©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Untersuchungen zur Divergenz zwischen den Langzeittrends der realen Verdunstung von Schwarzbrache, Gras- und Kleeansaaten und der potenziellen Verdunstung im mitteldeutschen Raum als ein Beitrag zur Klimadiagnose

Jurik Müller, Falk Böttcher, Martin Schmidt und Anja Zirnstein

6 Abbildungen und 2 Tabellen

Abstract

Müller, J.; Böttcher, F.; Schmidt, M.; Zirnstein, A.: Analyses of divergences between secular trends of actual evaporation and potential evaporation, based on ploughed land, grass and clover in the semiarid area of Central Germany. – Hercynia N. F. **43** (2010): 177–188.

In the present work, the actual evaporation and the potential evaporation according to the model of J. & G. Müller were analysed over a period of 48 years (from 1962 to 2009). These investigations are based on grass and clover. The final results were added up to 3 months. The trend shows an increasing divergence in each 2nd quarter during the period from 1962 to 2009. This information gives evidence for the increasing drought and the limited accumulation of grass and clover biomass between April and June. Ploughed land was also incorporated in the simulation to improve the spectrum of the soil layers. The investigations are based on measurements of the weather stations Gera-Leumnitz and Chemnitz. The measurements include air temperature, precipitation amount and sunshine duration over flood-plain clay and loess from 1962 to 2009. The results were compared with results of the weather station Halle-Kröllwitz. In Halle-Kröllwitz there was no decrease in the direction of evaporation for ploughed land. In addition to this, there was no decrease in the direction of evapotranspiration of grass and clover over a period of 48 years. Finally, there was an interesting result: According to the amount, the actual evapotranspiration of grass on loess was similar to the evapotranspiration of clover on flood-plain clay.

Key words: climate-moisture-index, climate change, evaporation, evapotranspiration

1 Einleitung

In den letzten Jahrzehnten haben die Niederschläge im Zeitraum vom 01. April bis 30. Juni, der im Wesentlichen die als Erstfrühling, Vollfrühling und Frühsommer bezeichneten phänologischen Jahreszeiten umfasst, in einigen Regionen Mitteldeutschlands stärker abgenommen. Der Rückgang der betreffenden Quartalssummen der Niederschlagshöhe erweist sich unter anderem an den Wetterstationen Gera-Leumnitz und Chemnitz als besonders groß. Legt man die mittels Regressionsrechnung bestimmten Trendgeraden für die Jahre 1962 bis 2009 zugrunde, so hat sich das Niederschlagsangebot dort um mehr als 50 mm verringert. Das dürfte nicht ohne Auswirkungen auf die Wachstums- und Entwicklungsprozesse sowohl der Winter- und Sommerhalmfrüchte als auch der Hackfrüchte sein, hängt doch deren optimales Gedeihen und somit auch die Ertragsbildung vom pflanzenverfügbaren Bodenwasser der im jahreszeitlichen Verlauf einer Dickenänderung unterworfenen Ausschöpfungsschicht ab. Mit dem sich vergrößernden atmosphärischen Verdunstungsvermögen und dem Niederschlagsrückgang steigt in der Regel die Gefahr von Frühsommertrockenheiten. Im Fokus vorliegender Arbeit stehen deshalb die reale und die potenzielle Verdunstung im stark durch vegetative und generative Entwicklungsvorgänge geprägten 2. Quartal und damit im Zeitraum von April bis Juni. Das stärkere Auseinanderdriften von realer und potenzieller Verdunstung gibt Auskunft über eine mögliche Trockenstressbelastung der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Eine Methode zur Berechnung der potenziellen Verdunstung, die in den letzten Jahren häufig zur Anwendung gelangte, ist das TURC-Verfahren. Es wurde unter anderem von Wendling & Schellin

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

(1986) sowie von WENDLING et al. (1991) eingehend beschrieben und modifiziert. Zur Berechnung der realen Verdunstung wird das komplexe agrarmeteorologische Wasserhaushaltsmodell von J. u. G. Müller (KAYSER 2002, MÜLLER & MÜLLER 1988a, b, 1989, MÜLLER et al. 1990) genutzt. Insbesondere in Trockenjahren, die sich in der Regel durch geringere Klimafeuchtezahlen (MÜLLER et al. 2008) auszeichnen, pflegen die Differenzen zwischen der modellmäßig gewonnenen realen Verdunstung und der potenziellen Verdunstung zeitweise sehr groß auszufallen. Vorliegende Untersuchung befasst sich unter dem Aspekt des Klimawandels sowohl mit diesen Differenzen als auch mit den Langzeittrends der auf das zweite Jahresquartal bezogenen realen Verdunstung von Schwarzbrache, Gras und Klee sowie der potenziellen Verdunstung unter Berücksichtigung zweier Wetterstationen Mitteldeutschlands, die sich durch einen ausgeprägten Niederschlagsrückgang im Zeitraum April bis Juni auszeichnen. Die Ergebnisse werden mit jenen, die anhand des Datenmaterials von Halle-Kröllwitz gewonnen worden sind, verglichen. Um die Rolle der Bodenart nicht zu vernachlässigen, wurden zwei unterschiedliche Substratflächentypen (siehe MÜLLER et al. 1995) in die Betrachtungen einbezogen.

2 Datenmaterial und Methodik

Das Ausgangsmaterial bildeten die meteorologischen Reihen der Tagesmitteltemperatur, der Tagessumme der Sonnenscheindauer und der Tagessumme der Niederschlagshöhe von den Stationen Gera-Leumnitz, Chemnitz und Halle-Kröllwitz. Den Untersuchungen liegt neben der potenziellen Verdunstung nach TURC (PVT), die mit dem Modell von J. und G. Müller, das von KAYSER (2002) ausgiebig gewürdigt und beschrieben sowie von MÜLLER & MÜLLER (1987, 1988a) erstmals detailliert vorgestellt wurde, in Tageschritten simulierte reale Verdunstung zu Grunde. Herzstücke dieses nicht nur die Durchwurzelungszone, sondern die gesamte Ausschöpfungszone einbeziehenden, auch im Zusammenhang mit der Berechnung von Klimafeuchtezahlen bei MÜLLER et al. (2008) ausführlich erläuterten Einschicht-Bodenfeuchtemodells sind zwei Sektoren, ein Entzugs- und ein Nachlieferungssektor. Für die Reduktion der potenziellen Verdunstung erlangt allerdings nur der Wasservorrat im Entzugssektor Bedeutung. Das Verhältnis der Transpiration der Pflanzen zur Evaporation aus dem Boden wird durch die Bestandesentwicklung bestimmt. Die Berechnung des gemeinsamen Anteils dieser beiden Komponenten (ET) wird nach dem Ansatz

