

Charakterisierung und Quantifizierung des standörtlichen Wasserhaushaltes eines Obstbaustandortes unter künstlicher Bewässerung auf der Querfurter Platte

Jasmin BARUCK, Gerd SCHMIDT und Manfred FRÜHAUF

9 Abbildungen und 4 Tabellen

Abstract

BARUCK, J., SCHMIDT, G., FRÜHAUF, M.: Characterisation and quantification of a local hydrological regime in an orchard under irrigation on the Querfurt plateau (Germany). - *Hercynia N. F.* 46 (2013): 41 – 62.

This study has been carried out within the scope of regional climate change studies and necessary adaptation strategies for land use. From a geoecological point of view, the related effects on the landscape water regimes are of particular interest. An increasingly applied adaptation strategy to extended droughts is irrigation. However, the hydro-climatological and soil-related consequences of this measure are relatively unknown. For this reason, the local water cycle of an orchard under drip irrigation was analysed on the Querfurt plateau (Germany) during the growing season 2011. The aim was to investigate the effects and potential impacts of this kind of irrigation and land use on the regional water balance in a low-precipitation area. The analyses were carried out in apple orchards of different stand age (4 and 15 years). To quantify and characterise the water balance of the apple tree stands, relevant pedological, soil hydrological, and plant morphological properties and climatic parameters were measured and analysed for correlations. Results show that the favourable pedological and soil hydrological properties at the study site allow an efficient use of low precipitation and irrigation amounts – despite the high evaporation rates. Thus, the impact of this type of adaption strategy on the landscape water regime in the study area is estimated to be small.

Keywords: Regional climate change, low-precipitation area, Querfurter Platte, irrigation, *Malus domestica*, local water balance

1 Problemstellung

Der Klimawandel ist ein weltweites Problem. Nach dem heutigen Wissensstand sind die Prozesse und Folgen regional spezifisch ausgeprägt. Das Untersuchungsgebiet der Querfurter Platte gilt lagebedingt als besonders vulnerable Region (FABIG 2007, FRÜHAUF 2007). Bereits unter den gegenwärtigen Bedingungen ist das Gebiet durch eine angespannte klimatische Wasserbilanz charakterisiert und aus Sicht der Pflanzenproduktion für den Intensivanbau von Kernobst eher ungünstig. Unter den prognostizierten Tendenzen – Temperaturanstieg, erhöhte Evapotranspiration, innerjährliche Verschiebung der Niederschläge hin zum Winter, Zunahme von Starkniederschlagsereignissen im Sommer (LAU 2008) – ist mit einer Verschärfung der Situation zu rechnen (FABIG 2007).

In besonderem Maße werden die Wasserverfügbarkeit und damit die Landwirtschaft betroffen sein (LAU 2009, PIK 2009). Es muss daher zu Änderungen in der Landnutzung kommen, die an die zunehmende Trockenheit angepasst sind (z.B. EHLERS 1996, FRÜHAUF 2007, MÜLLER et al. 2007, ETZINGER et al. 2009). Im Gegensatz zu einjährigen Kulturpflanzen sind Anpassungen bei mehrjährigen Kulturarten, wie Obstgehölzen, weitaus schwieriger. Eine Möglichkeit zur Sicherung der Ertragsstabilität und -qualität stellt daher die künstliche Bewässerung dar. Nach SPONAGEL (1980) und MULL (1987) hat solch eine Landnutzung Auswirkungen auf die Wasserhaushaltskomponenten und damit auf den regionalen Wasserhaushalt. Besonders kritisch ist dabei zu betrachten, dass zum einen das Bewässerungswasser oftmals

