



Berlin - Brandenburgische
Akademie der Wissenschaften

Materialien der Interdisziplinären Arbeitsgruppe

**Zukunftsorientierte Nutzung ländlicher Räume
- LandInnovation -**

**Klimadiagnose der Region Berlin /
Barnim / Uckermark / Uecker-Randow
für den Zeitraum 1951 bis 2006**

Barbara Köstner
Michaela Surke
Christian Bernhofer

Dezember 2007

MATERIALIEN Nr. 18

Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften
Interdisziplinäre Arbeitsgruppe *Zukunftsorientierte Nutzung ländlicher Räume*
Jägerstr. 22/23
10117 Berlin
Tel. (030) 20370-538
Fax (030) 20370-214
<http://landinnovation.bbaw.de>

Materialien
Nr. 18

Barbara Köstner, Michaela Surke, Christian Bernhofer
**Klimadiagnose der Region Berlin / Barnim / Uckermark / Uecker-Randow für den Zeitraum
1951-2006**

© 2007 Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in fremde Sprachen, sind vorbehalten.

Satzvorlage und Umschlaggestaltung: work:at:BOOK / Martin Eberhardt, Berlin
Printed in Germany

Inhalt

Zusammenfassung	9
1 Einleitung	11
2 Rezente Klimaänderungen	13
3 Die Untersuchungsregion Berlin / Barnim /Uckermark / Uecker-Randow	15
4 Methoden	17
4.1 Klimadatenbank	17
4.2 Regionalisierung	18
4.3 Berechnung von Klimaindizes	18
4.4. Datengrundlage in der Region	20
5 Ergebnisse und Diskussion	23
5.1 Aktuelle klimatische Charakterisierung der Region.....	23
5.2 Klimatrends im Zeitraum 1971-2000	25
5.2.1 Temperatur	25
5.2.2 Niederschlag.....	28
5.2.3 Strahlung	30
5.3 Vegetationsrelevante Klimaindizes	31
5.3.1 Temperaturextrema.....	31
5.3.2 Klimatische Wasserbilanz	37
5.3.3 Beginn und Länge der thermischen Vegetationsperiode	38
5.3.4 Klimaquotient nach Ellenberg	39
Danksagung	43
Literaturverzeichnis	43
Anhang	45

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mittelwerte der Lufttemperatur und Jahressumme des Freilandniederschlages für das Gesamtjahr, Winterhalbjahr, Sommerhalbjahr an Klimastationen im Untersuchungsgebiet für die Klimanormalperiode 1971-2000	23
Tabelle 2: Anzahl der Tage mit Temperaturen $\geq 25^{\circ}\text{C}$ (Sommertage) in den Monaten Mai und Juni an Klimastationen im Untersuchungsgebiet und absoluter Trend in der Klimanormalperiode 1971-2000	31
Tabelle 3: Klimatische Wasserbilanz, KWB (Jahressumme und Jahresgang) über den Zeitraum 1978-2002 gegenüber dem Zeitraum 1997-2006 als einfaches Gebietsmittel für 9 bzw. 14 Stationen im Untersuchungsgebiet	37
Tabelle 4: Mittelwerte von Beginn, Ende (Tag des Jahres) und Länge (Anzahl Tage) der thermischen Vegetationsperiode im Untersuchungsgebiet (Klimanormalperioden 1951-1980 und 1971-2000)	39
Tabelle 5: Ellenberg-Quotient berechnet auf Basis des Jahresniederschlages (Q) bzw. auf Basis des Niederschlages in der Hauptvegetationszeit von April-September (Q_{gs}) mit den entsprechenden Typen der natürlichen Waldvegetation	39
Tabelle A1: Absoluter Trend des Niederschlages im Zeitraum 1971-2000 an der Klimastation Angermünde	47
Tabelle A2: Absoluter Trend der mittleren Temperatur im Zeitraum 1971-2000 an der Klimastation Angermünde	47

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Untersuchungsregion mit den wichtigsten Landschaftsformen und Orten der Messstationen sowie den Kreisstädten Eberswalde, Prenzlau und Pasewalk	15
Abbildung 2: Struktur der Klimadatenbank und Systematik der Datenverarbeitung	17
Abbildung 3: Nach Prüfung auf Homogenität zur Trendanalyse verfügbare Klimastationen im Untersuchungsgebiet zwischen Berlin und Ueckermünde.....	21
Abbildung 4: Nach Prüfung auf Homogenität zur Trendanalyse verfügbare Niederschlagsstationen im Untersuchungsgebiet zwischen Berlin und Ueckermünde.....	22
Abbildung 5: Regionalisierte mittlere Jahrestemperatur [°C] auf der Basis von 14 Klimastationen bzw. regionalisierte Jahresniederschläge [mm] auf Basis von 116 Niederschlagsstationen im Untersuchungsgebiet für den Zeitraum 1971-2005	24
Abbildung 6: Klimadiagramme für die Stationen Ueckermünde, Angermünde und Berlin-Schönefeld	25
Abbildung 7: Absoluter Trend der mittleren Temperatur in den Jahreszeiten Frühjahr, Sommer, Herbst und Winter im Untersuchungsgebiet zwischen Berlin und Ueckermünde in der Klimanormalperiode 1971-2000	26
Abbildung 8: Absoluter Trend der mittleren Temperatur in den meteorologischen Halbjahren sowie im gesamten Jahr im Untersuchungsgebiet zwischen Berlin und Ueckermünde in der Klimanormalperiode 1971-2000.....	27
Abbildung 9: Relativer Trend der Jahresniederschläge (%) im Untersuchungsgebiet unterschieden nach den meteorologischen Jahreszeiten für den Zeitraum 1971-2000	28
Abbildung 10: Absoluter Trend der Niederschläge in den meteorologischen Halbjahren sowie im gesamten Jahr im Untersuchungsgebiet zwischen Berlin und Ueckermünde in der Klimanormalperiode 1971-2000	29
Abbildung 11: Kurzweilige Einstrahlung im Untersuchungsgebiet am Beispiel des Monats Mai für die Zeitperioden 1971-2006 und 1951-1980	30
Abbildung 12: Absoluter Trend der mittleren Maximumtemperatur in den Jahreszeiten Frühjahr, Sommer, Herbst und Winter im Untersuchungsgebiet zwischen Berlin und Ueckermünde in der Klimanormalperiode 1971-2000.....	33
Abbildung 13: Absoluter Trend der Maximumtemperatur in den meteorologischen Halbjahren sowie im gesamten Jahr im Untersuchungsgebiet zwischen Berlin und Ueckermünde in der Klimanormalperiode 1971-2000.....	34
Abbildung 14: Absoluter Trend der mittleren Minimumtemperatur in den Jahreszeiten Frühjahr, Sommer, Herbst und Winter im Untersuchungsgebiet zwischen Berlin und Ueckermünde in der Klimanormalperiode 1971-2000.....	35
Abbildung 15: Absoluter Trend der Minimumtemperatur in den meteorologischen Halbjahren sowie im gesamten Jahr im Untersuchungsgebiet zwischen Berlin und Ueckermünde in der Klimanormalperiode 1971-2000.....	36
Abbildung 16: Vergleich der klimatischen Wasserbilanz für die Zeiträume 1978-2002 und 1997-2006.	38
Abbildung A1: Klimadiagramme der einzelnen Stationen.....	46
Abbildung A3: Trend des Jahresmitteltemperatur an der Klimastation Angermünde	48
Abbildung A4: Trend des Jahresniederschlages an der Klimastation Angermünde	49
Abbildung A5: Klimatische Wasserbilanz (mm) im Untersuchungsgebiet für die vier Jahreszeiten und das Sommer- und Winterhalbjahr. Vergleich der Mittelwerte im Zeitraum 1978-2002 und 1997-2006.....	51

Zusammenfassung

Für die Entwicklung von ländlichen Regionen spielen deren Naturraumpotentiale eine grundlegende Rolle. Dabei sind insbesondere die gegenwärtigen regionalen Klimaänderungen zu beachten. Für Planungshorizonte von wenigen Jahren bzw. Jahrzehnten lassen sich vergleichsweise sichere Aussagen über regionale klimatische Veränderungen anhand von Trendanalysen der Messwerte an Klima- und Niederschlagsstationen im Gebiet ableiten. Der vorliegende Beitrag untersucht Änderungen von Klimaelementen und Klimaindizes im Nordostdeutschen Tiefland innerhalb des Zeitraums 1951-2006.

Von atlantisch beeinflussten Bereichen im Norden des Untersuchungsgebietes bis zu kontinental geprägten Regionen im Südosten ergibt sich ein Gradient der mittleren Jahrestemperatur von 8,5°C bis 9,0°C. Maximale Jahresmitteltemperaturen werden im Stadtbereich von Berlin mit 9,2°C bis 9,8°C erreicht. Während Maximumtemperaturen vor allem im Frühjahr ansteigen (bis +1,9°C), können Minimumtemperaturen im Herbst auch abnehmen (bis -0,3°C). Die Jahresniederschläge schwanken zwischen 450 und 630 mm und sind deutlich heterogener verteilt. Innerhalb der letzten Klimanormalperiode (1971-2000) nahm die mittlere Lufttemperatur im Gesamtgebiet zwischen 0,7°C und 1,1°C zu mit deutlichen Unterschieden zwischen den Jahreszeiten. Unterschiedlich zu anderen Regionen Deutschlands, in denen der stärkste Temperaturanstieg im Winter zu verzeichnen ist, treten diese im Nordostdeutschen Tiefland im Frühjahr (bis +2,0°C) auf, gefolgt von Winter und Sommer (+0,5°C bis +1°C), während im Herbst die Temperatur nicht oder nur geringfügig ansteigt. Die mittleren Jahresniederschläge zeigen keine bzw. positive Trends (bis +20%). Abnahmen der Niederschläge treten im Sommer (bis -10 %) und Herbst (bis -20%) auf. Vor allem aufgrund der ansteigenden Temperaturen gerät die jährliche klimatische Wasserbilanz zunehmend ins Defizit (-155 mm im Zeitraum 1997-2006). Dies ist allein auf Defizite im Frühjahr und Sommer zurückzuführen. Hinsichtlich der stärker vegetationsbezogenen Klimaindizes lässt sich feststellen, dass sich der Beginn der thermischen Vegetationsperiode im Gebiet um 3-8 Tage verfrüht und die Dauer sich um 8-13 Tage verlängert hat. Des Weiteren haben auf Basis der Klimaklassifizierung die Standortpotentiale der natürlichen Waldvegetation, mit Ausnahme der Ostseeküste, in den letzten 50 Jahren durchweg das warm-trockene „Eichenklima“ erreicht.

Es lässt sich folgern, dass der rezente Klimawandel in der Untersuchungsregion bereits stattfindet und vor allem durch ansteigende Temperaturen sowie teils abnehmende Niederschläge im Sommerhalbjahr gekennzeichnet ist. Die beschriebenen Trends der vergangenen Jahrzehnte unterscheiden sich jedoch hinsichtlich des Temperaturverhaltens im Frühjahr und der saisonalen Niederschlagsentwicklung von weiter in der Zukunft liegenden regionalen Prognosen. Für die Beurteilung der zukünftigen regionalen Entwicklungspotenziale und die Ableitung von Anpassungsmaßnahmen an Klimaänderungen sind daher je nach räumlichem Schwerpunkt und Zeithorizont Klimadiagnosen und -prognosen miteinander abzugleichen und fortlaufend zu aktualisieren.

1 Einleitung

Der ländliche Raum hat in jüngerer Zeit verstärkte Aufmerksamkeit erlangt. Eine Vielzahl von Funktionen, die die Gesellschaft in Anspruch nimmt, werden durch den ländlichen Raum geleistet. Dabei spielen die jeweiligen Naturraumpotenziale ländlicher Regionen für deren Entwicklung eine prägende Rolle. Sie kommen z.B. zum Ausdruck durch die land-, forst-, fischerei- und energiewirtschaftliche Nutzung eines Raumes, durch seine Bedeutung für ökologische Grundfunktionen und Beanspruchung für Wohnen, Freizeit und Erholung. Die derzeitigen und für die Zukunft prognostizierten Klimaänderungen können direkt oder indirekt alle Leistungen des ländlichen Raumes beeinflussen. Um zukünftige Entwicklungspotenziale im ländlichen Raum beurteilen zu können, ist es daher erforderlich, regionale Klimaänderungen mit einzubeziehen.

Die interdisziplinäre Arbeitsgruppe LandInnovation an der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (s. PLIENINGER et al. 2005), befasst sich mit der zukunftsorientierten Nutzung ländlicher Räume anhand einer exemplarisch gewählten Untersuchungsregion, die sich von Berlin bis zum Stettiner Haff erstreckt und die Landkreise Barnim, Uckermark und Uecker-Randow einschließt (BEETZ et al. 2005). Für diese Untersuchungsregion wurde eine Klimadiagnose, d.h. eine Analyse der Klimatrends in den vergangenen Jahrzehnten durchgeführt, um daraus auf Trends der nächsten ein bis zwei Jahrzehnte zu schließen. Ein Vorteil dieser Herangehensweise ist, dass reale Messwerte der Region betrachtet werden, die mit vergleichsweise hoher Sicherheit in die nahe Zukunft extrapoliert werden können. Diese werden u.a. mit Ergebnissen von Klimaprognosen (Szenarien von Klimamodellen) verglichen, die in der Regel über längere Zeiträume, jedoch mit größerer Unsicherheit die Klimaentwicklung einer Region beschreiben.

Anhand ausgewählter meteorologischer Stationsmesswerte in der Untersuchungsregion und ihrem Randbereich werden die lokalen bis regionalen Klimatrends mit Hilfe der Klimadatenbank an der Professur für Meteorologie der TU Dresden (BERNHOFER & GOLDBERG 2001, FRANKE et al. 2004) statistisch aufbereitet und analysiert. Zur Beurteilung der Auswirkungen der Klimaentwicklung auf die natürliche Vegetation und landwirtschaftliche Produktion werden die Klimadaten hinsichtlich der Änderung vegetationsrelevanter Kennwerte wie z.B. Temperaturextreme, Niederschlag, Beginn und Dauer der Vegetationsperiode untersucht.

2 Rezente Klimaänderungen

Das Klima, ein wesentlicher Steuerungsfaktor von Naturräumen, befindet sich heute in einem transienten Zustand, der durch eine anhaltende Zunahme der mittleren Lufttemperaturen während der letzten 50 Jahre gekennzeichnet ist. Dieser gegenwärtige Klimawandel ist daher bei der Betrachtung von Naturraumpotenzialen und Entwicklungsmöglichkeiten ländlicher Räume mit einzubeziehen. Die Erdgeschichte war immer mit Wechseln von Warm- und Kaltphasen verbunden, deren Ursachen je nach Dauer ihrer Phasen unterschiedlich erklärt werden (Plattentektonik, Änderung von Erdbahnparametern, Vulkanismus; (u.a. GRAEDEL & CRUTZEN 1995, RAHMSTORF & SCHELLNHUBER 2006). Je näher sich vergangene Klimaänderungen an der Gegenwart befinden, desto sicherer können sie beschrieben werden. Sehr verlässliche, durch direkte Messungen belegte Aussagen stehen seit den letzten 150 Jahren zur Verfügung. Für die Zeit davor behilft man sich mit so genannten Proxydaten (Eisbohrkerne, Meeressedimente, Baumringe etc.). Für Rückschlüsse auf Vegetation und Siedlungsgeschichte, etwa seit Beginn des Holozäns, der noch andauernden warmzeitlichen Epoche nach der letzten Eiszeit (Würm-, Weichselkaltzeit) vor ca. 10.000 Jahren, eignen sich auch Pollendiagramme, Sedimentanalysen und historische Dokumente (u.a. GLASER 2001), um zeitliche Abfolgen und ihre räumlichen Unterschiede zu untersuchen. Innerhalb der letzten 1000 Jahre werden von CROWLEY (2000) grob zwei Phasen unterschieden, die präanthropogene Phase 1000-1850 mit mittleren Temperaturschwankungen um $\pm 0,2$ °C und die durch anthropogene Treibhausgasemissionen gekennzeichnete Phase von 1850 bis heute mit einem mittleren Temperaturanstieg von ca. $+0,75$ °C. Während sich Temperaturschwankungen vor 1850 überwiegend durch Prozesse im Ozean-Atmosphäre-System und Veränderungen der Sonneneinstrahlung simulieren lassen, kann der rasante Temperaturanstieg nach 1850 mit dem selben Klimamodell nur durch die zusätzliche Wirkung von Treibhausgasen nachvollzogen werden. Solche Modellergebnisse werden als wichtige Hinweise für die Bedeutung der anthropogenen Treibhausgase im Klimasystem in den letzten beiden Jahrhunderten gewertet.

Zur Frage, wie sich das Klima zukünftig verändern wird, steht heute umfangreiches, für den Einzelnen kaum mehr überschaubares Informationsmaterial zur Verfügung. Dem Laien sei daher angeraten, sich an die vielfach geprüften Aussagen größerer wissenschaftlicher Konsortien zu halten, die, wie z.B. das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), international anerkannt sind. Kernaussagen der IPCC-Sachstandsberichte beziehen sich auf Änderungen der globalen Temperatur in Abhängigkeit von Emissionsszenarien, denen unterschiedliche Annahmen über die zukünftige Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung und den damit verbundenen Ausstoß von Treibhausgasen zugrunde liegen (IPCC Special Report on Emission Scenarios, SRES). Spannweiten und damit Unsicherheiten in den Klimavorhersagen bzw. -szenarien ergeben sich daher vor allem durch die Ungewissheit, wie sich die Weltbevölkerung in den nächsten 100 Jahren bezüglich der Emission von Treibhausgasen verhalten wird (max. Spannweite des simulierten Temperaturanstiegs zwischen den Szenarien 6 °C), des Weiteren durch die variierenden Ergebnisse einzelner Klimamodelle für das selbe Szenario, wodurch gewissermaßen die unterschiedliche Schwerpunktsetzung im Prozessverständnis der Wissenschaft zum Ausdruck kommt. Durch stärkeren Einbezug von Rückkopplungseffekten der Klimasimulation mit dem globalen Kohlenstoffhaushalt hat sich der absolute Schwankungsbereich für ein hohes Emissionsszenario im vierten Sachstandsbericht ($2,4$ bis $6,4$ °C) im Vergleich zum dritten Sachstandsbericht ($1,4$ bis $5,8$ °C) nach oben verlagert (IPCC 2007). Die seit dem letzten IPCC-

Bericht von 2001 gemachten Beobachtungen zeigen eine im Vergleich zur damaligen Vorhersage beschleunigte Entwicklung des Temperatur- und Meeresspiegelanstieges sowie des Rückgangs von Gletschern und Eisschilden.

