

Vergleichende Analyse zur Klimaentwicklung im Raum Halle (Saale) zwischen 1965 und 2008

Ulrike REICHERT, Manfred FRÜHAUF und Jurik MÜLLER

8 Abbildungen und 2 Tabellen

Abstract

REICHERT, U.; FRÜHAUF, M.; MÜLLER, J.: Comparative analysis for the climate development of the region Halle (Saale) between 1965 and 2008. – *Hercynia N. F.* 43 (2010): 5–18.

The worldwide picked out as a central theme climate change and its results are very differently on the regional level. The challenge concerning the development on the regional level of necessary adaptation strategies and adaptation measures is accordingly high. To be able to estimate exactly possible climate changes and from it arising problems, it requires the evaluation of the regional available climate data. By means of the data being since 1965 to temperature, precipitation and global radiation a suitable climate analysis was carried out in this work for the region Halle (Saale). By reason of the geographic position in Middle Germany dry region there is a high vulnerability. For Germany and Saxony-Anhalt definite noticeable climate changes were also proved for the region Halle (Saale) in the investigation period 1965 to 2008. The mean temperature increased by an average 1.3 K. Above all, the spring and winter months showed a positive change of air temperature. The temperature developments also led to changes in the appearance of extreme temperature incidents. The increase of the number of summer months and hot days faces a decrease of frost and ice days. The mean precipitation sums show a not significant trend of the increase. But, a clear rearrangement of the precipitation can be observed. Especially in July and September an increase of the precipitation sum occurred. In June and August the precipitation declined clearly. Furthermore, a slight increase of the winter precipitation is demoted. The shifting of the precipitation maximum for July is mainly focused on a rise of the intense precipitation. These generally increased in their intensity. The global radiation has increased after an at first negative trend since the eighties. In all examined stations the upraised climate parameters showed similar developments. Originally supposed differences between the stations Halle/Kröllwitz as a city station as well as Bad Lauchstädt and Seeben as environs stations could not be confirmed. Probably city climatological effects repeal by the distance to the city centre and the climatic positive favouring Dörlauer Heide and Saaleau in immediate nearness. Regarding on the development of temperature extremes and intense precipitation within the city, a consideration of the last ten years in all available stations seems reasonable. Especially because of the very probably increasing air temperatures (IPCC, in 2007) the number of the summery extreme incidents increases. This would have direct consequences on the quality of life of the people living in the city.

Key words: climate change, climate data, air temperature, precipitation, global radiation, climate of Halle (Saale)

1 Einleitung

Der Klimawandel mit seinen Ursachen und Folgewirkungen, aber vor allem die Änderungen des Klimas durch menschliche Aktivitäten stehen sowohl wissenschaftlich als auch öffentlich schon seit längerem zur Debatte (UMWELTBUNDESAMT (UBA) 2007, INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) 2007, WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO) 2007). Wie und in welchem Ausmaß sich der Klimawandel auswirkt, ist regional unterschiedlich und verlangt nach regional angepassten Maßnahmen. Für Sachsen-Anhalt liegt auf Grund der geographischen Lage im Mitteldeutschen Trockengebiet und ihrer spezifischen Landnutzung eine besonders hohe Vulnerabilität vor (UBA 2006). Geringe Niederschlags-

und große Verdunstungsraten haben in jüngster Vergangenheit bereits Grundlagen für verschiedene geoökologische Fragestellungen hinsichtlich der Folgen von Klimaänderungen im regionalen Maßstab geboten. Daraus resultierten Untersuchungen in Hinblick auf Änderungen im Niederschlagsregime in Zusammenhang mit Landnutzung (z.B. MÜLLER et al. 1988, 1995 a, b, 2001, DÖRING 2004, WURBS 2005, FABIG 2007) und hinsichtlich der Wirkung auf die Vegetation (KOLODZIEJ 2007). Auch die Stadt Halle/Saale und ihre nähere Umgebung waren bereits mehrfach Gegenstand klimatischer Untersuchungen (z.B. KLEEMANN 1887, KOCH 1907, HOELSCHER 1954, SCHUMANN & MÜLLER 1995, MÜLLER et al. 2001, 2007, WENDLING 2001, DÖRING & BORG, 2008).

Städte bedingen auf Grund ihrer vielgestaltigen Veränderungen der landschaftlichen Strukturen und Prozesse auch klimatische Konsequenzen (SCHÖNWIESE 2003, 2007). Sie zeigen sich im Vergleich zur nicht bebauten Umwelt der Umgebung vor allem in höheren Temperaturen („Wärmeinsel-Effekt“) sowie in einer Verschlechterung der Umweltqualität für den Menschen, was eine gesundheitliche Beeinträchtigung der Stadtbewohner nach sich zieht. Unter Annahme des globalen Temperaturanstiegs muss daher damit gerechnet werden, dass sich diese Effekte auch in den Städten in verschärfter Form zeigen (KUTTLER 2009). Um zukünftige klimatische Bedingungen innerhalb von Siedlungsgebieten und damit verbundene nachteilige Veränderungen für die Stadtbevölkerung abschätzen zu können, ist eine Untersuchung im regionalen Maßstab unabdingbar. Daher soll im Folgenden die statistische Auswertung von Klimadaten aus dem Raum Halle/Saale unter Berücksichtigung stadtklimatologischer Effekte Aufschluss über den sich vollziehenden Klimawandel im Zeitraum 1965 bis 2008 geben. Im Vordergrund steht hierbei die Analyse der Klimaparameter Lufttemperatur, Niederschlag und Globalstrahlung hinsichtlich ihres Verlaufs und des Auftretens extremer Wetterereignisse.

2 Datenmaterial im Untersuchungsgebiet

Bis 1945 ist im Raum Halle/Saale nur eine Klimareihe vorhanden. Danach stehen mehrere Klimastationen teilweise parallel zur Verfügung. Abbildung 1 zeigt alle Klimastationen aus dem Raum Halle/Saale, die ab 1851 betrieben wurden bzw. noch heute werden. Für die Analyse der Klimaentwicklung sind langjährige Messreihen ideal. Diese sind jedoch nicht immer verfügbar oder durch äußere Einflüsse, wie z. B. städtebauliche Veränderungen oder Stationsverlegung beeinträchtigt. Außerdem führt eine begrenzte Messgenauigkeit zu Fehlern. Für die Anfertigung der vorliegenden Arbeit wurden meteorologische Daten aus dem Messnetz des Deutschen Wetterdienstes (DWD), des Helmholtz-Instituts für Umweltforschung (UFZ) und Daten einer Klimastation des Instituts für Agrar- und Ernährungswissenschaften der Naturwissenschaftlichen Fakultät III an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (MLU) zur Verfügung gestellt und verwendet. Die der Arbeit zugrunde liegende stadtklimatologische Fragestellung beschränkte die Auswahl der Messstationen auf das Stadtgebiet Halle/Saale und seine Umgebung im Umkreis von etwa zehn Kilometern. Die Stationen sollten über möglichst langjährige Messreihen der Klimaparameter Temperatur, Niederschlag und Globalstrahlung verfügen. Nach Prüfung der Zeitreihen reduzierte sich die Anzahl auf die Stadtstation Halle/Kröllwitz und die Umlandstationen Bad Lauchstädt und Halle/Seeben (Halle/Zöberitz), die den Bedingungen entsprachen.

3 Klimaänderungen im Vergleich – Bad Lauchstädt, Seeben und Halle/Kröllwitz

Hauptziel der Untersuchung war es, Klimareihen verschiedener Stationen aus dem Raum Halle/Saale bezüglich ihrer Unterschiedlichkeit, vor allem aber hinsichtlich ihrer Veränderungen vergleichend zu untersuchen. Die Befunde galt es im Kontext der vorliegenden Ergebnisse zum globalen und regionalen Klimawandel zu diskutieren. Dabei soll auch geprüft werden, ob sich hierbei Stadt-Umland-Effekte nachweisen lassen.