dem Grundwasser entnommen wird und es bei einem hohen Verbrauch zu (zeitweisen) Absenkungen im Grundwasserspiegel kommt (SPONAGEL 1980, GRASHEY-JANSEN 2011). Zum anderen ist es problematisch, dass eine an den tatsächlichen Bedarf der Pflanze angepasste Bewässerungsform, v.a. unter trockenen Bedingungen, oft schwierig ist (HOYNINGEN-HUENE 1980) und die Bewässerungsgaben meist nach subjektiven Kriterien ausgebracht werden, die den tatsächlichen Bedarf der Pflanzen und den aktuellen Wassergehalt des Bodens unberücksichtigt lassen (u.a. GRASHEY-JANSEN 2012). „Die Tatsache, dass die Bodenwasserdynamik eines Standortes (...) vor dem Hintergrund eines hochkomplexen Beziehungsgeflechtes zwischen den Landschaftskompartimenten Atmosphäre, Vegetation, Boden und geologischem Untergrund abläuft (...), erschwert [ohnein] standortbezogene, bodenhydrologische Erkenntnisse. Diese Zusammenhänge gewinnen noch an Komplexität, wenn die Bewirtschaftung eines Standortes eine Bewässerung erfordert“ (GRASHEY-JANSEN 2007b, S. 3). Aus diesem Grund müssen die Effekte einer solchen Landnutzung für den standörtlichen Wasserhaushalt spezifisch quantifiziert und charakterisiert werden. „Untersuchungen zum Einfluss einer Bewässerung auf die Dynamik des Bodenwassers – vor dem Hintergrund ökonomischer Überlegungen in Kombination mit ökologischen Fragestellungen – haben [jedoch] erst in jüngerer Zeit an Bedeutung gewonnen“ (GRASHEY-JANSEN 2007b, S. 10). Auch die Relevanz einer bedarfsorientierten Bewässerung nimmt immer mehr zu. Da das Wasser zur Bewässerung limitiert ist und der Wasserverbrauch nach den Klimaprognosen insgesamt weiter steigen wird, muss eine Optimierung der Bewässerungssteuerung stattfinden (SPONAGEL 1980, GRASHEY-JANSEN 2008, HEDLEY & YULE 2009, LVG ERFURT 2009, 2012, GRASHEY-JANSEN & TIMPF 2010). Hierfür müssen pedologische, hydrologische, atmosphärische und pflanzliche Einflussfaktoren in die Steuerung einbezogen werden (FRIEDRICH 1993, STARKS et al. 2003, GRASHEY-JANSEN 2007a, b, 2008, 2011, PASCHOLD 2010). GRASHEY-JANSEN (2007b) weist aber darauf hin, dass der Einfluss der atmosphärischen und hydrologischen Parameter nicht überbewertet werden darf und vielmehr die pedologischen Verhältnisse von fundamentaler Bedeutung sind (vgl. STARKS et al. 2003, GRASHEY-JANSEN 2013).

Um die Wirkungen und möglichen Folgen einer obstbaulichen Landnutzung unter Bewässerung für den Wasserhaushalt auf der Querfurter Platte erfassen zu können, wurde in der Vegetationsperiode 2011 der standörtliche Wasserkreislauf auf dem „Obsthof Müller“ in Querfurt untersucht. Dieser Betrieb versorgt seine Obstbestände seit 2006, zusätzlich zum Niederschlag, mit Wasser über ein Tröpfchenbewässerungssystem. Exemplarisch wurden die Analysen im Apfelbestand (*Malus domestica* Borkh.) an Bäumen des 4. und 15. Standjahres durchgeführt, welche auf schwachwuchsinduzierten Unterlagen veredelt wurden. Der Arbeit lagen folgende Überlegungen zu Grunde:

- a. Zur Sicherung der Ertragsqualität ist eine Bewässerung im Zuge des Klimawandels notwendig.
- b. Das für die Bewässerung aus dem Grundwasserspeicher entnommene Wasser wird durch Boden- und Pflanzenverdunstung aus dem standörtlichen System geführt, wodurch es zu Veränderungen im standörtlichen Wasserhaushalt kommt. Es ist mit einem sinkenden Grundwasserspiegel zu rechnen.
- c. Die Folgen für den Landschaftswasserhaushalt können durch eine bedarfsorientierte Bewässerung minimiert werden.