Während frühere Klimaprognosen eine nur geringe räumliche (Nord-/Südhemisphäre) und zeitliche (Jahre/Jahrzehnte) Differenzierung aufwiesen, konnten inzwischen in der regionalen Klimamodellierung Fortschritte erzielt werden. Für Deutschland sind regionale Klimaanalysen mit unterschiedlichen methodischen Ansätzen (dynamisch, statistisch-dynamisch, statistisch) vorhanden auf deren Basis regionsspezifische Anpassungsmaßnahmen an Klimaänderungen entwickelt werden können (BERNHOFER et al. 2004).

Um Klimaänderungen einer bestimmten Region festzustellen, ist es nahe liegend, zunächst die langzeitlichen Wetterbeobachtungen der Vergangenheit, die an lokalen Stationen im Gebiet gemacht wurden, zu analysieren (Klimadiagnose). Die Ergebnisse können dann mit den zukünftigen Klimaszenarien der Region (Klimaprognose) verglichen werden. Zur Ableitung von Anpassungsmaßnahmen an Klimaänderungen mit Planungshorizonten von etwa 20 Jahren bietet die Klimadiagnose bzw. ihre Kombination mit der Prognose eine bessere Abschätzung der Unsicherheiten. Zudem zielen die Prognosen vor allem auf den Temperaturanstieg ab, während die für die ökologischen und ökonomischen Fragen so wichtige Niederschlagsvorhersage sehr unsicher bleibt.

3 Die Untersuchungsregion Berlin / Barnim / Uckermark / Uecker-Randow

Der Naturraum Barnim / Uckermark / Uecker-Randow ist eiszeitlich geprägt und weist in Bezug auf Landschaftsformen und Bodeneigenschaften eine kleinräumige Strukturierung auf (u.a. SCHLAAK 1999). Klimatisch lässt sich das Gebiet weniger differenzieren. Die Jahresmitteltemperaturen unterscheiden sich in der Regel um weniger als 1 °C. Die vergleichsweise markanten Erhebungen des Nördlichen Landrückens (bis ca. 160 m NN) führen zu einer gewissen Stauwirkung mit höheren Niederschlägen im atlantikzugekehrtem Bereich (LIETKE & MARCINEK 2002). Generell nehmen die Niederschläge vom atlantisch geprägten Nordwesten (ca. 600 mm/Jahr) zum zunehmend kontinental geprägten Südosten hin (ca. 500 mm/Jahr) ab (WERNER et al. 2005).

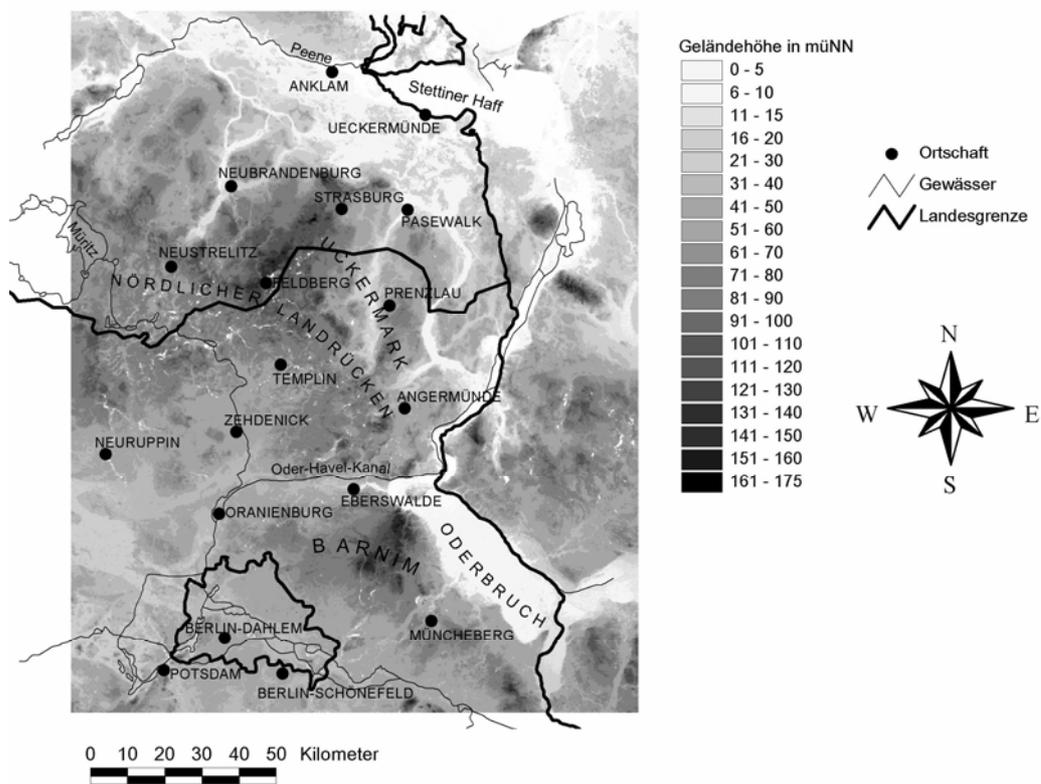


Abbildung 1: Untersuchungsregion mit den wichtigsten Landschaftsformen und Orten der Messstationen sowie den Kreisstädten Eberswalde (Lkr. Barnim), Prenzlau (Lkr. Uckermark) und Pasewalk (Lkr. Uecker-Randow)

Die Region *Barnim* ist charakterisiert durch die Landschaftsform Barnim, die eine eiszeitlich gebildete Hochfläche und gleichzeitig eine historisch gewachsene Kulturlandschaft im mittleren und nordöstlichen Brandenburg und im Nordosten Berlins ist. Als Teil der in der Weichseleiszeit gebildeten Zone der Brandenburgischen Platten und Urstromtalungen besteht der Barnim aus Grundmoränen, einem Endmoränenzug und Sanderflächen zwischen dem Berliner Urstromtal im Süden und dem Eberswalder Urstromtal im Norden.

Die fruchtbare, eiszeitlich geprägte hügelige Grund- und Endmoränenlandschaft der *Uckermark* ist von der Seenkette des Ober- und Unteruckersees durchzogen und im Südteil überwiegend mit Buchenwäldern bestanden. Neben den großen Uckerseen gibt es eine Vielzahl kleinerer Seen. Die meisten der Seen sind das Resultat der Eisschmelze am Ende der letzten Eiszeit vor 15.000 Jahren. Der außergewöhnliche Reichtum an Seen ist ein besonderes Charakteristikum der Jungmoränenlandschaft im Nordosten Brandenburgs.

In Mecklenburg-Vorpommern schließt sich an die Region Uckermark der Landkreis *Uecker-Randow* an. Er wird durch die beiden größten Gewässer des Kreisgebietes, die Flüsse Uecker und Randow bestimmt. Im Norden hat der Landkreis eine Küstenlinie entlang des Stettiner Haffs (Oderhaff) inklusive der Bucht des Neuwarper Sees an der Grenze zur Republik Polen. Die nördliche Hälfte des Kreisgebietes wird von der Ueckermünder Heide eingenommen, einer waldreichen Tiefebene. Im Westen hat der Landkreis Anteil am Endmoränenzug Brohmer Berge. Hier liegt die mit 133 m ü. NN höchste Erhebung (Ziegler Berg). Der Südteil liegt in einem hügeligen Gebiet östlich der Randow.

Der städtische Raum *Berlin* hebt sich klimatisch durch seine Funktion als Wärmeinsel von den anderen Regionen ab, was sich u.a. an einer beschleunigten Entwicklung der einheimischen Vegetation und der Ansiedlung fremder, wärmeliebender Arten aufzeigen lässt (WURZEL & SUKOPP 2000). Eine rezente Zunahme der Lufttemperatur lässt sich ebenfalls im Raum Berlin nachweisen. So erreichte z.B. die Jahresmitteltemperatur an der Station Berlin-Dahlem in der Dekade 1991-2000 mit 10,0 °C ihren höchsten Wert innerhalb des Betrachtungszeitraums 1931-2000 (CHMIELEWSKI 2003).

Insgesamt gehört das Untersuchungsgebiet zu den von Wasser weniger begünstigten Regionen. Hinsichtlich des Landschaftswasserhaushaltes finden sich in Brandenburg (und allgemein in großen Teilen des pleistozänen norddeutschen Tieflandes) besondere naturräumliche Bedingungen. Diese Region ist bei Jahresniederschlagssummen von etwa 500 bis 650 mm einerseits als „wasserarm“, im Hinblick auf seinen hohen Feuchtgebiets- und Gewässeranteil andererseits als „gewässerreich“ einzustufen. Grund für diesen scheinbaren Widerspruch sind die geomorphologischen Besonderheiten mit verbreitet auftretenden sandigen Böden und gut durchlässigen Grundwasserleitern (GERSTENGARBE et al. 2003, WERNER et al. 2005).

4 Methoden

4.1 Klimadatenbank

Zur Datenaufbereitung und Analyse diente die Klimadatenbank der Professur für Meteorologie an der TU Dresden, die im Rahmen der Forschungsprojekte CLISAX (BERNHOFER & GOLDBERG 2001, Bernhofer, Goldberg und Franke 2002) und REKLI (BERNHOFER et al. 2003) erstellt und derzeit im Rahmen des Forschungsverbundes LandCaRe 2020 (KÖSTNER et al. 2007) erweitert wird. Innerhalb des Projektes LandInnovation der BBAW, mit Förderung von *acatech*, konnten Daten der Region Berlin/Barnim/Uckermark/UEcker-Randow weiter ausgewertet und regionalisiert werden.

Ziel dieser Forschungsvorhaben war es, für das jeweilige Gebiet alle verfügbaren Zeitreihen für Niederschlag, Temperatur, Windgeschwindigkeit, relative Feuchte sowie abgeleiteter (Globalstrahlung nach ANGSTRÖM) und komplexer (potentielle Verdunstung nach PENMAN) Klimagrößen zu aggregieren, um auf deren Grundlage eine regionale Klimadiagnose durchführen zu können. Lieferant der Daten ist der Deutsche Wetterdienst (DWD). Die Klimadatenbank beruht auf dem Datenbanksystem MS-ACCESS. Abbildung 2 gibt einen Überblick über ihren Aufbau (vgl. FRANKE et al. 2007).

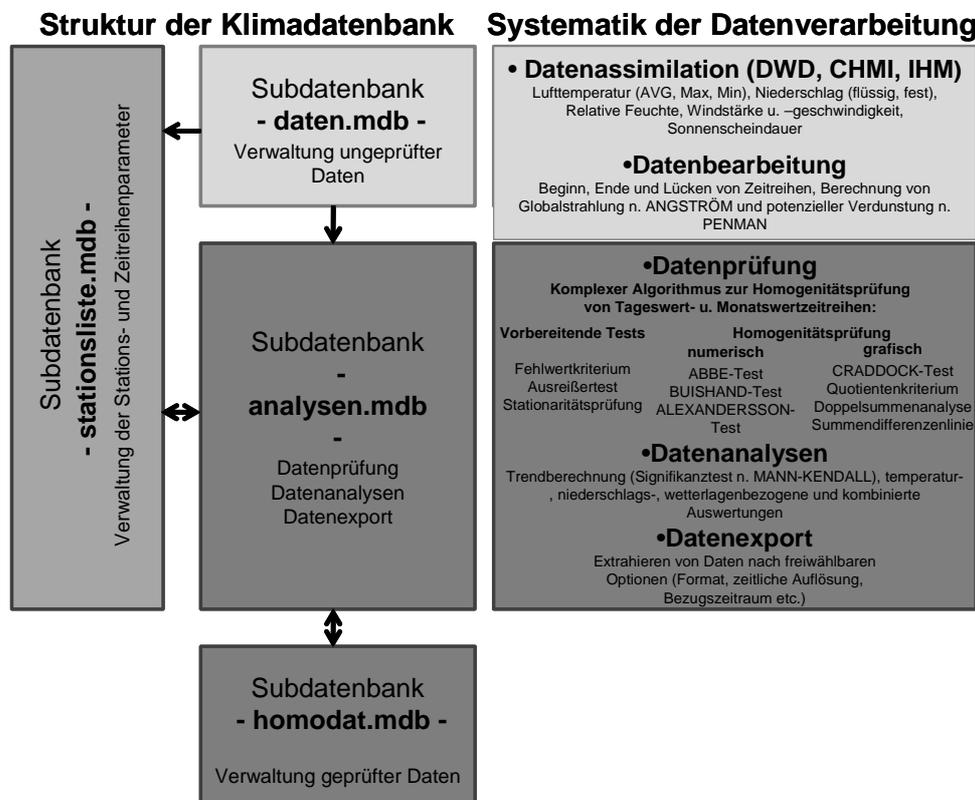


Abbildung 2: Struktur der Klimadatenbank und Systematik der Datenverarbeitung

Um zu aussagekräftigen räumlichen Aussagen zu kommen, sollten möglichst viele Klima- und Niederschlagsstationen in die Untersuchungen einbezogen werden. Die Länge der Messreihen spielt bei der Auswahl der Stationen eine entscheidende Rolle. RAPP bezeichnet eine Klimanormalperiode (CliNo-Periode) von 30 Jahren als unteren Grenzwert für Trendberechnungen (RAPP 2000).

4.2 Regionalisierung

Die Regionalisierung erfolgte nach der Methode „Natural Neighbour“ (OWEN 1992), wobei jeweils über eine Fläche der nächstgelegenen drei Nachbarstationen (Thiessen Polygone) interpoliert wurde. Die Darstellung erfolgte mit der Software Surfer 8 (Golden Software Inc., Golden, Colorado, USA). Aussagen über Klimaänderungen und –trends erfolgten durch Vergleiche zweier unterschiedlicher Klimanormalperioden (absolute, relative Unterschiede) oder als absoluter Trend innerhalb eines gegebenen Zeitraumes.

4.3 Berechnung von Klimaindizes

Temperaturextrema

Zur weiteren klimatischen Charakterisierung von ausgewählten Zeiträumen können hinsichtlich der Temperatur bestimmte Ereignistage ausgezählt werden. Aus den in der verwendeten Klimadatenbank implementierten Indizes wurde die Anzahl von Sommertagen ($T_{\max} \geq 25 \text{ °C}$) und die Anzahl von Frosttagen ($T_{\min} < 0 \text{ °C}$) ausgewählt.

Klimatische Wasserbilanz

Die in der wasserwirtschaftlichen Praxis häufig verwendete Größe der klimatischen Wasserbilanz ist nach DIN 4049-3 (1994) definiert als Differenz zwischen Niederschlagshöhe und Höhe der potentiellen Verdunstung an einem bestimmten Ort und für eine bestimmte Zeitspanne:

$$KWB = N_{\text{korr}} - ETP$$

KWB klimatische Wasserbilanz

N_{korr} Niederschlag (korrigiert)

ETP potentielle Verdunstung

Sie ist ein Indikator, anhand dessen das Wasserdargebot an einem Standort abgeschätzt werden kann. Nach DYCK & PESCHKE (1995) bezeichnet man als Wasserdargebot das während einer bestimmten Zeitspanne in einem bestimmten Gebiet zur Verfügung stehende Süßwasser. Man unterscheidet zwischen potentiell und stabilem Wasserdargebot, wobei das potentielle Wasserdargebot von der Definition her mit der klimatischen Wasserbilanz gleichzusetzen ist. Betrag und Vorzeichen der klimatischen Wasserbilanz sind Beweismittel für die Höhe der klimatisch bedingten Überschüsse bzw. Defizite im Wasserhaushalt und ihrer regionalen Verteilung (DVWK M-504, 2002). Für die Berechnung konnten im Gebiet 9 Klimastationen (s. Anhang) zugrundegelegt werden.

Bei Aussagen zur klimatischen Wasserbilanz ist immer das Verfahren zur Berechnung der potentiellen Verdunstung (ETP) anzugeben. In der vorliegenden Untersuchung erfolgte die Berechnung der potentiellen Verdunstung nach Wendling (DVWK 238, 1996). Das Verfahren von Turc-Wendling kann als Vereinfachung des Penman-Verfahrens angesehen werden, bei dem nur Strahlung und Tem-

peratur verwendet werden. Es ist ein semiempirischer Verdunstungsansatz (physikalisch-begründete, komplexe Methode nach DVWK, 1996).

$$ETP_{Wendling} = \frac{(R_G \cdot 93 \cdot f_k) \cdot (T + 22)}{150 \cdot (T + 123)}$$

f_k Küstenfaktor (bis 50 km Entfernung $f_k=0,6$ sonst $f_k=1,0$)
 R_G Globalstrahlung [J/cm^2]
 T Lufttemperatur [$^{\circ}C$]

Der Wert ergibt sich aus den primären meteorologischen Eingangsgrößen mittlere Tagestemperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Sonnenscheindauer, d. h. er ist eine abgeleitete meteorologische Größe. Die potentielle Verdunstung wird stark durch die mittlere Tagestemperatur bestimmt. Dem entsprechend sind ausgeprägte Korrelationen zu deren Verteilung vorhanden (PIK 2007).

Vegetationsperiode

Die Bestimmung von Beginn und Länge der Vegetationsperiode erfolgte in Abhängigkeit der Tagesmitteltemperaturen (thermische Vegetationsperiode) der einzelnen Jahre. In der Datenbank der Professur für Meteorologie der TU Dresden wird eine Definition verwendet, bei der generell als konkretes Datum der jeweils letzte Kalendertag des erfüllten Kriteriums ausschlaggebend ist (FRANKE et al. 2007):

Der Beginn der Vegetationsperiode ist durch 7 aufeinander folgende Tage mit einer Tagesmitteltemperatur $\geq 5^{\circ}C$ definiert.

Das Ende der Vegetationsperiode ist durch 7 aufeinander folgende Tage mit einer Tagesmitteltemperatur $< 10^{\circ}C$ definiert.

Die Länge der Vegetationsperiode ergibt sich aus der Differenz von Beginn und Ende, wobei nur die größte Differenz als gültig angenommen wird und somit scheinbare Vegetationsperioden in milden Phasen der kalten Jahreszeit ausgeschlossen sind

Klimaquotient nach Ellenberg

Der sog. Ellenberg-Quotient, Q (ELLENBERG 1996) wertet die Vitalität dominierender Baumarten der natürlichen Waldvegetation, wie z.B. Bestockung mit Buche oder Eiche, anhand des langjährigen Mittels des Niederschlages einer Region und der mittleren Temperatur des wärmsten Monates (in der Regel Monat Juli).