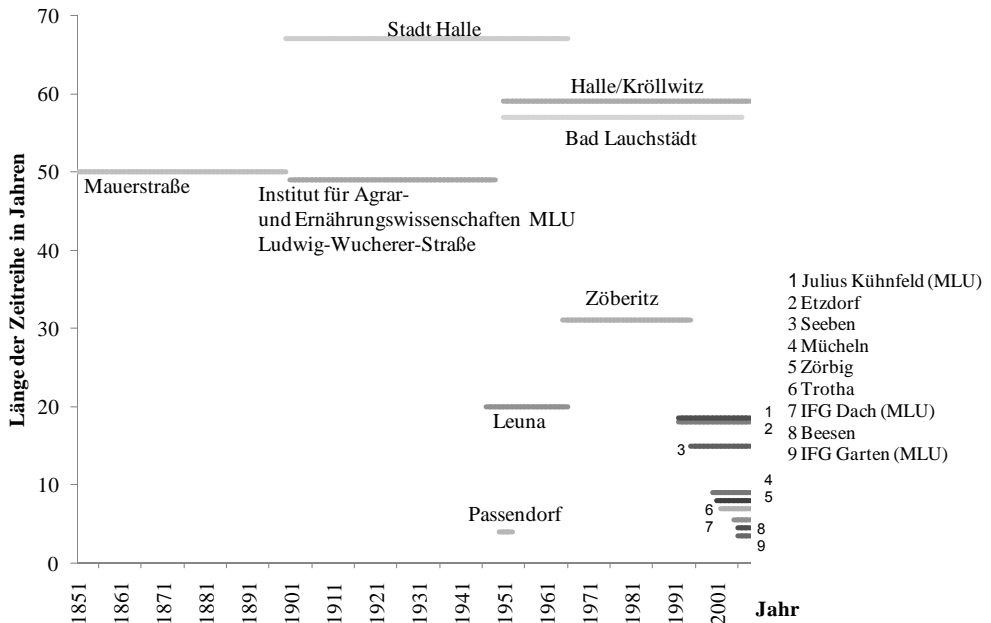


Abb. 1 Übersicht der Klimastationen im Raum Halle/Saale im Zeitraum 1851 bis 2008.

Fig. 1 Overview of the climate stations in the region Halle / Saale 1851 to 2008.

3.1 Temperatur

Im Untersuchungszeitraum 1965 bis 2008 haben sich die Jahresmitteltemperaturen an der Station Halle/Kröllwitz ähnlich wie in Bad Lauchstädt und Seeben entwickelt (Abb. 2). Im Mittel kam es in Halle/Kröllwitz zu einer Zunahme um 0,031 K, für Bad Lauchstädt um 0,036 K und für Seeben um 0,021 K pro Jahr. Alle drei Stationen weichen damit geringfügig von dem Durchschnittswert 0,034 K pro Jahr für Sachsen-Anhalt ab (KOLODIJ 2007). Besonders für Seeben ergab sich mit 0,9 K für den Gesamtbetrachtungszeitraum eine geringere Temperaturzunahme als für den Durchschnittswert von Sachsen-Anhalt (1,5 K in KOLODIJ 2007). Für alle Stationen kann die Temperaturzunahme als statistisch sicher angenommen werden.

Die Betrachtung der Zeitreihe, untergliedert in vier elfjährige Perioden (Abb. 3), zeigt für alle Stationen einen klaren Anstieg der mittleren Jahrestemperaturen nach der zweiten Periode (ab 1987). Die Mitteltemperatur der zweiten Periode fällt für Bad Lauchstädt (8,9°C) und Halle/Kröllwitz (9,0°C) geringer aus als die der ersten. In Seeben ist sie minimal höher (9,0°C). Den größten Temperaturanstieg erfahren alle Stationen innerhalb der letzten Periode (1998–2008).

In Bad Lauchstädt macht die Zunahme in den letzten elf Jahren mit durchschnittlich 0,04 K pro Jahr fast ein Drittel der Zunahme des gesamten Untersuchungszeitraums aus. Dies lässt Hinweise auf eine Beschleunigung der Temperaturzunahme, wie sie in den IPCC-Dokumenten verdeutlicht wird, sichtbar werden. Die mittleren Monatstemperaturen sind bei allen Stationen ähnlich verteilt. In den Monaten Oktober bis April liegen die Monatsmitteltemperaturen von Halle/Kröllwitz immer etwa 0,2 K über denen der anderen Stationen. Der Juli ist an allen Stationen mit durchschnittlichen 18,5°C der wärmste Monat im Jahr. Der kälteste Monat des Jahres ist jeweils der Januar. Die tiefste Durchschnittstemperatur für Januar mit 0,5°C wurde für Seeben ermittelt.

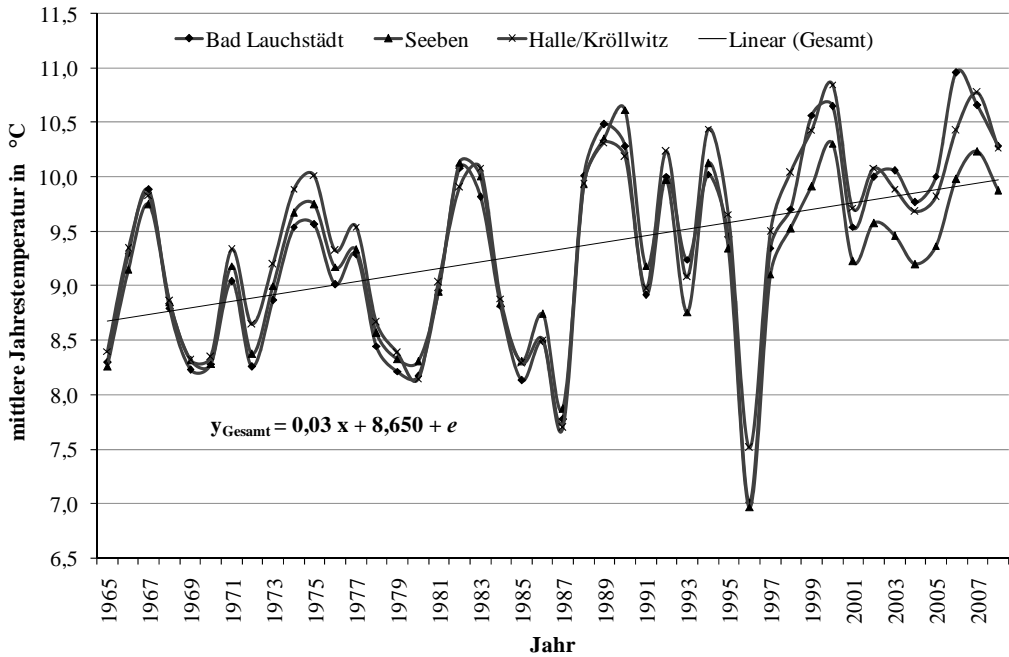


Abb. 2 Mittlere Jahrestemperaturen der Stationen Bad Lauchstädt, Seeben und Halle/Kröllwitz 1965 bis 2008.

