

# Untersuchung zur Zunahme der interdiurnen Veränderlichkeit meteorologischer Parameter als Ausdruck des Klimawandels

Lars THIEME, Manfred FRÜHAUF und Jurik MÜLLER

6 Abbildungen und 5 Tabellen

## Abstract

THIEME, L., FRÜHAUF, M., MÜLLER, J.: A study to increasing interdiurnal variation of meteorological parameters in Central Europe as a manifestation of climate change. – *Hercynia N. F.* 46 (2013): 63 – 74.

Most studies of climate change refer to the frequency and intensity of extreme weather events. But only few researches deal with the speed of a variation within a specified period. Interdiurnal variation means the change of meteorological variables from one to the next day.

For this study the parameters temperature and air pressure were considered at five stations from Central Europe in the period 1901 – 2010. It was important that the used datasets were homogeneously and reliable in the relevant period. The selected stations were Halle (Saale), Potsdam, Zugspitze and Hohenpeißenberg in Germany and De Bilt in the Netherlands. To represent and compare the changes it was necessary to construct special contrast numbers (TKZ / LKZ).

Results for temperatures show a significant increase of the annual trend-to-noise ratio at higher altitude stations like Zugspitze and Hohenpeißenberg. Mean annual max-temperature and the contrast number of this variable were positively and significantly correlated at both stations. At the station Zugspitze the means for air pressure decreased between two periods.

*Key words:* interdiurnal variation, climate change, trend-to-noise ratio, temperature, air pressure, extreme weather events, Central Europe

## 1 Einführung

Das Thema Klimawandel ist in unserer Gesellschaft allgegenwärtig. Kaum ein geowissenschaftlicher Bereich erhält in der Öffentlichkeit so viel Aufmerksamkeit und hat Auswirkungen auf politische und wirtschaftliche Entscheidungen wie die Änderung unseres Klimas und dessen Folgen. Gerade in den letzten beiden Jahrzehnten ist die Problematik und Tragweite dieser Entwicklung verstärkt in den Vordergrund gerückt. Häufig werden vor allem in den Medien extreme Witterungserscheinungen mit der zunehmenden Klimaänderung in Verbindung gebracht.

Ein weiterer interessanter Aspekt, dem bisher eher wenig Aufmerksamkeit geschenkt wurde, ist die Frage der Geschwindigkeit, mit der sich physikalische Messgrößen bzw. definierte Grundmuster einer Wetterlage in einem bestimmten Zeitraum verändern. Es schien daher sinnvoll, Untersuchungen anzustellen, die nicht nur auf die Häufigkeit oder Intensität von Witterungsereignissen zielen, sondern auch die Schnelligkeit eines Wechsels betreffen. In Hinblick auf diese Thematik existieren bis auf wenige frühere Arbeiten von PEPLER (1936), SCHMAUSS (1937) und SCHWARZEL (1953) kaum relevante Forschungsergebnisse, weshalb eine nähere Betrachtung und Analyse eine lohnenswerte Aufgabe darstellt.

Gegenstand dieser Arbeit soll es sein zu untersuchen, inwieweit der Klimawandel einen möglichen Einfluss auf die interdiurne Veränderlichkeit verschiedener meteorologischer Parameter Mitteleuropas in einem 110 Jahre umfassenden Zeitraum hat. Interdiurn bedeutet, dass die Veränderung einer meteorologischen Größe von einem Tag auf den nächsten betrachtet wird. Verwendet wurden für diese Untersuchungen die Veränderlichkeit des Luftdrucks zweier repräsentativer Stationen Mitteleuropas sowie die Veränderlichkeit der Maximum-Temperatur in verschiedenen Höhenlagen. Die Auswertungen erfolgten hierfür sowohl jährlich wie auch saisonal auf den Sommer und Winter beschränkt.

Die verwendeten Stationen wurden so gewählt, dass einerseits ausreichend lange und homogene Klimadatenreihen zur Verfügung standen und andererseits für die Messgröße Temperatur drei verschiedene Höhenlagen sowie eine Station außerhalb Deutschlands Berücksichtigung fanden. Die Ermittlung der interdiurnen Veränderlichkeit erfolgte mittels einer Kontrastkennzahl, auf die im weiteren Verlauf der Arbeit noch eingegangen wird.

## 2 Material und Methoden

Um die interdiurne Veränderlichkeit der Maximum-Temperatur eines jeden Jahres zu bestimmen, wurde die Idee (J. Müller, unveröffentlicht) aufgegriffen, die Summe der Absolutbeträge der interdiurnen Änderungen der Lufttemperaturmaxima des Einzeljahres in K zur Summe der sich aus dem mittleren Jahresgang des Lufttemperaturmaximums ergebenden interdiurnen Änderungen in K ins Verhältnis zu setzen. Daraus ergibt sich eine dimensionslose Temperatur-Kontrastkennziffer, die hier mit „TKZ“ bezeichnet wird. Analog wird mit dem Parameter Luftdruck (Luftdruck-Kontrastkennziffer = LKZ) verfahren, wobei die Änderungen in hPa aufsummiert werden.

Es müssen also die Maximum-Temperaturen bzw. mittleren Luftdruckwerte eines jeden Tages bekannt sein, damit eine Berechnung der Kontrast-Kennziffer möglich ist. Um die Unterschiede in der Veränderlichkeit deutlicher hervorzuheben, wurde als Messgröße bewusst die Maximum-Temperatur eines Tages gewählt und nicht die mittlere Temperatur. Bei der Bildung des Tagesmittels erfolgt eine Teilung der stündlich aufsummierten Messwerte durch die 24 Stunden eines Tages, so dass durch eine Mittelung im Extremfall große Temperatursprünge zweier aufeinanderfolgender Tage verdeckt werden können, wenn der eine Tag eine geringe Temperaturamplitude aufweist, der andere jedoch bei gleichem Tagesmittel einen großen Temperaturunterschied zwischen Tag und Nacht. Da für den Luftdruck nur Tagesmittelwerte zur Verfügung standen, und die Wahl des Maximums aufgrund des hier kaum vorhandenen Tagesganges im Gegensatz zur Temperatur nur wenig sinnvoll erscheint, wurde auf diese zurückgegriffen. Eine hohe Kontrast-Kennziffer ist also gleichzusetzen mit einer großen interdiurnen Veränderlichkeit der jeweiligen Größe, was bedeutet, dass es im betreffenden Jahr zu häufigen bzw. großen Schwankungen jenes Parameters zwischen zwei aufeinanderfolgenden Tagen gekommen ist.