In der vorliegenden Arbeit wurde Q wie folgt berechnet (FRANKE & KÖSTNER 2007):

$$Q = \frac{T_m}{P_{yr_corr}} \cdot 1000$$

wobei: $P_{yr_corr} = \sum_{i=1}^j P_{m_corr_i}$ ($i = 1, 2, \dots, j = 12$)

P_{m_corr}	korrigierter monatlicher Niederschlag [mm]
P_{yr_corr}	korrigierter Jahresniederschlag [mm]
T_m	mittlere Temperatur des wärmsten Monats [°C]

Da die in den letzten Jahrzehnten beobachteten Niederschlagsänderungen sich weniger in der Jahresbilanz, sich jedoch deutlich zwischen Jahreszeiten bzw. Winter- und Sommerhalbjahr unterscheiden und Trends auch unterschiedliche Vorzeichen annehmen können, wurde von FRANKE & KÖSTNER (2007) der Ellenberg-Quotient nur für die Vegetationsperiode (growing season) berechnet (Q_{gs}).

$$Q_{gs} = \frac{T_m}{P_{gs_corr}} \cdot 1000 \quad (2)$$

$$\text{wobei: } P_{gs_corr} = \sum_{i=x}^j P_{m_corr_i}, \quad [i: x = \text{Monat}(\text{GS}_{\text{begin}}), x + 1, \dots, x = j - 1, j = \text{Monat}(\text{GS}_{\text{end}})]$$

GS_{begin}	Beginn der Vegetationsperiode (Tag des Jahres)
GS_{end}	Ende der Vegetationsperiode (Tag des Jahres)

Für Q_{gs} ergeben sich folglich höhere Wertebereiche als für die von Ellenberg angegebenen Werte von Q . Die Zusammenhänge von Q und Q_{gs} sowie ihre Klassifizierung bezüglich der Baumarten ist in FRANKE & KÖSTNER (2007) ausführlich dargelegt.

In erster Näherung gilt:

$$\begin{aligned} Q_{gs} &= 2Q && \text{für } Q \leq 20 \\ Q_{gs} &= 1,25Q + 15,8 && \text{für } Q > 20 \quad (R^2 = 0.84) \end{aligned}$$

4.4. Datengrundlage in der Region

Für die Klimadiagnose im Untersuchungsgebiet, den Landkreisen Barnim, Uckermark und Uecker-Randow, sowie in deren Randgebieten standen nach Überprüfung von Datenverfügbarkeit und Homogenität für den Zeitraum 1971-2000 16 Klima- und 116 Niederschlagsstationen für die Trendanalyse zur Verfügung (Abbildung 3, Abbildung 4). Eine komplette Liste der Stationen befindet sich im Anhang.

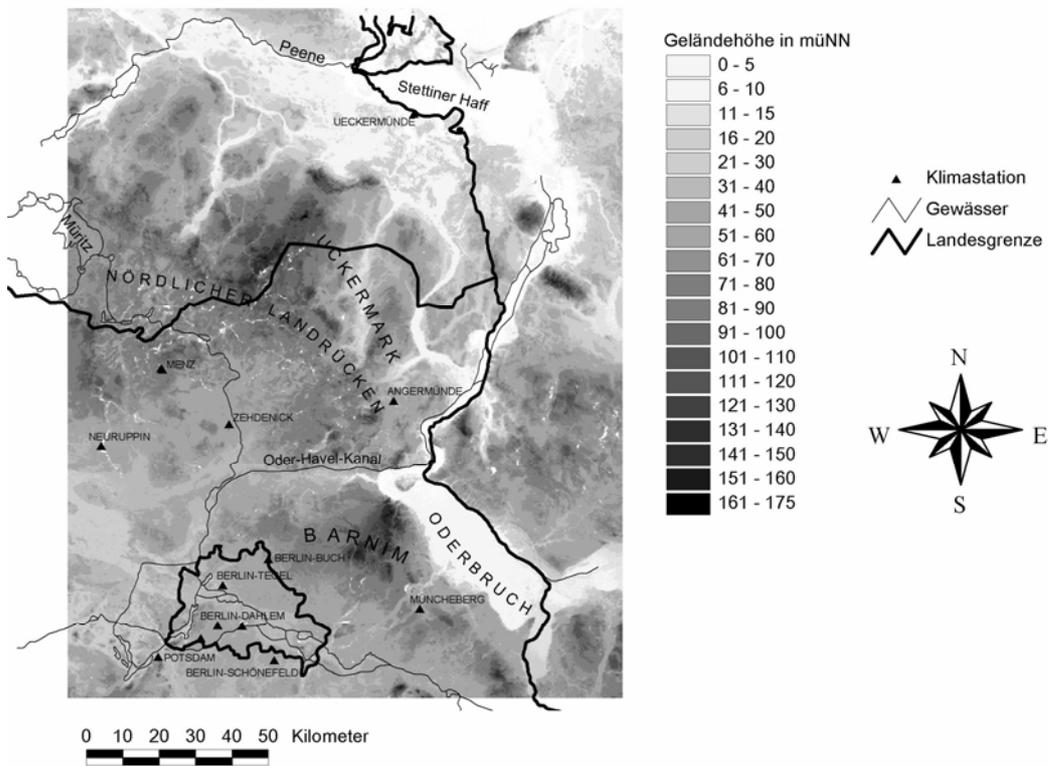


Abbildung. 3: Nach Prüfung auf Homogenität zur Trendanalyse verfügbare Klimastationen im Untersuchungsgebiet zwischen Berlin und Uckermünde

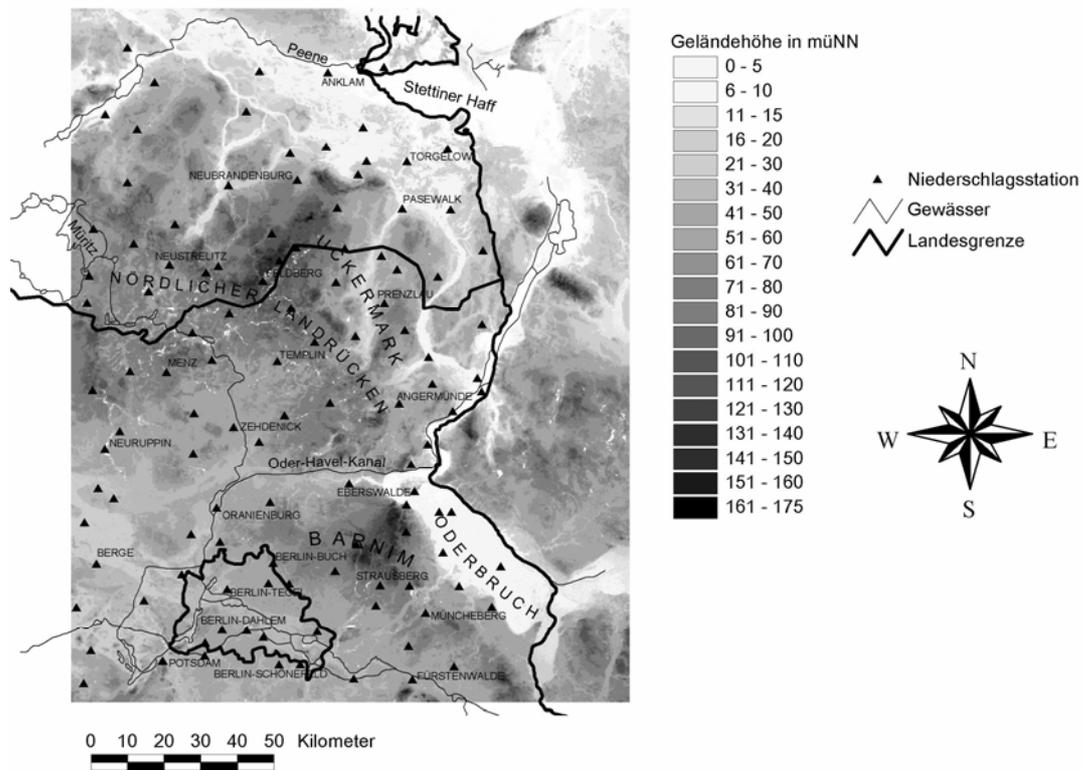


Abbildung 4: Nach Prüfung auf Homogenität zur Trendanalyse verfügbare Niederschlagsstationen im Untersuchungsgebiet zwischen Berlin und Ueckermünde

5 Ergebnisse und Diskussion

5.1 Aktuelle klimatische Charakterisierung der Region

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Übergangsbereich zwischen ozeanischem Klima in Westeuropa und kontinentalem Klima im Osten. Der Norden ist durch die Ostsee maritim beeinflusst. Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt zwischen 8 und 10 °C. Mit einer durchschnittlichen Jahresniederschlagssumme von unter 600 mm gehört das Land zu den trockensten Regionen Deutschlands und Europas.

In Tabelle 1 sind die aktuellen Mittelwerte von Temperatur und Niederschlag für die meteorologischen Halbjahre (Winter: Oktober-März, Sommer: April-September) und das Gesamtjahr angeführt (Aufgrund unterschiedlicher Rundungsschritte stimmt die Summe der Halbjahreswerte nicht notwendigerweise exakt mit dem Jahreswert überein).

Tabelle 1: Mittelwerte der Lufttemperatur und Jahressumme des Freilandniederschlages für das Gesamtjahr (J), Winterhalbjahr (W), Sommerhalbjahr (S) an Klimastationen im Untersuchungsgebiet für die Klimanormalperiode 1971-2000 (Quelle: Klimadatenbank Meteorologie, TU Dresden; Originaldaten: Deutscher Wetterdienst)

Klimastation	Geographische Lage	Seehöhe (m NN)	Lufttemperatur (°C)		Niederschlag (mm)	
			J	W/S	J	W/S
Ueckermünde	53°45' N, 14°04' O	1	8,6	3,2/14,0	540	231/304
Grünow	53°19' N, 13°56' O	55	8,4	2,7/14,0	462	176/286
Angermünde	53°02' N, 14°00' O	54	8,6	3,0/14,3	505	210/295
Zehdenick	52°58' N, 13°19' O	51	8,7	3,1/14,4	517	227/290
Müncheberg	52°31' N, 14°07' O	62	8,7	3,9/14,5	537	236/301
Berlin-Buch	52°38' N, 13°30' O	60	9,2	3,6/14,9	568	255/310
Berlin-Tegel	52°34' N, 13°19' O	36	9,7	4,0/15,5	538	240/300
Berlin-Dahlem	52°28' N, 13°18' O	51	9,2	3,7/14,9	578	259/319
Berlin-Schönefeld	52°22' N, 13°31' O	45	9,0	3,2/14,8	510	217/294
Potsdam	52°23' N, 13°04' O	81	9,0	3,3/14,8	565	253/312

Die räumliche Verteilung der mittleren Jahrestemperatur des Untersuchungsgebietes lässt sich aufgrund der wenigen Langzeit-Klimastationen nur sehr grob als zunehmender Gradient von Nord (Uecker-Randow/Uckermark 8,4 - 8,7°C) nach Süd (Barnim mit 8,8 - 9,1 °C) bis in die Region Berlin (9,2 - 9,8°C) beschreiben (Abbildung 5.). Aufgrund der geringen Stationsdichte im Untersuchungsgebiet sind jedoch die Interpolationswerte zwischen den Stationen mit Ausnahme des Berliner Raumes mit Vorsicht zu betrachten. Die Jahresschwankung der Lufttemperatur ist im küstenbeeinflussten

Norden im Vergleich zum Binnenland etwas vermindert. Grund dafür ist die Dämpfungswirkung der Ostsee. Sie beeinflusst den Jahresverlauf der Lufttemperatur, indem sie zu einem deutlich verzögerten Temperaturanstieg im Frühjahr und einem langsameren Temperaturabfall im Herbst führt (vgl. LIEDTKE & MARCINEK 2002).

Im Untersuchungsgebiet zwischen Berlin und Ueckermünde zeigt sich eine regional differenzierte Verteilung des mittleren Jahresniederschlages im Zeitraum 1971-2005 (Abbildung 5). Im Raum Berlin sowie nordöstlich von Berlin betragen die mittleren Jahresniederschläge um 570 bis 630 mm. Weitere Gebiete mit Jahresniederschlägen von 570 bis 630 mm befinden sich zwischen Neuruppin und Neustrelitz. Diese Gebiete fallen mit den Höhenzügen der Märkischen Schweiz im Nordosten von Berlin (Landkreis Barnim) sowie den östlichen Ausläufern des Nördlichen Landrückens in der Uckermark zusammen. Sehr geringe Niederschlagssummen von nur 450 bis 500 mm treten im östlichen Randgebiet des Untersuchungsgebietes entlang der deutsch-polnischen Grenze zwischen Müncheberg und Schwedt auf. Der größte Teil dieser Region wird durch das Oderbruch eingenommen. Weitere Gebiete mit Jahresniederschlägen um 500 mm befinden sich westlich von Berlin sowie an der nordöstlichen Grenze zwischen Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern. Die Stationsmittel der Jahresniederschlagssummen (Tabelle 1) liegen im Raum Berlin bei 552 mm, im übrigen Gebiet bei 512 mm.

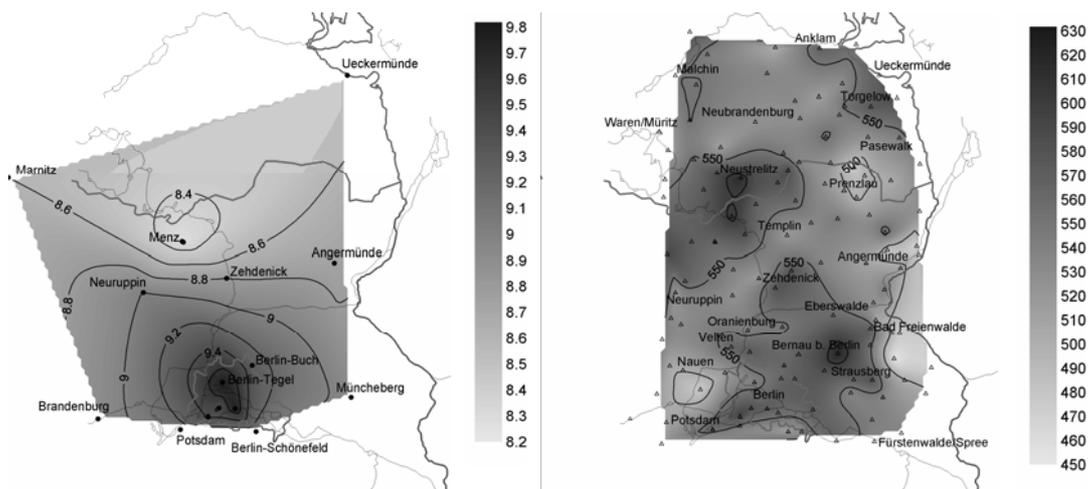


Abbildung 5: Regionalisierte mittlere Jahrestemperatur [°C] auf der Basis von 14 Klimastationen (links) bzw. regionalisierte Jahresniederschläge [mm] auf Basis von 116 Niederschlagsstationen (rechts) im Untersuchungsgebiet für den Zeitraum 1971-2005 (Quelle: Klimadatenbank Meteorologie, TU Dresden; Originaldaten: Deutscher Wetterdienst)

Bei Betrachtung einzelner Klimadiagramme fallen insbesondere die Stationen im Raum Berlin mit höheren Jahresmitteltemperaturen heraus, die aus dem Wärmeinseleffekt der Stadt resultieren. Dagegen findet sich z.B. zwischen den Stationen Angermünde in der Uckermark und Ueckermünde im Landkreis Uecker-Randow im langjährigen Mittel kein Unterschied der Jahresmitteltemperaturen.

Im Gegensatz dazu zeichnet sich eine regionale Abhängigkeit des Niederschlages ab. Mit 509 mm Jahresniederschlag liegt Berlin-Schönefeld im unteren Bereich des mittleren Jahresniederschlages. Die Station Angermünde gehört mit 505 mm mittlerem Jahresniederschlag zum Bereich sehr geringer Jahresniederschläge. Ueckermünde zeigt mit 540 mm wie Berlin-Schönefeld einen mittleren Jahresniederschlag.

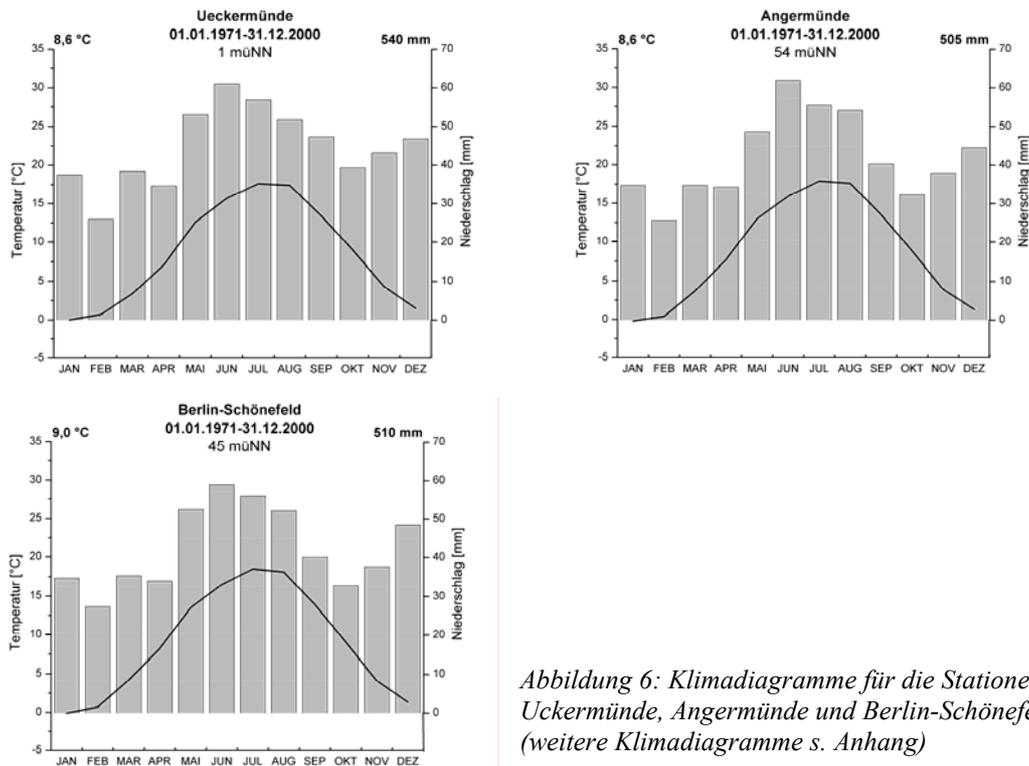


Abbildung 6: Klimadiagramme für die Stationen Ueckermünde, Angermünde und Berlin-Schönefeld (weitere Klimadiagramme s. Anhang)

Den höchsten mittleren Jahresniederschlag im Untersuchungsgebiet hat Tiefensee im Landkreis Barnim mit 623 mm. Diese Station liegt in der Märkischen Schweiz und der Niederschlagswert ist daher stark von der Orographie abhängig.

5.2 Klimatrends im Zeitraum 1971-2000

5.2.1 Temperatur

Die folgenden Abbildungen zeigen den Verlauf des absoluten Trends für die mittlere Temperatur im Untersuchungsgebiet zwischen Berlin und Ueckermünde in der aktuellen Klimanormalperiode 1971-2000. Aufgrund der geringen Dichte der Klimastationen kann nicht das gesamte Gebiet abgedeckt werden.

