

Bestimmung bodenabhängiger Klimafeuchtezahlen für verschiedene Standorte in den mittleren und nordöstlichen Regionen Deutschlands

Jurik MÜLLER, Falk BÖTTCHER und Martin SCHMIDT

2 Abbildungen und 5 Tabellen

Abstract

MÜLLER, J.; BÖTTCHER, F.; SCHMIDT, M.: Classification of a soil addicted climate-moisture-index for different places in middle and north-eastern regions of Germany. – *Hercynia N.F.* 41 (2008): 189-200.

The productivity of agricultural regions depend on climatic conditions und exceedingly on the natural given soil performance. To get an adequate quantification of the regional agricultural ability and of the regional sensitivity concerning climate change, a simple soil addicted climate-moisture-index was developed. The independent index considers the annual precipitation rates, the saturation deficit and the usable field capacity of a location. An annual index was calculated for different bouts and places and also regional and chronologically compared to itself. The long-time average of this index allows a classification in different categories of humidity and aridity of the tested locations. The application of the index is transferable on other climes except for Polar Regions.

Key words: Evapotranspiration, climatic water balance, climate change, soil-aridity, dryness coefficients, vapor pressure saturation deficit

1 Einleitung

Bemühungen um die Schaffung von Unterlagen, die eine Beurteilung der Ertragsituation landwirtschaftlicher Betriebe im Einzeljahr und im Mittel der Jahre unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Standortbedingungen erlauben, reichen weit zurück (WINKLER et al. 2000). Im Hinblick auf eine Bewertung des Ertragspotenzials landwirtschaftlicher Kulturpflanzen gewinnen Kennzahlen und Parameter, welche das Niederschlagsangebot und den „atmosphärischen Verdunstungshunger“, aber auch das Feuchteaufnahmevermögen des Bodens berücksichtigen, in Anbetracht der stark beanspruchten Wasserressourcen an Bedeutung. Allerdings fand bislang in diesen Größen die unterschiedliche Fähigkeit des Erdreichs, Wasser zu speichern, meist keine direkte Berücksichtigung. Dennoch erlauben die beispielsweise bei FARAGÓ et al. (1989), VARGA-HASZONITS (1977) beschriebenen Ansätze wie der Ariditätsindex nach de Martonne, der Regenindex von Lang, der Hydrothermische Koeffizient nach Selyaninov, der Feuchtigkeitsindikator von Budyko oder der Thornthwaite-Index (siehe auch GATHARA et al. 2006, HOUNAM et al. 1975) eine recht gute Abbildung der in einer Anbauregion vorherrschenden hydroklimatischen Bedingungen. Auch die klimatische Wasserbilanz oder der Quotient aus der Jahressumme der Niederschlagshöhe und der Jahressumme der potenziellen Verdunstungshöhe lassen sich zur Beschreibung der Feuchtigkeitsverhältnisse in einem landwirtschaftlichen Produktionsgebiet nutzen. Darüber hinaus bietet sich auch der Quotient aus der Jahressumme der realen Verdunstung und der Jahressumme der potenziellen Verdunstung als eine Kenngröße an, die Auskunft über die Stressbelastung landwirtschaftlicher Kulturen geben kann. Die Ertragsfähigkeit landwirtschaftlicher Produktionsgebiete hängt neben den klimatischen Bedingungen in starkem Maße von den gegebenen natürlichen Bodenverhältnissen ab (siehe auch DÖRING et al. 1995). Um zu einer entsprechenden Bewertung der pflanzenbaulichen Eignung eines Standortes zu gelangen und Rückschlüsse auf deren Sensitivität im Hinblick auf den Klimawandel ziehen zu können, wurde ein einfach handhabbarer Ansatz zur Bestimmung bodenabhängiger Klimafeuchtezahlen (KFZ) entwickelt. Als unabhängige Variable berücksichtigt der Ansatz die Jahressumme der Niederschlagshöhe, das Jahresmittel des mittäglichen Sättigungsdefizits der Luft und die nutzbare Feldkapazität der oberen 100-cm-Schicht des Bodens. Mit Hilfe des Ansatzes wurde für verschiedene Zeiträume und Standorte die

Klimafeuchtezahl für jedes Jahr errechnet und sowohl räumlich als auch zeitlich miteinander verglichen. Ihre langjährigen Mittelwerte ermöglichen die Einordnung untersuchter Standorte in unterschiedliche Humiditäts- bzw. Ariditätsklassen. Eine Anwendung der beschriebenen Klimafeuchtezahl für gänzlich andere Klimazonen auf dem Festland unserer Erde ist möglich, sieht man von Polregionen mit dauernder Eisbedeckung einmal ab.

2 Datenmaterial und Methodik

2.1 Bestimmung von Wasserhaushaltskomponenten für den Kernbereich des Mitteldeutschen Trockengebietes

Die Entwicklung einer bodenabhängigen Klimafeuchtezahl baut folgerichtig auf Wasserhaushaltsuntersuchungen auf, die unter Zuhilfenahme des Modells von J. und G. Müller (MÜLLER & MÜLLER 1988a, 1988b, 1989) auf der Grundlage der langen halleschen Reihen von Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer (siehe auch DÖRING & BORG 2008, WENDLING 2002) durchgeführt worden sind. Als meteorologischen Input benötigt das Modell Tagesmitteltemperatur sowie Tagessumme der Niederschlagshöhe und der Sonnenscheindauer. Für die Simulationsrechnungen wurden die halleschen Datenreihen aus dem Zeitraum 1901 bis 2000 genutzt. Das Modell von J. und G. Müller stellt ein Einschicht-Bodenfeuchtemodell mit zwei Sektoren, einem Entzugssektor und einem Nachlieferungssektor dar, welches nicht nur die Durchwurzelungszone, sondern die gesamte Ausschöpfungszone einbezieht, wobei für die Reduktion der potentiellen Evapotranspiration lediglich der Wasservorrat im Entzugssektor Bedeutung erlangt. Die reale (aktuelle) Evapotranspiration einer Vegetationsdecke innerhalb eines Zeitintervalls setzt sich aus 3 Komponenten, der Evaporation unmittelbar aus dem Erdreich, der stomatären und cuticulären Transpiration der Pflanzen und der Interzeptionsverdunstung (Verdunstung von Benetzungswasser) zusammen.