Fig. 2 Mean temperatures of the stations Bad Lauchstädt, Seeben and Halle/Kröllwitz 1965 to 2008

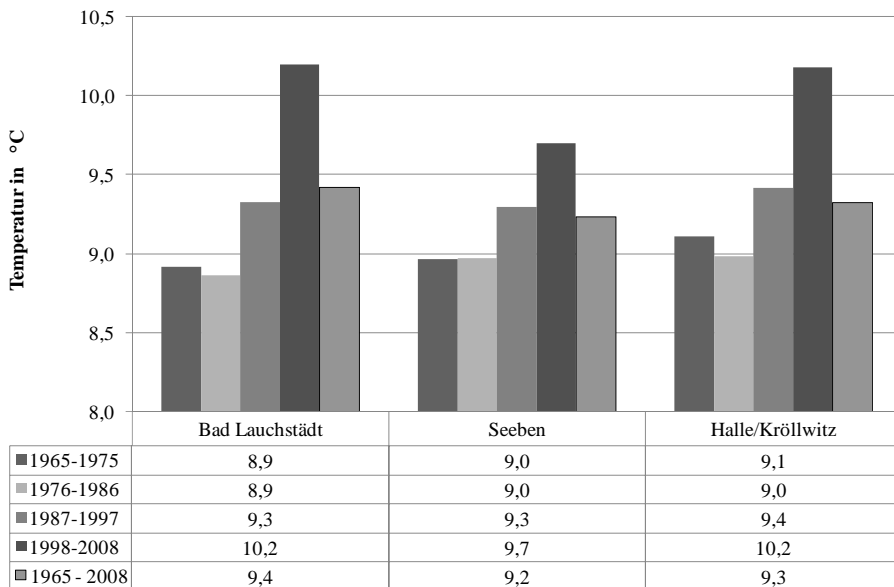


Abb. 3 Mittlere Jahrestemperaturen der Stationen Bad Lauchstädt, Seeben und Halle/Kröllwitz der vier Perioden.

Fig. 3 Mean temperatures of the stations Bad Lauchstädt, Seeben and Halle/Kröllwitz of four periods.

Die deutlichsten Temperaturveränderungen konnten für die Winter- und Frühlingsmonate an allen Stationen festgestellt werden. Frühling und Winter erwärmten sich hierbei im Durchschnitt um 1,7 K, der Sommer um 1,4 K und der Herbst um 0,54 K. Halle/Kröllwitz und Bad Lauchstädt weisen in diesem Kontext, analog der Jahresmitteltemperatur, jeweils einen höheren Trend auf als Seeben. In Halle/Kröllwitz traten im Untersuchungszeitraum neun Winter mit einer Durchschnittstemperatur von unter 0 °C auf, für Seeben und Bad Lauchstädt waren es elf Winter. Die Sommer liegen im Durchschnitt zwischen 15 und 20 °C, wobei nur der Rekordsommer 2003 über die 20 °C-Marke stieg.

3.2 Temperaturextreme

Tabelle 1 zeigt anhand klimatologischer Ereignistage, wie oft (definierte) Schwellenwerte der Lufttemperatur an den Stationsstandorten über- bzw. unterschritten wurden. Danach ist die Anzahl der winterlichen Ereignistage in Halle/Kröllwitz im Vergleich zu den Umlandstationen Seeben und Bad Lauchstädt geringer. Für die Sommermonate ist dagegen ein erhöhtes Aufkommen an Ereignistagen in Halle/Kröllwitz zu erkennen.

Tab. 1 Absolute Häufigkeiten klimatologischer Ereignistage im Gebiet Halle/Saale 1965 bis 2008 (definiert nach DWD 1999 und KUTTLER 2000) 1. Periode 1965–1975; 2. Periode 1976–1986; 3. Periode 1987–1997; 4. Periode 1998–2008.

Table 1 Absolute frequencies of climatological events in the region of Halle/Saale in 1965 to 2008 (defined to DWD in 1999 and KUTTLER in 2000) 1st period 1965–1975; 2nd period 1976–1986; 3rd period 1987–1997; 4th period 1998–2008.

	Ereignistage	Stadt							Umland													
		Halle/Kröllwitz					Bad Lauchstädt				Seeben											
		gesamt	1.	2.	3.	4.	Trend in d/a	Änderung gesamt in d	gesamt	1.	2.	3.	4.	Trend in d/a	Änderung gesamt in d							
Winter	Frosttage $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$	3217	785	848	802	782	-0,02 (n.s.)	-0,88	3372	851	923	836	762	-0,25 (n.s.)	-11	3473	835	900	879	859	0,08 (n.s.)	3,52
	Eistage $T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$	899	242	282	226	149	-0,26 (n.s.)	-11,4	852	243	254	212	143	-0,26 (n.s.)	-11,4	1005	271	306	237	191	-0,25 (n.s.)	-11
Sommer	Sommertage $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$	1668	405	352	419	492	0,36 (*)	15,84	1764	362	421	468	513	0,47 (***)	20,68	1646	348	363	447	488	0,48 (***)	21,12
	heiße Tage $T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$	309	79	49	80	101	0,11 (n.s.)	4,84	338	60	73	95	110	0,17 (**)	7,48	317	61	70	69	117	0,18 (**)	7,92

Dies lässt Hinweise auf die Wirkung des Wärmeinsel-Effektes der Stadt vor allem für das Winterhalbjahr erkennen. An allen Stationen sind jedoch vor allem die positiven Trends der sommerlichen Ereignistage auffällig (Tab. 1). Für die Stadtstation Halle/Kröllwitz fiel die Zunahme der Sommertage gegenüber den Umlandstationen über den gesamten Untersuchungszeitraum geringer aus (etwa 6 Tage). Auch die Anzahl der Hitzetage hat in Halle/Kröllwitz weniger zugenommen als im Umland. Dies steht der allgemeinen Literaturmeinung über den Wärmeinsel-Effekt von Städten im Sommer zwar entgegen, erscheint jedoch unter Kenntnis der (morphologischen) Sonderposition und Lage der Station verständlich.

Die Trends der Frosttage an den Stationen weichen demgegenüber stark voneinander ab. Für Halle/Kröllwitz wurde eine geringfügige Abnahme um insgesamt einen Tag registriert, in Bad Lauchstädt sind es elf Tage mehr und in Seeben kam es zu einer Zunahme um etwa drei Tage. Eine Verschiebung der Frosttage zwischen den einzelnen Monaten im Jahresgang wurde nicht untersucht. Die Zahl der Eistage hat an allen Stationen um etwa elf Tage abgenommen. Die Trends für die winterlichen Ereignistage aller Stationen muss als statistisch nur gering gesichert bezeichnet werden.

3.3 Niederschlag

Betrachtet man die Durchschnittswerte der Niederschläge, so erscheint die Entwicklung im Betrachtungszeitraum an allen Stationen ähnlich zu verlaufen (Abb. 4). Die mittlere jährliche Niederschlagssumme ist in Halle/Kröllwitz (483,1 mm) dabei geringfügig niedriger als an den Umlandstationen (487 mm). Alle Stationen weichen damit um etwa 100 mm vom Landesmittel ab (587,5 mm in KOLODIJ 2007).

In dieser Hinsicht interessantere Ergebnisse zeigte der Bezug zu Extremereignissen. Da die Niederschlagsdaten nur in Tagessummen vorlagen, erfolgte die Bewertung der Niederschläge in Anlehnung an FABIG (2007), wonach ein Starkniederschlag als Ereignis von ≥ 10 mm bezeichnet wird.

Die Analyse zeigt diesbezüglich, dass der Anteil dieser Starkniederschläge am Gesamtniederschlagsaufkommen an allen drei Stationen etwa 2% beträgt. Durchschnittlich 57% der Tage im Jahr sind niederschlagsfrei. Zwischen 1965 und 2008 ist an allen Stationen ein leicht positiver Trend zu verzeichnen. Am größten war der Zuwachs der Niederschläge mit etwa 2,13 mm pro Jahr in Seeben. Hier lagen die Jahresniederschlagssummen der letzten sechs Jahre immer höher als an den anderen Stationen. Die Stadtstationen Halle/Kröllwitz und Bad Lauchstädt liegen mit einer Niederschlagszunahme von 35,2 bzw. 39,2 mm über den gesamten Zeitraum weit hinter Seeben (93,7 mm).