Für die Bestimmung der interdiurnen Veränderlichkeit von Maximum-Temperatur und Luftdruck standen tägliche Temperatur-Maximumwerte ab 1901 von den Stationen Halle (Saale), Hohenpeißenberg und der Zugspitze zur Verfügung. Während die Messwerte der beiden letztgenannten Stationen aus dem Archiv des Deutschen Wetterdienstes entstammen, wurden die Daten aus Halle freundlicherweise vom Betreuer der dortigen Station, Herrn Dr. Döring, zur Verfügung gestellt. Um auch einen Vergleich mit einer Region außerhalb Deutschlands zu ermöglichen, wurde noch ein weiterer Standort hinzugefügt. Die Wahl fiel dabei auf die Station De Bilt in den Niederlanden, da diese Station einen lückenlosen Datensatz für die Zeit ab 1901 bis heute aufweist. Die täglichen Luftdruck-Mittelwerte wurden den Aufzeichnungen der Säkularstation Potsdam und jener der Zugspitze entnommen. Bei der Auswahl der Stationen musste darauf geachtet werden, dass für jede Station eine ausreichend lange, homogene Beobachtungsreihe von mindestens 110 Jahren vorlag und die zu untersuchende Zeitspanne entsprechend von 1901 – 2010 gewählt wurde. Außerdem erwies es sich bei den Temperaturwerten als günstig, dass eine Station im Flachland (hier Halle) liegt, während sich die zweite auf knapp 1000 m Höhe (Hohenpeißenberg) und sich die dritte auf knapp 3000 m Höhe (Zugspitze) befindet. So konnte das Verhalten in drei verschiedenen Höhenniveaus überprüft werden. Die Messwerte der Station De Bilt entstammen dem öffentlichen Internet-Datenarchiv des niederländischen Wetterdienstes KNMI. Für die Parameter Maximum-Temperatur und mittlerer Luftdruck wurden die Tageswerte von denen des Vortages subtrahiert und daraus der Betrag gebildet. Anschließend erfolgte eine Aufsummierung der Beträge für jedes einzelne Jahr bzw. jede Jahreszeit. Zum Schluss wurde der aufsummierte jährliche (bzw. saisonale) Wert durch die mittlere interdiurne Veränderlichkeit des gesamten Zeitraums (1901 – 2010) dividiert. Diese ergab sich durch Bildung von insgesamt 365 bzw. 366 Tagesmittelwerten der jeweiligen Parameter und die Aufsummierung der interdiurnen Be-

tragsveränderungen. Damit soll eine Harmonisierung der Kurve erreicht werden. Außerdem ist es durch die Standardisierung nun möglich, die Kontrastkennziffer in ihrer Größe zwischen den verschiedenen Stationen oder auch zwischen den einzelnen Jahreszeiten sinnvoll zu vergleichen.

Für die statistischen Analysen kamen der bivariate Pearson-Korrelationskoeffizienten, der t-Test und das Trend-Rausch-Verhältnis zur Anwendung.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Zeitliche Betrachtungen

Bevor die statistische Analyse erfolgt, soll auf die zeitliche Entwicklung der jeweiligen Kontrastkennzahlen eingegangen werden. Deren Verlauf ist in grafischer Form und als Tabelle für jede Station einzeln aufgeführt. Neben der blauen Kurve, die die jährlichen Werte der Kontrastkennzahlen repräsentiert, ist auch der lineare Trend als schwarze Gerade mit aufgetragen. Oben rechts in der Grafik ist die zum Trend gehörende Gleichung zu finden. Tabellarisch sind für jede Jahresdekade die entsprechenden Mittelwerte der Kontrastkennzahlen und daneben die Abweichungen gegenüber der vorigen Dekade gelistet, um die Veränderungen deutlicher sichtbar zu machen.

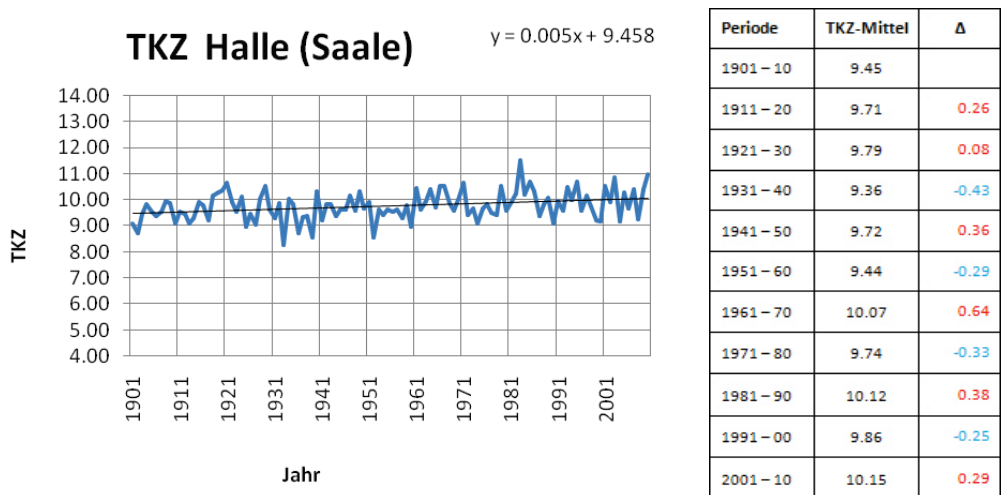


Abb.1 Zeitlicher Verlauf der jährlichen TKZ sowie Pentadenmittel in Halle (Saale).