Das Verhältnis von Transpiration der Pflanzen zu Evaporation aus dem Boden wird im Wesentlichen durch die Bestandesentwicklung bestimmt. Der Berechnung des gemeinsamen Anteils dieser beiden Komponenten (ET) wurde der Ansatz

$$ET = R_k \cdot PET$$

mit dem korrigierten Reduktionsfaktor

$$R_k = \frac{(W_* + \beta) \cdot W_*}{1 + \beta} + \frac{1 - W_* \cdot (W_* + \beta) / (1 + \beta)}{4}$$

zugrunde gelegt. Dabei entspricht PET der potentiellen Evapotranspiration, W_* dem Verhältnis von tatsächlichem pflanzennutzbaren zu maximal möglichem pflanzennutzbaren Wasservorrat in der Durchwurzelungsschicht, β einem biologisch-physiologischen Parameter und der Ausdruck $W_* \cdot (W_* + \beta) / (1 + \beta)$ dem von ANTAL (1968) entwickelten Reduktionsfaktor R, der durch MÜLLER (1987) eine additive Korrektur um $(1-R)/4$ erfahren hat.

Bei der Bestimmung der realen (aktuellen) Evapotranspiration wurde angenommen, dass die Verdunstung des nach Niederschlägen auftretenden Interzeptionswassers pro Zeiteinheit um 30 % über der potentiellen Evapotranspiration nach TURC liegt. Es kann davon ausgegangen werden, dass während der Verdunstung von Interzeptionswasser, bei der ein hoher Prozentsatz der vorhandenen Energie aufgebraucht wird, der Anteil der pflanzlichen Transpiration und der Evaporation aus dem Erdreich vernachlässigbar klein ist. Die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration, die für die landwirtschaftlichen Kulturpflanzenbestände um 15 % erhöht wird, erfolgt auf der Grundlage von Lufttemperatur und Sonnenscheindauer nach dem TURC-Verfahren (siehe WENDLING & SCHELLIN 1986, WENDLING et al. 1991). Beim Input Niederschlag sieht das Modell von J. und G. Müller Korrekturen nach RICHTER (1981) vor. Dieser schlug vor, bei flüssigem Niederschlag eine Korrektur von +10 % an der gemessenen Niederschlagsmenge anzubringen

und bei festem Niederschlag (Schnee), den Messwert um +30 % zu korrigieren. Neuere, von RICHTER (1995) für den östlichen Teil des Norddeutschen Tieflandes durchgeführte Untersuchungen bestätigen die Richtigkeit der Korrekturannahmen. Modellintern wurde bei Tagesmitteln der Lufttemperatur unter dem Gefrierpunkt Niederschlag in fester Form angenommen.

Das Modell von J. und G. Müller berücksichtigt die im Jahresverlauf veränderliche Interzeptionskapazität, die effektiv wirksame Durchwurzelungsschichtdicke und den bei POSZA & STOLLAR (1983) beschriebenen bestandsspezifischen biologisch-physiologischen Parameter als pflanzlichen Input (siehe auch MÜLLER et al. 1992). Der Wasserbedarf eines Bestandes hängt von Art und Entwicklungsstand seiner Pflanzen, aber auch von der Jahreszeit ab. Etwa 98 % des über die Wurzeln aufgenommenen Wassers gelangen durch Transpiration wieder in die Atmosphäre. Eine Birke verbraucht in der Vegetationsperiode ungefähr 7000 Liter und eine 100jährige Buche etwa 9000 Liter Wasser (aus: Kleine Enzyklopädie Natur, Leipzig 1966). Der Wasserbedarf von Mais zur Produktion von 1 kg Trockenmasse beträgt nach GÜNTHER (2003) ca. 200 Liter.

Nach MÜLLER jun. & MÜLLER (1978), MÜLLER jun. & HICKISCH (1982), HICKISCH et al. (1984) sowie MÜLLER (1985) liegt das Optimum der Bodenfeuchte für die Aktivität der Bodenorganismen zwischen 60 und 80 % der Feldkapazität. Dieser Wert wird in trockenen Perioden vor allem in den Sommer- und Herbstmonaten häufig unterschritten. Während kurze und schwächer ausgeprägte Trockenperioden meist nur Hemmungen im Wachstum und eine veränderte Pflanzenentwicklung zur Folge haben, muss bei langanhaltenden extremen Dürren mit Schädigungen irreversibler Natur bis hin zum Absterben der Pflanzen gerechnet werden. Das ist immer dann der Fall, wenn der Wasservorrat in der als Ausschöpfungszone bezeichneten Bodenschicht bis in den Welkepunktbereich oder darunter abnimmt.

Wie häufig so etwas im Mitteldeutschen Trockengebiet vorkommen kann, war Gegenstand einer von MÜLLER et al. (1998) vorgenommenen Untersuchung. In Verbindung damit wurde eine Bodendürredefinition vorgeschlagen. Sie lautet: *Der Zustand der Bodendürre ist gegeben, wenn der Wasservorrat in der Ausschöpfungszone eines Pflanzenbestandes, die einer jahreszeitlichen Schichtdickenänderung unterworfen ist, unter 20 % der nutzbaren Feldkapazität liegt. Bei Unterschreitung von 10 % nutzbarer Feldkapazität in eben dieser Schicht kann von stark ausgeprägter, bei Unterschreitung von 5 % derselben von extremer Bodendürre gesprochen werden.*

Die Untersuchungen wurden für die landwirtschaftliche Nutzfläche des Altkreises Saalkreis, der im Kernbereich des Mitteldeutschen Trockengebietes liegt, und für die Referenzvegetation Gras durchgeführt. Zur Bestimmung der Kardinalwerte Feldkapazität und Welkepunkt gelangte ein bei MÜLLER et al. (1995) beschriebenes Verfahren zur Anwendung. Dem Verfahren liegen von LIEBEROTH (persönliche Mitteilung 1985) zur Verfügung gestellte Feldkapazität- und Welkepunktwerte der Substrate Löß, lehmiger Ton, Lehm, sandiger Lehm, lehmiger Sand, Sand, Torf, Mudde und Gestein zugrunde. Zur Ermittlung der auf die landwirtschaftliche Nutzfläche bezogenen Kreismittel der beiden Kardinalwerte Feldkapazität und Welkepunkt waren folgende Arbeitsschritte erforderlich:

- a) Berechnung der mittleren Feldkapazität und des mittleren Welkepunktes für alle vorkommenden Substrattypen auf der Basis der Schichtenabfolge der oben angeführten Substrate bis 200 cm Tiefe.
- b) Berechnung der mittleren Feldkapazität und des mittleren Welkepunktes für sämtliche 99 definierten Substratflächentypen auf der Grundlage der mittleren flächenmäßigen Anteile der Substrattypen nach LIEBEROTH et al. (1983).
- c) Bestimmung der mittleren Feldkapazität und des mittleren Welkepunktes für die landwirtschaftliche Nutzfläche des Kreises auf der Basis der Anteile der Substratflächentypen an der landwirtschaftlichen Nutzfläche.