Aufgrund der zentralen Bedeutung der Bodenwasserdynamik und des Verdunstungsprozesses im System Boden – Pflanze – Atmosphäre (KUNTZE et al. 1994, EHLERS 1996, HARTGE & HORN 1999, FRIEDRICH & FISCHER 2002, GRASHEY-JANSEN 2007b, SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010) für den standörtlichen Wasserkreislauf lag das Hauptaugenmerk auf folgenden Annahmen:

1. Mit der Bewässerung kommt es zu einer Beeinflussung der Bodenwasserdynamik, welche sich über ein verbessertes Infiltrations- und Wasserbewegungsverhalten positiv auf die Ausnutzung von natürlichen Niederschlägen und damit auf die Wasserversorgung des Apfelbestandes auswirkt.
2. Die höhere Wasserverfügbarkeit im Boden ist mit einer gesteigerten Transpirationsleistung verbunden, die zu einer höheren Vitalität des Bestandes führt. Dabei verzeichnen ältere Apfelbestände aufgrund einer größeren Biomasseproduktion in ihrer phänologischen Entwicklung eine höhere Verdunstungsleistung als junge Apfelbestände.

2 Wasserhaushalt im Untersuchungsgebiet

Aufgrund der Lage im Mitteldeutschen Trockengebiet – die Querfurter Platte zählt mit 450 - 500 mm Niederschlag zu den niederschlagsärmsten Regionen Deutschlands (SCHRÖDER 1986, DÖRING 1997, MÜLLER et al. 2007) – und der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung der Region (ZEBISCH et al. 2005) kommt es für den regionalen Wasserhaushalt im Untersuchungsgebiet zu einer Situation, die als problematisch bezeichnet werden kann. Die Niederschlagsarmut führt dazu, dass die Bodenwasservorräte jedes zweite Jahr bis zum permanenten Welkepunkt ausgeschöpft werden (DÖRING 1997). Aufgrund der großen Grundwasserflurabstände (7 - 30 m) ist das Grundwasser als natürliche Wasserquelle durch kapillaren Aufstieg auszuschließen (KLAUER et al. 2000). Von Oktober bis Februar / März wird der Bodenwasservorrat i.d.R. wieder aufgefüllt. In jedem dritten Jahr wird die Feldkapazität jedoch nicht wieder erreicht. Die für dieses Gebiet charakteristischen Lössschwarzerden wirken aufgrund ihres hohen Wasserspeichervermögens ausgleichend auf die angespannte Wasserhaushaltssituation (ALTERMANN 1995, DÖRING 1997). Dies ist, neben den geringen Niederschlägen, aber auch ein Grund dafür, dass die Querfurter Platte durch eine herabgesetzte Sickerwasserbewegung und einer damit einhergehenden geringen Grundwasserneubildungsrate charakterisiert ist (ALTERMANN 1995, DÖRING 1997, KLAUER et al. 2000). Für die mittlere Grundwasserneubildungsrate werden Werte von 75 mm / a bis 80 mm / a angegeben (SCHRÖDER 1986, KLAUER et al. 2000).

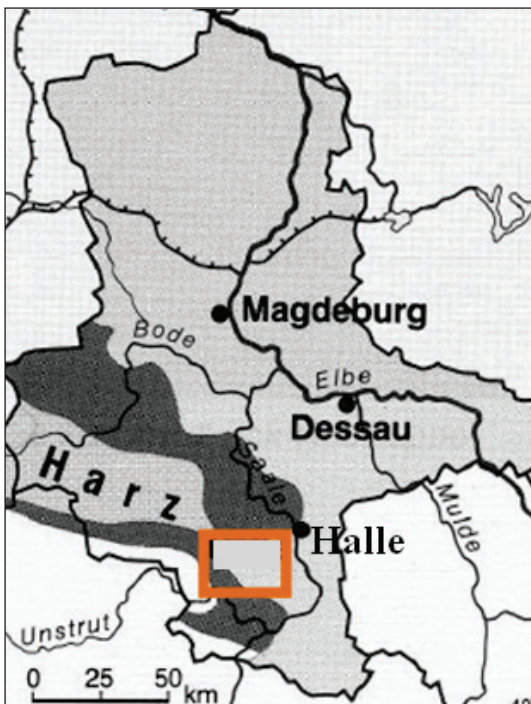


Abb. 1 Lage des Untersuchungsgebietes Querfurter Platte in Sachsen-Anhalt (Quelle: Protze 1996, verändert).