Fig. 1 Time curve with trend of the annual TKZ and 10-years-average from Halle (Saale).

Wie der Blick auf die Grafik und Tabelle zeigt, ergab sich für die Region Halle ein leichter linearer Anstieg der TKZ seit 1901. Dieser Anstieg verlief nicht gleichmäßig, sondern mit beinahe schon regelmäßigen Rückfällen im 20-jährigen Rhythmus. Dennoch ist ein stetiges Wachstum der Kontrastkennzahl im Laufe des Beobachtungszeitraums feststellbar. Die letzte Dekade war auch jene mit dem höchsten TKZ-Wert.

Im Falle des Hohenpeißenbergs ist die Tendenz der linearen Zunahme stärker ausgeprägt. Besonders auffällig ist, dass bis ca. 1940 nur ein schwacher aber recht gleichmäßiger Anstieg zu verzeichnen war und anschließend eine starke Steigung erfolgte. Daraufhin verblieb die Kontrastkennzahl auf dem hohen Niveau mit kleineren Schwankungen zwischen den Dekaden. Während die ersten vier Jahrzehnte durch-

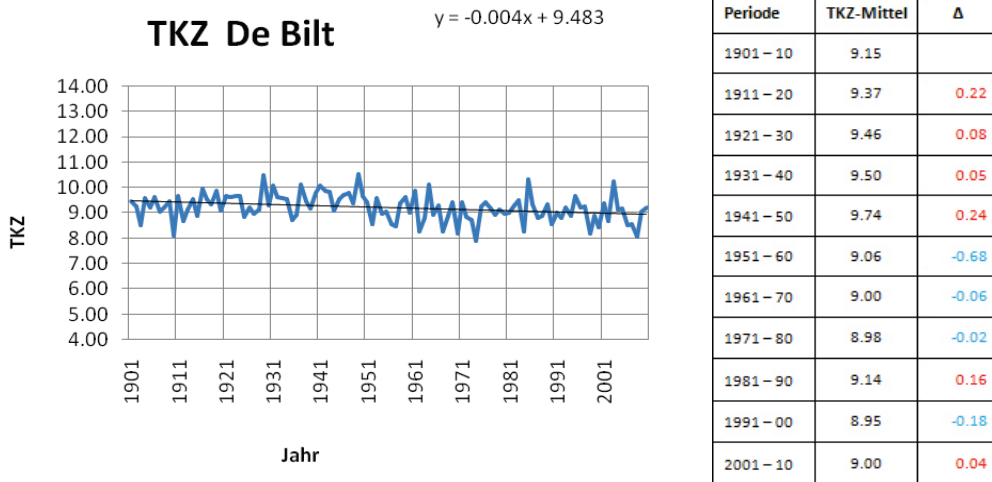


Abb. 2 Zeitlicher Verlauf der jährlichen TKZ sowie Pentadenmittel auf dem Hohenpeißenberg.

Fig. 2 Time curve with trend of the annual TKZ and 10-years-average on the Hohenpeißenberg.

weg TKZ-Mittelwerte unter 10 aufwiesen, lagen sie danach stets darüber. Die Differenz der Mittelwerte zwischen der ersten und der fünften Dekade beträgt mehr als 1.7 und ist somit besonders stark ausgeprägt.

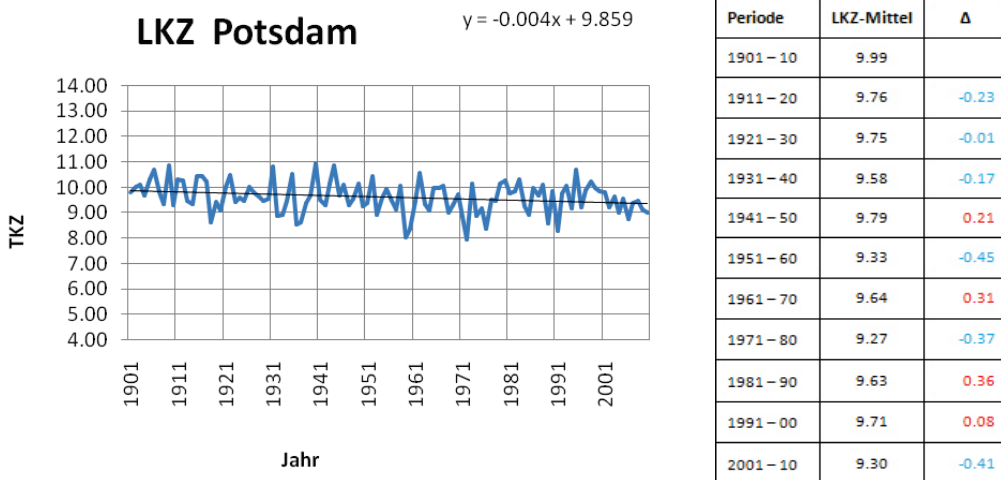


Abb. 3 Zeitlicher Verlauf der jährlichen TKZ sowie Pentadenmittel auf der Zugspitze.

Fig. 3 Time curve with trend of the annual TKZ and 10-years-average on the Zugspitze.

Auf der Zugspitze ließ sich der Verlauf der TKZ des Hohenpeißenbergs nicht bestätigen. Zwar ist vom Trend her auch hier ein deutlicher Anstieg ersichtlich, sogar im noch stärkeren Maße, jedoch lässt sich

keine klare Systematik daraus ableiten. Beachtlich hingegen sind der starke Abfall von der ersten zur zweiten Dekade des vergangenen Jahrhunderts, sowie ein kräftiger Anstieg in den 1980er Jahren.