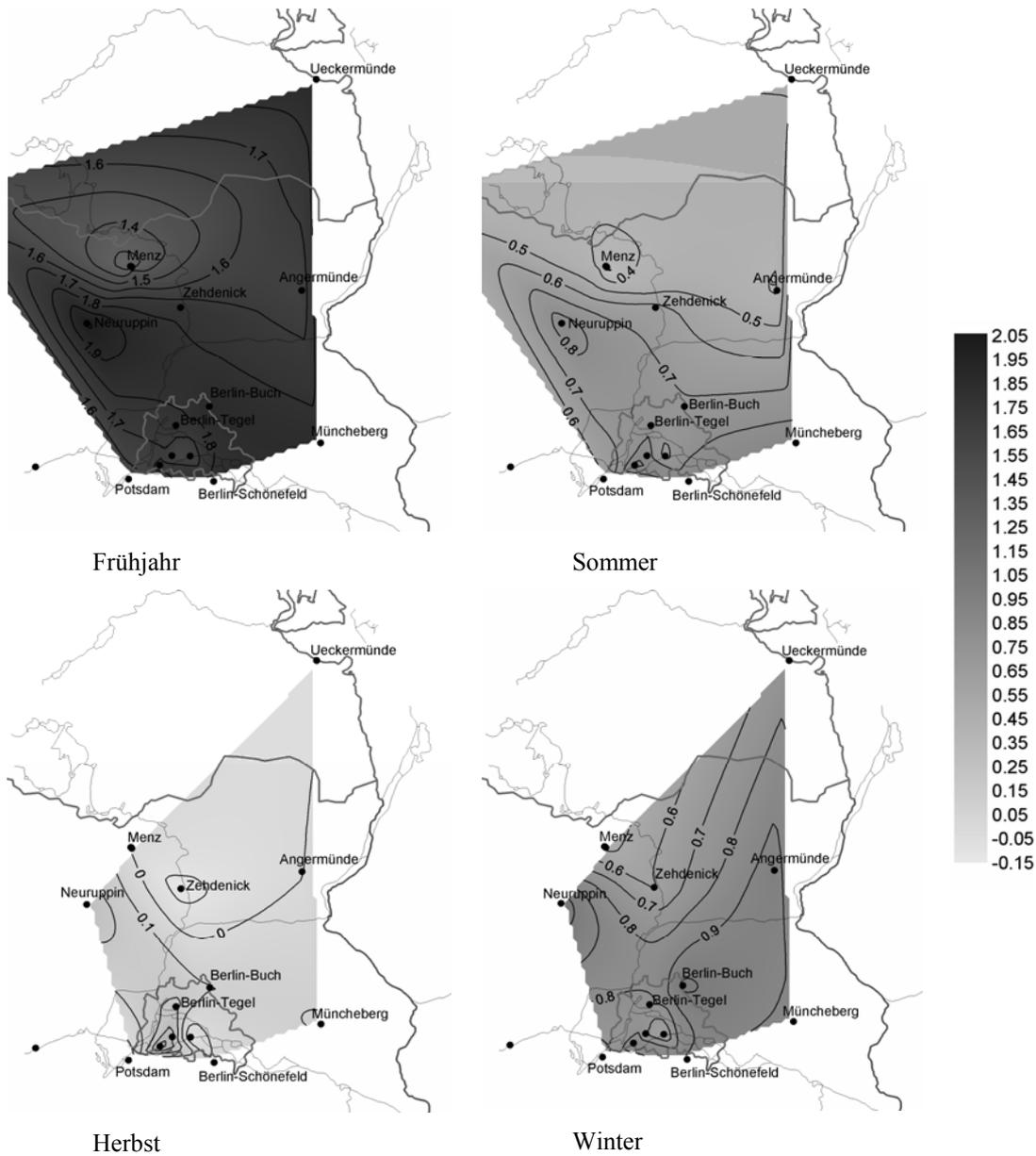


Abbildung 7: Absoluter Trend der mittleren Temperatur in den Jahreszeiten Frühjahr (März-Mai), Sommer (Juni-August), Herbst (September-November) und Winter (Dezember-Februar) im Untersuchungsgebiet zwischen Berlin und Ueckermünde in der Klimanormalperiode 1971-2000

Regional beträgt die Temperaturzunahme bis zu 2,0°C. Die stärkste Zunahme der Temperatur ist im Frühjahr (+1,6 bis +1,8 °C) zu beobachten, gefolgt von Winter (+0,8 bis +0,9 °C) und Sommer (+0,4 bis +0,7 °C). Keine bzw. geringfügige Änderungen finden sich im Herbst (0 bis +0,1 °C). In Mitteldeutschland werden im Herbst auch abnehmende Temperaturtrends festgestellt (FRANKE et al. 2004), die zu einer Verfrüherung der phänologischen Herbstphasen führen (FRANKE & KÖSTNER 2007). Entscheidend für den jährlichen Kohlenstoffgewinn der Vegetation ist jedoch die vorgezogene Frühjahrsphase und weniger die Veränderung im Herbst (Niemand et al. 2005). Für die Entwicklung der Vegetation und Pflanzenproduktion sind vor allem die erhöhten Frühjahrstemperaturen und die saisonale Verteilung der Niederschläge (s.u.) von Bedeutung.

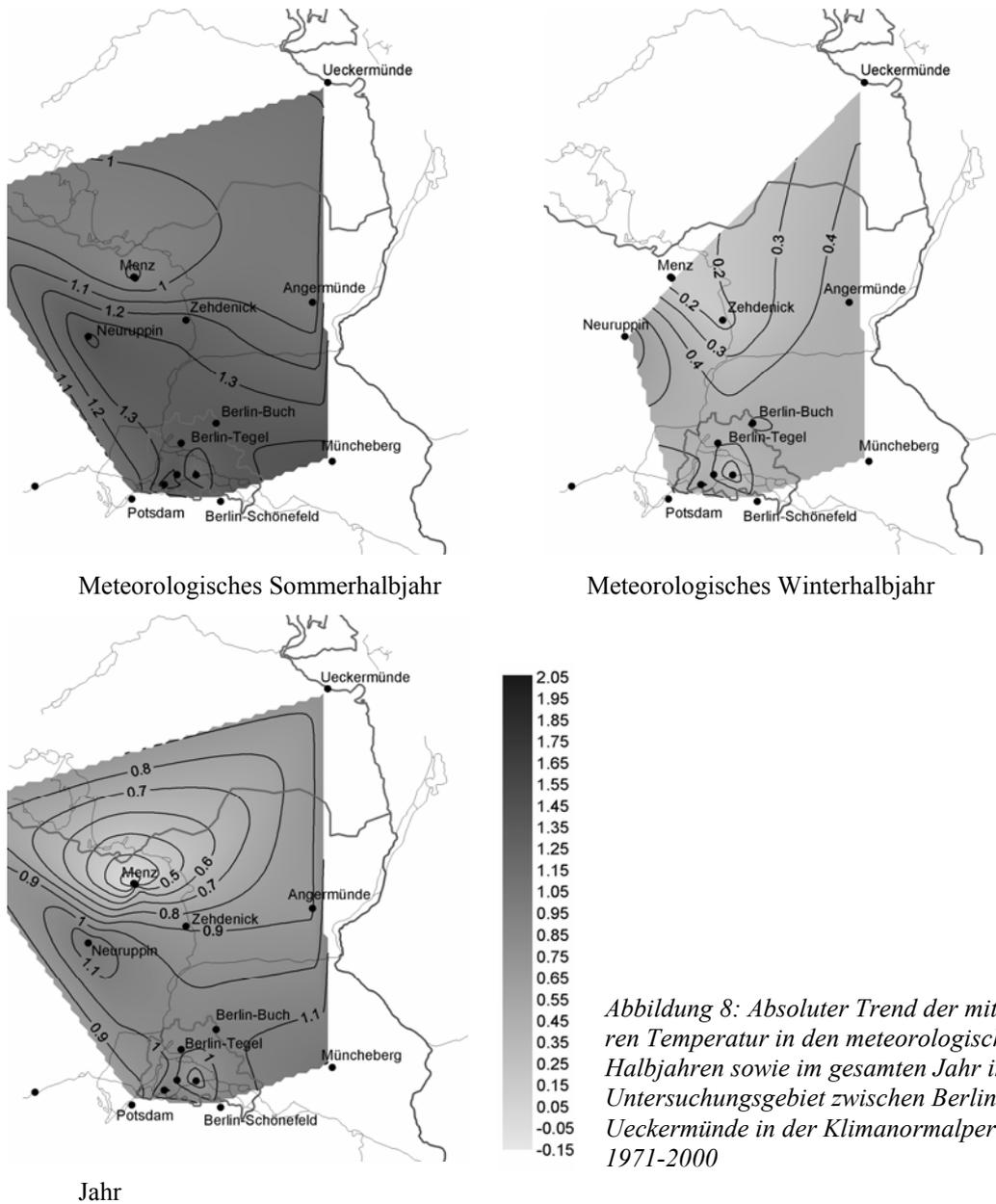


Abbildung 8: Absoluter Trend der mittleren Temperatur in den meteorologischen Halbjahren sowie im gesamten Jahr im Untersuchungsgebiet zwischen Berlin und Uckermark in der Klimanormalperiode 1971-2000

Das meteorologische Sommerhalbjahr (April bis September) wird im Trendverhalten stark vom Frühjahr beeinflusst und zeigt somit ebenfalls hohe absolute Trends von bis zu $+1,4^{\circ}\text{C}$ für das Untersuchungsgebiet (Abbildung 8). Im Norden des Gebietes scheint der Trend etwas geringer auszufallen. Im meteorologischen Winterhalbjahr (Oktober bis März) schlägt sich der geringe Trend im Herbst auch auf den größeren Zeitraum nieder. Der absolute Trend fällt darum mit maximal $+0,4^{\circ}\text{C}$ vergleichsweise gering aus.

Wird das gesamte Jahr betrachtet, zeigt sich auch hier ein zunehmender absoluter Trend der mittleren Temperatur. Hierbei fällt der Trend im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes etwas stärker aus als nördlich der Linie Marnitz-Zehdenick-Angermünde. Der Trend beträgt im Süden etwa $+0,9$ bis $+1,2^{\circ}\text{C}$, im Norden zwischen $+0,5$ und $+0,8^{\circ}\text{C}$. Aufgrund der geringen Stationsdichte ist eine differenzierte Interpretation allerdings nicht möglich.

5.2.2 Niederschlag

Wie auch in anderen Teilen Deutschlands beobachtet, treten teils sehr unterschiedliche Trends der Niederschläge zwischen den Jahreszeiten auf (Abbildung 9). Die Veränderungen im Frühjahr sind insgesamt vergleichsweise geringfügig. Im Sommer hebt sich der westliche Rand des Untersuchungsgebietes mit einem abnehmenden Trend des Niederschlages von -10 bis -20 % im Bereich des Nördlichen Landrückens von der umgebenden Region ab. Dem steht eine Niederschlagszunahme von +30 % im Nordosten des Gebietes, Richtung Stettiner Haff gegenüber. Eine weitere Differenzierung tritt im Herbst durch eine Niederschlagsabnahme von mehr als -30% in der südlichen bzw. südöstlichen Hälfte der Region auf. Die Niederschlagsreduktion im Herbst wird überwiegend durch die Niederschläge im Winter mit Zunahmen von +20 bis +30% ausgeglichen.

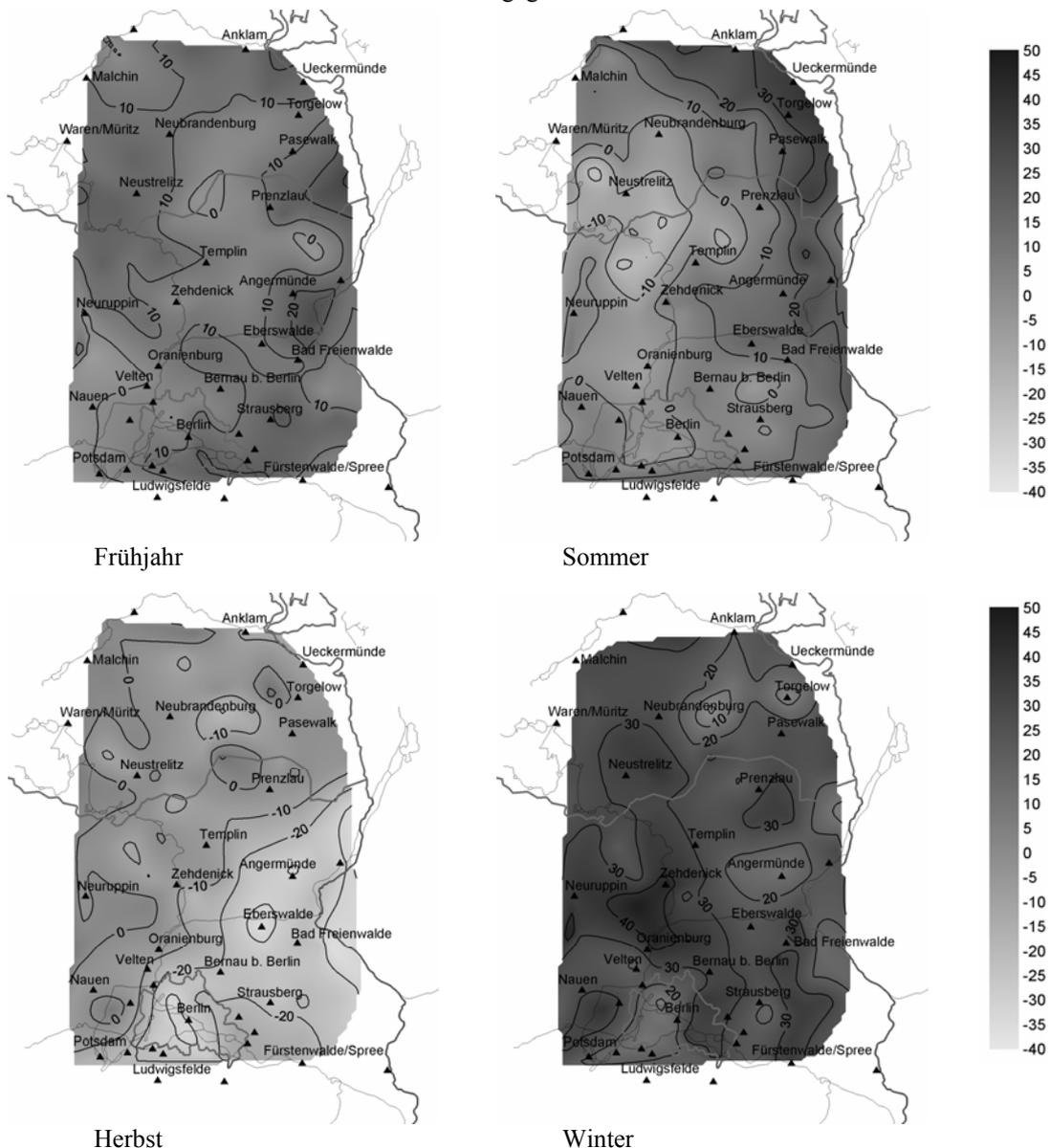


Abbildung 9: Relativer Trend der Jahresniederschläge (%) im Untersuchungsgebiet unterschieden nach den meteorologischen Jahreszeiten für den Zeitraum 1971-2000 (Quelle: Klimadatenbank Meteorologie, TU Dresden; Originaldaten: Deutscher Wetterdienst)

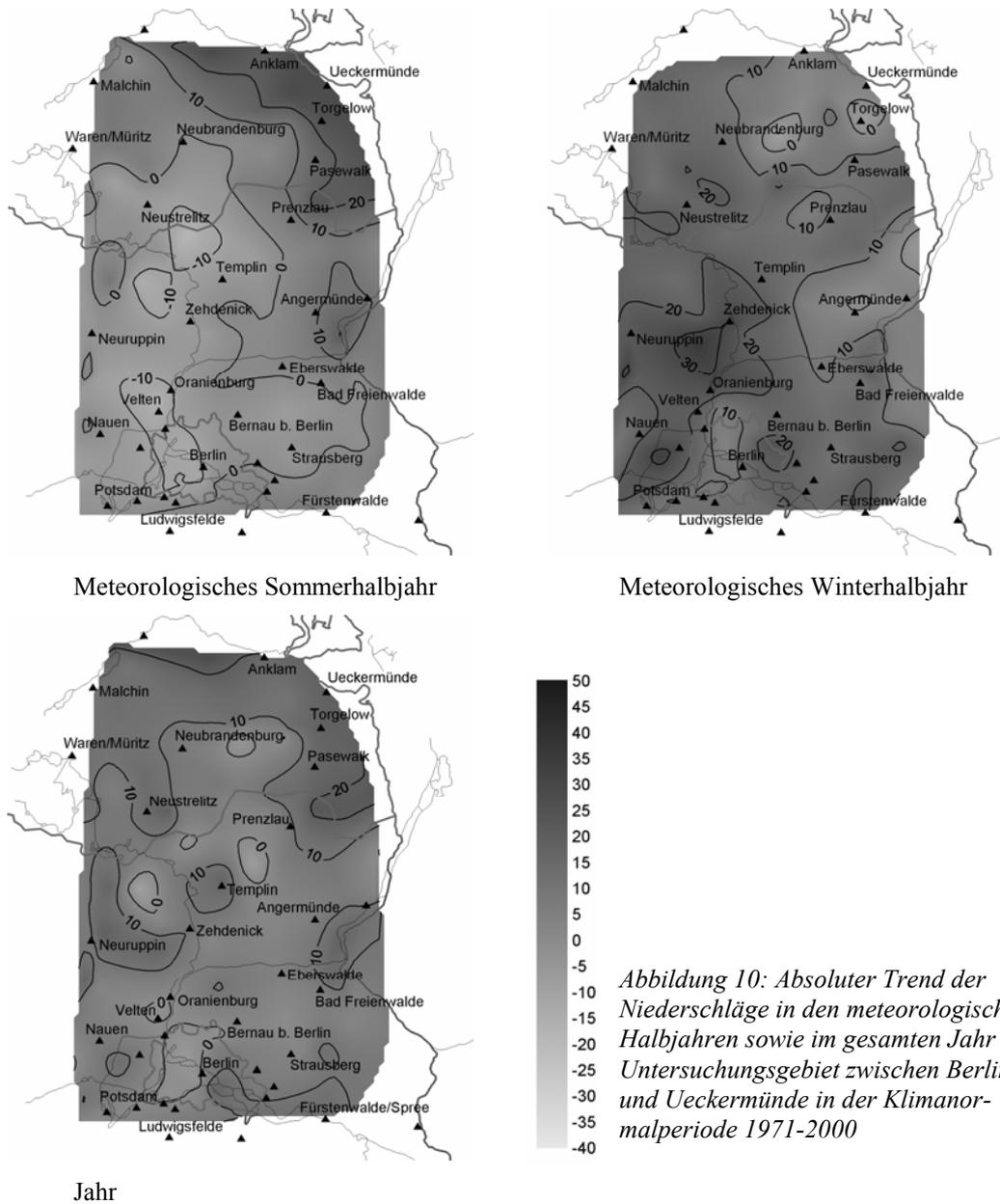


Abbildung 10: Absoluter Trend der Niederschläge in den meteorologischen Halbjahren sowie im gesamten Jahr im Untersuchungsgebiet zwischen Berlin und Ueckermünde in der Klimanormalperiode 1971-2000

Eher geringfügige Änderungen ergeben sich für die jährlichen Niederschläge im Betrachtungszeitraum 1971-2000. Im Sommerhalbjahr ist der westliche Teil des Untersuchungsgebietes von Niederschlagsabnahmen bis -20% betroffen, im Osten treten Zunahmen von +20 bis +30% auf. Das Winterhalbjahr ist überwiegend von Niederschlagszunahmen gekennzeichnet. (Abbildung 10). Bleiben diese Trends auch in Zukunft erhalten, stellt sich die Frage, wie die ganzjährig vergleichsweise stabilen Niederschlagsmengen zur jeweils benötigten Jahreszeit verfügbar gemacht werden könnten.