Fig. 1 Location of the investigation area Querfurt plateau in Saxony-Anhalt. (Source: Protze 1996, modified).

3 Versuchsaufbau und Methodik

Um den standörtlichen Wasserhaushalt des Apfelbaumbestandes quantifizieren und charakterisieren zu können, wurden pedologische, bodenhydrologische, pflanzenmorphologische und klimatische Parameter erfasst und zueinander in Bezug gesetzt. Angaben über Menge und Dauer der Bewässerung wurden durch die Leitung des Obsthofes zur Verfügung gestellt. Im Zeitraum vom 28. April bis 1. Juli 2011 wurde durchgängig bewässert. Einzelbewässerungsgaben mit Dünger wurden am 9. / 10., 16. / 17. und 24. / 25. Juli sowie am 6. / 7. August 2011 gegeben. Die Bewässerungsmengen betragen pro Tag 0,5 bis 1,0 l pro Tropfloch; das entspricht 7,5 bis 15 m³ auf einer Fläche von 1,5 ha.

Für die Analyse der pflanzenverfügbaren Wassermengen wurde der volumetrische Bodenwassergehalt vom 24.3.2011 bis 22.12.2011 mittels FDR-Sonden des Typs ThetaProbe Soil Moisture Sensor - ML2x erfasst. Hierzu wurden die Sonden stationär im jungen (Sorte ‚Pirella‘) und alten Bestand (Sorte ‚Rubinette‘) jeweils in den Tiefen 10, 30 und 60 cm eingebaut. Die Einbautiefen orientierten sich dabei an der Wurzelsystemausprägung der Bäume, so dass sich die Sonden über, im und unterhalb des Hauptwurzelsystems befanden. Die Sonden im vierten Standjahr lagen unter einem Tropfloch, die Sonden im 15. Standjahr zwischen zwei Tropflöchern (vgl. Abb. 2). Zusätzlich wurden mit mobilen FDR-Sonden Referenzwerte am Anfang der Baumzeile des alten Bestandes und im Grasstreifen erhoben.

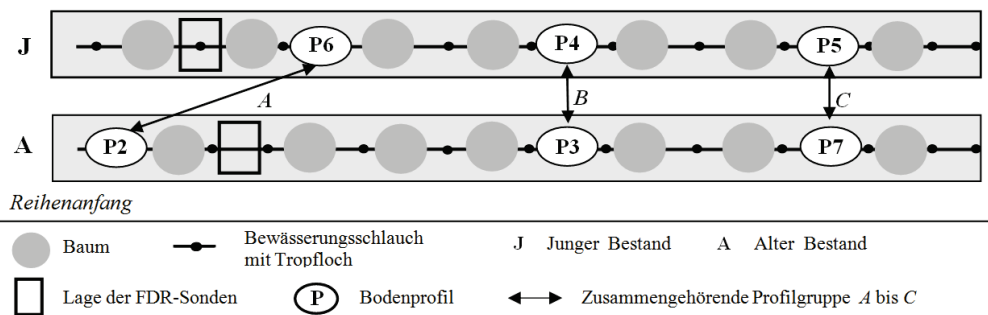


Abb. 2 Schematische Darstellung der Lage der FDR-Sonden und der Bodenprofile P2 bis P7 im Bestand. Die sich gegenüber liegenden Profile sind als Profilgruppen A bis C gekennzeichnet (eigene Darstellung).

Fig. 2 Schematic figure of FDR-probe locations and soil profiles P2-P7 within the orchards. Soil profiles opposite each other are labelled as profile groups A to C (own schematic figure).