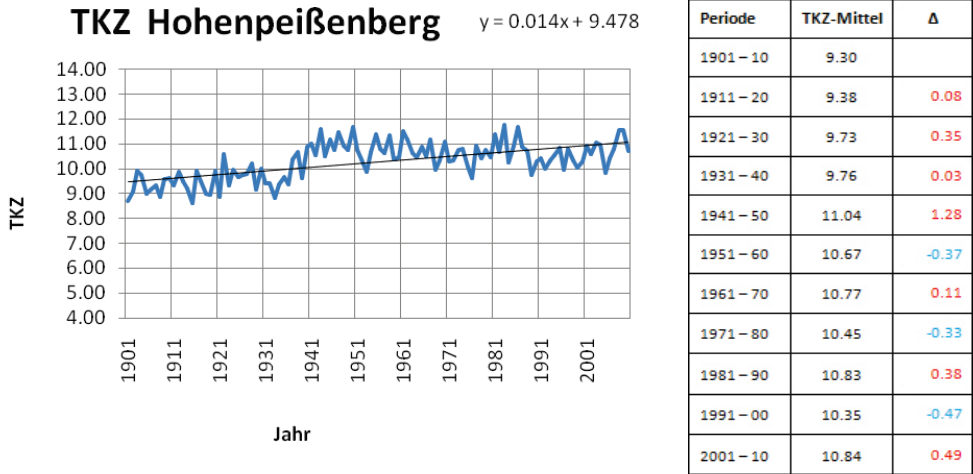


Abb. 4 Zeitlicher Verlauf der jährlichen TKZ sowie Pentadenmittel in De Bilt (NL).

Fig. 4 Time curve with trend of the annual TKZ and 10-years-average from De Bilt (NL).

Ein gänzlich anderes Bild zeigt die Kurve von De Bilt. Die ersten Dekaden bis etwa 1950 waren gekennzeichnet von einer leichten Erhöhung der TKZ, worauf ein Abfall erfolgte und dieses Niveau anschließend mit nur geringen Fluktuationen beibehalten wurde. Die Dekaden mit den höchsten TKZ-Mittelwerten sind damit in der Mitte des vergangenen Jahrhunderts zu finden.

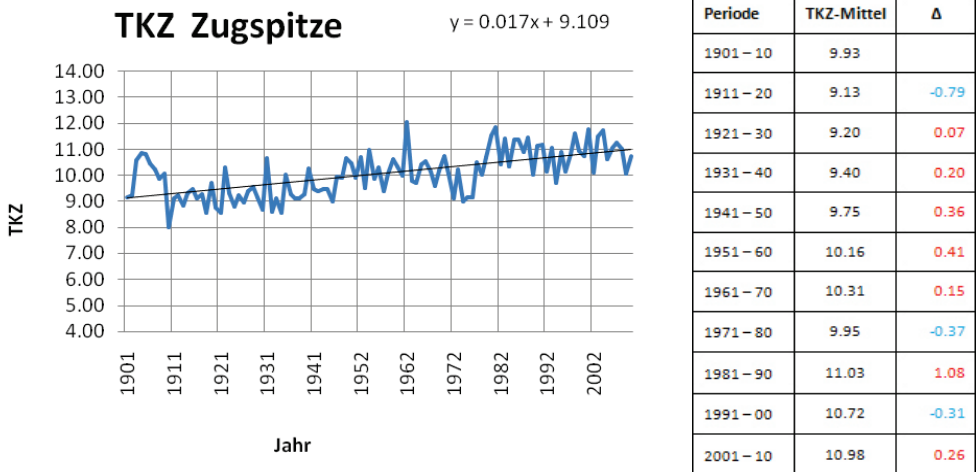


Abb. 5 Zeitlicher Verlauf der jährlichen LKZ sowie Pentadenmittel in Potsdam.

Fig. 5 Time curve with trend of the annual LKZ and 10-years-average from Potsdam.

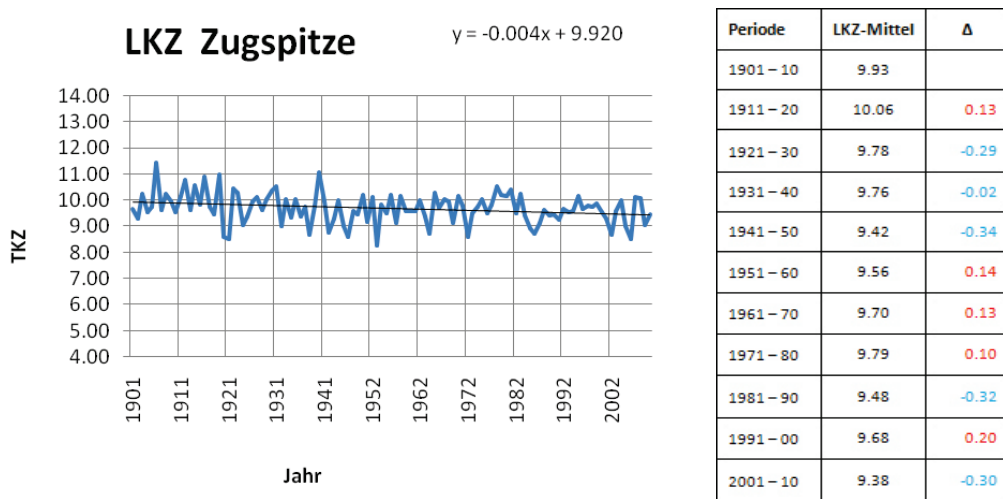


Abb. 6 Zeitlicher Verlauf der jährlichen LKZ sowie Pentadenmittel auf der Zugspitze.

Fig. 6 Time curve with trend of the annual LKZ and 10-years-average on the Zugspitze.