$$ET = R_K \cdot PET$$

mit dem korrigierten Reduktionsfaktor

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

vorgenommen. Dabei entspricht PET der modellintern um 15 % erhöhten, auf der Basis von Lufttemperatur und Sonnenscheindauer berechneten potentziellen Evapotranspiration nach TURC (somit gilt: PET = 1,15 PVT), W_* dem Verhältnis von tatsächlichem pflanzennutzbaren zum maximal möglichen pflanzennutzbaren Wasservorrat in der Durchwurzelungsschicht, ß einem kulturpflanzenspezifischen biologisch-physiologischen Parameter und der Ausdruck $W_* \cdot (W_*+ß) / (1 + ß)$ dem von ANTAL (1968) entwickelten Reduktionsfaktor R, der durch MÜLLER (1987) eine additive Korrektur um (1-R)/4 erfahren hat. Der Wert des kulturpflanzenspezifischen biologisch-physiologischen Parameters ß bedeutet die in Einheiten der maximalen optimalen Transpiration OTM ausgedrückte optimale Transpiration OT. Der Begriff „optimale Transpiration“ ist vom Begriff „optimale Evapotranspiration“ OET abgeleitet, von dem gesprochen wird, wenn die Pflanze potenziell transpirieren kann, die Bedingungen für eine potenzielle Evaporation unmittelbar aus dem Erdboden jedoch nicht vorliegen (siehe FÜRI & KOZMA 1975, 1977, ENDRÖDI 1978). Den Überlegungen von ANTAL (1968) liegt die Relation AET ≤ OET ≤ PET zu Grunde. Dabei stellt AET

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

die reale Verdunstung dar. Dass ein auf der Basis von Messungen ermittelter Wert der realen Verdunstung durchaus über dem berechneten Wert der potenziellen Verdunstung nach dem TURC-Verfahren (PVT) oder anderen PET-Bestimmungsansätzen liegen kann, wird damit nicht in Abrede gestellt. Nach Antal ist der biologisch-physiologische Parameter ß wie folgt definiert:

$$ß = \frac{OET - EB}{OETM - EB} = \frac{OT}{OTM}$$

Unter OETM ist die maximale optimale Evapotranspiration zu verstehen, während EB dem vieljährigen durchschnittlichen Verdunstungswert des kahlen Bodens zum Zeitpunkt der Aussaat entspricht. Bei der Bestimmung der realen (aktuellen) Evapotranspiration wurde angenommen, dass die Verdunstung des nach Niederschlägen auftretenden Interzeptionswassers (IWV) pro Zeiteinheit um 30 % über der potentziellen 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 reale Verdunstung ergibt sich nach der Gleichung

$$AET = ET + IWV.$$

Beim Input Niederschlag führt das Modell von J. und G. Müller eine Korrektur nach Richter (1981) durch. Dieser schlug vor, die Messwerte, sofern der Niederschlag in flüssiger Form fiel, um 10 % und im Falle festen Niederschlags (Schnee) um 30 % nach oben zu korrigieren. Jüngere, von Richter (1995) für den östlichen Teil des Norddeutschen Tieflandes durchgeführte Untersuchungen bestätigen die Richtigkeit der Korrekturannahmen. Im Modell wird bei Tagesmitteln der Lufttemperatur unter dem Gefrierpunkt Niederschlag in fester Form angenommen. Das Modell von J. und G. Müller wurde unter anderem zur Kennzeichnung des mitteldeutschen Trockengebietes von Döring et al. (1995), aber auch von Trefflich & Müller (1998) sowie von Trefflich et al. (1999), auf langjährige Ackerbrachen im mitteldeutschen Trockengebiet angewandt. Es berücksichtigt die im Jahresverlauf veränderliche Interzeptionskapazität, die ebenfalls einer zeitlichen Änderung unterworfene, effektiv wirksame Durchwurzelungsschichtdicke und den bei Posza (1984) und Posza & Stollar (1983) beschriebenen kulturpflanzenspezifischen biologisch-physiologischen Parameter, der auch einem jahreszeitlichen Gang unterliegt, als pflanzlichen Input (siehe auch Müller et al. 1992). Um den Einfluss des Bodens bei der Simulation der realen Verdunstung zu verdeutlichen, erfolgten die Simulationsrechnungen auf der Basis des Substratflächentyps 48 (Auenlehm, Feldkapazität: 25 Vol.-%, Welkepunkt: 15 Vol.-%) und des Substratflächentyps 61 (Löß, Feldkapazität: 32,0 Vol.-%, Welkepunkt: 14 Vol.-%).

3 Ergebnisse

Um die Größenordnung zu verdeutlichen, wie weit die Differenzen zwischen den für die Zeit vom 01. April bis 30. Juni bestimmten Quartalssummen der potenziellen Verdunstung nach TURC und der realen Verdunstung von Schwarzbrache, Gras und Klee auseinander klaffen können, wurde eine spezielle, sich auf den entsprechenden Zeitraum der Jahre 2000, 2003 und 2007 bezogene Betrachtung vorgenommen. In diesen drei Jahren lagen die Quartalssummen der nach dem TURC-Verfahren ermittelten potenziellen Verdunstung an den ausgewählten Stationen durchweg über 300 mm.

Aus Tab. 1 ist ersichtlich, dass die betragsmäßigen Differenzen zwischen dem atmosphärischen Verdunstungshunger und der tatsächlichen, für eine Schwarzbrache ermittelten Verdunstung am größten sind. Das hängt natürlich von der Mächtigkeit der Ausschöpfungsschicht und somit von deren nutzbarer Feldkapazität ab. Die Ausschöpfungsschichtdicke beträgt im Falle einer Schwarzbrache im gesamten Jahresverlauf 50 cm. Aus der Annahme eines bis in diese Bodentiefe homogenen Erdreichs mit einer Feld-

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Tab. 1 Abweichungen der für das Quartal (April bis Juni) berechneten realen Verdunstungshöhe (AET) von Schwarzbrache, Gras- und Kleeansaaten von der potenziellen Verdunstungshöhe nach TURC (PVT) in mm in den Jahren 2000, 2003 und 2007.

Tab. 1 Divergences in mm between the actual evaporation (AET) and TURC's potential evaporation (PVT), based on ploughed land, grass and clover from April to June 2000, 2003 and 2007.