Die Voraussetzungen für die Bodenwasserdynamik wurden anhand von pedologischen und bodenhydrologischen Parametern im Labor ermittelt. Hierfür wurden in sechs Profilen – je drei im 4. und 15. Standjahr (vgl. Abb. 2) – in den Tiefen 10, 30 und 60 cm ungestörte Stechzylinderproben entnommen. Um Erkenntnisse hinsichtlich der Infiltration zu erlangen, wurde die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit (kf) mit einem Labor-Permeameter nach dem Prinzip des konstanten Druckhöhenunterschiedes ermittelt und der kf-Wert im Sinne des Darcyschen Gesetzes berechnet (EIJKELKAMP 2008, HARTGE & HORN 2009). Da die Profile zwischen den Bäumen angelegt wurden und somit auf eine Größe von etwa 0,5 m² begrenzt waren, konnten für die kf-Bestimmung nicht genügend Proben aus einem Profil entnommen werden. Für eine repräsentative Datenerhebung muss die Anzahl der Proben jedoch möglichst groß sein. Grund hierfür ist, dass die Wasserleitfähigkeit durch die Eigenschaften des Porensystems bestimmt ist (HARTGE & HORN 2009), welches in seiner Ausprägung gerade mit steigendem Tonanteil des Boden kleinströmig sehr heterogen sein kann. Bei der Auswertung hat sich außerdem gezeigt, dass der Boden auf kleinstem Raum in seiner Horizontmächtigkeit stark schwankte; auch dies kann eine differenzierte Porensystemausprägung in gleicher Bodentiefe zur Folge haben. Aus diesem Grund wurden die Proben jeder Tiefe der

sich jeweils gegenüberliegenden Profile als zusammengehörend behandelt (Profilgruppen A bis C; vgl. Abb. 2), so dass für jede Profilgruppe je Bodentiefe sechs Proben vorlagen.

Für Aussagen über die Wasserspeicherung und -verfügbarkeit im Boden wurden Wasserretentionskurven ermittelt. Hierfür wurden präparierte Bodenproben (nach DAMMANN 2011) mit einer Höhe von 1 cm durch Überdruck im Drucktopf-Extraktor bis pF 4,2 entwässert. Mit Hilfe der Wasserspannungs-Wassergehalts-Kurven wurden die Bodenwasserkennwerte Feldkapazität (FK), nutzbare Feldkapazität (nFK) und Totwasser sowie die Porengrößenverteilung ermittelt. Anhand der präparierten Proben wurde ebenfalls die Lagerungsdichte bestimmt.

Die Bestimmung der Korngrößenverteilung (Mastersizer S long bed Ver. 2.14), der organischen Substanz (Glühverlust), des Carbonatgehaltes (Scheibler-Apparatur) sowie des pH-Wertes und der elektrischen Leitfähigkeit (pH/mV-Meter 539) erfolgte an gestörten Proben. Dafür wurden nach der kf-Bestimmung aus den Stechzylinderproben jeder Bodentiefe eines jeden Profils Mischproben erstellt und nach der Lufttrocknung der jeweiligen Methodik entsprechend weiterverwendet.

Weiterhin wurde über den gesamten Untersuchungszeitraum die phänologische Entwicklung erfasst und in Beziehung zur Bodenwasserdynamik gesetzt. Um die Verdunstungsleistung der Bestände quantifizieren zu können, wurde außerdem der Blattflächenindex (BFI) mit dem LAI-2000 Plant Canopy Analyzer ermittelt. Die Messung erfolgte bei voller Bestandsentwicklung nach der Ernte.

Die Klimadaten wurden durch eine Wetterstation erfasst, die sich auf dem Obsthof befindet und vom Institut für Geowissenschaften und Geographie der MLU Halle-Wittenberg, Fachbereich Geoökologie, betrieben wird. Der Niederschlag wurde nach den Angaben von RICHTER (1995, zitiert in DVWK 1996) durch den mittleren prozentualen Niederschlagsmessfehler einer Wetterstation in stark geschützter Lage korrigiert. Ziel war es, den Witterungsverlauf zu charakterisieren und diesen in Bezug zur Bodenwasserdynamik zu setzen. Weiterhin dienen die Daten als Grundlage für die Ermittlung der potentiellen (ET_p) und aktuellen (ET_a) Verdunstung der Apfelbaumbestände. Da die Ergebnisse bei den einzelnen Formeln stark voneinander abweichen können (SPONAGEL 1980, HAFERKORN 2000), wurden verschiedene Rechenverfahren vergleichend angewandt (ET_p nach Haude, Turc* 1,1, Turc-Wendling, Penman-Wendling, Gras-Referenzverdunstung ET₀). Zusätzlich kamen solche Formeln zur Anwendung, die neben den meteorologischen Faktoren auch die Vegetation über den BFI nach BURMAN & POCHOP (1994) und den Bestandskoeffizienten *kc* für *Malus domestica* Borkh. nach ALLEN et al. (1994) einbezogen. Bei letzterem Ansatz wird der Bestand in der Berechnung berücksichtigt, indem die ET_p je nach phänologischer Entwicklung mit dem jeweiligen Korrekturfaktor *kc* für *Malus domestica* multipliziert wird; hierbei fließt der BFI indirekt mit ein. Für die Bestimmung der ET_a wurde ein Modell nach WENDLING (1984) verwendet, welches den Bodenwasservorrat des effektiven Wurzelraumes in die Berechnung mit einbezieht (vgl. DVWK 1996). Die Ermittlung des langjährigen Mittels der ET_p, das ebenso grundlegend für die Berechnung ist, erfolgte auf Grundlage der ET_p nach Turc-Wendling.