Bei allen drei Arbeitsschritten war die Bildung gewichteter Mittelwerte erforderlich. Für den Saalkreis konnten für die Schicht 0-100 cm ein Feldkapazitätswert von 261 mm und ein Welkepunktwert von 112 mm bestimmt werden. Mit dem Modell von J. u. G. Müller wurden neben der realen (aktuellen) und der potenziellen Evapotranspiration, auch die Bodenfeuchte und die Versickerung in Tagesschritten über einen 100jährigen Zeitraum simuliert.

2.2 Bodenabhängige Klimafeuchtezahl – Gestalt, Eingangsgrößen und Berechnung für verschiedene Altkreise

Um den ständigen Wandel, dem unser Klima unterworfen ist, und die in Abhängigkeit von ihm ablaufenden Veränderungen innerhalb des Wirkungskomplexes Boden-Pflanze-Atmosphäre besser charakterisieren zu können, wurde als Indikator eine bodenartabhängige Klimafeuchtezahl (KFZ) folgender Gestalt definiert:

$$\text{KFZ} = \lg (N * (\text{nFK}^{**1/2}) / (1 + \Delta e) + 1)$$

In diesem Ansatz, der auch zur Klimadiagnose herangezogen werden kann, bedeuten:

- N - Jahressumme der Niederschlagshöhe (mm)
- Δe - Jahresmittel des Mittagswertes des Sättigungsdefizits der Luft (hPa)
- nFK - nutzbare Feldkapazität der oberen 100-cm-Schicht des Bodens in Vol.-%.

Unter dem Mittagswert des Sättigungsdefizits der Luft ist der zum 13- bzw. 14-Uhr-Termin gemessene Wert zu verstehen. Die Einführung des dekadischen Logarithmus erfolgte um die Kennzahl nicht „ausufern“ zu lassen. Die Klimafeuchtezahl bewegt sich zwischen 0, was aber nur in Wüstenregionen denkbar wäre, und einem durch den Logarithmus nach oben „gebremst“ offenen Wert. Die „Eins“ in dem unter dem Bruchstrich befindlichen Term $(1 + \Delta e)$ verhindert, dass die KFZ gegen „unendlich“ laufen kann. Die eingeführte Quadratwurzel beugt einer „Überwichtung“ der nFK vor. Durch den additiven Zuschlag von „Eins“ auf den Quotienten soll $\lg 0$ vermieden werden. Mit dem beschriebenen Ansatz wurden für die Station Potsdam und den Zeitraum 1971 bis 2006 die Klimafeuchtezahlen ermittelt. Außerdem konnten für den Zeitraum 1991 bis 2006 auf der Grundlage des Datenmaterials der Wetterstationen Arkona, Neuruppin, Wittenberg, Halle-Kröllwitz, Leipzig-Schkeuditz und Chemnitz für verschiedene Altkreise die Klimafeuchtezahlen bestimmt werden. Darüber hinaus wurde die Abhängigkeit der Klimafeuchtezahl von der nutzbaren Feldkapazität für mittlere Bodenverhältnisse untersucht.

3 Ergebnisse

Die Tabelle 1 spiegelt die bei Anwendung des Modells von J. u. G. Müller erhaltenen Quotienten für die mittleren Bodenverhältnisse des ehemaligen Saalkreises im Zeitraum 1901 bis 2000 wider. Die in Tagesschritten erhaltenen Verdunstungswerte für Gras als Referenzvegetation wurden zu Jahressummen aufsummiert (siehe auch MÜLLER et al. 2002, MÜLLER et al. 2007). Dabei zeigte sich, dass die Verdunstung außerordentlich empfindlich auf Änderungen des atmosphärischen Strahlungs-, Feuchte- und Wärmeangebots reagiert. Eine Möglichkeit, den aus mangelnder Wasserversorgung resultierenden Stress von Pflanzenbeständen zu charakterisieren, stellt die Anzahl der Tage mit Bodendürre im Jahr dar.

Als besonders niedrige Quotienten treten die der Jahre 1947 und 1982 mit jeweils 0,53, 1911 mit 0,49 und 1976 mit 0,46 in Augenschein. Das waren auch Jahre mit einer größeren Anzahl von Tagen mit Bodendürre. Die höchsten Quotienten wurden dagegen für die Jahre 1927 mit 0,88, 1939 und 1958 mit jeweils 0,90 sowie für das Jahr 1941 mit 0,93 errechnet.

Die Tabelle 2 spiegelt die Häufigkeit von Bodendürretagen im ehemaligen Saalkreis im Zeitraum 1901 bis 2000 für Gras als Referenzvegetation und die durch oben erwähnte Kardinalwerte charakterisierten Bodenverhältnisse wider.

Die Überprüfung ergab, dass in genau 38 der 100 untersuchten Jahre Bodendürre gemäß obiger Definition bei Gras aufgetreten ist. Dabei muss bedacht werden, dass die Ausschöpfungsschichtdicke im Januar nur 50 cm beträgt und im Juli 100 cm erreicht. Bodendürren konnten nur in den Monaten Mai bis Dezember verzeichnet werden. Von den insgesamt 36525 Tagen des vergangenen Jahrhunderts waren 1151 durch

Tab. 1 Jahressummen der realen (aktuellen) Verdunstungshöhe VR und der potenziellen Verdunstungshöhe VP in mm sowie Quotienten aus VR und VP, Gras, Saalkreis, 1901 bis 2000 (obere Spalte: fortlaufende Jahre im jeweiligen Jahrzehnt)