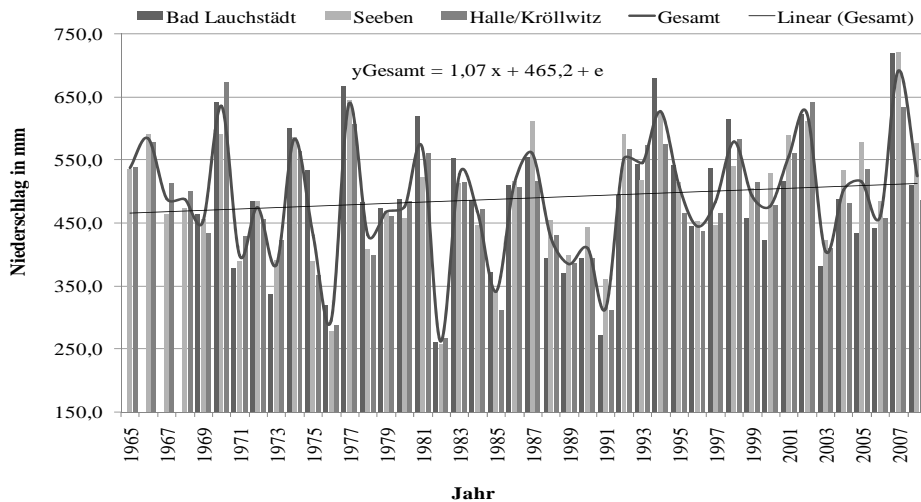


Abb. 4 Mittlere Niederschläge der Stationen Bad Lauchstädt, Seeben und Halle/Kröllwitz 1965 bis 2008.

Fig. 4 Mean precipitation of the stations Bad Lauchstädt, Seeben and Halle/Kröllwitz 1965 to 2008.

Abbildung 5 dokumentiert für alle Stationen eine Abnahme der Niederschläge zwischen der ersten und zweiten Periode. Im letzten Quartal ist dagegen eine auffallende Zunahme der Niederschläge zu beobachten.

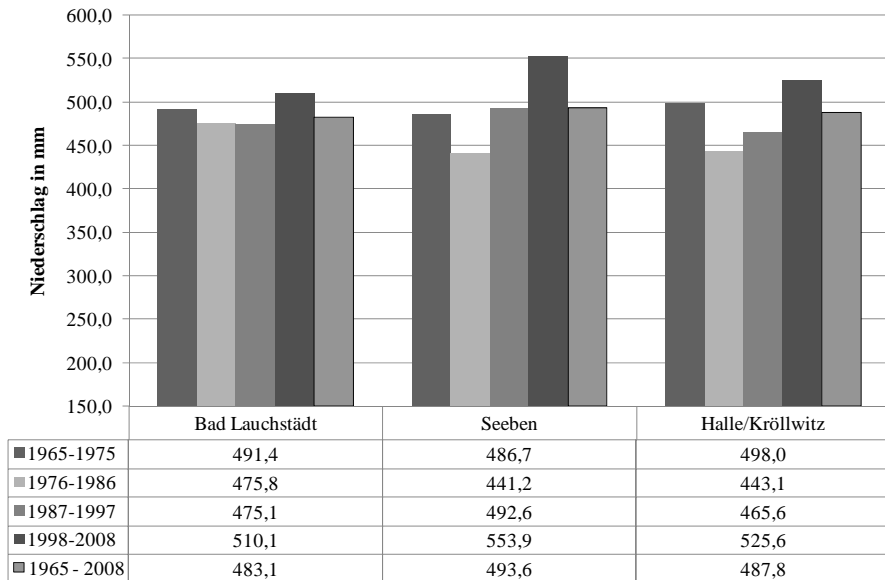


Abb. 5 Mittlere Niederschläge der Stationen Bad Lauchstädt, Seeben und Halle/Kröllwitz der vier Perioden.

Fig. 5 Mean precipitation of the stations Bad Lauchstädt, Seeben and Halle/Kröllwitz of four periods.

Innerhalb der Monate ergeben sich für alle Stationen sowohl positive als auch negative Trends (Tab. 2). Eine Abnahme der Niederschläge wurde dabei an allen Stationen für die Monate April, Juni, August und Oktober beobachtet. Besonders auffällig sind die hohen positiven Trends für Juli, die im deutlichen Unterschied zu den Niederschlagsabnahmen der benachbarten Monate stehen. Insgesamt zeigt sich hierbei eine deutliche Verschiebung der sommerlichen Niederschlagsmaxima. Bei Betrachtung längerer Datenreihen erkennt man so, dass im Raum Halle der Juli eindeutig der niederschlagsreichste Monat des Jahres ist. Die niedrigen Niederschlagshöhen für den Monat Juli in den 60er und 70er Jahren sind somit vermutlich eine vorübergehende Abnormität und der positive Trend in den Folgejahrzehnten ist nur eine Wiederherstellung „normaler“ Verhältnisse.

Die Verteilung der Starkniederschläge im Jahresgang ist analog der der Jahresniederschlagssummen. Vor allem in den Monaten Mai bis September sind vermehrt Niederschläge ≥ 10 mm registriert worden. Auffallend ist hierbei der für den Zeitraum März bis November für alle Stationen sichtbar werdende monatliche Wechsel von Zu- und Abnahme der Niederschläge. Weitergehende Untersuchungen zu den Ursachen sollten dabei auch Luftmassenbewegungen und das Auftreten der unterschiedlichen Wetterlagen stärker analysieren.

Die Anzahl an Starkniederschlägen fällt dabei an der Station Halle/Kröllwitz jedoch deutlich geringer aus als im Umland (Abb. 6). Trotzdem ist die Gesamtsumme dieser Niederschlagsereignisse ähnlich der der anderen Stationen (Abb. 7). Die erhobenen Daten lassen sichtbar werden, dass Starkniederschläge in der Stadt im Vergleich zum Umland seltener auftreten, aber in ihrer Intensität deutlich stärker ausfallen.

3.4 Globalstrahlung

Die Globalstrahlung lässt für die drei Stationen eine differenzierte Entwicklung über den Betrachtungszeitraum sichtbar werden (Abb. 7). In der ersten Hälfte des Untersuchungszeitraums ist der Verlauf der zusammengestellten Kurven aller Stationen, ungeachtet der unterschiedlichen absoluten Angaben, ähn-

Tab. 2 Mittlere Niederschlagsentwicklung im Jahresgang.

Table 2 Mean precipitation development in the annual way.

		Jan	Feb	Mär	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jahr
Halle/Kröllwitz	Trend in mm/a	0,13	-0,14	0,32	-0,18	-0,07	-0,11	0,46	-0,2	0,3	-0,23	0,42	0,04	0,8
	Sign.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.
Bad Lauchstädt	Trend in mm/a	0,14	0,03	0,06	-0,5	0,21	-0,46	1,15	-0,31	0,71	-0,49	0,31	0,3	0,98
	Sign.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Seeben	Trend in mm/a	0,27	0,05	0,32	-0,14	0,02	-0,17	0,95	-0,03	0,59	-0,19	0,46	-0,01	2,13
	Sign.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	*	n.s.	*	n.s.	n.s.

n.s. = nicht signifikant ($p > 0,05$); * signifikant ($p \leq 0,05$); ** sehr signifikant ($p \leq 0,01$);

*** höchst signifikant ($p \leq 0,001$)

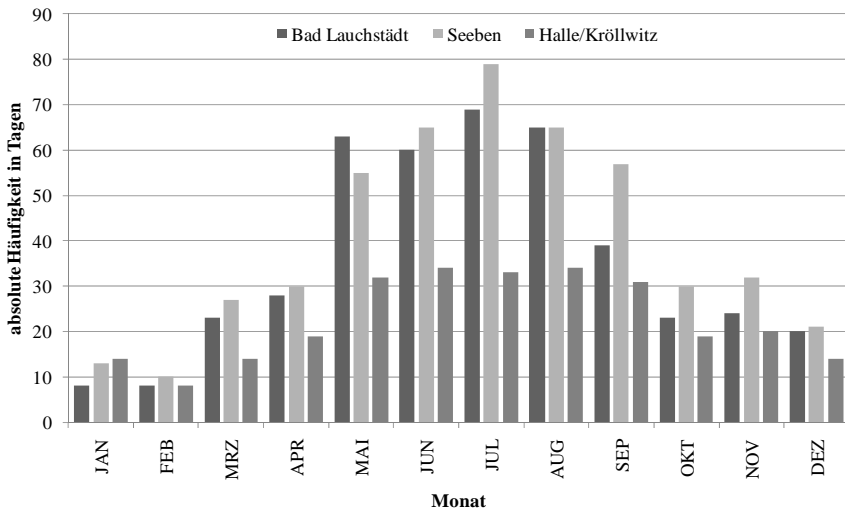


Abb. 6 Absolute Häufigkeiten der Starkniederschlagsereignisse 1965 bis 2008.