Sieht man vom schwachen linearen Rückgang der Kontrastwerte ab, zeigen beide Stationen ein recht unstrukturiertes Verhalten im zeitlichen Verlauf der Luftdruck-Kontrastkennzahlen. Interessant ist auf der Zugspitze eine Phase mit nur geringen Schwankungen in den 1980er und 90er Jahren, die beim Hohenpeißenberg so nicht in Erscheinung tritt.

### 3.2 Ergebnisse Korrelationsbeziehungen

Eine einfache Möglichkeit, um mögliche Zusammenhänge zwischen zwei Datengruppen aufzudecken, stellt die bivariate Korrelation dar. Hierdurch kann bereits ein Eindruck gewonnen werden, ob und in welchem Maße eine lineare Abhängigkeit zweier Größen – hier der TKZ bzw. LKZ und der Maximum-Temperatur – vorliegt. Ziel dieses Schrittes soll es sein herauszufinden, inwieweit der Verlauf der Temperatur im Zuge der Klimaänderung die interdiurne Veränderung der Maximum-Temperatur und des Luftdrucks beeinflusst. Die folgende Übersicht präsentiert die Korrelationskoeffizienten (KK) zwischen den jährlichen Kontrastkennzahlen und den mittleren Maximum-Temperaturen der einzelnen Stationen im Zeitraum 1901 – 2010. Zudem sind die entsprechenden t-Werte des für den KK durchgeführten Signifikanztests (2.2) und deren qualitative Aussage dargestellt. Für das Erreichen eines in der Statistik üblichen 95 %-Signifikanzniveaus (sehr signifikant) muss der kritische Wert von 1.982 (SCHÖNWIESE 2000, S. 177) übertroffen werden.

Aus der Untersuchung ergeben sich zwischen TKZ und mittlerer Maximum-Temperatur an den flach gelegenen Stationen von Halle (Saale) und De Bilt so gut wie keine erkennbaren (linearen) Zusammenhänge. Anders gestaltet sich die Situation auf den höher gelegenen Stationen Hohenpeißenberg und Zugspitze. Die Korrelationskoeffizienten erreichen hier deutlich positive Werte, wobei vor allem der Hohenpeißenberg mit einem hochsignifikanten Koeffizienten von +0.43 aufwartet. Das bedeutet, dass hier mit dem Anstieg der Maximum-Temperatur auch eine nachweisliche Steigerung der TKZ stattgefunden hat. Auf eine mögliche Erklärung für das spezifische Verhalten soll an späterer Stelle noch eingegangen werden. Dennoch kann man nicht a priori die Aussage treffen, dass mit zunehmender Höhe auch die Stärke des Zusammenhangs wächst, da der KK auf der knapp 3000 m hohen Zugspitze wieder kleiner ist.

Tab. 1 Korrelationskoeffizient und Bewertungskriterium (n. s. = nicht signifikant; \* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ , \*\*\* =  $P < 0,001$ ).

Tab. 1 Correlation coefficient and evaluation criteria.

Parameter	Station	KK	t-Wert	Signifikanz
Maximum-Temperatur	Halle (Saale)	0.041	0.426	n. s.
	Hohenpeißenberg (988 m)	0.430	<b>4.950</b>	***
	Zugspitze (2962 m)	0.253	<b>2.718</b>	**
	De Bilt (NL)	-0.017	0.177	n. s.
Luftdruck				
	Potsdam	-0.145	1.523	n. s.
	Zugspitze (2962 m)	-0.415	<b>4.740</b>	***

Hinsichtlich der Beziehung zwischen LKZ und mittlerer Maximum-Temperatur ist vor allem die Tendenz zum negativen Vorzeichen beachtenswert. Damit zeigt sich, dass im Zuge des Temperaturanstieges im vorigen Jahrhundert die interdiurne Schwankungsintensität des Luftdrucks generell eher abgenommen hat. Auch bei dieser Messgröße kommt die stärkere Korrelation der Bergstation gegenüber jener im Flachland wieder zur Geltung. Ob sich dieser Umstand verallgemeinern lässt, kann beim Umfang von nur zwei untersuchten Stationen nicht abgeschätzt werden. Da sich der KK nur auf lineare Beziehungen beschränkt, müssen noch andere Methoden zur Anwendung kommen, um abschließend eine Aussage bezüglich möglicher Zusammenhänge treffen zu können.

### 3.3 Ergebnisse zum T/R-Verhältnis

Als nächster Schritt stand bei den statistischen Untersuchungen im Vordergrund, für die Parameter Maximum-Temperatur und Luftdruck das Trend-Rausch-Verhältnis der jährlichen interdiurnen Veränderlichkeit zu bestimmen. Die Ergebnisse zur Streuung und zum Trend-Rauschverhältnis der genannten Größen sind in der nachfolgenden Tabelle für die jeweiligen Stationen aufgeführt. Desweiteren ist auch das 110-jährige Mittel der Kontrastkennziffern, sowie der Absolutwert des Trends dieser Größe der Auflistung zu entnehmen.

Aus den Tabellen ist ersichtlich, dass der lineare Trend der Maximum-Temperatur an allen drei deutschen Stationen positiver Natur ist, d.h. es trat während des Untersuchungszeitraums generell ein Anstieg der interdiurnen Veränderlichkeit auf. Allerdings zeigt das Trend-Rausch-Verhältnis für die Station Halle nur einen Wert von 1.086, so dass sich hier keine nennenswerte Signifikanz nachweisen lässt. Ganz anders gestaltet sich die Situation wiederum auf den beiden Bergstationen, wo Trend-Rausch-Verhältnisse von über 2 auftreten, was sogar einem sehr signifikanten Ergebnis entspricht. Offensichtlich hat hier - analog zur Korrelationsanalyse - die Höhenlage einen starken Einfluss auf das Resultat. Eine gegenläufige Tendenz lassen die Daten der Station De Bilt erkennen. Der negative Trendwert bedeutet grundsätzlich eine Abnahme der Kontrastkennziffer, wobei der Betrag jedoch nur in der Größenordnung des natürlichen Rauschens liegt und somit nicht als statistisch bedeutsam angesehen werden kann. Interessant ist die Tatsache, dass für De Bilt sowohl die mittlere Kontrastkennzahl als auch deren Streuung die niedrigsten Werte von allen Stationen aufweisen. Vermutlich ist dies der Meeresnähe und dem damit verbundenen maritimen Klima geschuldet, welches für eine Dämpfung der Temperaturschwankungen sorgt. Dagegen zeigen hohe Streuung und TKZ der Bergstationen, dass sich Temperaturänderungen in der höheren Troposphäre besonders markant auswirken können.