Tab. 1 Annual total amount of the real evaporation rate (VR) and the potential evaporation rate (VP) in mm and also the quotient of VR and VP, grass, Saalkreis, 1901 to 2000 (upper column: consecutive years in the respective decade)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1900	VR	482	522	445	379	567	609	568	577	464	521
	VP	700	646	678	703	679	709	657	677	667	621
	VR/VP	0,69	0,81	0,66	0,54	0,84	0,86	0,86	0,85	0,70	0,84
1910	VR	364	448	417	571	477	529	471	505	447	505
	VP	740	606	650	712	717	677	770	700	689	741
	VR/VP	0,49	0,74	0,64	0,80	0,67	0,78	0,61	0,72	0,65	0,68
1920	VR	545	527	565	553	515	573	582	484	446	503
	VP	829	699	680	719	725	686	663	723	725	701
	VR/VP	0,66	0,75	0,83	0,77	0,71	0,84	0,88	0,70	0,62	0,72
1930	VR	561	525	456	431	500	493	543	496	618	481
	VP	703	705	740	789	761	670	690	724	685	688
	VR/VP	0,80	0,74	0,62	0,55	0,66	0,74	0,79	0,69	0,90	0,70
1940	VR	601	489	580	512	562	527	425	558	478	540
	VP	649	696	741	689	692	719	805	753	771	737
	VR/VP	0,93	0,70	0,78	0,74	0,81	0,73	0,53	0,74	0,62	0,73
1950	VR	513	498	474	503	543	535	487	570	446	450
	VP	691	678	729	646	627	608	676	634	746	649
	VR/VP	0,74	0,73	0,65	0,78	0,87	0,88	0,72	0,90	0,60	0,69
1960	VR	511	407	414	442	507	528	560	499	463	540
	VP	652	623	657	695	643	660	678	656	654	625
	VR/VP	0,78	0,65	0,63	0,64	0,79	0,80	0,83	0,76	0,71	0,86
1970	VR	527	488	463	500	480	322	554	455	472	486
	VP	676	633	666	621	678	694	603	605	633	627
	VR/VP	0,78	0,77	0,70	0,81	0,71	0,46	0,92	0,75	0,75	0,78
1980	VR	488	397	516	498	413	499	495	408	453	411
	VP	654	750	705	603	646	637	574	640	701	702
	VR/VP	0,75	0,53	0,73	0,83	0,64	0,78	0,86	0,64	0,65	0,59
1990	VR	421	524	539	527	499	434	500	541	535	491
	VP	710	755	672	714	708	611	688	648	694	694
	VR/VP	0,59	0,69	0,80	0,74	0,70	0,71	0,73	0,83	0,77	0,71

Tab. 2 Absolute und relative Häufigkeit von Tagen mit Bodendürre in den Monaten Mai bis Dezember. Gras, Saalkreis, Zeitraum: 1901 bis 2000. (nFK bedeutet nutzbare Feldkapazität)

Tab. 2 Absolute and relative frequency of days with soil aridity, May to December, grass, Saalkreis, 1901 to 2000 (nFK: usable field capacity)

Monat	<20 % nFK		<10 % nFK		<5 % nFK	
	Abs.	rel.	Abs.	rel.	Abs.	Rel.
Mai	11	0,4 %				
Juni	75	2,5 %	19	0,6 %	2	0,1 %
Juli	175	5,6 %	48	1,5 %	26	0,8 %
August	277	8,9 %	110	3,5 %	55	1,8 %
September	291	9,7 %	180	6,0 %	110	3,7 %
Oktober	232	7,5 %	130	4,2 %	93	3,0 %
November	85	2,8 %	22	0,7 %	20	0,7 %
Dezember	5	0,2 %				

Bodendürre geprägt worden. Das sind 3,2 % aller Tage. Lang anhaltende Bodendürren stellten sich in den Jahren 1911 mit 114, 1947 mit 103, 1976 mit 99 und 1982 mit 125 Tagen ein. Eine Untersuchung der für den Zeitraum 1901 bis 2000 für Gras simulierten Bodenfeuchtereihe zeigte, dass sich das Auftreten des in % nutzbarer Feldkapazität ausgedrückten Bodenwasservorratsminimums in der Ausschöpfungsschicht im Verlauf dieser 100 Jahre auf einen durchschnittlich späteren Termin verschoben hat. Während für die erste Hälfte des zurückliegenden Jahrhunderts als mittlerer Termin der 206. Tag seit Jahresbeginn errechnet wurde, ergab sich für das Auftreten des Bodenwasservorratsminimums in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts im Mittel der 223. Tag des Jahres. Der Unterschied von 17 Tagen erscheint beträchtlich.

Abbildung 1 zeigt die für Potsdam errechneten Klimafeuchtezahlen für die Jahre 1971 bis 2006. Dabei wurde für die obere 100-cm-Schicht des Bodens der für die Umgebung Potsdams repräsentative nFK-Wert von 8,8 Vol.-% (88 mm) zur Bestimmung der Klimafeuchtezahlen genutzt. Aus der Darstellung heben sich deutlich die besonders trockenen Jahre 1976, 1982, 1989, 1999 und 2003 sowohl im Hinblick auf deren Niederschläge als auch in Bezug auf die berechneten Werte der Klimafeuchtezahlen ab.

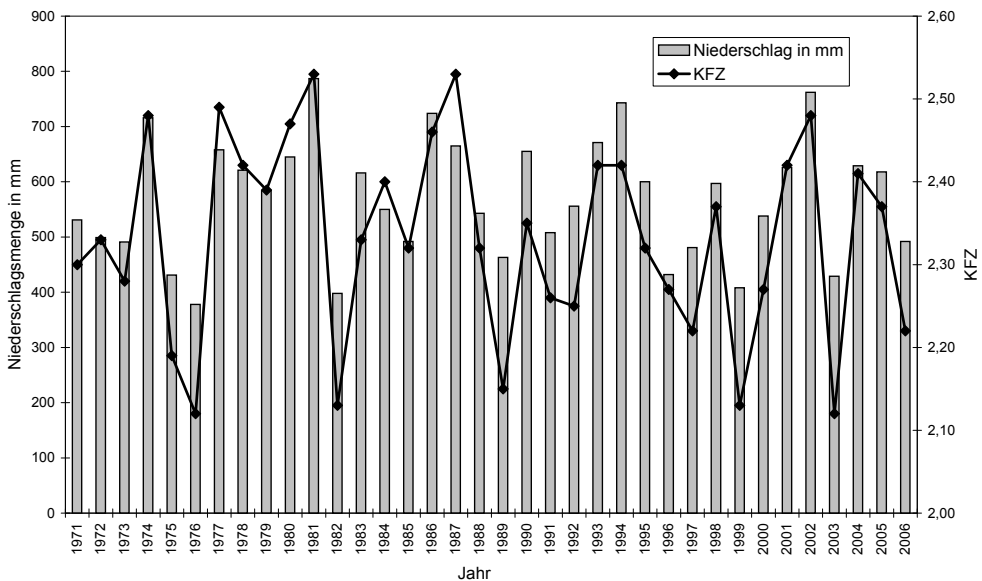


Abb. 1 Klimafeuchtezahlen (KFZn) und Jahressummen der Niederschlagshöhe (mm) für Potsdam, Zeitraum 1971 bis 2006

Fig. 1 Climate-moisture-index and annual total amounts of precipitation rates (mm), Potsdam, 1971 to 2006

In der Abbildung 2 wurden die für den alten Landkreis Potsdam bestimmten Klimafeuchtezahlen mit den gemessenen Jahressummen der Niederschlagshöhe korreliert. Das für diesen Zusammenhang ermittelte Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,826$ weist auf den nicht zu unterschätzenden Einfluss des Jahresmittels des Mittagswertes des Sättigungsdefizits der Luft als Ausdruck der veränderlichen Hydratur der Atmosphäre bei konstantem nFK-Wert auf ein und demselben Standort hin.