	Halle-Kröllwitz			Chemnitz			Gera-Leumnitz		
	2000	2003	2007	2000	2003	2007	2000	2003	2007
PVT	314	312	318	305	304	315	312	311	308
Auenlehm									
AET_{Brache} – PVT	–164	–157	–118	–153	–141	–114	–176	–174	–126
AET_{Gras} – PVT	–135	–129	–85	–131	–102	–94	–146	–145	–100
AET_{Klee} – PVT	–101	–102	–63	–97	–85	–73	–110	–112	–74
Löß									
AET_{Brache} – PVT	–143	–140	–87	–135	–126	–97	–153	–159	–105
AET_{Gras} – PVT	–101	–105	–65	–99	–88	–74	–110	–115	–75
AET_{Klee} – PVT	–63	–73	–38	–62	–56	–49	–71	–76	–48

kapazität von 25 Vol.-% sowie einem Welkepunkt von 15 Vol.-% resultiert eine nutzbare Feldkapazität von 10 Vol.-%, was einem maximalen pflanzenverfügbaren Wassergehalt von 50 mm entspricht. Dass dieser Wassergehalt trotz fehlenden Pflanzenbestandes recht schnell ausgezehrt und dadurch die reale Verdunstung stark reduziert wird, versteht sich von selbst. Beim Löß-Substrat sind die betragsmäßigen Abweichungen der realen von der potenziellen Verdunstung etwas geringer, beläuft sich doch dessen Feldkapazität auf 32 Vol.-% und dessen Welkepunkt auf 14 Vol.-%, woraus sich eine nutzbare Feldkapazität von 18 Vol.-% ergibt. Daraus errechnet sich ein maximaler pflanzenverfügbarer Wasservorrat von 90 mm für die Ausschöpfungsschicht. Am geringsten sind die Differenzbeträge im Falle von Klee. Hier ist allerdings die Ausschöpfungsschichtdicke einer jahreszeitlichen Änderung (MÜLLER 1987, MÜLLER et al. 1992) unterworfen. Sie nimmt von 80 cm am 01. April auf 167 cm am 30. Juni zu. Das findet in einer Vergrößerung des maximal pflanzenverfügbaren Wassers beim Auenlehm-Substrat von 80 auf 167 mm und beim Löß von 144 auf 301 mm seinen Ausdruck. Mit 57 cm zu Beginn des Monats April und 98 cm am Ende des Monats Juni ist die sich ebenfalls zeitlich ändernde Dicke der Ausschöpfungsschicht bei einem Grasbewuchs auf Grund der geringeren Durchwurzelungstiefe nicht so groß wie bei einem Kleebestand. Das äußert sich natürlich auch in kleineren Werten des maximal pflanzenverfügbaren Wasservorrats in der Ausschöpfungsschicht. Dieser nimmt infolge der Schichtdickenvergrößerung, zieht man den Auenlehm in Betracht, von 57 auf 98 mm im Laufe der drei Monate zu. Beim Löß steigt der maximal pflanzennutzbare Wasservorrat in dieser Zeit von 103 auf 176 mm. Tabelle 1 kann man somit entnehmen, dass sich in den drei betrachteten Jahren mit hohem, atmosphärischem Verdunstungsvermögen im Zeitraum von April bis Juni die reale Evapotranspiration bei Klee auf Löß auf etwa vier Fünftel der potenziellen Evapotranspiration nach TURC beläuft. Das bedeutet, dass auf Löß-Standorten befindlicher Klee im 2. Quartal dieser Jahre noch recht gute Bedingungen für seine Biomasseausbildung vorgefunden haben muss. Die Tabelle weist in Gestalt der grau untersetzten Abweichungsbeträge auch auf ein in Näherung identisches Verhalten der realen Evapotranspiration eines Grasbestandes auf Löß und eines Kleebestandes auf Auenlehm hin. In den Abb. 1 und 2 werden sowohl bei Auenlehm als auch bei Löß unter Zugrundelegung der mit dem Modell von J. u. G. Müller simulierten Wasserhaushaltsgrößen von Gera-Leumnitz unterschiedlich stark abnehmende Trends der realen Verdunstung von Schwarzbrache, Gras und Klee ausgewiesen. Die voranschreitende Bodenfeuchteauszehrung durch das sich vergrößernde atmosphärische Verdunstungsvermögen bei abnehmendem Niederschlag findet hier ihren Ausdruck. Aus einem trockenen Substrat wird bei gleichen meteorologischen Bedingungen in der Regel weniger Wasser entzogen als aus einem feuchten Substrat. Der Abwärtstrend der realen Evapotranspiration infolge voranschreitender Bodenfeuchteauszehrung weist hier auf das steigende Risiko einer Wasserunterversorgung von Gras und Klee hin, was

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

weitgehend auch andere, im Zeitraum April bis Juni im Aufwuchs befindliche Kulturpflanzen beträfe. Für die praktische Landwirtschaft resultiert daraus, insbesondere wenn sich der Abwärtstrend der realen Verdunstung in der für die Wetterstation Gera-Leumnitz repräsentativen Region in der Zukunft weiter fortsetzt, eine zunehmende Notwendigkeit der Durchführung von Beregnungsmaßnahmen oder des Anbaus trockenresistenterer Kulturpflanzensorten. Da im Gegensatz zur realen die potenzielle Verdunstung nach TURC von Gera-Leumnitz einen deutlichen Aufwärtstrend zeigt, lässt sich eine nicht unerhebliche Divergenz zwischen den Trends der realen Verdunstung auf der einen Seite und der potenziellen Verdunstung auf der anderen Seite feststellen. Diese Divergenz macht auf die Zunahme von Trockenstress-Perioden aufmerksam, unter denen Bestände ohne Zusatzwassergaben leiden.