Um die wasserhaushaltliche Situation beurteilen zu können, wurde auf Grundlage der berechneten ET_p außerdem die klimatische Wasserbilanz ermittelt.

4 Ergebnisse

4.1 Phänologische Entwicklung und Bestandsmorphologie

Die Vegetationsperiode begann 2011 Anfang April und endete aufgrund lang anhaltend hoher Temperaturen erst Mitte Dezember. Die phänologische Entwicklung der untersuchten Apfelbestände vollzog sich weitestgehend parallel. Der Beginn der Blüte (Ende April, dem mehrjährigen Mittel (27.4., DWD 2010) entsprechend) und der Zeitpunkt der Fruchtbildung (Mitte Mai) haben in beiden Beständen parallel stattgefunden. Im Zeitpunkt des Fruchtfalls unterschied sich die Entwicklung. Die im jungen Bestand angebaute Apfelsorte ‚Pirella‘ gehört zu den frühen Sorten, weshalb in diesem bereits Ende August geerntet

wurde. Die im alten Bestand kultivierte ‚Rubinette‘ gehört dagegen zu den späten Sorten, so dass in diesem Bestand die Ernte erst Ende September stattfand. Die Laubfärbung setzte bei beiden Beständen Mitte November ein. Dabei war festzustellen, dass sich bei ‚Pirella‘ die Laubfärbung viel langsamer vollzog als bei ‚Rubinette‘. Dementsprechend kam es im alten Bestand Anfang / Mitte Dezember und im jungen Bestand erst Mitte / Ende Dezember zum Laubfall.

Bei voller Bestandsentwicklung und nach Ausschluss von Extremwerten wurde für das 4. Standjahr ein BFI von 2,1 und für das 15. Standjahr ein BFI von 2,5 ermittelt.

4.2 Klimatische Faktoren in der Vegetationsperiode

Das Jahr 2011 war mit 409 mm (korrigiert 443 mm) Niederschlag niederschlagsarm. Innerhalb der Vegetationsperiode (1. April bis 15. Dezember) wurden 360 mm (korrigiert 390 mm) Niederschlag gemessen.

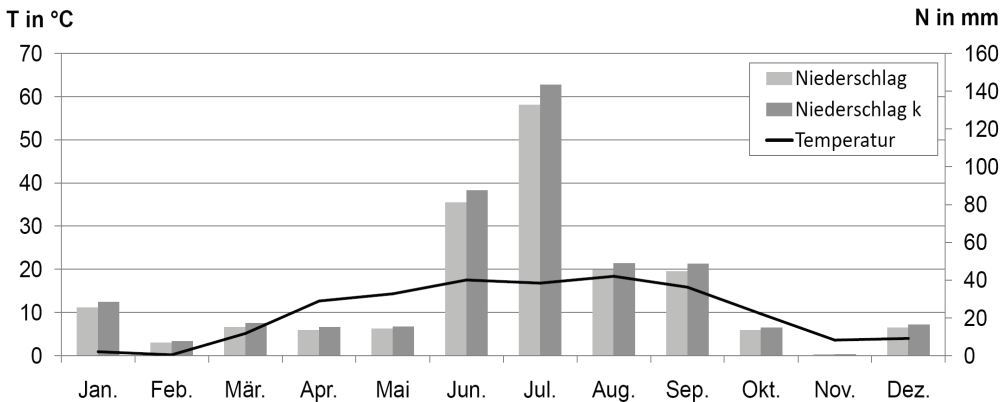


Abb. 3 Klimadiagramm Querfurt 2011 mit korrigiertem Niederschlag (k) in mm (Datengrundlage: Wetterstation Querfurt).