Die Tabelle 3 spiegelt für einige Altkreise des mittleren und nordöstlichen Deutschlands die für den Zeitraum 1991 bis 2006 ermittelten Klimafeuchtezahlen wider. Dabei zeigt sich, dass im Gebiet der Altkreise Rügen und Chemnitz im Schnitt deutlich höhere Klimafeuchtezahlen zu Buche schlagen. Sie bewegen

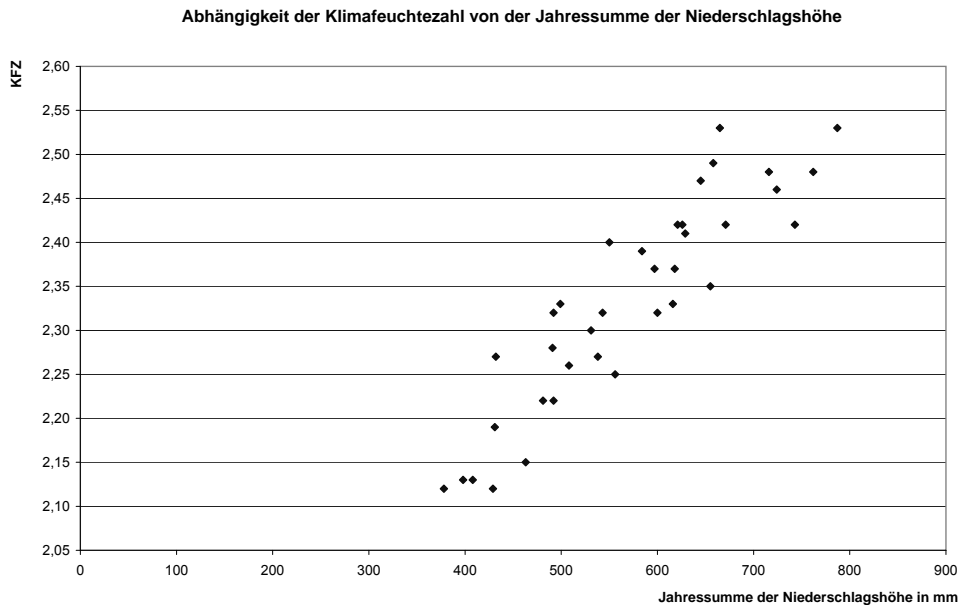


Abb. 2 Abhängigkeit der Klimafeuchtezahl von der Jahressumme der Niederschlagshöhe (mm) für Potsdam, Zeitraum 1971 bis 2006

Fig. 2 Correlation between climate-moisture-index and annual total amounts of precipitation rates (mm), Potsdam, 1971 to 2006

sich, sieht man einmal davon ab, dass für klimatologische Betrachtungen dieser 16-jährige Zeitraum natürlich etwas kurz ist, dafür aber vermehrt an Witterungsextremen reiche Jahre aufweist, im Altkreis Rügen beispielsweise zwischen 2,51 und 2,74 und im Altkreis Chemnitz zwischen 2,37 und 2,73. Das höhere Mittel der Klimafeuchtezahl im Falle von Rügen ist auf die deutlich feuchteren, stark maritim geprägten Luftmassen, die auf der Ostseeinsel zur Geltung kommen, zurückzuführen, obwohl dort schlechtere Bodenbedingungen als im Altkreis Chemnitz und ein deutlich geringeres Niederschlagsangebot der Größe der Klimafeuchtezahl entgegenwirken. Das Mittel der Klimafeuchtezahl vom Altkreis Rügen liegt bei 2,64, das des Altkreises Chemnitz bei 2,61. Der niedrigste Mittelwert der Klimafeuchtezahl schlägt für den Altkreis Wittenberg mit 2,28 zu Buche, wobei die für die Einzeljahre bestimmten Werte sich zwischen 2,11 und 2,47 bewegen. Den in der Tabelle 3 betrachteten Altkreisen liegt das Datenmaterial der Wetterstationen Arkona (Rügen), Neuruppin, Wittenberg, Halle-Kröllwitz (Saalkreis), Leipzig-Schkeuditz (Leipzig) und Chemnitz zugrunde. Um die Bedeutung des Bodens für die Klimafeuchtezahl herauszustellen, zeigt uns Tabelle 4 die Abhängigkeit dieser Kenngröße von der nutzbaren Feldkapazität für ein aus dem Datenmaterial der Station Leipzig-Schkeuditz und den Zeitraum 1991 bis 2006 bestimmtes Normaljahr (Jahressumme der Niederschlagshöhe: 539 mm, Jahresmittel des mittäglichen Sättigungsdefizits der Luft: 7,1 hPa).

Nachstehende Einteilung ermöglicht eine Zuordnung der Standorte in Abhängigkeit vom Niederschlagsangebot, von der Hydratur der Atmosphäre und von der Bodenart in verschiedene klimatische Feuchtigkeitsbereiche:

< 1,75	arider Bereich
≥ 1,75 bis 2,25	semiarider Bereich
> 2,25 bis 2,50	neutraler Bereich
> 2,50 bis 2,75	semihumider Bereich
> 2,75	humider Bereich

Tab. 3 Jahressummen der Niederschlagshöhe (mm) und Klimafeuchtezahlen für verschiedene Altkreise, 1991 bis 2006

Tab. 3 Annual precipitation rates and climate-moisture-index for different regions, 1991 to 2006