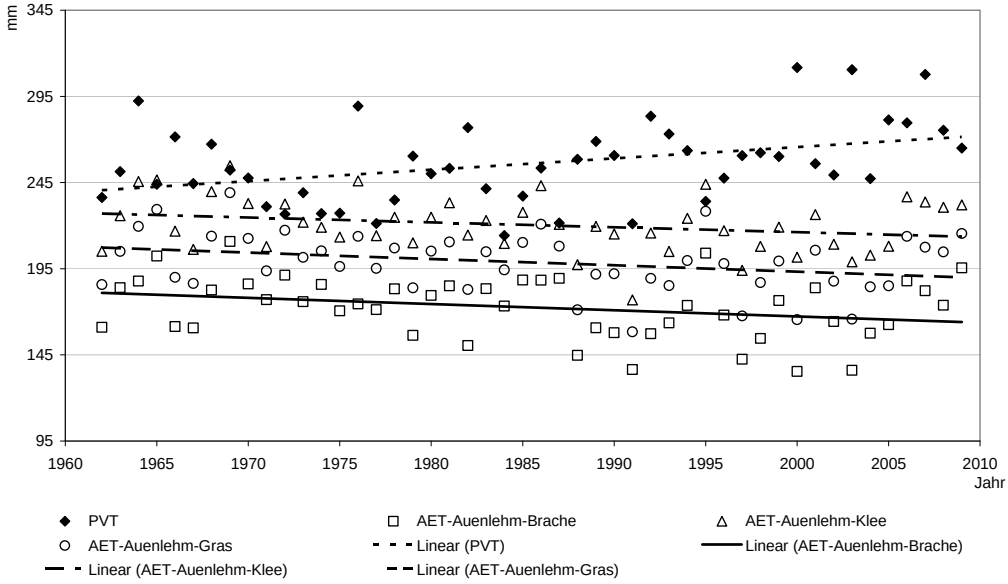

Abb. 1 Trends der für April bis Juni bestimmten potenziellen Verdunstungshöhe nach TURC (PVT) sowie der realen Verdunstungshöhe (AET) von Schwarzbrache, Gras und Klee auf Auenlehm (Substratflächentyp 48), Station: Gera-Leumnitz, Zeitraum: 1962 – 2009.

Fig. 1 Trends of TURC's potential evaporation (PVT) and actual evaporation (AET) based on ploughed land, grass and clover on flood-plain clay between April and June, Gera-Leumnitz 1962 – 2009.

Die Abb. 3 und 4 zeigen hinsichtlich der realen Verdunstung von Chemnitz eher eine gleichbleibende oder ganz leicht steigende Tendenz, obwohl auch hier die Trends der Dreimonatssummen der Niederschlagshöhe rückläufig sind. Dies lässt sich durch das dennoch insgesamt deutlich höhere Niederschlagsaufkommen der im Nordstau des Erzgebirges gelegenen Wetterstation Chemnitz erklären. Das damit verbundene Bodenfeuchteniveau, das dort im Erstfrühling, Vollfrühling und Frühsommer öfters noch im Bereich der Feldkapazität liegt, hat häufiger sich der potenziellen Verdunstung nach TURC nähernde reale Verdunstungsraten zur Folge. Weitreichende Konsequenzen für die landwirtschaftliche Praxis wie im Falle der Region Gera-Leumnitz zeichnen sich hier noch nicht ab. In den Abb. 2 und 4 schneiden die für Klee auf Lößboden berechneten Trendlinien der realen Evapotranspiration die der potenziellen Evapotranspiration nach TURC. Die Ursache hierfür liegt einerseits in der Linearität der Regressionsgleichung – das Verfahren zu deren Bestimmung beruht auf der Berechnung des Minimums der Summe der Abweichungsquadrate –, andererseits in den Daten der potenziellen Evapotranspiration nach TURC begründet. Diese fallen mitunter niedriger aus als die reale Evapotranspiration, da eine modellinterne Erhöhung der TURC-

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

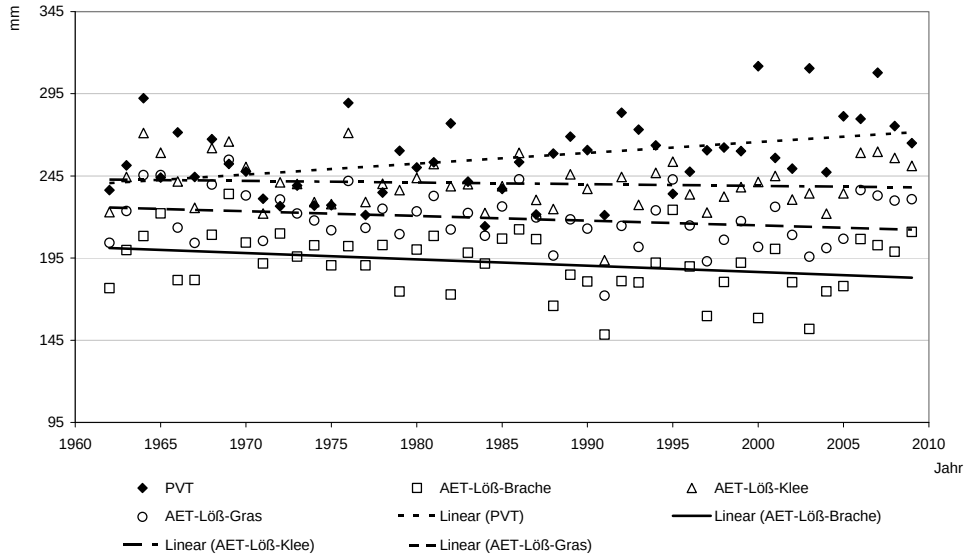

Abb. 2 Trends der für April bis Juni bestimmten potenziellen Verdunstungshöhe nach TURC (PVT) sowie der realen Verdunstungshöhe (AET) von Schwarzbrache, Gras- und Kleeansaaten auf Löß (Substratflächentyp 61) Station: Gera-Leumnitz, Zeitraum: 1962 – 2009.

Fig. 2 Trends of TURC's potential evaporation (PVT) and actual evaporation (AET) based on ploughed land, grass and clover on loess between April and June, Gera-Leumnitz 1962 – 2009.