Vergleicht man die oben aufgeführten Trends von Temperatur und Niederschlag der vergangenen Jahrzehnte mit regionalen Klimavorhersagen (ENKE et al. 2005, Basis: ECHAM4-OPYC3, Emissionsszenario B2), ergibt sich ein unterschiedliches Bild. Demnach würde die Temperatur im Jahrzehnt 2041-2051 im Vergleich zu 1981-2000 am stärksten im Winter (+2,8 bis +3,2 °C), gefolgt von Sommer (+2 bis +2,4 °C), Herbst (+0,8 bis 1,2 °C) und Frühjahr (+0,4 bis 0,8 °C), erhöht sein. Der Ver-

gleich der jahreszeitlichen Niederschlagstrends weist eine höhere Übereinstimmung auf. Die Niederschläge würden am stärksten im Winter zunehmen (+30 bis +45%), gefolgt von Frühjahr und Herbst (jeweils 0 bis +15%), für den Sommer ist eine Abnahme von -15 bis -45% prognostiziert. Auf Basis des leicht verschärften Emissionsszenario A1B wird für Brandenburg im Zeitraum 2046-2055 in allen Jahreszeiten eine Niederschlagsabnahme prognostiziert (GERSTENGARBE et al. 2003, Basis: ECHAM4-OPYC3, Emissionsszenario A1B; s.a. WERNER et al. 2005). Räumliche Differenzierungen wie sie z.B. die Klimadiagnose zum Niederschlag für den Herbst im Untersuchungsgebiet aufweist, fehlen bei den vorliegenden Prognosen. Für die Ableitung von Anpassungsmaßnahmen müssen daher stets auch die bereits beobachteten lokalen und regionalen Gegebenheiten berücksichtigt werden.

5.2.3 Strahlung

Die Betrachtung der kurzwelligeren Einstrahlung kann dort Vorteile bringen, wo die Strahlungsintensität Einfluss auf das Wachstum von Pflanzen nimmt. Südhänge sind aufgrund der erhöhten Einstrahlung und damit auch Verdunstung erfahrungsgemäß trockener als Nordhänge oder ebene Flächen. Natürlich hängt dies auch von der Bodenart und dem Wasserangebot ab.

Im Untersuchungsgebiet zwischen Berlin und Ueckermünde wird der Unterschied zwischen Nord- und Südseite anhand der Einstrahlung sehr deutlich (Abbildung 11). Des Weiteren hängt der Strahlungsinput direkt vom Sonnenstand ab. Auch diese Abhängigkeit zeigen die nachstehenden Abbildungen. Wie erwartet ist die kurzwellige Einstrahlung in den Sommermonaten am größten. Die maximalen Differenzen des Strahlungsinputs zwischen Sommer- und Wintermonaten liegen bei ca. 45 kJ/cm².

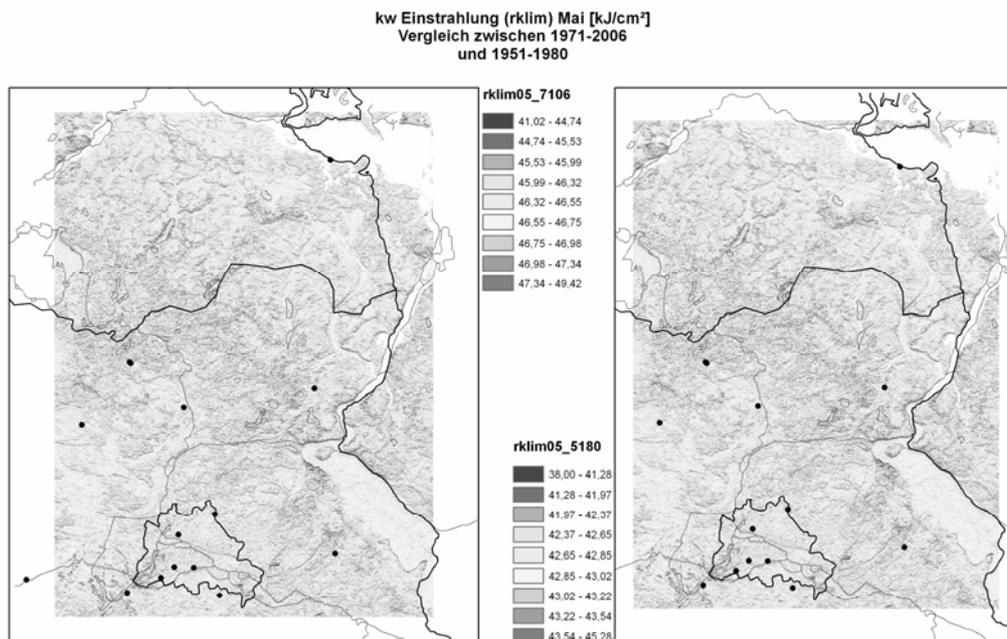


Abbildung 11: Kurzwellige Einstrahlung im Untersuchungsgebiet am Beispiel des Monats Mai für die Zeitperioden 1971-2006 (links) und 1951-1980 (rechts)

Anhand des Vergleichs zwischen den Zeiträumen 1951-1980 und 1971-2006 lässt sich feststellen, dass der Anteil der kurzwelligeren Strahlung vor allem in den Monaten des Sommerhalbjahres im Zeit-

raum 1971-2006 gegenüber 1951-1980 zugenommen hat. Eine Ausnahme bilden der Juni und der September – hier war der Strahlungsinput während der Klimanormalperiode 1951-1980 größer (s. Anhang, Abbildung A6). Für die meisten Wintermonate lässt sich im Zeitraum 1971-2006 ebenfalls eine größere kurzweilige Einstrahlung feststellen als in der Klimanormalperiode 1951-1980. Nur für den März wurden für beide Zeiträume sehr ähnliche Strahlungswerte berechnet.

Der Mai ist der Monat mit dem größten Werten der kurzweiligen Einstrahlung. Die Ursache hierfür liegt in der gegenüber den Sommermonaten noch gering ausgeprägten Bewölkung. Im Dezember zeigt die kurzweilige Einstrahlung die geringsten Werte, in diesem Monat ist der Einstrahlungswinkel der Sonne am kleinsten. Durchschnittlich erhält das Untersuchungsgebiet 10 kJ/m² in den Wintermonaten, 40 kJ/m² in den Sommermonaten an kurzweiliger direkter Einstrahlung.

5.3 Vegetationsrelevante Klimaindizes

Um Wirkungen von Klimaänderungen auf die Vegetation abschätzen zu können, stehen heute eine Reihe von komplexen, zeitlich und räumlich dynamischen Modellen zur Verfügung, die durch vergleichsweise einfache Algorithmen von Klimaindizes nicht ersetzt werden können. Um vegetationsrelevante Grenz- oder Schwellenwerte, Veränderungen ihrer räumlichen Muster und damit gefährdete Gebiete aufzuzeigen, hat sich jedoch der Gebrauch von Klimaindizes bewährt.

5.3.1 Temperaturextrema

Neben den mittleren Trends von Klimaelementen kann die Änderung von Ereignistagen zur Charakterisierung von Klimaänderungen beitragen. Dazu wurde die Anzahl auftretender Sommertage im Zeitraum Mai/Juni bestimmt. Warme Tage können die Entwicklung landwirtschaftlicher Kulturen beschleunigen. Andererseits können sich zu heiße Tage während der Entwicklungsphase der Kornanlagen von Getreide negativ auf den Ertrag auswirken. Ein Trend zu wärmeren Tagen im Mai/Juni tritt mit Ausnahme von Ueckermünde an allen Stationen im Untersuchungsgebiet auf (Tabelle 2).

Tabelle 2: Anzahl der Tage mit Temperaturen $\geq 25^{\circ}\text{C}$ (Sommertage) in den Monaten Mai und Juni an Klimastationen im Untersuchungsgebiet und absoluter Trend in der Klimanormalperiode 1971-2000

Klimastation	Geographische Lage	Anzahl der durchschnittlich auftretenden Sommertage	Absoluter Trend (Anzahl Tage)
Ueckermünde	53°45' N, 14°04' O	5,1	-1,8
Grünow (1973-2000)	53°19' N, 13°56' O	7,2	+2,0
Angermünde	53°02' N, 14°00' O	10,2	+0,8
Zehdenick	52°58' N, 13°19' O	10,7	+1,6
Müncheberg	52°31' N, 14°07' O	9,8	+4,3
Berlin-Buch	52°38' N, 13°30' O	11,4	+3,1
Berlin-Dahlem	52°28' N, 13°18' O	11,7	+5,6
Berlin-Tegel	52°34' N, 13°19' O	11,7	+4,6
Berlin-Schönefeld	52°22' N, 13°31' O	12,1	+1,6
Potsdam	52°23' N, 13°04' O	12,8	+5,0

Stationen im Stadtgebiet von Berlin zeigen sowohl die höchste Anzahl an Sommertagen in den Monaten Mai und Juni als auch die höchsten Temperaturen mit Werten bis 35,4°C (Berlin-Schönefeld am 20./21.06.2000) bzw. 36,9°C (Berlin-Tegel am 21.06.2000).

Aufgrund der geringen Dichte der Klimastationen, die die tägliche Maximumtemperatur messen, ist der in Mecklenburg-Vorpommern liegende Teil des Untersuchungsgebietes bei der Trendanalyse nur sehr ungenügend abgebildet. Des Weiteren zeigen von diesen Stationen nur wenige einen signifikanten Trend. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen den Verlauf des absoluten Trends der mittleren Maximumtemperatur im Untersuchungsgebiet zwischen Berlin und Ueckermünde im Zeitraum 1971-2000.

Der stärkste absolute Trend fällt wie bei den Mitteltemperaturen auf das Frühjahr (Abbildung 12). Hier steigt die Maximumtemperatur im Raum Berlin und nordwestlich von Berlin um +1,7 bis +1,9°C. Im nordöstlichen Brandenburg stiegen die Temperaturen im Zeitraum 1971-2000 um 1,2 bis 1,6°C, in Mecklenburg-Vorpommern scheint der absolute Trend wieder stärker zu sein. Sommer und Herbst sind sich in ihrem Trendverhalten ähnlich, wobei der absolute Trend im Herbst deutlich zu geringeren Maximumtemperaturen zeigt. Im Sommer und Herbst findet sich im nordöstlichen Teil Brandenburgs und im Mecklenburger Teil des Untersuchungsgebietes ein nur geringer (Sommer) und sogar abnehmender Trend (Herbst) der Maximumtemperaturen. Die Region nordwestlich bis nordöstlich von Berlin zeigt dagegen einen leicht zunehmenden Trend der Maximumtemperaturen - im Sommer bis zu +0,8°C. Der Winter zeichnet sich durch einen relativ gleich verteilten absoluten Trend der Maximumtemperatur aus. In der Region um Berlin steigt die Maximumtemperatur um bis zu +1°C, der überwiegende Teil des Untersuchungsgebietes in Nordostbrandenburg und Mecklenburg-Vorpommern zeigt Trends von +0,7 bis +0,8°C.

Der absolute Trend der mittleren Maximumtemperatur für das meteorologische Sommerhalbjahr widerspiegelt den Trendverlauf von Frühjahr und Sommer (Abbildung 13): In der Region um Berlin ist der höchste Anstieg der Maximumwerte mit +1,1 bis +1,4°C zu verzeichnen, in den übrigen Teilen des Untersuchungsgebietes fällt der absolute Trend geringer aus (+0,6 bis +0,8°C). Das meteorologische Winterhalbjahr zeigt in Nordostbrandenburg eine Region mit geringerem Anstieg der Maximumtemperatur (+0,3 bis +0,4°C), in den angrenzenden Gebieten steigt die Maximumtemperatur im Mittel um 0,5°C.

Der absolute Trend für das gesamte Jahr zeigt einen Anstieg der Maximumtemperaturen von Nordosten nach Süden von +0,3 bis +1,1°C. Hier wird der Einfluss des maritimen Klimas in den nördlichen Bereichen des Untersuchungsgebietes deutlich.

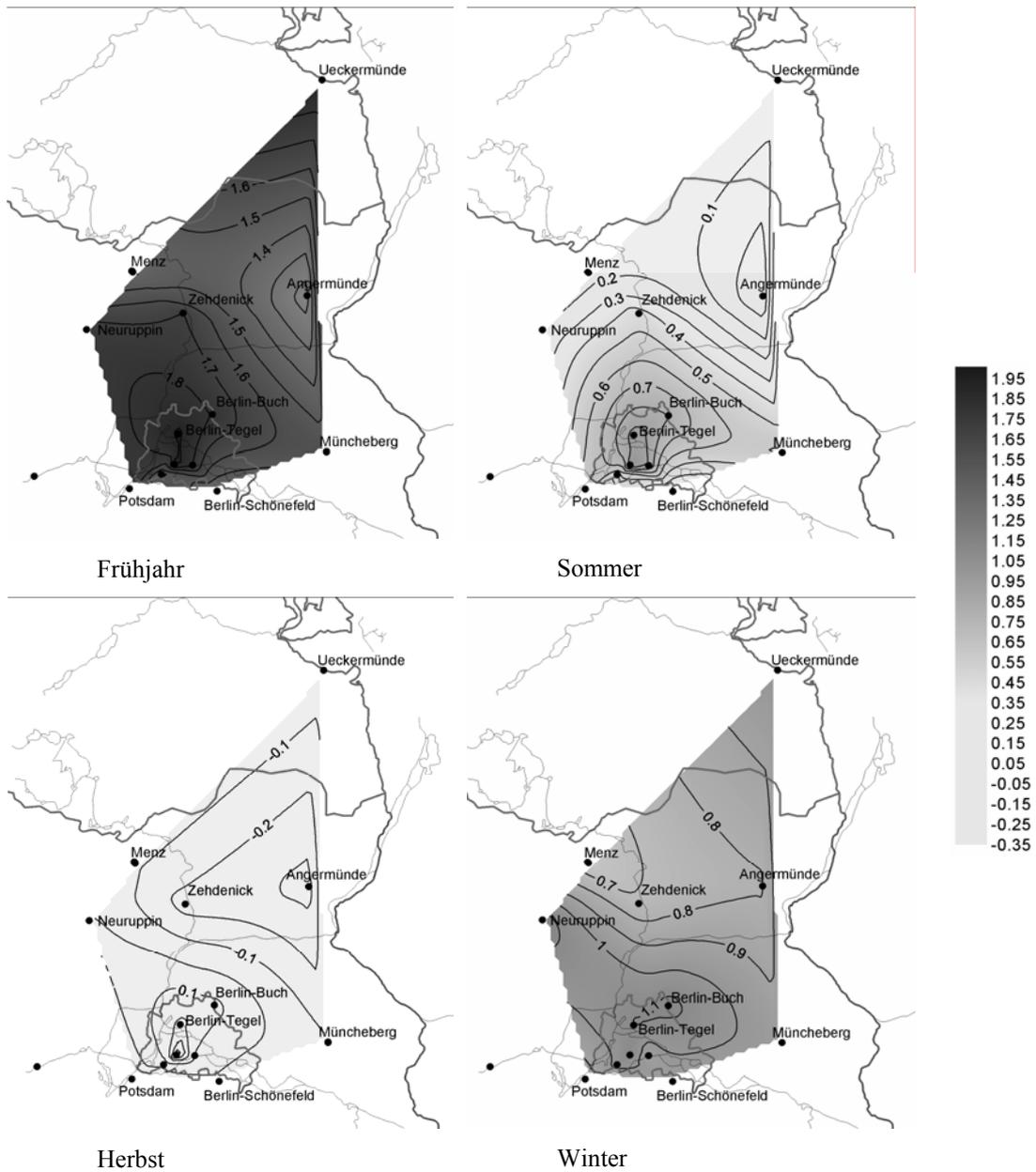
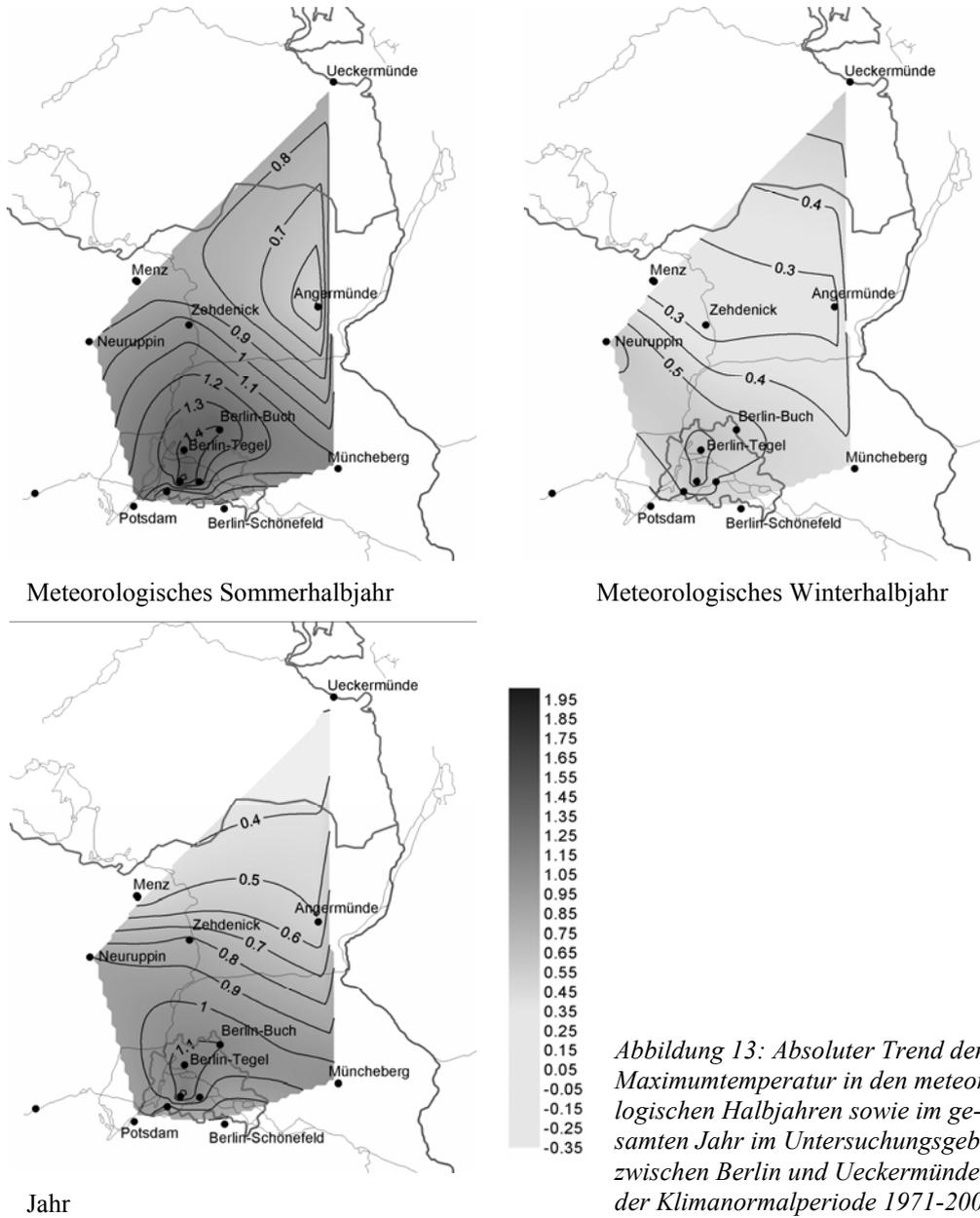


Abbildung 12: Absoluter Trend der mittleren Maximumtemperatur in den Jahreszeiten Frühjahr, Sommer, Herbst und Winter im Untersuchungsgebiet zwischen Berlin und Ueckermünde in der Klimanormalperiode 1971-2000



Bei den Minimumtemperaturen muss ebenfalls von einer geringeren Dichte der Klimastationen im Untersuchungsgebiet ausgegangen werden. Nur wenige Stationen zeigen einen signifikanten Trend. In den nachfolgenden Abbildungen ist der Verlauf des absoluten Trends der mittleren Minimumtemperatur im Untersuchungsgebiet zwischen Berlin und Ueckermünde im Zeitraum 1971-2000 dargestellt.