Tab. 2 Trend, Streuung und T/R-Verhältnis der interdiurnen Änderung der TKZ.

Tab. 2 Trend, standard deviation and trend-to-noise ratio of interdiurnal variation of TKZ.

<b>Maximum-Temperatur Jahr</b>				
<b>Station</b>	<b>TKZ (Mittel)</b>	<b>Trend (K)</b>	<b>Streuung TKZ</b>	<b>T/R</b>
Halle (Saale)	9.77	0.605	0.557	1.086
Hohenpeißenberg (988 m)	10.28	1.595	0.759	<b>2.101</b>
Zugspitze (2962 m)	10.05	1.875	0.883	<b>2.124</b>
De Bilt (NL)	9.21	-0.539	0.535	1.008

Tab. 3 Trend, Streuung und T/R-Verhältnis der interdiurnen Änderung der LKZ.

Tab. 3 Trend, standard deviation and trend-to-noise ratio of interdiurnal variation of LKZ.

<b>Luftdruck Jahr</b>				
<b>Station</b>	<b>LKZ (Mittel)</b>	<b>Trend (hPa)</b>	<b>Streuung (TKZ)</b>	<b>T/R</b>
Potsdam	9.61	-0.484	0.623	0.777
Zugspitze (2962 m)	9.69	-0.458	0.589	0.778

Für den Parameter Luftdruck ließ sich an den untersuchten Stationen ein negativer Trend feststellen, so dass tendenziell ein Rückgang der interdiurnen Veränderlichkeit im Laufe der Jahre zu verzeichnen ist. Jedoch ist dieser Trend sowohl in Halle als auch auf der Zugspitze in seiner Größe derart gering, dass ein signifikanter Wert weit verfehlt wird. In beiden Fällen ist die Stärke des Trends sogar geringer als die langjährige Streuung und damit das Klimarauschen. Da die Trend-Rausch-Verhältnisse des Luftdrucks trotz zweier verschiedenen Höhenniveaus praktisch identisch sind und auch die langjährigen Mittel der LKZ sich kaum voneinander unterscheiden, kann davon ausgegangen werden, dass in diesem Falle keine Höhenabhängigkeit bezüglich der jährlichen interdiurnen Änderung besteht.

### 3.4 Ergebnisse zum Mittelwertvergleich

Um einen Vergleich von Mittelwerten mit entsprechender Prüfung auf signifikante Unterschiede zu ermöglichen, wurde der Untersuchungszeitraum in zwei Teilperioden gesplittet. Dass hierbei ein 30jähriger Mittelungszeitraum gewählt wurde, lag einerseits an der allgemeinen Forderung, dass für die Durchführung von statistischen Hypothesentests ein Stichprobenumfang von wenigstens  $n \geq 30$  eingehalten werden sollte (SCHÖNWIESE 2000) und andererseits an dem Umstand, dass die Anzahl der Jahre einer Periode nicht übermäßig groß sein darf, damit die Auswirkungen einer Klimaänderung durch die Mittelwertbildung nicht zu sehr verschwimmen.

Für den Vergleich wurden jeweils die ersten und die letzten 30 Jahre des gesamten Untersuchungszeitraumes zu Rate gezogen. Somit lässt sich am besten eine Gegenüberstellung zwischen früheren, möglichst weit zurückliegenden, und gegenwärtigen Verhältnissen gewährleisten. Aufgeführt sind tabellarisch neben den Mittelwerten der Teilperioden auch die Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  des durchgeführten  $t$ -Tests und dessen qualitative Bewertung.



Tab. 4 Ergebnisse des t-Tests für die jährliche interdiurne Änderung der TKZ (n. s. = nicht signifikant; \* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ , \*\*\* =  $P < 0,001$ ).

Tab. 5 Results of t-test for annual interdiurnal variation of TKZ.

<b>Maximum-Temperatur Jahr</b>			
<b>Station</b>	<b>Messreihe</b>	<b>Mittel (TKZ)</b>	<b>Signifikanz</b>
Halle (Saale)	1901 – 1930	9.60	**
	1981 – 2010	9.97	
Hohenpeißenberg (988 m)	1901 – 1930	9.47	***
	1981 – 2010	10.67	
Zugspitze (2962 m)	1901 – 1930	9.42	***
	1981 – 2010	10.91	
De Bilt (NL)	1901 – 1930	9.33	*
	1981 – 2010	9.03	

Tab. 5 Ergebnisse des t-Tests für die jährliche interdiurne Änderung der LKZ (n. s. = nicht signifikant; \* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ , \*\*\* =  $P < 0,001$ ).

Tab. 5 Results of t-test for annual interdiurnal variation of LKZ.