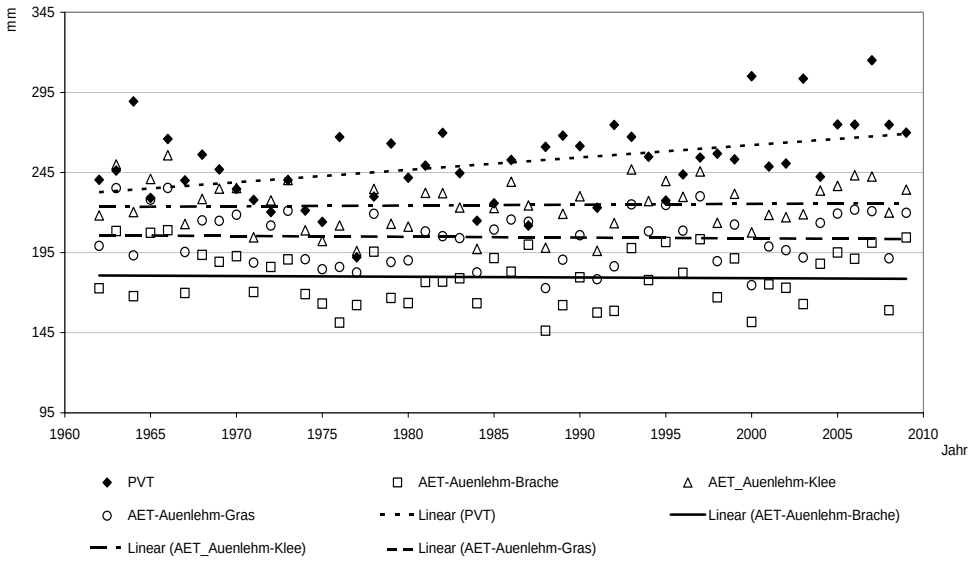

Abb. 3 Trends der für April bis Juni bestimmten potenziellen Verdunstungshöhe nach TURC (PVT) sowie der realen Verdunstungshöhe (AET) von Schwarzbrache, Gras- und Kleeansaaten auf Auenlehm (Substratflächentyp 48), Station: Chemnitz, Zeitraum: 1962 – 2009.

Fig. 3 Trends of TURC's potential evaporation (PVT) and actual evaporation (AET) based on ploughed land, grass and clover on flood-plain clay between April and June, Chemnitz 1962 – 2009.

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

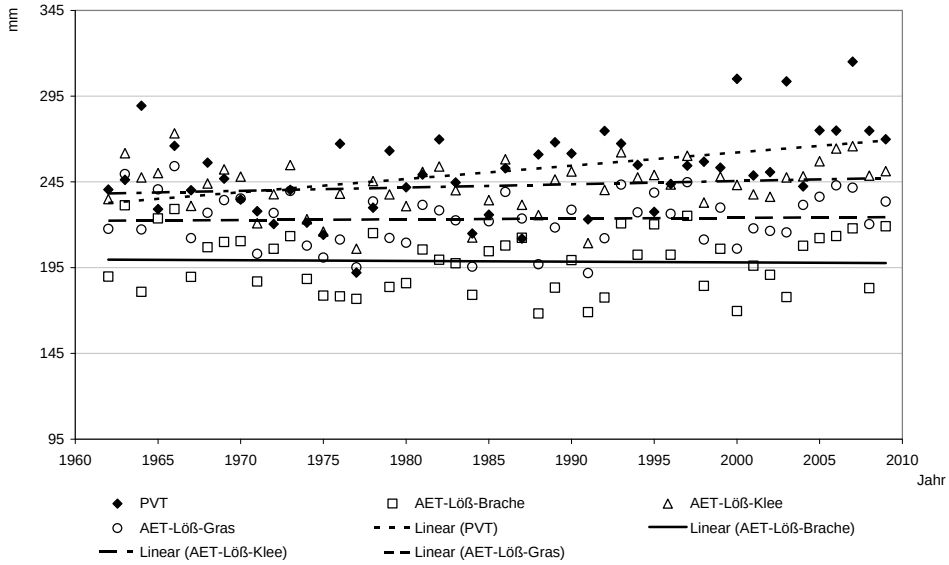

Abb. 4 Trends der für April bis Juni bestimmten potenziellen Verdunstungshöhe nach TURC (PVT) sowie der realen Verdunstungshöhe (AET) von Schwarzbrache, Gras- und Kleeansaaten auf Löß (Substratflächentyp 61), Station: Chemnitz, Zeitraum: 1962 – 2009.

Fig. 4 Trends of TURC's potential evaporation (PVT) and actual evaporation (AET) based on ploughed land, grass and clover on loess between April and June, Chemnitz 1962 – 2009.

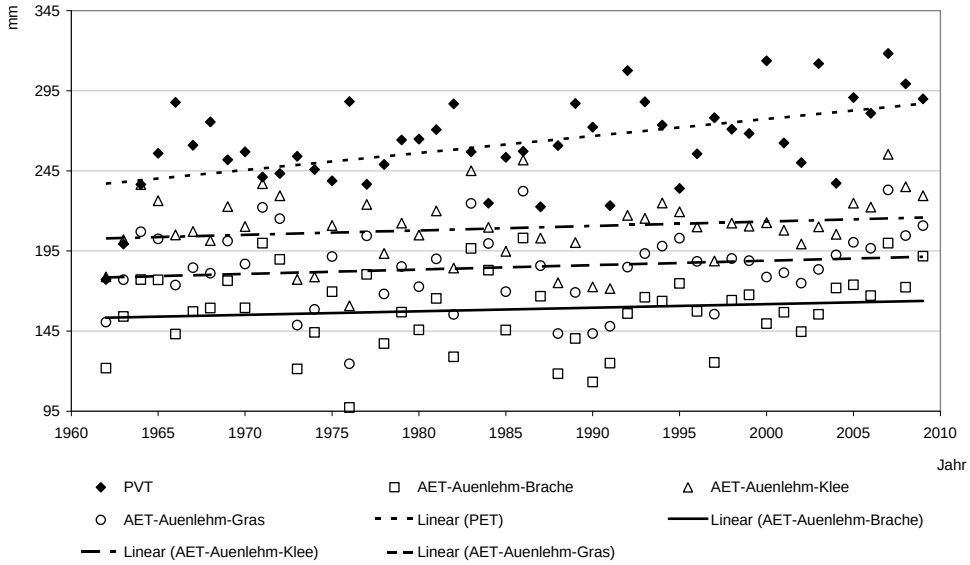

Abb. 5 Trends der für April bis Juni bestimmten potenziellen Verdunstungshöhe nach TURC (PVT) sowie der realen Verdunstungshöhe (AET) von Schwarzbrache, Gras- und Kleeansaaten auf Auenlehm (Substratflächentyp 48), Station: Halle-Kröllwitz, Zeitraum: 1962 – 2009.

Fig. 5 Trends of TURC's potential evaporation (PVT) and actual evaporation (AET) based on ploughed land, grass and clover on flood-plain clay between April and June, Halle-Kroellwitz 1962 – 2009.