Fig. 6 Absolute frequencies of the strong precipitation events 1965 to 2008.

lich. Die Werte für Halle/Kröllwitz sind dabei am höchsten und für Bad Lauchstädt am niedrigsten. Ab dem Jahr 1987 gibt es an den Stationen Bad Lauchstädt und Seeben einen deutlichen Trend zur Zunahme der Globalstrahlung. Die an der Station Halle/Kröllwitz gemessenen Werte steigen demgegenüber nicht ganz so stark wie die an den anderen Stationen. Innerhalb der letzten zehn Jahre gibt es dann wieder eine deutliche Annäherung der Globalstrahlung. Die Strahlungswerte für Seeben sind, bis auf die letzten zwei Jahre, dabei jedoch stets höher als für Bad Lauchstädt. Für Halle/Kröllwitz ergibt sich somit eine deutliche Annäherung an die Umlandstationen schon ab Beginn des Untersuchungszeitraums und dann ab den 90er Jahren.

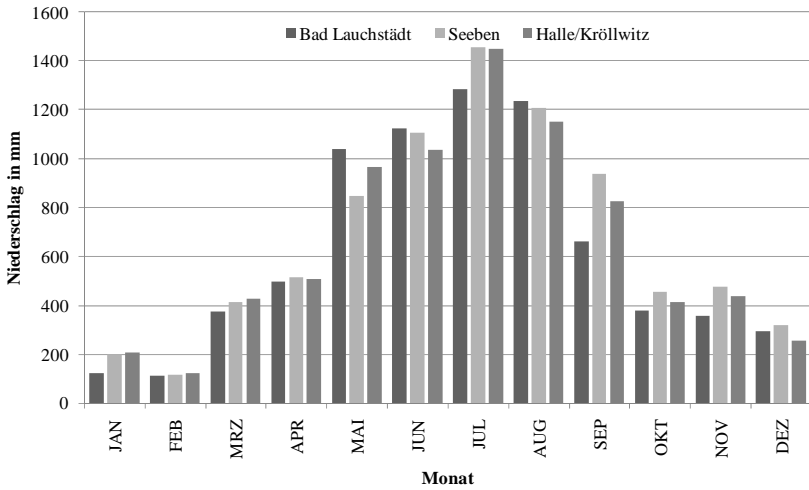


Abb. 7 Niederschlagssummen aus Starkniederschlagsereignissen 1965 bis 2008.

Fig. 7 Precipitation sums from strong precipitation events 1965 to 2008.

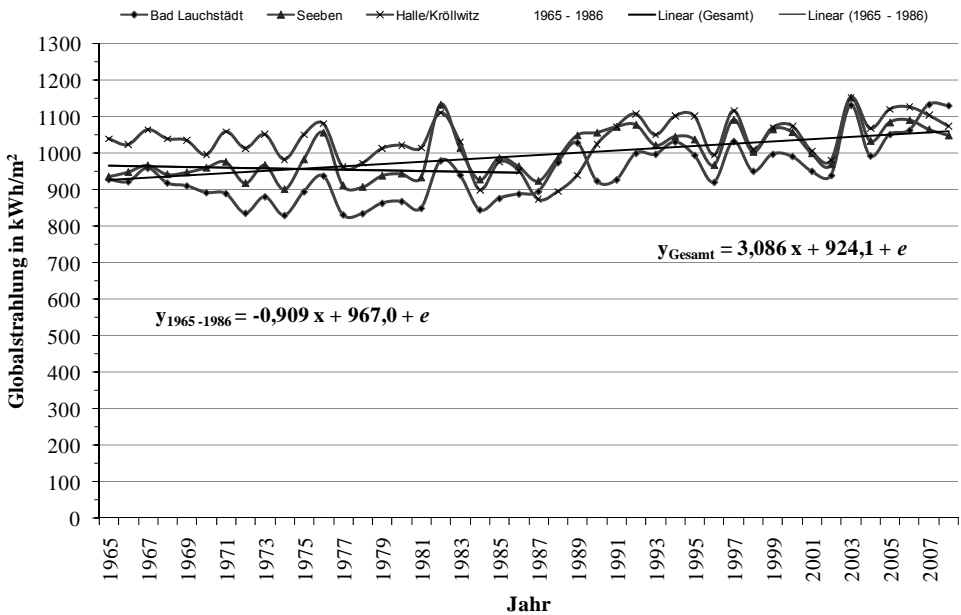


Abb. 8 Mittlere Globalstrahlung der Stationen Bad Lauchstädt, Seeben und Halle/Kröllwitz 1965 bis 2008.

Fig. 8 Mean global radiation of the stations Bad Lauchstädt, Seeben and Halle/Kröllwitz 1965 to 2008.

4 Diskussion

4.1 Klimaänderungen im Raum Halle/Saale

Im Vergleich zu den von KOLODIJ (2007) für Sachsen-Anhalt ermittelten Werten für eine Erhöhung der Jahresmitteltemperatur, liegen die für den Betrachtungszeitraum dieser Analyse gewonnenen Befunde geringfügig unter dem damals ermittelten Wert von 1,5 K. Der lineare Trend für den Raum Halle/Saale weist danach einen Temperaturanstieg von 1,3 K auf. Der größte Anteil der Temperaturzunahme im Untersuchungsgebiet entfällt dabei auf die letzten zehn bis zwanzig Jahre. Die durchschnittliche Jahrestemperatur der vierten Periode (1998–2008) lag hier mit etwa 0,7 K höher als die des langjährigen Mittels. Außer für drei Jahre an der Station Seeben erreichten die mittleren Jahrestemperaturen an allen Stationen in den letzten elf Jahren mindestens 9,5 °C.