Fig. 3 Climate data for Querfurt (2011) including corrected precipitation values (Niederschlag k) in mm (data source: weather station Querfurt).

Vor allem zu Beginn der Vegetationsperiode wurden äußerst geringe Niederschläge (Summe April - Mai < 15 mm) bei gleichzeitig hohen Temperaturen, niedriger Luftfeuchte und hohen Globalstrahlungswerten (hoher atmosphärischer Verdunstungsanspruch) verzeichnet. Die Betrachtung des hydrologischen Jahres 2010 ließ vermuten, dass der Bodenwasservorrat jedoch vor Beginn der Vegetationsperiode durch die Winterniederschläge positiv beeinflusst wurde. Die Sommermonate können als recht feucht bezeichnet werden (vgl. Abb. 3). Dabei ist der Juni v. a. in der zweiten Monatshälfte durch höhere Niederschläge gekennzeichnet. Bis zum Ende der Vegetationsperiode waren die Monate wiederum nur durch geringe Niederschläge geprägt. Insgesamt traten die Niederschlagsereignisse meist in Form von Starkniederschlägen (> 10 mm) auf.

4.3 Pedologische Indikatoren

Der Boden am Standort ist dem Bodentyp der Schwarzerden zuzuordnen. Die Horizontmächtigkeit variiert auf kleinstem Raum sehr stark (vgl. Abb. 4). Die Profile am Reihenanfang (P2, P6) mit der Horizontabfolge 1Axh-1(c)C verzeichnen eine Ah-Horizontmächtigkeit von 40 bis 45 cm. Etwa 50 m weiter im Verlauf der Baumreihen weisen die Profile bei gleicher Horizontabfolge eine Ah-Mächtigkeit von 30

bis 40 cm auf (P3, P4). Nochmals 100 m weiter im Reihenverlauf ist der ursprüngliche 40 cm mächtige Ah-Horizont durch ein 35 cm mächtiges Kolluvium überlagert, wodurch für diese Profile eine Horizontabfolge von 2M-1A_{sh}-1(c)C gegeben ist (P5, P7). Für alle Bodentiefen sind eine intensive Bioturbation und Wurzelgänge charakteristisch.