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

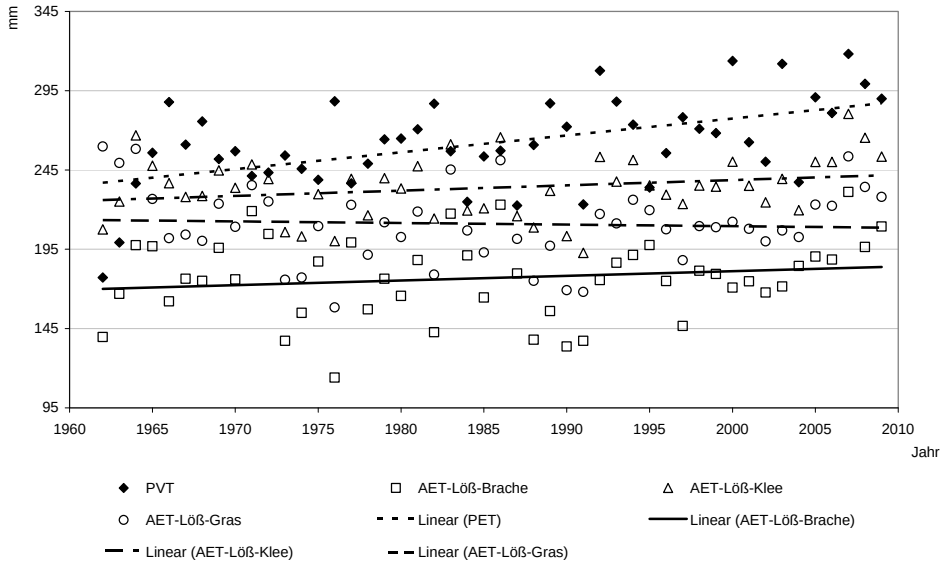

Abb. 6 Trends der für April bis Juni bestimmten potenziellen Verdunstungshöhe nach TURC (PVT) sowie der realen Verdunstungshöhe (AET) von Schwarzbrache, Gras- und Kleeansaaten auf Löß (Substratflächentyp 61), Station: Halle-Kröllwitz, Zeitraum: 1962 – 2009.

Fig. 6 Trends of TURC's potential evaporation (PVT) and actual evaporation (AET) based on ploughed land, grass and clover on loess between April and June, Halle-Kroellwitz 1962 – 2009

Verdunstung um 15 % erfolgt. Das kann bei hohen Bodenwasservorräten und der daraus resultierenden nur geringen Reduktion auf tatsächliche Verdunstungswerte zu Quartalssummen der realen Evapotranspiration führen, welche die potenzielle Evapotranspiration nach TURC überschreiten. Darüber hinaus kann sich auch der Effekt der 30 % intensiver als die potenzielle Evapotranspiration nach TURC vor sich gehenden Interzeptionswasserverdunstung bemerkbar machen. Im Vergleich zu den sich durch eine Abnahme der Quartalssummen der Niederschlagshöhe auszeichnenden Stationen Gera-Leumnitz und Chemnitz findet in den Abb. 5 und 6 mit Halle-Kröllwitz eine Wetterstation Berücksichtigung, bei der im Trend kein Rückgang der Dreimonatssummen der Niederschlagshöhe von 1962 bis 2009 festzustellen war. Bei der im Regenschattengebiet des Harzes befindlichen Wetterstation Halle-Kröllwitz lassen sich bei einer trendmäßigen Zunahme der für April bis Juni errechneten potenziellen Verdunstungshöhe nach TURC von etwa 50 mm in Bezug auf die reale Verdunstung sogar leicht ansteigende Trends, – die Variante Gras auf Löß bildet hier eine Ausnahme –, konstatieren. Ein für die drei Stationsstandorte separat durchgeführter Vergleich aller Dreimonatssummen der realen Verdunstung der beiden Varianten Gras auf Löß und Klee auf Auenlehm bestätigt den aus der Tab. 1 resultierenden Sachverhalt der in Näherung guten Übereinstimmung der realen dreimonatigen Evapotranspirationsrate eines grasbewachsenen Lößbodens mit der eines kleebewachsenen Auenlehmbodens, sieht man von wenigen Ausnahmen ab. Tabelle 2 gibt einen Überblick über statistische Kenngrößen der in den Abb. 1 bis 6 enthaltenen Trendgeraden. Aus ihr geht hervor, dass das Trend-Rausch-Verhältnis (siehe SCHÖNWIESE et al. 1993) auf einen signifikanten bis sehr signifikanten Trend bei der potenziellen Verdunstungshöhe nach TURC hinweist. Lediglich bei Gera-Leumnitz ließen sich auch im Falle der realen Verdunstungshöhe bei Klee auf Auenlehm und Gras auf Löß schwach signifikante Trends erkennen.

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Tab. 2 Statistische Kenngrößen der linearen Regressionen y = bx + a.
b – Anstieg der Trendgeraden, a – Schnittpunkt der Trendgeraden mit der Ordinatenachse, R^2 – Bestimmtheitsmaß, TRV – Trend-Rausch-Verhältnis, Sign. – Trendqualität (n. s. – nicht signifikant, (s.) – schwach signifikant, s. - signifikant, s.s. - sehr signifikant), x – Jahreszahl (z.B. 1977, 2001…).

Tab. 2 Statistical parameters of the linear regression y = bx + a.
b – slope of the trendline, a – intersection of the trendline with the y-axis, R^2 – coeffizient of Determination, TRV – trend-to – noiseratio, Sign. – statistical significance (n. s. – not significant, (s.) – slightly significant, s. – significant, s. s. – well significant), x – date (e. g. 1977, 2001)

			Halle-Kröllwitz		
Y	b	a	R^2	TRV	Sign.
PVT	1,0632	–1848,90	0,2707	1,784	s. s.
AET – Auenlehm Klee	0,2757	–338,02	0,0334	0,547	n. s.
AET – Auenlehm Gras	0,2740	–359,15	0,0257	0,623	n. s.
AET – Auenlehm Brache	0,2220	–282,24	0,0165	0,445	n. s.
AET – Löß Brache	0,3335	–428,41	0,0586	0,634	n. s.
AET – Löß Klee	–0,1011	+411,78	0,0035	0,252	n. s.
AET – Löß Gras	0,2926	–404,08	0,0263	0,589	n. s.
			Gera-Leumnitz		
Y	b	a	R^2	TRV	Sign.
PVT	0,657	–1048,40	0,1508	1,3316	s.
AET – Auenlehm Klee	–02842	+784,56	0,0627	0,7625	n. s.
AET – Auenlehm Gras	–0,3684	+930,14	0,0885	1,1131	(s.)
AET – Auenlehm Brache	–0,3600	+887,28	0,0794	0,9968	n. s.
AET – Löß Klee	–0,1024	+443,64	0,0091	0,2673	n. s.
AET – Löß Gras	–0,2853	+785,52	0,0596	0,9123	n. s.
AET – Löß Brache	–0,3859	+958,27	0,0863	1,1320	(s.)
			Chemnitz		
Y	b	a	R^2	TRV	Sign.
PVT	0,7732	–1284,20	0,1863	1,4798	s.
AET – Auenlehm Klee	0,0501	+125,21	0,0022	0,1415	n. s.
AET – Auenlehm Gras	–0,0493	+302,50	0,0017	0,1568	n. s.
AET – Auenlehm Brache	–0,0461	+271,18	0,0014	0,1334	n. s.
AET – Löß Klee	0,1927	–139,81	0,0331	0,5373	n. s.
AET – Löß Gras	0,0434	+137,27	0,0016	0,1405	n. s.
AET – Löß Brache	–0,0409	+279,87	0,0011	0,1284	n. s.