	Altlandkreis	Rügen	Neuruppin	Wittenberg	Saalkreis	Leipzig	Chemnitz
	nFK (Vol. %)	11,9	9,2	10,1	15,1	13,2	15,3
1991	N	580	409	364	--	352	544
	KFZ	2,71	2,23	2,11	--	2,18	2,50
1992	N	531	603	561	417	559	634
	KFZ	2,59	2,35	2,28	2,26	2,35	2,52
1993	N	559	671	591	448	628	677
	KFZ	2,72	2,48	2,36	2,36	2,46	2,60
1994	N	557	685	734	534	756	842
	KFZ	2,65	2,42	2,38	2,38	2,50	2,64
1995	N	426	537	526	397	594	910
	KFZ	2,51	2,31	2,25	2,29	2,43	2,73
1996	N	473	361	401	385	411	638
	KFZ	2,61	2,21	2,23	2,32	2,36	2,67
1997	N	460	425	440	420	501	680
	KFZ	2,54	2,20	2,14	2,28	2,35	2,61
1998	N	643	609	651	496	561	752
	KFZ	2,74	2,41	2,37	2,38	2,42	2,66
1999	N	673	533	449	468	539	689
	KFZ	2,73	2,29	2,19	2,32	2,38	2,60
2000	N	440	494	517	403	519	753
	KFZ	2,56	2,30	2,29	2,25	2,35	2,59
2001	N	561	544	665	545	610	750
	KFZ	2,70	2,42	2,47	2,46	2,51	2,66
2002	N	616	616	697	635	670	884
	KFZ	2,72	2,45	2,47	2,51	2,54	2,72
2003	N	458	361	401	384	433	522
	KFZ	2,52	2,11	2,11	2,20	2,23	2,37
2004	N	564	568	587	476	594	863
	KFZ	2,72	2,41	2,40	2,41	2,47	2,72
2005	N	435	568	470	536	490	799
	KFZ	2,53	2,40	2,25	2,41	2,36	2,66
2006	N	538	484	454	447	412	674
	KFZ	2,65	2,27	2,18	2,27	2,23	2,53
Mittel	N	532	529	532	466	539	726
	KFZ	2,64	2,33	2,28	2,34	2,38	2,61

Tab. 4 Abhängigkeit der Klimafeuchtezahl von der nutzbaren Feldkapazität

Tab. 4 Dependence between climate-moisture-index and usable field capacity

nutzbare Feldkapazität (Vol.-%)	6	8	10	12	14	16
Klimafeuchtezahl	2,21	2,28	2,32	2,36	2,40	2,43

Ein früher im deutschsprachigen Raum häufig genutzter Ansatz zur Bestimmung eines Trockenheitsindex stellt die von REICHEL (1929) entwickelte einfache Formel

$$IR = NMIT * KMIT / (120 * (TMIT + 10))$$

dar. Darin bedeuten IR der Reichel-Index, NMIT die mittlere Jahressumme der Niederschlagshöhe (mm), KMIT die mittlere jährliche Zahl der Niederschlagstage mit mindestens 1,0 mm und TMIT die Jahresmitteltemperatur (°C) des betreffenden Standortes. Die für den Zeitraum 1991 bis 2006 berechneten Reichel-Indices sind in Tabelle 5 den mittleren Klimafeuchtezahlen, die unter Berücksichtigung der Durchschnittswerte der nutzbaren Feldkapazität für die obere 100-cm-Schicht der betreffenden Altkreise berechnet worden sind, für die oben erwähnten sechs Stationen gegenübergestellt.

Tab. 5 Gegenüberstellung des Reichel-Index und der mittleren Klimafeuchtezahl, 1991–2006

Tab. 5 Comparison between Reichel-Index and the mean of climate-moisture-index, 1991 to 2006

Station	IR	KFZ
Arkona	24	2,64
Neuruppin	24	2,33
Wittenberg	24	2,28
Halle-Kröllwitz	17	2,34
Leipzig-Schkeuditz	23	2,38
Chemnitz	39	2,61

4 Fazit und Ausblick

Eine jahresweise Bestimmung der Klimafeuchtezahl auf der Grundlage von längeren meteorologischen Reihen erlaubt Rückschlüsse auf bereits erfolgte Klimaänderungen (Klimadiagnose). Erst die Kenntnisse über solche Änderungen ermöglichen durch „Trendextrapolationen“ in die Zukunft vage Klimaprojektionen an einem Standort, einer administrativen oder naturräumlichen Einheit. Die vorliegenden Ergebnisse lassen noch keine Verallgemeinerungen zu, machen aber Mut, den eingeschlagenen Weg der Berechnung von Klimafeuchtezahlen fortzusetzen. Dabei sollten auch kartenmäßige Darstellungen der regionalen Verteilung der Klimafeuchtezahl und ihrer Änderungen unter Zuhilfenahme von Geoinformationssystemen angestrebt werden. Statt der Berücksichtigung der nutzbaren Feldkapazität der oberen 1-Meter-Schicht könnte auch an eine Einbeziehung der Ackerwertzahlen gedacht werden.

Um zu qualitativ besseren Aussagen über den Klimawandel zu gelangen, machen sich unbedingt weiterführende Untersuchungen erforderlich. Indizien für den Klimawandel im Verlauf der letzten 100 Jahre wurden unter anderem schon von SCHÖNWIESE (2007) und die Einflüsse von Klimaänderungen auf Hochwasser und Dürreereignisse von BRONSTERT (2007) erörtert. Im Hinblick auf den Wandel von Vulnerabilität und Klima macht sich die Erarbeitung von Anpassungsstrategien erforderlich. Mit der Veränderung phänologischer Eintrittstermine wild wachsender Pflanzen in Sachsen-Anhalt haben sich KOŁODZIEJ & FRÜHAUF (2008) eingehend befasst. Sie stellten fest, dass es in den letzten Jahrzehnten im Kontext des Klimawandels zu deutlichen Veränderungen in der Pflanzenentwicklung gekommen ist. Welchen Einfluss neben Wärme- und Strahlungsangebot der Wasserhaushalt auf die Verfrühung der Eintrittstermine der phänologischen Frühlingsphasen und auf die Verspätung des Eintritts der Herbstphasen hat, bedarf eingehender Untersuchungen. Weiterführende Arbeiten sollten auch auf den Erkenntnissen von CHMIELEWSKI & RÖTZER (2000) aufbauen. Von Bedeutung für weitere Forschungsarbeiten zur Abhängigkeit der Klimafeuchtezahl vom Niederschlagsangebot im Mitteldeutschen Trockengebiet sind die Publikationen von FABIG (2007) und FRITZ et al. (2007).

5 Zusammenfassung

MÜLLER, J.; BÖTTCHER, F.; SCHMIDT, M.: Bestimmung bodenabhängiger Klimafeuchtezahlen für verschiedene Standorte in den östlichen und nordöstlichen Regionen Deutschlands. – *Hercynia N.F.* 41 (2008): 189-200.