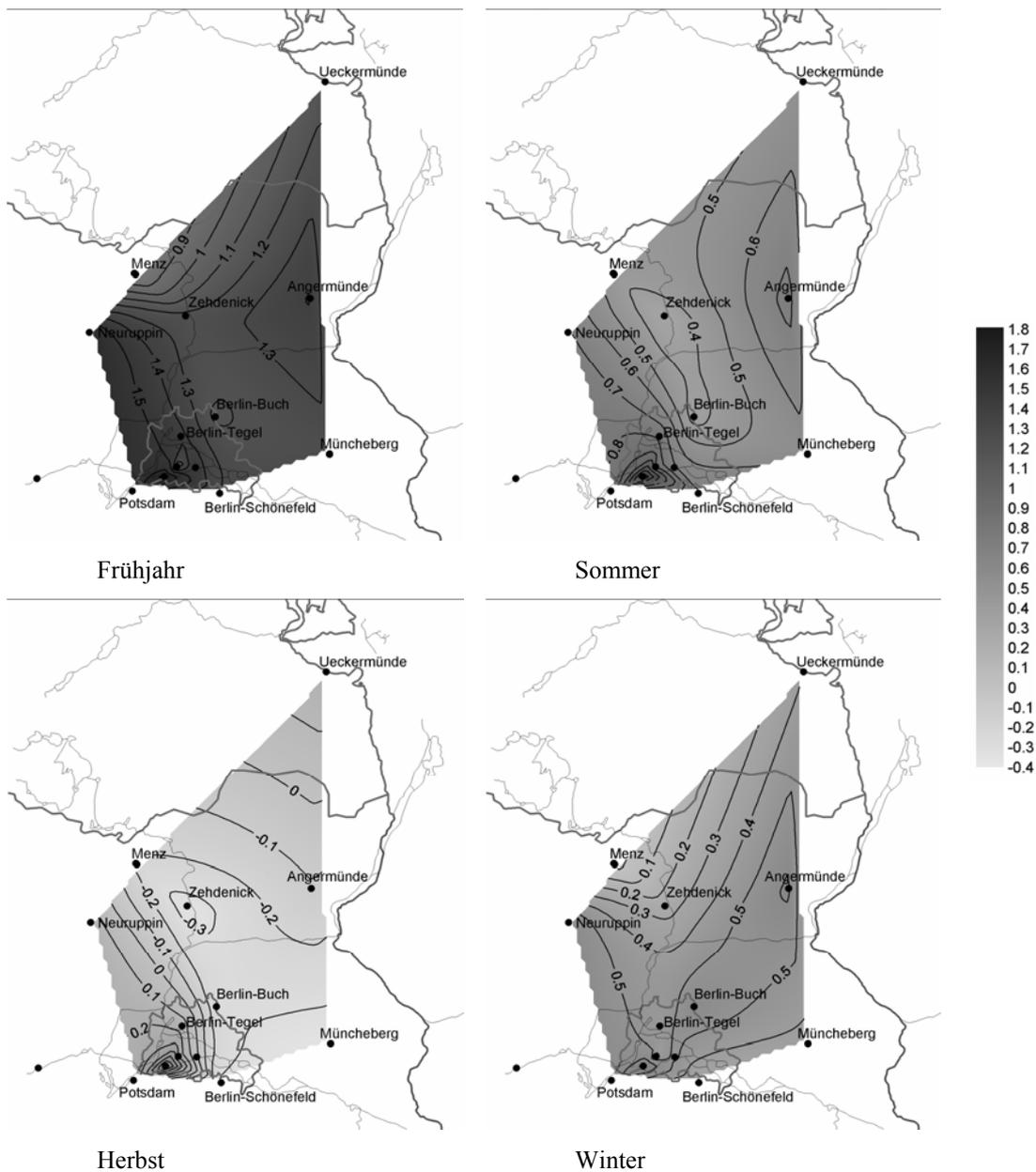


Abbildung 14: Absoluter Trend der mittleren Minimumtemperatur in den Jahreszeiten Frühjahr, Sommer, Herbst und Winter im Untersuchungsgebiet zwischen Berlin und Ueckermünde in der Klimanormalperiode 1971-2000

Wie bei den bereits betrachteten Mittel- und Maximumtemperaturen zeigt das Frühjahr den stärksten absoluten positiven Trend im Zeitraum 1971-2000 (Abbildung 14). Die mittleren Minimumtemperaturen nehmen im Untersuchungsgebiet um 1,0 bis 1,5°C zu. Am stärksten betroffen ist dabei die Region nordwestlich von Berlin. Im Sommer ist ebenfalls ein positiver Trend zu verzeichnen, der mit einer Zunahme der Minimumtemperaturen um maximal +0,8°C allerdings schwächer als im Frühjahr ausfällt. Einen ebenfalls schwach positiven Trend zeigt der Winter mit einer Zunahme der Minimumtemperaturen von +0,1 bis +0,5°C. Entgegen den anderen Jahreszeiten verhält sich der Trend im Herbst. Hier kommt es im Raum Nordostbrandenburg zur Abnahme der Minimumtemperaturen um

bis zu $-0,3^{\circ}\text{C}$. Insgesamt ist anzumerken, dass Extremwerte, insbesondere die absoluten Minimumtemperaturen stark von lokalen Gegebenheiten abhängig sind. Es können hier nur Tendenzen beschrieben werden.

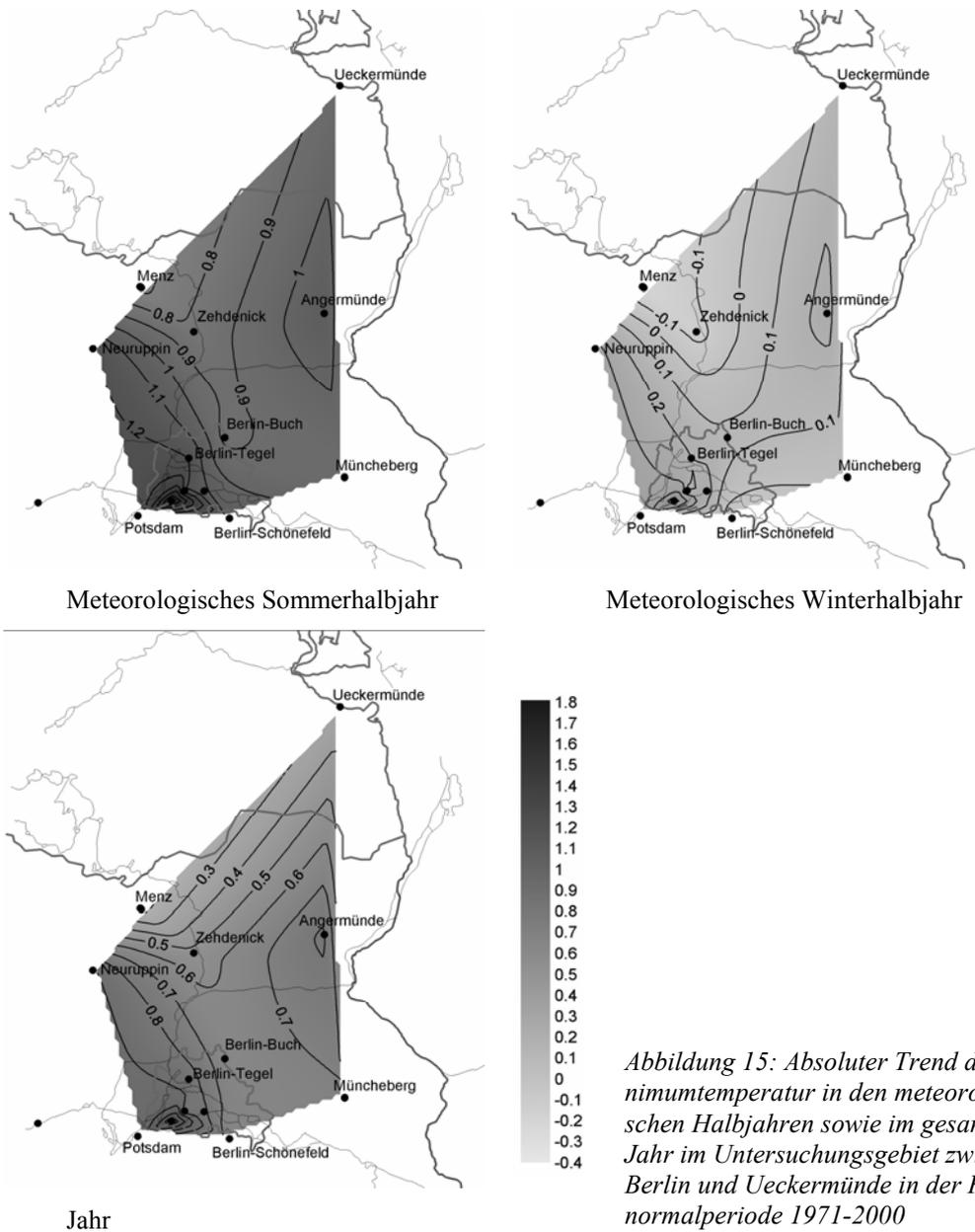


Abbildung 15: Absoluter Trend der Minimumtemperatur in den meteorologischen Halbjahren sowie im gesamten Jahr im Untersuchungsgebiet zwischen Berlin und Ueckermünde in der Klimanormalperiode 1971-2000

Der absolute Trend des meteorologischen Sommerhalbjahres wird stark durch das Frühjahr geprägt, wengleich die Zunahme der Minimumtemperaturen durch den moderater ausfallenden Trend des Sommers geringer ausfällt. Jedoch steigen die Minimumtemperaturen auch im meteorologischen Sommerhalbjahr im Nordwesten von Berlin um bis zu $+1,2^{\circ}\text{C}$, in den übrigen Gebieten zwischen $+0,8$ bis $+1,0^{\circ}\text{C}$. Im meteorologischen Winterhalbjahr reicht der Trend von $-0,1^{\circ}\text{C}$ im Nordwesten des Brandenburger Teils des Untersuchungsgebietes bis $+0,3^{\circ}\text{C}$ im Nordwesten Berlins (Abbildung 15).

Für das gesamte Jahr ist in der Klimanormalperiode 1971-2000 wie auch für die Mittel- und Maximumtemperaturen ein positiver Trend festzustellen. Die Minimumtemperaturen steigen im Untersuchungsgebiet um bis zu $+0,9^{\circ}\text{C}$, wobei diese Zunahme nordwestlich von Berlin am deutlichsten ist. Im Nordwesten des Untersuchungsgebietes (zwischen Menz und Ueckermünde) scheint der absolute Trend mit maximal $+0,4^{\circ}\text{C}$ geringer auszufallen. Dieser Trend ist signifikant.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Mittel-, Maximum- und Minimumtemperaturen im Untersuchungsgebiet zwischen Berlin und Ueckermünde (Landkreise Barnim, Uckermark und Uecker-Randow) in der Klimanormalperiode 1971-2000 stark angestiegen sind. Eine Ausnahme im allgemeinen Trend bildet der Herbst, in dem die Temperaturen im betrachteten Zeitraum nur minimal angestiegen oder sogar gesunken sind.

5.3.2 Klimatische Wasserbilanz

Ein wichtiger Indikator für die Feuchteverhältnisse in einem Gebiet ist die klimatische Wasserbilanz, da sich die tatsächlich in einem Gebiet verfügbare Wassermenge auch nach der Verdunstungsrate richtet. Die klimatische Wasserbilanz errechnet sich aus der Differenz zwischen der Niederschlagssumme und der potentiellen Verdunstung. Trotz eingeschränkter Datenverfügbarkeit für das Untersuchungsgebiet lässt sich eine Verschlechterung der Wasserverfügbarkeit mit zunehmend negativer Bilanz feststellen (Tabelle 3; Abbildung 16).

Tabelle 3: Klimatische Wasserbilanz, KWB (Jahressumme und Jahresgang) über den Zeitraum 1978-2002 gegenüber dem Zeitraum 1997-2006 als einfaches Gebietsmittel für 9 bzw. 14 Stationen im Untersuchungsgebiet

	KWB 1978-2002 (mm)	KWB 1997-2006 (mm)
Frühjahr	-67	-82
Sommer	-129	-140
Herbst	+21	+16
Winter	+101	+89
Meteorologisches Sommerhalbjahr	-217	-242
Meteorologisches Winterhalbjahr	+140	+121
Jahr	-73	-126

Anhand der klimatischen Wasserbilanz lässt sich beim Vergleich von 25-jährigem Mittel (1978-2002) und 10-jährigem Mittel (1997-2006) feststellen, dass sich die Wassersituation vor allem in der Uckermark und im Südosten des Untersuchungsgebietes verschärft hat (Abbildung 16). Dazu trägt u.a. das erhöhte Strahlungsangebot bei, das über die potentielle Verdunstung in die Berechnung eingeht. In allen betrachteten Zeiträumen ist das Wasserdargebot zurückgegangen, besonders dramatisch im Frühjahr und im Sommer. Aber auch im Winter und im Herbst ist die klimatische Wasserbilanz im

Zeitraum 1997-2006 weniger positiv als 1978-2002. Über das Jahr betrachtet stehen aktuell im Gebiet noch weitere ca. 50 mm weniger Wasser zur Verfügung als es noch im Zeitraum 1978-2002 waren.

Es ist jedoch anzumerken, dass die potentielle Verdunstung, die in die Berechnung der klimatischen Wasserbilanz eingeht, die tatsächliche (aktuelle) Verdunstung oft deutlich übersteigt. Durch Regulation der pflanzlichen Verdunstung (Transpiration) und reduzierte Verdunstung der Böden bei Trockenheit fällt die reale Wasserbilanz positiver aus. Sehr problematisch kann die Situation jedoch für Feuchtgebiete sein, deren Vegetation die Transpiration weniger kontrolliert. Anpassungen der Vegetation durch Einschränkung der Transpiration sind zudem meist mit vermindertem Kohlenstoffgewinn der Pflanzen verbunden.

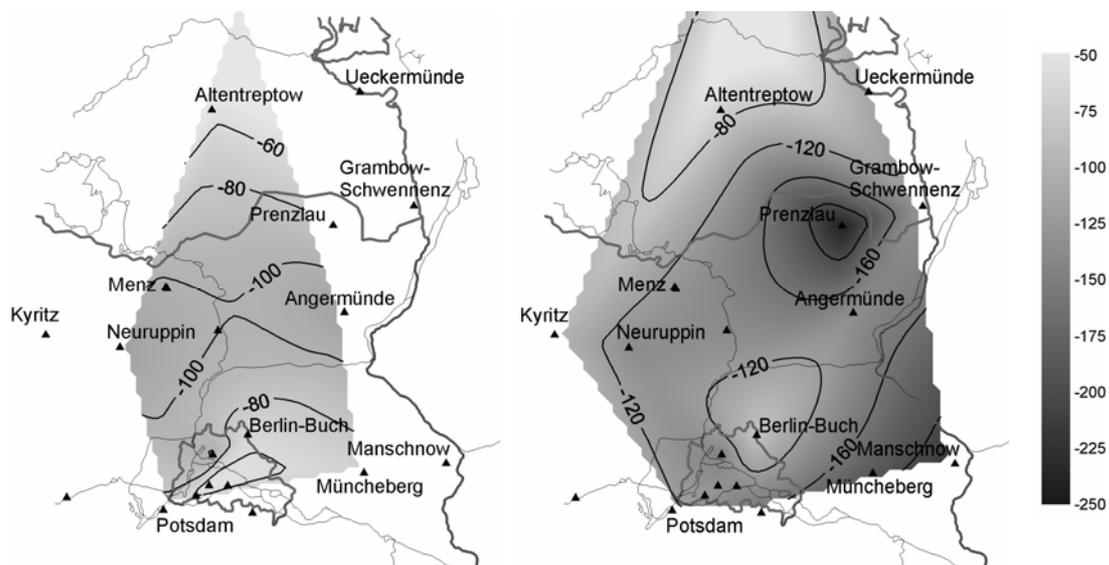


Abbildung 16: Vergleich der klimatischen Wasserbilanz (korrigierter Niederschlag abzüglich der potenziellen Verdunstung berechnet nach Turc-Wendling, DVWK 1996) für die Zeiträume 1978-2002 (links) und 1997-2006 (rechts)

5.3.3 Beginn und Länge der thermischen Vegetationsperiode

Für die Entwicklung der Vegetation und Pflanzenproduktion sind vor allem Beginn und Länge der Vegetationsperiode bedeutend (Tabelle 4). Eine Analyse von thermisch definierten Vegetationszeiten anhand der Klimastationen im Untersuchungsgebiet ergab, dass die Vegetationsperiode im Durchschnitt zwischen 196 und 219 Tage lang ist. Die längste Dauer weist die in der Innenstadt gelegene Station Berlin-Tegel auf, die kürzeste die Station Ueckermünde. Der Vergleich einiger Stationen über zwei verschiedene Zeiträume zeigt zudem, dass sich der Beginn der Vegetationsperiode in der Klimanormalperiode 1971-2000 gegenüber 1951-1980 um 3 bis 8 Tage verfrüht und sich die Vegetationsruhe um 3 bis 5 Tage verspätet hat. Damit ergibt sich eine Verlängerung der Vegetationsperiode um 8 (Ueckermünde, Potsdam) bis 13 Tage (Berlin-Dahlem).