4 Fazit und Ausblick

Die regionale, insbesondere durch das Niederschlagsverhalten bedingte Unterschiedlichkeit der Trends der realen Verdunstung verdeutlicht die Notwendigkeit der Durchführung weiterer klimadiagnostischer Untersuchungen in der in vorliegender Veröffentlichung aufgezeigten Richtung. Diese würden sich in den Kontext der Arbeiten von Döring & Borg (2008), Fabig (2007a, b), Fricke & Kronier (2002), Kolodziej (2007), Kolodziej & Frühauf (2008), Müller et al. (1998, 2002, 2007), Rapp (2002), Reichert (2009), Reichert et al. (2010), Schönwiese (2007), Walter & Schönwiese (2002), Wendling (2002) sowie Werner et al. (2002) einreihen, die sich unter verschiedenen Aspekten mit der Klimadiagnose und dem Klimawandel befassen. Der betrachtete, drei Monate umfassende Zeitraum ist aus landwirtschaftlicher Sicht von hervorragender Bedeutung, findet doch in ihm teilweise das Schossen, das Ährenschieben und die

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Kornfüllungsphase des Getreides sowie die Knospung, Blüte und Schotenbildung beim Raps statt. Von dem in enger Abhängigkeit von der realen Verdunstung stehenden Bodenwasserhaushalt hängen vor allem die Notwendigkeit zusätzlicher Beregnungs- oder Bewässerungsgaben, aber auch in starkem Maße die Bemessung der Qualitätsdüngung ab. Aus diesem Grunde machen sich intensive Untersuchungen zur Entstehung und Häufigkeit des Auftretens von Frühsommertrockenheiten und die Vertiefung der Ursachenforschung der unterschiedlichen Divergenz der Langzeittrends von realer und potenzieller Verdunstung unter Berücksichtigung weiterer Substratflächentypen und verschiedenen Bewuchses erforderlich. Es sei darauf hingewiesen, dass die den Trends zugrundeliegenden Verdunstungsdaten auf Modellrechnungen beruhen, welche die komplizierten Wechselwirkungsmechanismen im System Boden-Pflanze-Atmosphäre nur in begrenztem Umfang abbilden können. Verstärkte Beachtung muss unter anderem der Wechselwirkung zwischen Durchwurzelung und damit der Ausschöpfungsschichtdicke einerseits sowie Bodenart und Witterungsverlauf andererseits geschenkt werden. In diese Richtung ließe sich das Modell von J. u. G. Müller weiter verbessern. Die sich aus den klimadiagnostischen Trendbetrachtungen von Wasserhaushaltsgrößen ergebenden, orografisch bedingten sowie bewuchs- und bodenartbezogenen Unterschiede stellen einen Fingerzeig im Hinblick auf die noch zu erwartenden Unwägbarkeiten bei regionalen Klimaprojektionen dar.

5 Zusammenfassung

Müller, J.; Böttcher, F.; Schmidt, M.; Zirnstein, A.: Untersuchungen zur Divergenz zwischen den Langzeittrends der realen Verdunstung von Schwarzbrache, Gras- und Kleeansaaten und der potenziellen Verdunstung im mitteldeutschen Raum als ein Beitrag zur Klimadiagnose – Hercynia N. F. **43** (2010): 177–188.

Die zunehmende Divergenz der Trends der für das 2. Quartal eines jeden Jahres mit dem Modell von J. u. G. Müller für den Zeitraum 1962 bis 2009 ermittelten Dreimonatssummen der realen Verdunstungshöhe von Gras und Klee auf der einen und der potenziellen Verdunstungshöhe auf der anderen Seite ermöglicht Aussagen zu der aus dem Klimawandel resultierenden Zunahme des Trockenstresses und der dadurch eingeschränkten Biomassebildung für die Tierernährung verwendeter Nutzpflanzen. Um das Spektrum der möglichen Ausschöpfungsschichtdicken besser abzudecken, wurde auch die Schwarzbrache in die Simulationsrechnungen einbezogen. Die Untersuchungen erfolgten auf der Grundlage der Messreihen der Stationen Gera-Leumnitz und Chemnitz von Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer aus dem Zeitraum 1962 bis 2009 für Auenlehm und Löß. Die Ergebnisse wurden mit denen von Halle-Kröllwitz verglichen, wo praktisch keine tendenzielle Abnahme der realen Evaporation der Schwarzbrache bzw. der Evapotranspiration von Gras und Klee im Verlauf des betrachteten 48-jährigen Zeitraumes zu verzeichnen war. Als ein interessantes Nebenergebnis akademischer Natur kann das betragsmäßig nahezu identische Verhalten der realen Evapotranspiration eines Grasbestandes auf Löß und eines Kleebestandes auf Auenlehm angesehen werden.

6 Danksagung

An dieser Stelle möchten sich die Autoren bei Frau Jutta Holzweißig und Frau Bärbel Schüttler für die Übernahme vielfältiger technischer Arbeiten sehr herzlich bedanken.

7 Literatur

Antal, E. (1968): Az öntözés elörejelzése meteorologiai adatok alapján. – Kandidátusi értekezés, Budapest.

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.

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

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 Verlagsgesellschaft, Stuttgart / Leipzig.

Endrödi, G. (1978): A burgonya optimális evapotranspirációja es csapadékellátottsága Magyarországon. – Idöjárás **82** (2): 89–96.

Fabig, I. (2007a): Die Niederschlags- und Starkregenentwicklung der letzten 100 Jahre im Mitteldeutschen Trockengebiet als Indikatoren möglicher Klimaänderungen. – Diss., Univ. Halle-Wittenberg.

Fabig, I. (2007b): Wandel der Niederschlagsverhältnisse im Lee des Harzes – Indikatoren eines regionalen Klimawandels? – Hercynia N. F. **40**: 33–39.

Fricke, W.; Kronier, M. (2002): Betrachtungen zum Klimawandel am Hohenpeißenberg. – In: Klimastatusbericht 2001. – DWD, Offenbach a. M.