Innerhalb der Jahreszeiten ist der lineare Trend der Temperaturzunahme vor allem im Frühling und Winter deutlich bemerkbar. Beide Jahreszeiten weisen eine signifikante Temperaturzunahme von 1,7 K auf. Eine mögliche Ursache für die generelle Temperaturzunahme besteht im seltenen Auftreten kalter Winter durch die Veränderung der Wetterlagenhäufigkeit. Hierfür wird ursächlich die zunehmende Wirksamkeit von Westwetterlagen, die mildere ozeanische Luft nach Deutschland bringen, verantwortlich gemacht (UBA 2005, BISOLLI 1999). An allen Stationen ließ sich zudem eine Zunahme der sommerlichen Hitzebelastung und eine Abnahme der winterlichen Ereignistage (Frost-/Eistage) feststellen. Damit ergeben sich ähnliche Entwicklungen, wie sie bereits global vom IPCC (2007) und mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG für Sachsen-Anhalt (LAU 2008a) erwartet werden. Obwohl die Anzahl aufgetretener Sommer- und heißer Tage an allen drei Stationen ähnlich verteilt war, ist der Trend der Zunahme für diese sommerlichen Temperaturwerte an den Umland- und Stadtrandstationen signifikant höher als in Halle/Kröllwitz. An den Umlandstationen Seeben und Bad Lauchstädt traten zudem mehr Eis- und Frosttage auf als in Halle/Kröllwitz. Dies ist vor allem auf den Wärmeinseleffekt der Stadt zurückzuführen. Insbesondere die Zunahme der mittleren jährlichen Anzahl an Sommer- und heißen Tagen erscheinen bezüglich der Gesundheit und des Wohlbefindens für die Menschen von Bedeutung. Diese Aussagen gewinnen unter Berücksichtigung des immer höher werdenden Anteils älterer Bevölkerungsgruppen zunehmend an Brisanz. Bezüglich der prognostizierten Entwicklung dieser Kenngrößen werden je nach verwendetem Modell bzw. Szenario bis zum Jahr 2050 15–27 Sommertage und 3–15 heiße Tage mehr als heute erwartet (LAU 2008a).

Die für die jährlichen Niederschlagssummen ermittelten Angaben zeigen eine stärkere räumliche und zeitliche Variabilität als die Temperaturwerte. Dadurch erscheinen statistisch gesicherte Aussagen problematischer. Generell ist jedoch ein Trend der Niederschlagszunahme zu erkennen. Für Deutschland wurde ein solcher in den letzten 100 Jahren ebenfalls beobachtet. Vor allem konnten dabei vermehrte Winterniederschläge innerhalb der letzten 30 Jahre nachgewiesen werden (vgl. RAPP 2001, MÜLLER-WESTERMEIER 2001, UBA 2005a). Diese Veränderungen hängen unter anderem ebenfalls mit der Temperaturzunahme zusammen, welche eine Erhöhung des Wasserdampfes in der Atmosphäre ausmacht und somit den Wasserkreislauf mit höheren Niederschlägen anregt (MÜLLER-WESTERMEIER 2001). Prognosen zur zukünftigen Entwicklung der Niederschläge in Sachsen-Anhalt gehen diesbezüglich von annähernd gleichbleibenden Jahresniederschlägen aus, wobei allerdings im Sommer eine Abnahme und im Winter eine Zunahme vorherrscht (LAU 2008a). Die eigenen Beobachtungen für den Raum Halle/Saale bestätigen diese Aussagen zur Klimadiagnose für Deutschland und das Land Sachsen-Anhalt. An allen Stationen ist eine Veränderung in der Verteilung der Niederschläge im Jahresgang zu verzeichnen. Sehr deutlich sind die Zunahmen der Niederschläge im Juli und September und die Abnahmen im Juni und August. Bezüglich der mittleren Jahresniederschlagssummen sind dabei kaum Unterschiede zwischen der Stadtstation Halle/Kröllwitz und den Umlandstationen Bad Lauchstädt und Seeben zu erkennen. Das Auftreten von Starkniederschlagsereignissen ist ähnlich variabel wie die Jahresniederschlagssummen. Eine signifikante Tendaussage kann hier nicht gemacht werden. Dennoch sind an allen Stationen Tendenzen zu einem erhöhten Aufkommen von Starkniederschlagsereignissen zu finden. Im Vergleich zum Umland kam es dabei in Halle/Kröllwitz weniger häufig zu Starkniederschlagsereignissen als an den anderen Stationen. Diese fielen aber im Vergleich zum Umland höher aus, so dass die durchschnittliche Niederschlagshöhe

aller Stationen ähnlich hoch ist. Eine Zunahme der Anzahl von Niederschlagsereignissen ist daher nicht allein ausschlaggebend für die Zunahme des Gesamtniederschlags. Die deutliche Zunahme der Juliniederschläge geht somit vor allem auf die Zunahme von einzelnen Starkregenereignissen zurück.

Die Globalstrahlung hat sich im Raum Halle/Saale um etwa 3,1 kWh/m² pro Jahr beziehungsweise um insgesamt 135,8 kWh/m² zwischen 1965 und 2008 erhöht. In der ersten Hälfte des Untersuchungszeitraums zeigen die Stationen zunächst einen negativen Trend, der sich dann umkehrt und bis heute vorhält. Eine mögliche Ursache liegt in der Überlagerung des ohnehin schon unruhigen Verlaufs der Jahressummen durch eine Periode von rund 70 Jahren (DWD 2007). Seit den 50er Jahren bis in die 80er Jahre ist weltweit ein Rückgang der Globalstrahlung beobachtet worden (Global Dimming). Dies ließ sich durch die Beschränkung des Untersuchungszeitraums auf 44 Jahre nicht nachweisen. Sehr viel wahrscheinlicher ist die sprunghafte Erhöhung der Globalstrahlung im Raum Halle/Saale auf die industrielle Wende Ende der 80er Jahre und den Rückgang der Luftverschmutzung zurückzuführen. Ursachen für die Schwankungen innerhalb der jährlichen Globalstrahlungssummen sind durch astronomische Einflüsse wie die Änderung der Sonnenaktivität und Veränderungen durch die Atmosphäre erklärbar (DWD 2007). Auswirkungen des aktuellen Klimawandels auf die Globalstrahlung sind bisher weitestgehend ungeklärt, daher können zum Trend für eine zukünftige Entwicklung kaum Aussagen getroffen werden.

4.2 Einfluss von Stadteffekten auf das Klimageschehen im Raum Halle (Saale) zwischen 1965 und 2008

Ein wesentliches Merkmal städtischer Klimateffekte ist die städtische Wärmeinsel mit einer Temperaturerhöhung gegenüber dem Umland (SCHÖNWIESE 2003). Mit durchschnittlichen 9,5 °C ist die beobachtete Tagestemperatur der Stadtstation Halle/Kröllwitz jedoch kaum von der Umlandstation Bad Lauchstädt (9,4 °C) und der Stadtrandstation Seeben (9,3 °C) unterscheidbar. Leider konnten in die Untersuchung keine Tagesgänge der Temperaturentwicklung, die vor allem die Tag-/Nachteffekte der Temperaturentwicklung, wie die besonders deutliche Wärmeinselwirkung während der Nacht (KUTTLER 2008), einbezogen werden. Für die Beschreibung des innerstädtischen Klimas stand für den Beobachtungszeitraum nur eine Klimastation, die zudem abseits des Stadtkerns gelegen ist, zur Verfügung. Die analysierten Temperaturen reichen daher aufgrund der Lage, aber auch der hier gegebenen landschaftlichen Bedingungen in der Umgebung der Stationen nicht aus, um gesicherte stadtklimatische Effekte im Kontext der Gesamtfragestellung herauszufiltern. Auffallend ist, dass sogar einige generelle, für Stadtgebiete existierende Aussagen durch die eigenen Befunde kaum bestätigt wurden. So ist für Städte im Vergleich zum Umland eine höhere Anzahl Sommer- und heißer Tage sowie eine geringere Anzahl Frost- und Eistage zu erwarten. Dies bestätigte sich jedoch aus den eigenen Untersuchungen nur im Vergleich mit der Station Seeben. Gegenüber der Station Bad Lauchstädt wurde kein Unterschied innerhalb des Auftretens von Temperaturextremen festgestellt. Auch für die Niederschlagsverhältnisse sind diesbezüglich Aussagen kaum machbar. Ob und wie eine erhöhter Aerosolgehalt (Kondensationskerne) die Entwicklung der Starkniederschläge an der Station Halle/Kröllwitz erklärt oder sich hierbei Effekte aus dem nahegelegenen Waldgebiet der Heide ergeben, muss durch weitergehende Arbeiten, die auch mikro- bzw. lokalklimatischen Besonderheiten der verschiedenen Stationen stärker berücksichtigen, geklärt werden. Dies trifft auch auf die ermittelten Globalstrahlungswerte zu. So ist die Globalstrahlung an der Station Halle/Kröllwitz im gesamten Zeitraum höher als an den anderen Stationen. Eine Ursache könnte auch hier wieder die exponierte Lage der Station Halle/Kröllwitz sein. Die Nähe zur Dölauer Heide und Saaleaue sorgt vermutlich für eine bessere Luftqualität als im Zentrum der Stadt und erklärt so die Höhe der Globalstrahlung am Standort Halle/Kröllwitz.