Tabelle 4: Mittelwerte von Beginn, Ende (Tag des Jahres) und Länge (Anzahl Tage) der thermischen Vegetationsperiode im Untersuchungsgebiet (Klimanormalperioden 1951-1980 und 1971-2000)

Klimastation	Geograph. Lage	Beginn		Ende		Länge	
		1951-1980	1971-2000	1951-1980	1971-2000	1951-1980	1971-2000
Ueckermünde	53°45' N, 14°04' O	105	100	292	295	188	196
Angermünde	53°02' N, 14°00' O	96	91	288	292	193	202
Zehdenick	52°58' N, 13°19' O	98	91	287	291	190	201
Müncheberg	52°31' N, 14°07' O	95	89	287	292	194	205
Berlin-Dahlem	52°28' N, 13°18' O	88	80	289	294	202	215
Potsdam	52°23' N, 13°04' O	88	85	290	293	202	210

5.3.4 Klimaquotient nach Ellenberg

Um klimabedingte Änderungen der natürlichen Vegetationspotentiale abzuschätzen, kann der sogenannte Ellenberg-Quotient (Q), herangezogen werden (ELLENBERG 1996; vgl. JENSEN et al. 2004). Da sich im Untersuchungsgebiet die Niederschlagsänderungen im Sommer- und Winterhalbjahr deutlich unterscheiden, wurde der Klimaquotient sowohl mit dem jährlichen Niederschlag als auch mit dem Niederschlag in der Vegetationsperiode berechnet. Bei Bezug auf den Niederschlag in der Vegetationsperiode (Q_{gs}) lässt sich ein differenzierteres räumliches Muster mit meist verschärften Trends der potentiellen Vegetationsentwicklung aufzeigen (FRANKE & KÖSTNER 2007). Auch wenn der rein klimatisch definierte Ellenberg-Quotient ohne Einfluss der Bodeneigenschaften die Potentiale natürlicher Vegetationstypen nur grob wiedergeben kann, weisen die Ergebnisse an den Stationen darauf hin, dass sich das Untersuchungsgebiet bereits im Übergang von kühl-feuchterem „Buchenmischwaldklima“ zu warm-trockenem „Eichenmischwaldklima“ befindet (Tabelle 5).

Tabelle 5: Ellenberg-Quotient berechnet auf Basis des Jahresniederschlages (Q) bzw. auf Basis des Niederschlages in der Hauptvegetationszeit von April-September (Q_{gs}) mit den entsprechenden Typen der natürlichen Waldvegetation (NWV): Buchen-Eichen-Wald (BEW: $20 < Q \leq 30$; $30 < Q_{gs} \leq 53$), Eichenmischwald (EMW: $Q > 30$; $Q_{gs} > 53$)

Klimastation	Q		Q_{gs}		NWV nach Q		NWV nach Q_{gs}	
	1951-1980	1971-2000	1951-1980	1971-2000	1951-1980	1971-2000	1951-1980	1971-2000
Ueckermünde	27,8	29,6	48,4	52,7	BEW	BEW	BEW	BEW
Angermünde	29,2	31,8	50,0	56,2	BEW	EMW	BEW	EMW
Zehdenick	29,4	31,8	50,7	57,5	BEW	EMW	BEW	EMW
Müncheberg	30,6	30,8	52,2	55,8	EMW	EMW	BEW	EMW
Berlin-Dahlem	27,3	29,0	47,1	53,4	BEW	BEW	BEW	EMW
Potsdam	27,4	29,5	47,6	53,7	BEW	BEW	BEW	EMW

Unter sehr ungünstigen edaphischen Bedingungen ist bereits bei niedrigeren Schwellenwerten ($Q > 26$; $Q_{gs} > 48$) mit einem Ausschluss von Buche zu rechnen (Hofmann 1968). Es lässt sich feststellen, dass die klimabedingten Standortpotentiale der natürlichen Waldvegetation innerhalb des vergleichsweise kurzen Zeitraumes von 50 Jahren bereits andere Klassifizierungsstufen erreichten. Für eine bessere räumliche Bewertung sind weitere Differenzierungen in Abhängigkeit vom Wasserspeichervermögen der Böden erforderlich.

6 Schlussfolgerungen

Aus der Klimadiagnose über die Untersuchungsregion lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

Die beobachteten Trends von Temperatur und Niederschlag im Gesamtzeitraum 1951-2006 sowie die abgeleiteten Klimaindizes lassen darauf schließen, dass in der Untersuchungsregion ein im Vergleich zu früheren Zeiträumen beschleunigter Klimawandel bereits stattfindet. Trotz der vergleichsweise geringen Reliefenergie des Untersuchungsgebietes lassen sich hinsichtlich der beobachteten Klimatrends räumliche und zeitliche Differenzierungen erkennen, die für die Beurteilung der zukünftigen Entwicklung der Region und die Ableitung geeigneter Anpassungsmaßnahmen bedeutsam sein können und weiter verfolgt werden müssen.

Die räumlichen und zeitlichen Muster des in den letzten Jahrzehnten (1971-2000) beobachteten Klimawandels weichen teilweise deutlich von weiter in der Zukunft liegenden (2041-2055) regionalen Prognosen ab. Für die Bewertung zukünftiger Entwicklungen sind Beobachtungen aus Klimadiagnosen und Klimaprojektionen fortlaufend abzugleichen und zu aktualisieren. Um die beobachteten Klimatrends besser erklären zu können, müsste eine eingehende Analyse der Wetterlagen erfolgen.

Im Gesamtgebiet haben sich die Jahresniederschläge nicht geändert bzw. nehmen leicht zu. Aufgrund der mit der Temperatur ansteigenden potentiellen Verdunstung sind jedoch Defizite in der klimatischen Wasserbilanz und saisonale Niederschlagsabnahmen kritisch zu sehen. Dies betrifft vor allem die Uckermark und den südöstlichen Teil des Untersuchungsgebietes.

Der auffallende Temperaturanstieg im Frühjahr und die früher einsetzende Wachstumsperiode sind besonders bedeutsam für die Pflanzenentwicklung. Anbauermine könnten ggf. zeitlich vorverlegt werden, um mögliche negative Auswirkungen von Sommertrockenheit zu vermeiden.

Hinsichtlich der räumlichen Unterschiede sind neben den Klimatrends die Bodeneigenschaften als weiterer differenzierender Faktor zu berücksichtigen, um Klimawirkungen auf die Vegetation zu bewerten. Für eine bessere Beurteilung können Prozessmodelle Anwendung finden, die Wechselwirkungen von Klima, Boden und Vegetation beschreiben und Erträge vorhersagen.

Entscheidend für landwirtschaftliche Erträge ist, neben Anpassungen in den Anbausystemen, das Auftreten von meteorologischen Extremereignissen und die Entwicklung der phytosanitären Situation. Klima- und witterungsbedingt können neue Schädlingsarten auftreten bzw. Schädlingspopulationen sich stärker und schneller vermehren. Es müssen daher die Kenntnisse über zukünftige Witterungsstatistiken beispielsweise von Trockenperioden, Starkniederschlägen, Phasen hoher Luftfeuchte oder milden Wintern verbessert werden.

Danksagung

Für Unterstützung bei der Nutzung der Klimadatenbank bedanken wir uns bei Dipl. Geogr. Johannes Franke, bei Frau Anne-Katrin Prescher für Hilfen bei der Textverarbeitung. Die Datenanalyse erfolgte in Kooperation mit LandCaRe 2020 (BMBF PT-DLR 01LS05104) und Förderung von Frau Dipl. Hydrol. M. Surke durch Acatech, Konvent für Technikwissenschaften der Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e.V.

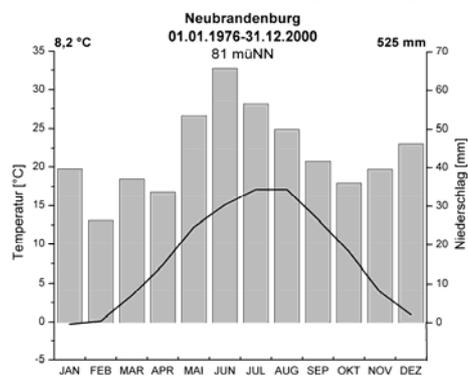
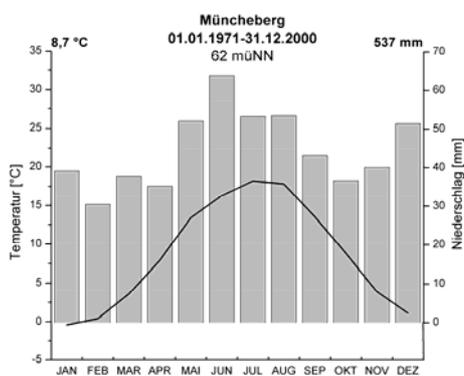
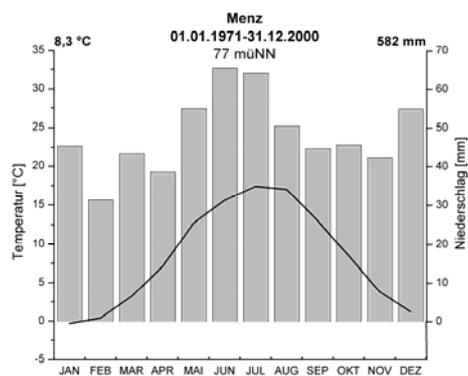
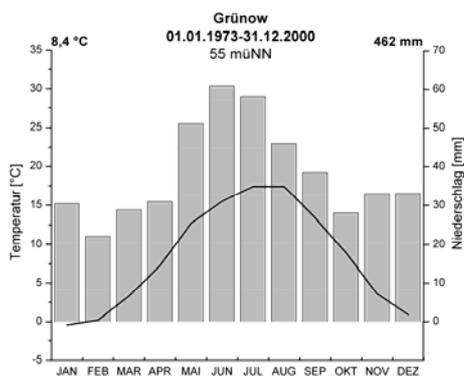
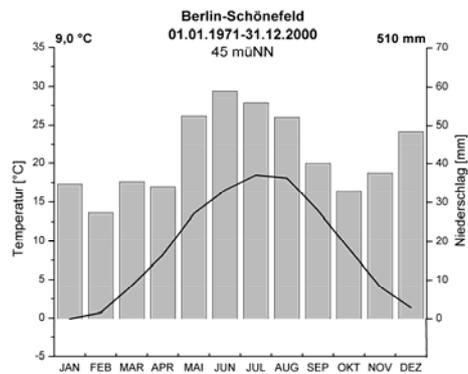
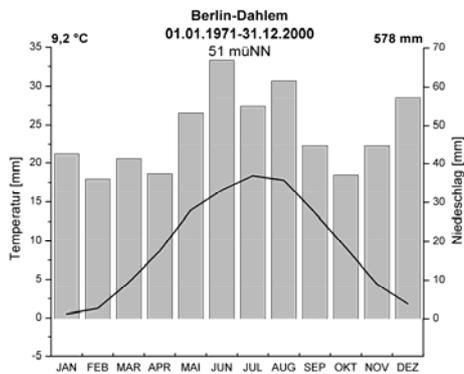
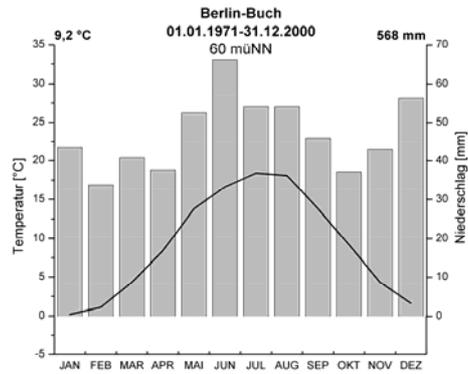
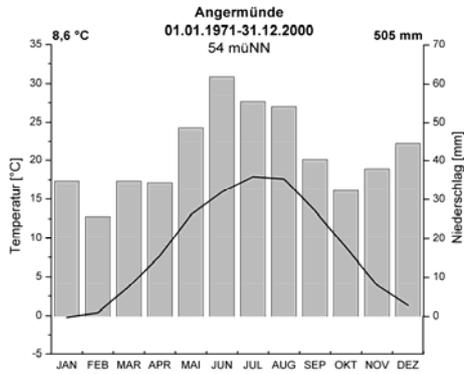
Literaturverzeichnis

- BEETZ S, NEU C, PLIENINGER T (2005) Zwischen Berlin und Stettiner Haff. Eine naturräumliche, politische und sozioökonomische Analyse der Region Berlin / Uckermark / Uecker Randow. Materialien der Interdisziplinären Arbeitsgruppe „Zukunftsorientierte Nutzung ländlicher Räume - LandInnovation“, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Materialien Nr. 3
- BERNHOFER CH, FRANKE J, GOLDBERG V, KÖSTNER B (2004) Regionale Klimaanalyse und Auswirkungen einer Klimaveränderung auf Brandenburg. Symposium LandInnovation, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin, 2. November 2004
- BERNHOFER C, GOLDBERG V (2001) CLISAX – Statistische Untersuchungen regionaler Klimatrends in Sachsen. Tharandt. Abschlussbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, AZ 13-8802.3521/48
- CHMIELEWSKI F (2003) Rezente Veränderungen der Lufttemperatur und der Niederschlagshöhe in Berlin-Dahlem, 1931-2000. In: Chmielewski F, Foken Th (Hrsg) Beiträge zur Klima- und Meeresforschung. Berlin und Bayreuth, 79-90
- CROWLEY TJ (2000) Causes of climate change over the past 1000 years. *Science* 289, 270-277
- DIN 4049-3 (1994): Teil 1: Hydrologie – Begriffe zur quantitativen Hydrologie. Deutsches Institut für Normung
- DVWK 238 (1996) DVWK – Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Nr. 238/1996. Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. Kommissionsvertrieb, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- DVWK M-504 (2002) DVWK – Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Nr. 09/02: Verdunstung in Bezug zu Landnutzung, Bewuchs und Boden. Kommissionsvertrieb, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- DYCK S, PESCHKE G (1995) Grundlagen der Hydrologie. Berlin, Verlag für Bauwesen
- ELLENBERG H (1996) Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Eugen Ulmer, Stuttgart
- ENKE W, DEUTSCHLÄNDER T, SCHNEIDER F, KÜCHLER W (2005) Results of five regional climate studies applying a weather pattern based downscaling method to ECHAM4 climate simulations. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol 12, No 2, pp 274-257
- FRANKE J, GOLDBERG V, EICHELMANN U, FREYDANK E, BERNHOFFER CH (2004) Statistical analysis of regional climate trends in Saxony, Germany. *Climate Research*, Vol 27, pp 145-150

- FRANKE J, KÖSTNER B (2007) Effects of recent climate trends on the distribution of potential natural vegetation in Central Germany. *Int J Biomet*, online DOI 10.1007/S00484-007-0096-5
- FRANKE J, SURKE M, LANGROCK M (2007) Handbuch zur „Klimadatenbank Mitteldeutschland“. Professur für Meteorologie, Technische Universität Dresden
- GERSTENGARBE F-W, BADECK F, HATTEMANN F, KRYSANOVA V, LAHMER W, LASCH P, STOCK M, SUCKOW F, WECHSUNG F, WERNER, PC (2003) Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2005 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. PIK-Report 83, 394 S
- GLASER R (2001) Klimageschichte Mitteleuropas. 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt
- HOFMANN W (1968) Vitalität der Rotbuche und Klima in Mainfranken. *Feddes Repertorium* 78, 135-137
- IPCC (2007) Working Group 1, AR 4, <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>
- JENSEN LU, LAWESSON JE, BALSLEV H, FORCHHAMMER MC (2004) Predicting the distribution of *Carpinus betulus* in Denmark with Ellenberg's Climate Quotient. *Nordic Journal of Botany* 23(1), 57-67
- KOPP, D (2003). Die Böden des Nordostdeutschen Tieflandes und ihr Zusammenwirken mit Relief, Klima und Vegetation. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
- KÖSTNER B, BERNHOFER CH, GÖMANN H, KREINS P, KERSEBAUM CH, MIRSCHEL W, MENGELKAMP H-T, SIMMER C, WEIGEL HJ, MANDERSCHIED R, WENKEL K-O, WIELAND R (2007) Land, Climate and Resources (LandCaRe) 2020 – Foresight and Potentials in Rural Areas under Regional Climate Change. *Proceedings klimazwei – Research for Climate Protection and Protection from Climate Impacts*, 69, Federal Ministry of Education and Research, Germany
- LIEDTKE, H; MARCINEK, J (Hrsg) (2002). *Physische Geographie Deutschlands*. Justus Pertes Verlag Gotha, 3. Auflage, 786 S.
- NIEMAND C, KÖSTNER B, PRASSE H, GRÜNWALD T, BERNHOFER CH (2005) Relating tree phenology with net ecosystem exchange at Tharandt forest. *Meteorologische Zeitschrift*, 14, 197-202
- OWEN SJ (1992) An implementation of natural neighbor interpolation in three dimensions. Master Thesis. Brigham Young University
- PIK (2007): Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung: Zwischenbericht WaStor – Elbe-Tiefland. Dynamische skalenübergreifende Modellierung des Wasser- und Stoffhaushaltes in Gebieten des pleistozänen Tieflandes - Modellgebiet Stepenitz – http://www.pik-potsdam.de/research/past/1994-2000/ragtime/hydro/projects/elbe-ecology/wastor/zb1098/meteorologische_bedingungen_im_stepenitzgebiet.html, download von 23.07.2007
- PLIENINGER T, BENS O, HÜTTL RF (2005) Naturräumlicher und sozioökonomischer Wandel, Innovationspotenziale und politische Steuerung am Beispiel des Landes Brandenburg. *Materialien der Interdisziplinären Arbeitsgruppe „Zukunftsorientierte Nutzung ländlicher Räume - Land-Innovation“*, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Materialien Nr. 2
- SCHLAAK N (1999) Nordostbrandenburg – Entstehungsgeschichte einer Landschaft. *Entdeckungen entlang der Märkischen Eiszeitstraße*, Bd. 1, Gesellschaft zur Erforschung und Förderung der Märkischen Eiszeitstraße e.V., Eberswalde, 48 S.
- SUKOPP H, WURZEL A (2000) Changing climate and the effect on vegetation in Central European cities. *Arboricultural Journal*, No 24, pp 257-281
- WERNER, PC, GERSTENGARBE, F.-W, LAHMER, W, LASCH, P, SUCKOW, F, WECHSUNG, F (2005): Klima, Klimaänderungen und deren Auswirkungen im Gebiet der Märkischen Eiszeitstraße zwischen 1951 und 2055. *Entdeckungen entlang der Märkischen Eiszeitstraße*, Bd. 10, Gesellschaft zur Erforschung und Förderung der Märkischen Eiszeitstraße e.V., Eberswalde, 53 S.