Die Veränderungen der Wasserhaushaltsgrößen erweisen sich neben dem Wandel anderer meteorologischer Elemente für die Zukunft der landwirtschaftlichen und der gärtnerischen Produktion als die bestimmenden Einflussfaktoren. Insofern fordert der vor sich gehende, eine überraschende Eigendynamik annehmende Klimawandel in allen Bereichen der Gesellschaft ein unverzügliches Handeln. Um wirksame Anpassungsstrategien erarbeiten zu können, macht sich eine Diagnose der Klimaänderungen auf der Grundlage langjähriger meteorologischer Messreihen erforderlich. Insbesondere die Bodenwasserhaushaltskomponenten reagieren außerordentlich empfindlich auf Änderungen des atmosphärischen Strahlungs-, Feuchte- und Wärmeangebots. Die Ertragsfähigkeit landwirtschaftlicher Produktionsgebiete hängt neben den klimatischen Bedingungen in starkem Maße von den gegebenen natürlichen Bodenverhältnissen ab. Um zu einer entsprechenden Bewertung der pflanzenbaulichen Eignung eines Standortes zu gelangen und Rückschlüsse auf deren Sensitivität im Hinblick auf den Klimawandel ziehen zu können, wurde ein einfach handhabbarer Ansatz zur Bestimmung bodenabhängiger Klimafeuchtezahlen (KFZ) entwickelt. Als unabhängige Variable berücksichtigt der Ansatz die Jahressumme der Niederschlagshöhe, das Jahresmittel des mittäglichen Sättigungsdefizits der Luft und die nutzbare Feldkapazität der oberen 100-cm-Schicht des Bodens. Mit Hilfe des Ansatzes wurde für verschiedene Zeiträume und Standorte die KFZ für jedes Jahr errechnet und sowohl räumlich als auch zeitlich miteinander verglichen. Ihre langjährigen Mittelwerte ermöglichen die Einordnung untersuchter Standorte in unterschiedliche Humiditäts- bzw. Ariditätsklassen. Eine Anwendung der beschriebenen Klimafeuchtezahlen für gänzlich andere Klimazonen auf dem Festland unserer Erde ist möglich, sieht man von den Polregionen mit dauernder Eisbedeckung einmal ab.

6 Danksagung

An dieser Stelle möchten sich die Autoren für die Bereitstellung von Daten bei Herrn Walter Trampf und bei Frau Anja Zirnstein, Frau Jutta Holzweißig und Frau Bärbel Schüttler für die Übernahme vielfältiger technischer Arbeiten sehr herzlich bedanken.

7 Literatur

- ANTAL, E. (1968): Az öntözés előreljzése meteorologiai adatok alapján. – Kandidátusi értekezés, Budapest.
- BRONSTERT, A. (2007): Mögliche Einflüsse der Klimaänderungen auf Hochwasser und Dürreereignisse. – In: TETZLAFF, G.; KARL, H.; OVERBECK, G.: Wandel von Vulnerabilität und Klima: Müssen unsere Vorsorgewerkzeuge angepasst werden? – Schr.R. des DKKV, 35, Workshop des Deutschen Komitee Katastrophenvorsorge e.V. und der Akademie für Raumforschung und Landesplanung am 27./28.11.2006 in Hannover, Bonn, 25 – 32.
- CHMIELEWSKI, F.-M.; RÖTZER, T. (2000): Phenological trends in Europe in relation to climate changes. – *Agrarmeteorolog. Schr.* **108**: 101-112.
- DÖRING, J.; MÜLLER, J.; JÖRN, M.; NEUBERT, S.; PANNICKE, I.; WEDEKIND, G.; SCHURIGT, J. (1995): Klimatische Kennzeichnung des Mitteldeutschen Schwarzerdegebietes. – In: KÖRSCHENS, M.; MAHN, E.-G. (Hrsg.): Strategien zur Regeneration belasteter Agrarökosysteme des Mitteldeutschen Schwarzerdegebietes. – B.G. Teubner Verlagsgesell., Stuttgart/Leipzig.
- 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): Wandel der Niederschlagsverhältnisse im Lee des Harzes – Indikatoren eines regionalen Klimawandels? – *Hercynia N. F.* **40**: 33-39.
- FARAGÓ, T.; KOZMA, E.; NEMES, Cs. (1989): Drought indices in meteorology. – *Időjárás* **93**: 45-60.
- FRITZ, H.; OLLESCH, G.; WEIGERT, A.; SCHMIDT, J. (2007): Methodenvergleich der Bodenfeuchtebestimmung und Messung der Infiltration in teilweise gefrorene Böden. – *Hercynia N. F.* **40**: 19-31.
- GATHARA, S.T.; GRINGOF, L.G.; MERSHA, E.; SINHA RAY, K.C.; SPASOV, P. (2006): Impacts of Desertification and drought and other extreme meteorological Events. – *CagMReport*, Nr. 101, WMO/TD Nr. 1343, Genf, Schweiz, 85 S.
- GÜNTHER, R. (2003): Zur Wasserausnutzung landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturen. – Gumpensteiner Lysimetertagung, 29./30.04.2003, Tagungsband **10**: S. 85-90.