<b>Luftdruck Jahr</b>			
<b>Station</b>	<b>Messreihe</b>	<b>Mittel (LKZ)</b>	<b>Signifikanz</b>
Potsdam	1901 – 1930	9.83	*
	1981 – 2010	9.55	
Zugspitze	1901 – 1930	9.92	**
	1981 – 2010	9.51	

Wie an den Mittelwerten der beiden Teilperioden unschwer zu erkennen ist, zeigt sich in drei von vier Fällen bezüglich der Maximum-Temperatur ein Anstieg der interdiurnen Veränderlichkeit. Im Gegensatz zur Untersuchung mit Trend-Rausch-Verhältnis ergibt sich beim t-Test für alle drei deutschen Stationen ein hochsignifikantes Resultat mit Irrtumswahrscheinlichkeiten von  $p < 0.01$ . Besonders markant sind die Ergebnisse auch hier wieder an den höher gelegenen Stationen, die sogar ein Signifikanzniveau von über 99,9% erreichen. Damit ist zumindest für den deutschen Raum statistisch nachgewiesen, dass die Veränderungen der Höchsttemperatur von einem Tag auf den nächsten in der jüngeren Vergangenheit zugenommen haben. Wie schon der lineare Trend deutlich machte, so offenbart auch der Vergleich der Mittelwerte von De Bilt eine gegensätzliche Entwicklung hin zu abnehmenden interdiurnen Veränderlichkeiten, nur mit dem Unterschied, dass nun ein signifikantes Testergebnis zum Vorschein kommt. Inwieweit dies der realen Entwicklung außerhalb der Stichprobe entspricht und sich jene Feststellung meteorologisch erklären lässt, muss an dieser Stelle unbeantwortet bleiben. Für eine tiefergehende Interpretation wäre eine Untersuchung weiterer Stationen notwendig.

Hinsichtlich des Luftdrucks sind die Aussagen zwar etwas weniger deutlich, jedoch ist auch hier ein signifikanter Unterschied der beiden Teilperioden ersichtlich. Die hierbei auftretende Abnahme des interdiurnen Änderungsverhaltens steht allerdings etwas im Widerspruch zur Entwicklung der Maximum-Temperatur, da zu erwarten gewesen wäre, dass eine schnellere Temperaturänderung durch einen raschen Wetterlagenwechsel hervorgerufen wird, welcher wiederum eine beschleunigte Druckänderung begünstigt. Diese Gegensätz-

lichkeit deutete sich bereits während der Korrelationsuntersuchung durch die unterschiedlichen Vorzeichen bei TKZ und LKZ an. Um diesen Widerspruch zu klären, wäre eine Auswertung des Wechselverhaltens der Großwettertypen notwendig, auf die hier allerdings verzichtet wird.

## 5 Diskussion

Eine Interpretation der gewonnenen Erkenntnisse fällt sehr schwer, da sich nur wenige signifikante Zusammenhänge fanden und über weite Strecken eher ein indifferentes Verhalten dominierte. Die wichtigste Erkenntnis ist, dass sich an den höher gelegenen Stationen Hohenpeißenberg und Zugspitze in Bezug auf das Trend-Rausch-Verhältnis eine signifikante Zunahme der jährlichen interdiurnen Veränderlichkeit der Maximum-Temperatur nachweisen ließ. Darüber hinaus ließ sich die Tendenz feststellen, dass die Luftdruck-Kontrastkennzahl eine gegenteilige Entwicklung beschreibt, diese aber nicht signifikant ist.

Deutliche Unterschiede fanden sich beim Vergleich der Mittelwerte zweier Zeitperioden sowohl für TKZ als auch LKZ, die sehr häufig hochsignifikant waren. Hier hat sich gezeigt, dass der t-Test in seiner Bewertung offensichtlich weniger streng agiert als das Trend-Rausch-Verhältnis und häufiger eine signifikante Relevanz erwarten lässt. Der Grund dafür könnte in der Wahl der nur 30 Jahre umfassenden Teilperioden liegen. Eine Überprüfung durch Vergleich längerer Teilperioden (1901 – 1955 mit 1956 – 2010) ergab jedoch nahezu identisch hohe Signifikanz, so dass diese Vermutung ausgeschlossen werden kann. Vielmehr dürfte der Grund darin zu suchen sein, dass die Änderungen nicht linear bzw. gleichmäßig erfolgten, sondern eher abrupt und phasenweise mit zwischenzeitlich retrograden Verhalten, was gegen ein stärkeres Trend-Rausch-Verhältnis spricht. Auch wenn sich mittels t-Tests mehrere statistisch nachweisbare Veränderungen aufdecken ließen, sollten diese Ergebnisse mit einer gewissen Vorsicht interpretiert werden. Zu unsystematisch ist dafür das Verhalten der Kontrastzahl in vielen Fällen, vor allem bezüglich der Temperatur. Vielmehr ist deshalb anzunehmen, dass mögliche Unterschiede entweder auf Zufall basieren oder auf regionale Einflüsse zurückzuführen sind, die aber mit den verwendeten Methoden und Parametern nicht erfasst wurden. Wie lassen sich nun die vermutete Höhenabhängigkeit der Temperaturkontrastzahl und deren zeitlicher Anstieg mit zunehmender Höhenlage meteorologisch erklären? Die Ursache könnte in der Zunahme von Häufigkeit bzw. Dauer derjenigen Wetterlagen liegen, welche auch einen Anstieg der interdiurnen Veränderlichkeit in jenen Luftschichten begünstigen. So kann zum Beispiel eine winterliche Wetterlage mit länger andauerndem antizyklonalen und windschwachem Charakter dazu führen, dass im Flachland über mehrere Tage und Wochen überwiegend kalte Temperaturen mit nur geringen Schwankungen vorherrschen, während es in den Höhenlagen auf die exakte Position des Hochdruckgebietes ankommt und dort rasche Wechsel von Höhenkaltluftvorstößen östlich des Kerns und adiabatisch erzeugten Erwärmungen infolge Absinkvorgängen im Zentrumsbereich zu einer größeren TKZ beitragen. Auch größere Temperaturamplituden, die im Gebirge durch häufige Föhnwindbrüche zustande kommen, wären als Überlegung in Betracht zu ziehen.