Anhang

Klimadiagramme der einzelnen Stationen



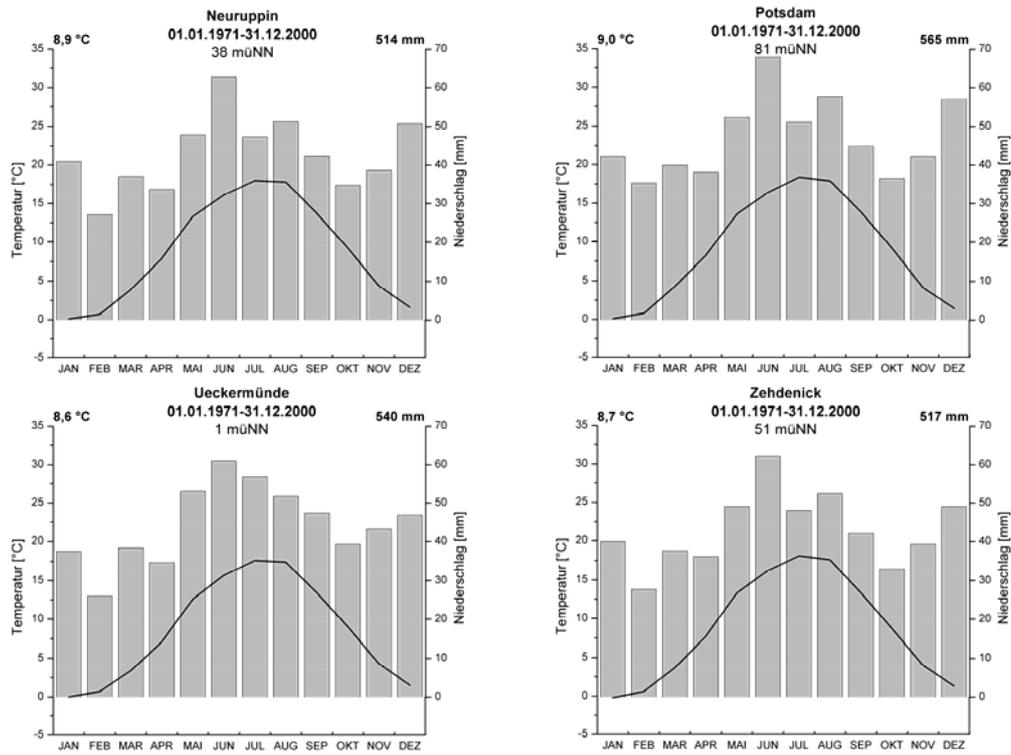


Abbildung A1: Klimadiagramme der einzelnen Stationen

Fallbeispiel Klimastation Angermünde*Tabelle A1: Absoluter Trend des Niederschlages im Zeitraum 1971-2000 an der Klimastation Angermünde*

Zeitraum	Absoluter Trend [mm]
Frühjahr	22,58
Sommer	25,19
Herbst	-35,82
Winter	10,33
Jahr	24,53
Meteorol. Sommerhalbjahr (April -September)	27,06
Meteorol. Winterhalbjahr (Oktober – März)	-4,74

Tabelle A2: Absoluter Trend der mittleren Temperatur im Zeitraum 1971-2000 an der Klimastation Angermünde

Zeitraum	Absoluter Trend [°C]
Frühjahr	1,62
Sommer	0,39
Herbst	-0,006
Winter	0,96
Jahr	0,88
Meteorol. Sommerhalbjahr (April -September)	1,01
Meteorol. Winterhalbjahr (Oktober – März)	0,47

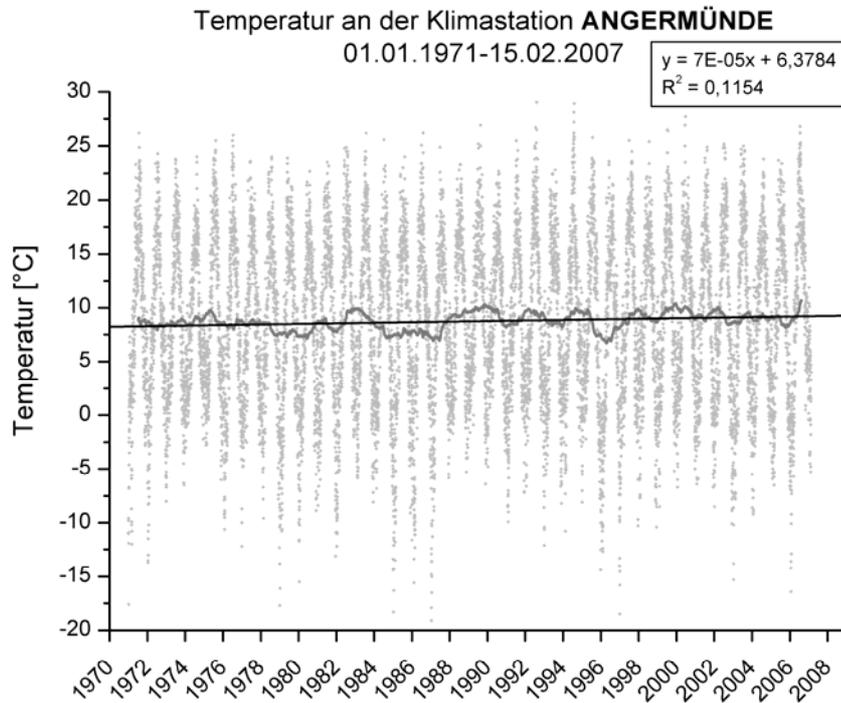


Abbildung A2: Trend des Jahresmitteltemperatur an der Klimastation Angermünde (hellgrau: jahreszeitliche Temperaturschwankungen; dunkelgrau: Temperatur, tiefpassgefiltert; schwarz: Trend)

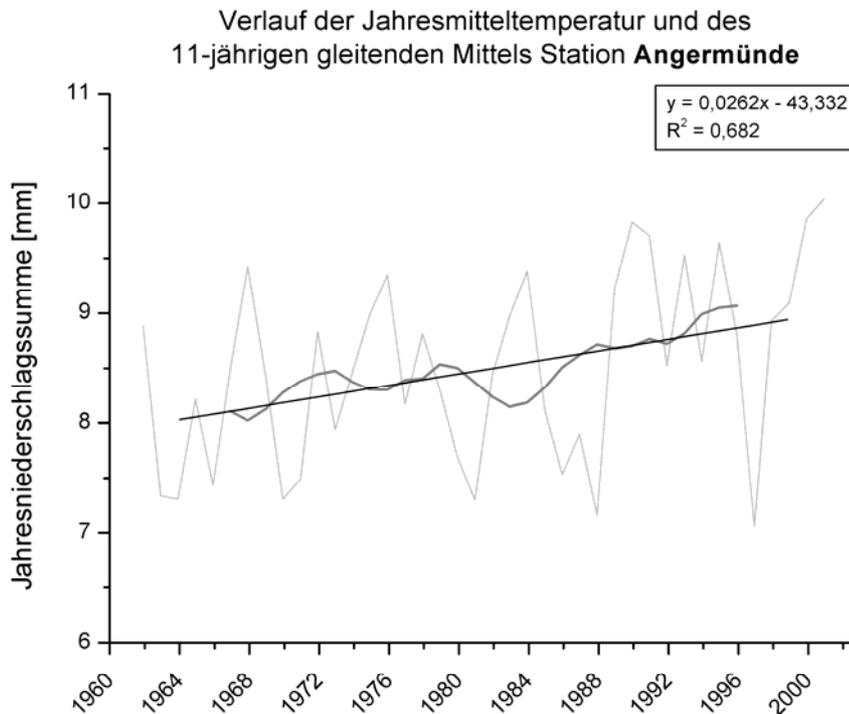


Abbildung A3: Trend des Jahresmitteltemperatur an der Klimastation Angermünde (hellgrau: Jahresmitteltemperatur; dunkelgrau: Jahresniederschlagssumme, tiefpassgefiltert; schwarz: Trend)

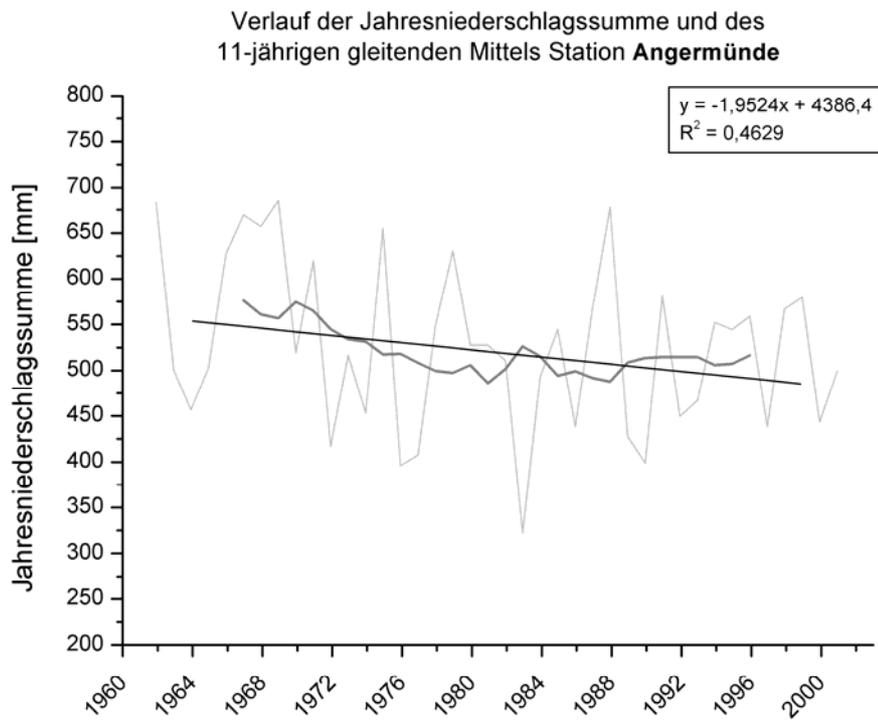
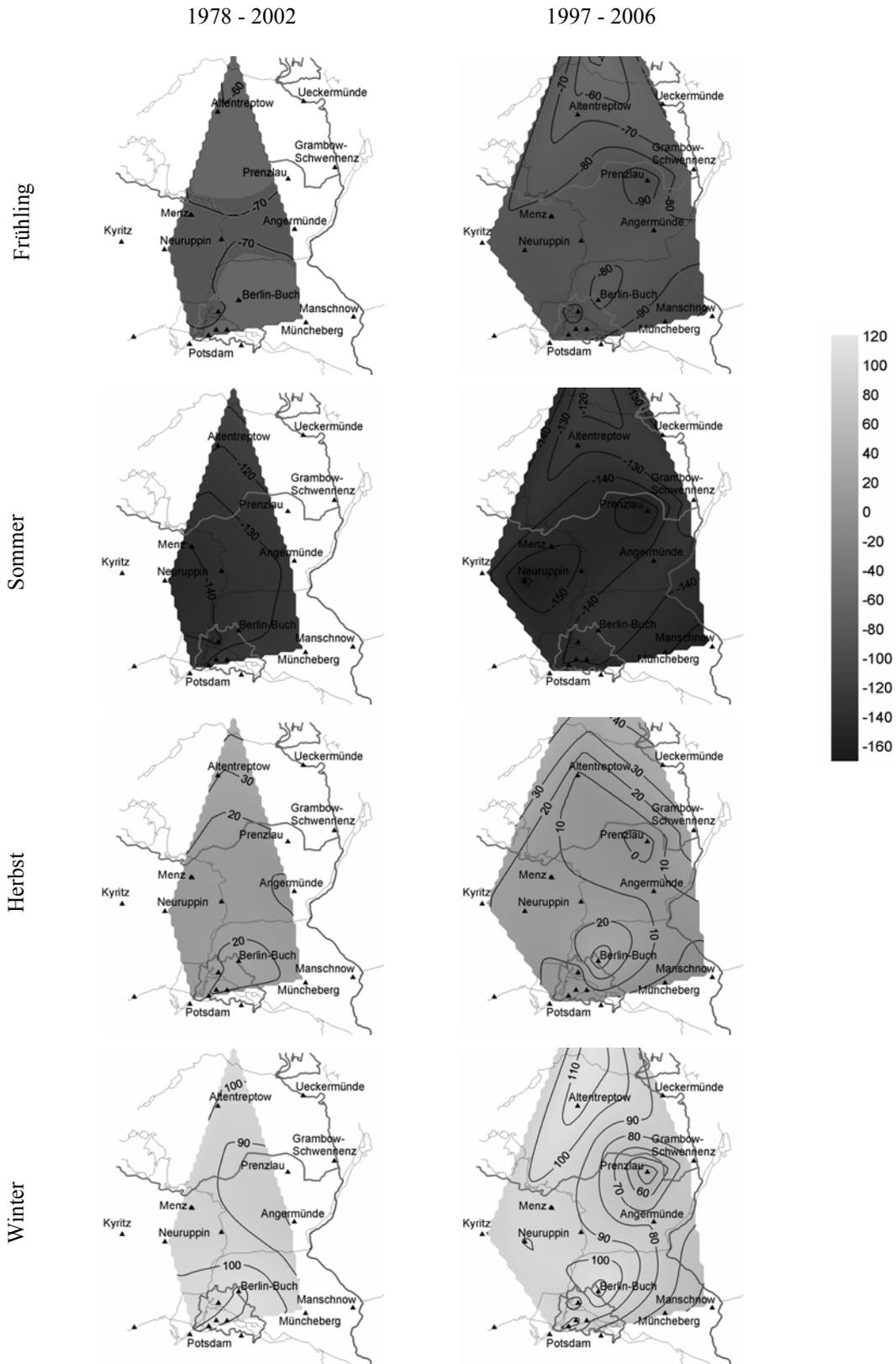


Abbildung A4: Trend des Jahresniederschlages an der Klimastation Angermünde (hellgrau: Jahresniederschlagssumme; dunkelgrau: Jahresniederschlagssumme, tiefpassgefiltert; schwarz: Trend)

Klimatische Wasserbilanz



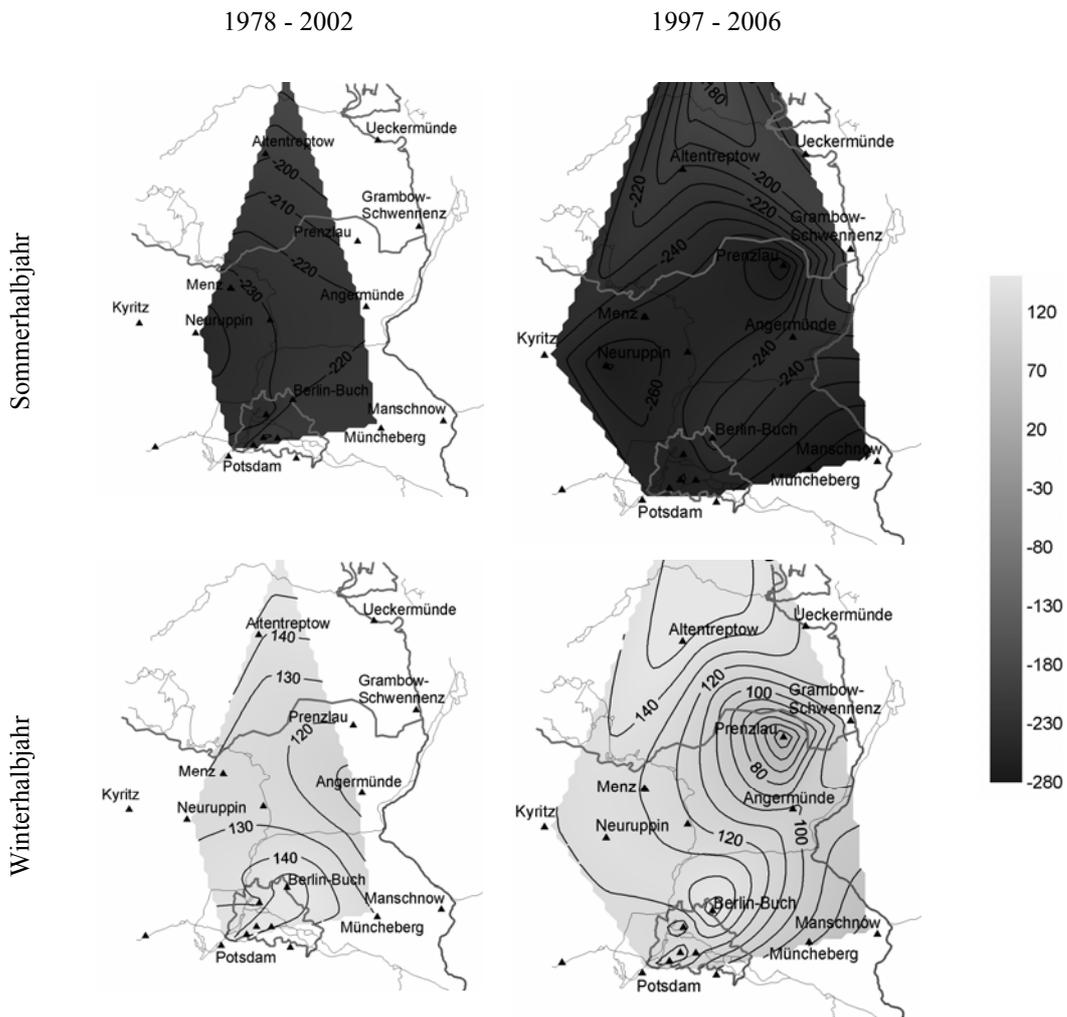


Abbildung A5: Klimatische Wasserbilanz (mm) im Untersuchungsgebiet für die vier Jahreszeiten und das Sommer- und Winterhalbjahr. Vergleich der Mittelwerte im Zeitraum 1978-2002 (linke Spalte) und 1997-2006 (rechte Spalte)