5 Zusammenfassung

REICHERT, U.; FRÜHAUF, M.; MÜLLER, J.: Vergleichende Analyse zur Klimaentwicklung im Raum Halle (Saale) zwischen 1965 und 2008. – *Hercynia N. F.* 43 (2010): 5–18.

Der weltweit thematisierte Klimawandel und seine Folgen fallen regional und lokal sehr unterschiedlich aus. Mittels der seit 1965 vorliegenden Daten zu Temperatur, Niederschlag und Globalstrahlung wurde in dieser Arbeit für den Raum Halle/Saale eine entsprechende Klimaanalyse am Beispiel von drei Stationen durchgeführt. Die mittlere Jahrestemperatur erhöhte sich dabei um durchschnittlich 1,3 K. Vor allem zeigten die Frühlings- und Wintermonate eine positive Veränderung der Lufttemperatur. Die Temperaturentwicklungen führten auch zu Veränderungen im Auftreten extremer Temperaturereignisse. Der Zunahme der Anzahl an Sommer- und heißen Tagen steht eine Abnahme der Frost- und Eistage gegenüber.

Die jährlichen Niederschlagssummen zeigen einen nicht signifikanten Trend der Zunahme. Dabei ist jedoch eine deutliche Umverteilung der Niederschläge zu beobachten. Besonders in den Monaten Juli und September erfolgte eine Zunahme der Niederschlagssumme. Im Juni und August gingen die Niederschläge klar zurück. Außerdem ist eine leichte Zunahme der Winterniederschläge zu verzeichnen. Die Verlagerung des Niederschlagsmaximums auf den Monat Juli geht schwerpunktmäßig auf eine Erhöhung der Starkniederschläge zurück. Diese haben in ihrer Intensität generell zugenommen. Die Globalstrahlung hat sich nach einem anfänglich negativen Trend seit den 80er Jahren erhöht. An allen untersuchten Stationen zeigten die erhobenen Klimaparameter ähnliche Entwicklungen. Ursprünglich vermutete Unterschiede zwischen den Stationen Halle/Kröllwitz als Stadtstation sowie Bad Lauchstädt und Seeben als Umlandstationen konnten nicht bestätigt werden. Dessen ungeachtet gehören stadtklimatische Untersuchungen sowohl unter medizinischem Gesichtspunkt als auch unter dem Aspekt der gartenbaulichen und landwirtschaftlichen Nutzung der städtischen Umgebung zu einem komplexen Themenfeld, das noch umfangreicher Forschungsarbeiten bedarf. Allein die Wechselwirkungsmechanismen zwischen der Stadt, die sich tagsüber stärker aufheizt, als Wärmeinsel und den sie umgebenden Vegetationsflächen, die vor allem als nächtliche Kaltluftentstehungsgebiete anzusehen sind, stellen dabei ein großes Feld wissenschaftlicher Herausforderung und Tätigkeit dar.

6 Literatur

- BISSOLI, P. (2002): Wetterlagen und Großwetterlagen im 20. Jahrhundert. – Deutscher Wetterdienst (Hrsg.): Klimastatusbericht 2001: 32–40.
(http://www.dwd.de/bvbw/generator/Sites/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU2/KU22/klimastatusbericht/einzelne_berichte/download_ksb2001.templateId=raw,property=publicationFile.pdf/download_ksb2001.ppdf) (20.03.2009)
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (Hrsg.) (2006): Integriertes Küstenzonenmanagement in Deutschland (Bestandsaufnahme, Stand 2006) nach der EU-Empfehlung 2002/413/EG vom 30. Mai 2002. Kabinettsbeschluss vom 22.03.2006.
(<http://www.ikzm-strategie.de/dokumente/Endbericht%20Kabinettversion%2030032006.pdf>) (11.08.2009)
- DEUTSCHER WETTERDIENST [Hrsg.] (1999): Klimaatlas Bundesrepublik Deutschland. – Offenbach.
- DEUTSCHER WETTERDIENST [Hrsg.] (2007): Globalstrahlung - die Energie der Sonne. – Hamburg.
(http://www.deutsche-dachboerse.de/index2.pphp?option=com_docman&task=doc_view&gid=3&Itemid=54) (03.08.2009)
- DÖRING, J.; BORG, H. (2008): Ist das Klima von Halle (Saale) noch "normal"? Betrachtungen anhand der Temperatur und Niederschlagsreihe von 1851 bis heute. – *Hercynia N. F.* **41**: 3–21.
- FABIG, I. (2007): Die Niederschlags- und Starkregenentwicklung der letzten 100 Jahre im Mitteldeutschen Trockengebiet als Indikatoren möglicher Klimaänderungen. – Diss., Univ. Halle-Wittenberg.
- GLASER, R. (2008): Klimageschichte Mitteleuropas. 1200 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen. 2. Aufl. – Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- HELBIG, A. (1998): Anthropogene Änderungen des Lokalklimas. Fallbeispiel 1: Das Stadtklima. Anthropogene Veränderungen des lokalen Klimas. Workshop des Fachbereichs II „Umweltmeteorologie“ 29. und 30. Oktober 1998. – Schr.R. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN Normausschuss **28**: 38–62.
- HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hrsg.) (2005): Integriertes Klimaschutzprogramm Hessen INKLIM 2012 – Projektbaustein II: Klimawandel und Klimafolgen in Hessen. Abschlussbericht. (http://www.hlug.de/klimawandel/inklim/dokumente/abschlussbericht_II.pdf) (11.08.2009)
- HUPFER, P.; KUTTLER, W. (Hrsg.) (2005): Witterung und Klima. Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie, 11. Aufl. – Teubner, Wiesbaden.

