y + 1 gefolgt vom 1.7. bis 31.12. des Jahres Y, es ist sozusagen der „Winter 2002/2001“. Der Bruch zwischen den beiden verwendeten Jahren liegt im für Winter-Untersuchungen irrelevanten Übergang Juni/Juli. Diese Variante wird in den extremen Winter-TRJ umgesetzt.