- HICKISCH, B.; MÜLLER, G. jun.; HEISIG, W. (1984): Einfluß von Witterung und Kulturpflanzenbestand auf bodenbiologische Leistungen. 4. Mitt.: Rangfolgevergleich bei 16 Prüffaktoren im zweiten Anbaujahr der Kulturpflanzen. – Zbl. Mikrobiol. **139**: 511-517.
- HOUNAM, C.E.; BURGOS, J.J.; KALIK, M.S.; PALMER, W.C.; RODDA, J. (1975): Drought and Agriculture. Report of the CAgM Working Group on Assessment of Drought – Technical Note, Nr. 138. WMO Publication Nr. 392, Genf, Schweiz, 127 S.
- KOŁODZIEJ, A.; FRÜHAUF, M. (2008): Phänologische Veränderungen von Wildpflanzen in Sachsen-Anhalt 1962-2005. – Hercynia N. F. **41**: 23-37.
- LIEBEROTH, I.; DUNKELGOD, P.; GUNIA, W.; THIÈRE, J. (1983): Auswertungsrichtlinie MMK. – AdL der DDR, FZB
- MÜLLER, G. (1985): Bodenfeuchteverlauf in Kulturpflanzenbeständen. – Kurzber. Wiss. Jahrestagung 1985 d. Sekt. Pflanzenproduktion der Humboldt-Univ. Berlin, 5./6.09.1985, Berlin 1985, 21-23.
- MÜLLER, G. jun.; HICKISCH, B. (1982): Einfluß von Witterung und Kulturpflanzenbestand auf bodenbiologische Leistungen. 1. Mitt.: Versuchsprogramm und erste Ergebnisse der Prüffaktoren CO₂-Dynamik und Mikrobenbesiedlung. – Zbl. Mikrobiol. **137**: 541-549.
- MÜLLER, G. jun.; MÜLLER, G. (1978): Wechselwirkung zwischen Wasserhaushalt des Bodens und Bodenorganismen im Hinblick auf bewässerte Pflanzenproduktion. – Wiss. Z. Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg **XXVII**, 4: 5-13.
- MÜLLER, J. (1987): Verdunstung landwirtschaftlicher Produktionsgebiete in ausgewählten Vegetationsabschnitten und deren statistische, modellmäßige und kulturbezogene Bewertung. – Diss., Univ. Halle-Wittenberg, 114 S. + Anlagenband.
- 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. – In: Künftige Klimaänderungen in Sachsen-Anhalt - Sachstand und Handlungsfelder – Workshop am 16. Juni 2006 im Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt in Halle, Sonderheft 1, 33-44.
- MÜLLER, J.; JÖRN, P.; SCHUMANN, A.; SCHELLIN, H. (2002): Evapotranspirations- und Versickerungsverhalten sowie Häufigkeit von Bodendürren im Mitteldeutschen Trockengebiet unter Berücksichtigung von Substrat und Bewuchs. – Klimastatusbericht 2001, DWD, Offenbach a. M., 258-267.
- MÜLLER, J.; JÖRN, P.; THIÈRE, J. (1995): Erarbeitung einer Karte der pflanzennutzbaren Feldkapazität für die neuen Bundesländer. – Mitt. Deut. Bodenkundl. Ges. **76**: 1149-1152.
- MÜLLER, J.; MÜLLER, G. (1988a): Berechnung der Verdunstung landwirtschaftlicher Produktionsgebiete. 1. Mitt.: Beschreibung des zur Bestimmung der aktuellen Evapotranspiration von Kulturpflanzen erarbeiteten Modells. – Z. Meteorol. **38**: 332-337.
- MÜLLER, J.; MÜLLER, G. (1988b): Berechnung der Verdunstung landwirtschaftlicher Produktionsgebiete. 2. Mitt.: Überprüfung des Modells von J. u. G. Müller am Beispiel Kartoffel auf lehmigem Sand. – Z. Meteorol. **38**: 361-365.
- MÜLLER, J.; MÜLLER, G. (1989): Berechnung der Verdunstung landwirtschaftlicher Produktionsgebiete. 3. Mitt.: Ermittlung gebietsbezogener Verdunstungswerte durch Anwendung des Modells von J. Müller und G. Müller. – Z. Meteorol. **39**: 142-149.
- MÜLLER, J.; MÜLLER, G.; KRÜGER, R.; THOMÁ, M. (1991): Zum Evapotranspirationsverhalten landwirtschaftlicher Nutzpflanzenbestände in Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen. – Z. Meteorol. **41**: 1-14.
- MÜLLER, J.; MÜLLER, G.; SCHELLIN, H.-G. (1992): Der Vegetationsfaktor bei der Abschätzung der aktuellen Verdunstung – Ein Beitrag zum Wasserhaushalt von Kulturpflanzenbeständen. – Deutsche Meteorologentagung v. 16.-20.03.1992 in Berlin, Ann. Meteorologie **27**: 132-135.
- MÜLLER, J.; SCHUMANN, A.; JÖRN, P. (1998): Zur Häufigkeit von Bodendürren im mittel-deutschen Trockengebiet. – Deutsche Meteorologentagung, 14.-18.09.1998 in Leipzig, Ann. Meteorologie **37**: 167-168.
- POSZA, I.; STOLLAR, A. (1983): A tényleges párolgás szamittáshoz használt növény-konstansok értékei többévi mérés alapján. – Időjárás **88**: 170-177.
- REICHEL, E. (1929): Der Trockenheitsindex, insbesondere für Deutschland. – Veröff. Preuss. Meteor. Inst., **362**: 84-105.
- RICHTER, D. (1981): Verfahrenshinweis zur Korrektur von verdichteten Werten der Niederschlagshöhe. – Arbeitsmappe Gutachtenerteilung des Meteorol. Dienstes der DDR. III-1, 1-3 .
- RICHTER, D. (1995): Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Messfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. – Ber. Dt. Wetterdienstes, Nr. 194, Offenbach a.M.
- SCHÖNWIESE, Ch.-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. des DKKV, 35, Workshop des Deutschen Komitee Katastrophenvorsorge e.V. und der Akademie für Raumforschung und Landesplanung am 27./28.11.2006 in Hannover, Bonn, 4 – 15.
- VARGA-HASZONITS, Z. (1977): Agrometeorológia. – Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

- WENDLING, U. (2002): Das Klima der Stadt Halle (Saale) nach den Wetterbeobachtungen 1901 bis 2000. – Klimastatusbericht 2001, DWD, Offenbach a.M., 240–249.
- WENDLING, U.; SCHELLIN, H.-G. (1986): Neue Ergebnisse zur Berechnung der potentiellen Evapotranspiration. – Z. Meteorol. **36**: 214–217.
- WENDLING, U.; SCHELLIN, H.-G.; THOMÄ, M. (1991): Bereitstellung von täglichen Informationen zum Wasserhaushalt des Bodens für die Zwecke der Agrarmeteorologischen Beratung. – Z. Meteorol. **41**: 468–475.
- WINKLER, B.; PLEINER, I.; LORENZ, H.; FLEMIG, B.; MATTHES, E.; NUSCHE, H. (2000): Die landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete im Freistaat Sachsen (Hrsg.: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft). – sprengerSTUDIOS Meißen, 98 S. + 11 Karten.

Manuskript angenommen: 10. Oktober 2008

Anschriften der Autoren:

Dr. Jurik Müller, Kreisstraße 8, 06188 Plößnitz

e-Mail: Jurik.Mueller@freenet.de

Falk Böttcher, Finkenweg 1, 04758 Oschatz

e-Mail: kerstin_falk@freenet.de

Martin Schmidt, Rudolph-Herrmann-Str. 5, 04299 Leipzig

e-Mail: Martin.Ziegelroda@t-online.de