Füri, J.; Kozma, F. (1975): A szölö evapotranspirációja. – Idöjárás **79** (2): 112–120.

Füri, J.; Kozma, F. (1977): Der Wasserverbrauch und –bedarf der Reben während der Vegetationsperiode. – Die Wein-Wissenschaft **32** (2): 103–121.

Kayser, M. (2002): Aspekte zum Wasserhaushalt von Sandlössen im Mitteldeutschen Trockengebiet. – Diss., TU Berlin.

Kolodziej, A. (2007): Klimawandel in Sachsen-Anhalt: Auswirkungen auf die phänologischen Phasen wildwachsender Pflanzen. – Berichte des Deutschen Wetterdienstes, H. 231, Offenbach a. M.

Kolodziej, A.; Frühauf, M. (2008): Phänologische Veränderungen von Wildpflanzen in Sachsen-Anhalt 1962 – 2005. – Hercynia N. F. **41**: 23–37.

Müller, J. (1987): Verdunstung landwirtschaftlicher Produktionsgebiete in ausgewählten Vegetationsabschnitten und deren statistische, modellmäßige und kulturbezogene Bewertung. – Diss., Univ. Halle-Wittenberg.

Müller, J.; Böttcher, F.; Schmidt, M. (2008): Bestimmung bodenabhängiger Klimafeuchtezahlen für verschiedene Standorte in den mittleren und nordöstlichen Regionen Deutschlands auf der Grundlage eines einfachen Ansatzes. – Hercynia N. F. **41**: 189–200.

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-Anh. 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. – In: Klimastatusbericht 2001. – DWD, Offenbach a. M.

Müller, J.; Jörn, P.; Thiere, J. (1995): Erarbeitung einer Karte der pflanzennutzbaren Feldkapazität für die neuen Bundesländer. – Mitt. Dt. Bodenkundlichen Ges. **76**: 1149–1152.

Müller, J.; Müller, G. (1987): Vorstellung eines komplexen Modells zur Schätzung der Verdunstung und des Bodenwasservorrates sowie dessen Prüfung an dem Material eines ausgewählten Standortes. – Kongress- und Tagungsberichte Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg, Wiss. Beitr. **17**: 86–90.

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.; 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. – Annalen der Meteorologie **27**: 132–135.

Müller, J.; Müller, G.; Thomä, M. (1990): Enquiry into area related evaporation values, in consideration of local conditions, on the basis of an agrar-meteorological model for calculation of evapotranspiration rates in cultivated plants. – Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wroclawiu. Melioracja **XXXV** / 191: 113–119.

Müller, J.; Schumann, A.; Jörn, P (1998): Zur Häufigkeit von Bodendürren im mitteldeutschen Trockengebiet. – Deutsche Meteorologentagung, 14. – 18.09.1998 in Leipzig. – Annalen der Meteorologie (Bd. 1) **37**: 167–168.

Posza, I. (1984): Növényállományok evapotranspirációja. – Egyetemi doktori értekezés, Szarvas.

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Posza, I.; Stollar, A. (1983): A tényleges párolgás szamittáshoz használt növeny-konstansok értékei többévi mérés alapján. – Idöjárás **88**: 170–177.

Rapp, J. (2002): Regionale Klimatrends in Deutschland im 20. Jahrhundert. – In: Klimastatusbericht 2001. – DWD, Offenbach a. M.

Reichert, U. (2009): Vergleichende Analyse zur Klimaentwicklung im Raum Halle/Saale. – Dipl.-Arbeit, Univ. Halle-Wittenberg.

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

Richter, D. (1981): Verfahrenshinweis zur Korrektur von verdichteten Werten der Niederschlagshöhe. – In: Arbeitsmappe Gutachtenerteilung des Meteorol. Dienstes der DDR. III-1, Potsdam.

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**: 4–15.

Schönwiese, Ch.-D.; Rapp, J.; Fuchs, T.; Denhard, M. (1993): Klimatrend-Atlas Europa 1891 – 1990. – Ber. Zentrums f. Umweltforsch., Nr. 20, Frankfurt a. M.

Trefflich, A.; Kayser, M.; Wessolek, G. (1999): Anwendung von Wasserhaushaltsmodellen auf langjährige Ackerbrachen im Mitteldeutschen Trockengebiet. – Mitt. Dt. Bodenkundlichen Ges. **91**: 1351–1354.

Trefflich, A.; Müller, J. (1998): Anwendung eines komplexen Wasserhaushaltsmodells auf langjährige Grünbrache im mitteldeutschen Trockengebiet. – Deutsche Meteorologentagung v. 14. – 18.09.1998 in Berlin. – Annalen der Meteorologie (Bd. 1) **37**: 289–290.

Walter, A.; Schönwiese, Ch.-D. (2002): Attribution and detection of anthropogenic climate change using a backpropagation neural network. – Meteorol. Z. **11**: 335–343.

Wendling, U. (2002): Das Klima der Stadt Halle (Saale) nach den Wetterbeobachtungen 1901 bis 2000. – In: Klimastatusbericht 2001. – DWD, Offenbach a. M.

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.

Werner, P. C.; Gerstengarbe, F.-W.; Österle, H. (2002): Klimatypänderungen in Deutschland im 20. Jahrhundert. – In: Klimastatusbericht 2001. – DWD, Offenbach a. M.

Manuskript angenommen: 1. September 2010

Anschriften der Autoren:

Dr. Jurik Müller
Deutscher Wetterdienst, Kärrnerstraße 68, D-04288 Leipzig
E-mail: Jurik.Mueller@dwd.de

Falk Böttcher
Deutscher Wetterdienst, Kärrnerstraße 68, D-04288 Leipzig
E-mail: Falk.Boettcher@dwd.de

Martin Schmidt
Deutscher Wetterdienst, Kärrnerstraße 68, D-04288 Leipzig
E-mail: Martin.Schmidt@dwd.de

Anja Zirnstein
Deutscher Wetterdienst, Kärrnerstraße 68, D-04288 Leipzig
E-mail: Anja.Zirnstein@dwd.de

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Hercynia

Jahr/Year: 2010

Band/Volume: 43

Autor(en)/Author(s): Müller Jurik, Böttcher Falk, Schmidt Martin, Zirnstein Anja

Artikel/Article: Untersuchungen zur Divergenz zwischen den Langzeittrends der realen Verdunstung von Schwarzbrache, Gras- und Kleeansaaten und der potenziellen Verdunstung im mitteldeutschen Raum als ein Beitrag zur Klimadiagnose 177-188