Dass die niederländische Station De Bilt den ansteigenden Trend der übrigen Stationen nicht mitträgt, könnte durch das maritime Klima Westeuropas begründet sein und darauf hindeuten, dass mit dem zeitlichen Anstieg der TKZ ein Phänomen vorliegt, welches hauptsächlich auf kontinentalere Klimazonen beschränkt ist. Hierzu wären Nachforschungen an tiefer im Kontinent liegenden Stationen erforderlich.

Ein weiterer Faktor, der zu einer Beeinflussung der Kontrastkennzahlen führen kann und hier nicht unerwähnt bleiben sollte, sind mögliche Messfehler oder Unzulänglichkeiten bei der Aufzeichnung bzw. Weiterverarbeitung der Daten. Die Wahrscheinlichkeit dafür sollte bei dem verwendeten Datenmaterial aber sehr gering sein, da es sich um bekannte und zuverlässige Stationen handelt, auf deren Messwerte in der Wissenschaft oftmals zurückgegriffen wird. Zudem dürften sich einzelne wenige Fehlmessungen nur unwesentlich auf den aufsummierten interdiurnen Wert eines Jahres oder einer Jahreszeit auswirken und somit das Ergebnis nicht entscheidend verfälschen. Um das Risiko möglicher regionaler Einflüsse zu mindern, wäre für weitergehende Forschungen auf diesem Gebiet eventuell empfehlenswert, statt den Daten einer einzigen Station das Mittel aus mehreren umliegenden Stationen (mit ähnlicher Höhenlage) zu bilden oder per Faktorenanalyse einen repräsentativen Datensatz für eine Region darzustellen.

## 6 Zusammenfassung

THIEME, L., FRÜHAUF, M., MÜLLER, J.: Untersuchung zur Zunahme der interdiurnen Veränderlichkeit meteorologischer Parameter als Ausdruck des Klimawandels. - *Hercynia N. F.* 46 (2013): 63 – 74.

Ein Großteil der Untersuchungen hinsichtlich des Klimawandels zielt auf die Erforschung von Häufigkeit und Intensität von extremen Wetter- bzw. Witterungsereignissen.

Allerdings existieren bisher nur wenige Ergebnisse, was die Geschwindigkeit des Wechsels meteorologischer Einflussgrößen in einem bestimmten Zeitintervall betrifft. Diese Arbeit beschäftigt sich mit der interdiurnen Veränderlichkeit jener Parameter, was bedeutet, dass die Stärke der Veränderung einer Größe von einem Tag auf den nächsten betrachtet wird.

Für die Untersuchung wurden die Parameter Temperatur und Luftdruck von fünf Stationen Mitteleuropas im Zeitraum 1901 – 2010 herangezogen. Hierfür waren Messwerte mit homogenen und zuverlässigen Datensätzen notwendig. Die Auswahl fiel auf die Stationen Halle/Saale, Potsdam, Zugspitze, Hohenpeißenberg und De Bilt (NL). Um die Ergebnisse darzustellen und einen Vergleich zu gewährleisten, wurden spezielle Kontrastkennzahlen (TKZ / LKZ) konstruiert.

In dieser Untersuchung konnte für die jährliche interdiurne Veränderlichkeit der Maximum-Temperatur – und somit der Temperatur-Kontrastkennzahl - ein signifikanter Anstieg des Trend-Rausch-Verhältnisses an den höher gelegenen Station Zugspitze und Hohenpeißenberg nachgewiesen werden. Desweiteren zeigten sich für diese Stationen stärkere positive Korrelationsbeziehungen zwischen der Temperatur-Kontrastkennzahl und der Maximum-Temperatur, was einen Zusammenhang von Klimaerwärmung und stärkerem bzw. schnellerem Wechsel der Temperaturen nahelegt. Interessanterweise ergab mittels durchgeführten t-Test ein Vergleich zweier Zeitperioden (1901 – 1930 und 1981 – 2010) einen signifikanten Rückgang der Luftdruck-Kontrastkennzahl auf der Zugspitze.

## 7 Literaturverzeichnis

- FABIG, I. (2007): Die Niederschlags- und Starkregenentwicklung der letzten 100 Jahre im mitteldeutschen Trockengebiet als Indikator möglicher Klimaänderungen. – Diss. Univ. Halle-Wittenberg. E-Dokument, ULB Sachsen-Anhalt.
- KÄHLER, W.-M. (2008): Statistische Datenanalyse. - Friedr. Vieweg & Sohn Verlag. Wiesbaden.
- PEPLER, W. (1936): Interdiurne Veränderlichkeit der Temperatur und des vertikalen Temperaturgradienten über München. – Akad. Verlagsgesellschaft, München.
- SCHMAUSS, A. (1937): Die interdiurne Veränderlichkeit der Temperatur auf der Zugspitze. - Julius Springer, Berlin.
- SCHÖNWIESE, C.-D. (2000): Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler. - Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart.
- SCHWARZEL, S. (1953): Die interdiurne Veränderlichkeit von Druck und Temperatur in Troposphäre und Stratosphäre. - *Meteorology and Atmospheric Physics* 5/4: 411 – 431.
- SCHWARZEL, S. (1953): Der vertikale Aufbau der täglichen Druck- und Temperaturänderungen. - *Meteorology and Atmospheric Physics* 6/2: 172 – 200.
- Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Freistaat Sachsen (2008): Sachsen im Klimawandel – Eine Analyse. - Dresden.

*Manuskript angenommen:*

Anschrift der Autoren:

B. Sc. Lars Thieme

Dahlienstraße 89, D-04209 Leipzig

E-Mail: lars\_thieme@primacom.net

Prof. Dr. Manfred Frühauf

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Geowissenschaften, Von-Seckendorff-Platz 4,  
D-06120 Halle (Saale)

E-Mail: manfred.fruehauf@geo.uni-halle.de

Dr. Jurik Müller

Deutscher Wetterdienst, Niederlassung Leipzig, Körnerstraße 68, D-04288 Leipzig

E-Mail: Jurik.Mueller@dwd.de