- HUPFER, P.; CHMIELEWSKI, F.-M. (Hrsg.) (1990): Das Klima von Berlin. – Akademie-Verlag, Berlin.
- HORBERT, M. (1992): Das Stadtklima. Natur in der Stadt – Der Beitrag der Landespflege zur Stadtentwicklung. Gutachterliche Stellungnahme und Ergebnisse eines Kolloquiums des Deutschen Rates für Landespflege. – Schr:R. Dt. Rat Landespflege 61: 64–73.
- JONAS, M.; STAEGER, T.; SCHÖNWIESE, C.-D. (2005): Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen. Schwerpunkt Deutschland. – Umweltbundesamt, Dessau.
- KOLODZIEJ, A. (2007): Klimawandel in Sachsen-Anhalt: Auswirkungen auf die phänologischen Phasen wildwachsender Pflanzen. – Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Heft 231, Offenbach am Main.
- KUTTLER, W. (1998): Veränderungen des Stadtklimas. Warnsignal Klima. – Wissenschaftliche Fakten. Hamburg.
- KUTTLER, W. (2004a): Stadtklima. Teil 1: Grundzüge und Ursachen. UWFS – Umweltchem Ökotox 16 (3): 187–199. (<http://www.uni-duisburg-essen.de/imperia/md/content/geographie/klimatologie/kuttler2004a.pdf>) (15.03.2009)
- KUTTLER, W. (2004b): Stadtklima. Teil 2: Phänomene und Wirkungen. UWFS – Umweltchem Ökotox 16 (4): 263–274. (<http://www.uni-duisburg-essen.de/imperia/md/content/geographie/klimatologie/kuttler2004b.pdf>) (15.03.2009)
- KUTTLER, W. (2008): Zum Klima im urbanen Raum. – Dt. Wetterdienst (Hrsg.): Klimastatusbericht 2008: 612. (http://www.dwd.de/bvbw/generator/Sites/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU2/KU22/klimastatusbericht/einzelne_berichte/ksb2008__pdf/a1__2008,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/a1__2008.pdf) (04.09.2009)
- KUTTLER, W. (2009): Klimatologie. – Schöningh, Paderborn.
- LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG UND BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (Hrsg.) (2006): Unser Klima verändert sich – Folgen-Ausmaß-Strategien. Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft in Süddeutschland. (<http://www.kliwa.de/download/KLIWA.pdf>) (11.08.2009)
- MALITZ, G.; RUDOLF, B. (2008): Niederschläge im urbanen Raum. – Dt. Wetterdienst (Hrsg.): Klimastatusbericht 2008: 33–38. (http://www.dwd.de/bvbw/generator/Sites/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU2/KU22/klimastatusbericht/einzelne_berichte/ksb2008__pdf/a5__2008,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/a5__2008.pdf) (04.09.2009)
- METEOROLOGISCHER UND HYDROLOGISCHER DIENST DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK (Hrsg.) (1953): KlimaAtlas für das Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik. – Akademie-Verlag, Berlin.
- MÜLLER, J.; SCHUMANN, A.; JÖRN, P. (1988): Zur Häufigkeit von Bodendürren im Mitteldeutschen Trockengebiet. Deutsche Meteorologentagung, 14. – 18.09.1998 in Leipzig. – Annalen der Meteorologie 37: 167–168.
- MÜLLER, J.; JÖRN, P.; THIERS, J. (1995a): Erarbeitung einer Karte der pflanzennutzbaren Feldkapazität für die neuen Bundesländer. – Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges. 76: 1149–1152.
- MÜLLER, J.; SCHUMANN, A.; SCHELLIN, H.-G. (1995b): Agrarmeteorologische Aspekte und Lösungsansätze für die Überwachung des Wasserhaushaltes von Deponien. Deutsche Meteorologentagung, 11. – 15.09.1995 in München. – Annalen der Meteorologie 31: 271–272.
- MÜLLER, J.; JÖRN, P.; SCHUMANN, A.; SCHELLIN, H. (2001): Evapotranspirations- und Versickerungsverhalten sowie Häufigkeit von Bodendürren im Mitteldeutschen Trockengebiet unter Berücksichtigung von Substrat und Bewuchs. – Dt. Wetterdienst (Hrsg.): Klimastatusbericht 2001, Offenbach: 258–267.
- MÜLLER, J.; JÖRN, P.; BÖTTCHER, F.; SCHELLIN, H.-G. (2007): Die Auswirkungen des Klimawandels im Mitteldeutschen Trockengebiet auf den Bodenwasserhaushalt und ihre Konsequenzen für die Landnutzung. – Ber. Landesamt Umweltschutz Sachsen-Anh., SH 1: 33–44.
- MÜLLER-WESTERMEIER, G. (2001): Klimatrends in Deutschland. – Dt. Wetterdienst (Hrsg.): Klimastatusbericht 2001. – Offenbach: 114–123. (http://www.dwd.de/bvbw/generator/Sites/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU2/KU22/klimastatusbericht/einzelne_berichte/download__ksb2001,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/download__ksb2001.pdf) (20.03.2009)
- PAUL, M.; BALTES-GÖTZ, B. (1997): Zeitreihenanalyse mit SPSS-Trends. – Universitäts-Rechenzentrum, Trier. (<http://www.uni-trier.de/urt/user/baltes/docs/zra/awsspss8.pdf>) (19.08.2009)
- RAPP, J. (2001): Regionale Klimatrends in Deutschland im 20. Jahrhundert. – Klimastatusbericht 2001: 175–184. (http://www.dwd.de/bvbw/generator/Sites/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU2/KU22/klimastatusbericht/einzelne_berichte/download__ksb2001,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/download__ksb2001.pdf) (20.03.2009)
- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.) (2005): Klimawandel in Sachsen. Sachstand und Ausblick. – Geschäftsbereich d. Sächs. Staatsministeriums f. Umwelt u. Landwirtschaft, Dresden.
- SCHÖNWIESE, C.-D. (2000): Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler. 3. Aufl., – Borntraeger, Berlin, Stuttgart.
- SCHÖNWIESE, C.-D. (2003): Klimatologie. 2. Aufl. – Ulmer, Stuttgart.

- SCHÖNWIESE, C.-D.; STAEGER, T.; TRÖMEL, S. (2006): Klimawandel und Extremereignisse in Deutschland. – Dt. Wetterdienst (Hrsg.): Klimastatusbericht 2005: 7–17.
(http://www.geo.uni-frankfurt.de/iau/klima/PDF_Dateien/Sw_et_al-Klimawandel_Extrem-KSB2005.pdf) (20.03.2009)
- SCHÖNWIESE, C.-D. (2007): Indizien für den Klimawandel der letzten 100 Jahre. – In: TETZLAFF, G.; KARL, H.; OVERBECK, G. (Hrsg.): Wandel von Vulnerabilität und Klima: Müssen unsere Vorsorgewerkzeuge angepasst werden? – Schr.R. DKKV, Workshop des Dt. Komitee Katastrophenvorsorge e.V. u. d. Akad. f. Raumforschung u. Landesplanung am 27./28.11.2006 in Hannover. Bonn **35**: 4–15
- SCHUMANN, A.; MÜLLER, J. (1995): Klimatologische Kennzeichnung des mitteldeutschen Trockengebietes. – Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges. **77**: 43–48.
- UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (2005a): Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. – Umweltbundesamt, Dessau.
(<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/fpdf-k/k2947.pdf>) (20.03.2009)
- UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (2005b): Naturwissenschaftliche Grundlagen der Klima(schutz)politik. – Umweltbundesamt, Dessau.
(<http://www.umweltbundesamt.de/klimaschutz/klimaaenderungen/grundlagenklimaschutzpolitik.htm>) (20.03.2009)
- WENDLING, U. (2001): Das Klima der Stadt Halle (Saale) nach den Wetterbeobachtungen 1901 bis 2000. – Dt. Wetterdienst (Hrsg.): Klimastatusbericht 2001: 240–249.
(http://www.dwd.de/bvbw/generator/Sites/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU2/KU22/klimastatusbericht/einzelne__berichte/download__ksb2001,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/download_ksb2001.pdf) (20.03.2009)
- WURBS, D. (2005): Vergleichende Untersuchungen zu den Folgewirkungen von Klima- und Landnutzungsänderungen auf den Wasserhaushalt in Flusseinzugsgebieten. – Diss., Univ. Halle-Wittenberg.
- ZWISCHENSTAATLICHER AUSSCHUSS FÜR KLIMAÄNDERUNGEN (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE IPCC, WMO/UNEP) (Hrsg.) (2007): Vierter Sachstandsbericht des IPCC (AR4): Klimaänderungen 2007, Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. – Berlin.
(<http://www.proclim.ch/products/IPCC07/de/IPCC2007-FullDocument.pdf>) (24.05.2009)

Manuskript angenommen: 14. April 2010

Anschrift der Autoren:

Dipl.Geographin Ulrike Reichert
Steinweg 41, 06110 Halle/ Saale
E-Mail: ulrikereichert@gmx.de

Prof. Dr. Manfred Frühauf

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Fachbereich Geowissenschaften, Institut für Geographie
Von-Seckendorff-Platz 4, 06120 Halle
E-mail: manfred.fruehauf@geo.uni-halle.de

Dr. Jurik Müller

Deutscher Wetterdienst, Kärrnerstraße 68, 04288 Leipzig
E-Mail: Jurik.Mueller@dwd.de