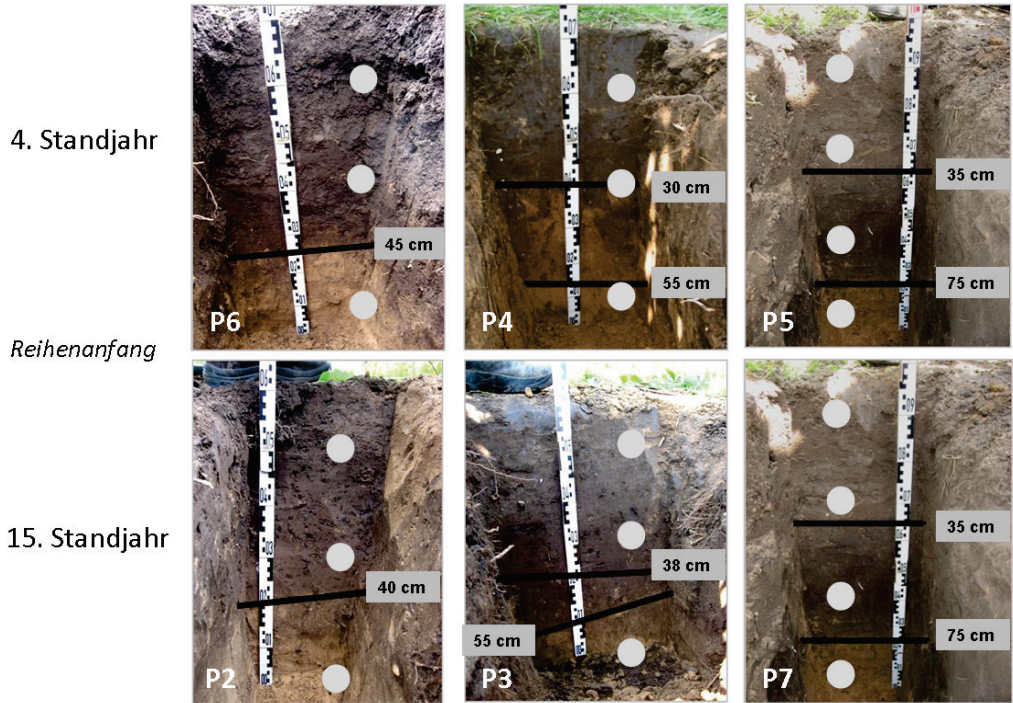


Abb. 4 Abbildung der untersuchten Bodenprofile. Die schwarzen Markierungen kennzeichnen den Wechsel zwischen den Bodenhorizonten, die grauen Punkte markieren die Entnahmetiefe der Bodenproben (Foto: J. Baruck).

Fig. 4 Figure of the analysed soil profiles: black lines delineate soil horizons, gray dots mark depths from which soil samples were taken (photo: J. Baruck).

Für alle Profile wurden in jeder Bodentiefe die Bodenart Lehmschluff (Ut3 nach Ad-hoc-Boden 2005) sowie geringe bis sehr geringe Lagerungsdichten ermittelt. Der nahezu kalkfreie Ah-Horizont ist durch einen hohen Anteil an organischer Substanz geprägt. Der C-Horizont verzeichnet dagegen einen schwachen bis mittleren organischen Anteil sowie schwankende Carbonatgehalte (vgl. Tab. 1).

Weiterhin wurden im Oberboden vorwiegend pH-Werte im neutralen Bereich ermittelt. Ausnahmen bilden die kolluvial überprägten Profile mit leicht sauren pH-Werten (6,5 und 6,2). Im Hauptwurzelraum wurden in der Regel pH-Werte im leicht sauren Bereich und in 60 cm im leicht basischen Bereich gemessen (vgl. Tab. 1). Hinsichtlich der elektrischen Leitfähigkeit ist auffällig, dass die Leitfähigkeiten im Hauptwurzelraum und zum Teil auch im Oberboden deutlich niedriger sind als unterhalb des Hauptwurzelraumes. Nur für die kolluvialen Profile war festzustellen, dass die elektrische Leitfähigkeit in allen Bodentiefen gleich niedrig war. Es kann kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Höhe der elektrischen Leitfähigkeit und der Fertigation hergestellt werden.

Tab. 1 Zusammenfassung der pedologischen Kennwerte aller Bodenprofile in den untersuchten Bodentiefen (dB - Lagerungsdichte; Ut3 - Lehmschluff (Ad-hoc-AG Boden 2005)).

Tab. 1 Pedological parameters of all soil profiles in the analysed soil depths (dB - bulk density; Ut3 - loam silt (Ad-hoc-AG Boden 2005)).

Bodentiefe [cm]	Bodenart	dB [g cm ⁻³]	Organische Substanz [Gew. %]	CaCO ₃ [%]	pH	Elektrische Leitfähigkeit [µs/cm]
10	Ut3	1,1 - 1,2	3,8 - 4,2	< 3	7	132 - 215
30	Ut3	1,2	3,8 - 4,0	< 3	6,5 - 7	105 - 108
60	Ut3	1,1 - 1,3	1,8 - 2,4 P5, P7: 4,0 - 4,4	P5, P7: < 1 P4, P6: 4 - 5 P2, P3: 11 - 17	8	164 - 227

4.3.1 Porenvolumen, Porengrößenverteilung und Wasserretentions-Kurve

Der Boden am Standort ist durch ein hohes bis sehr hohes Porenvolumen in jeder Bodentiefe gekennzeichnet (Ad-hoc-AG Boden 2005), welches auf den hohen Anteil an Grobporen zurückzuführen ist (vgl. Tab. 2).

Tab. 2 Porenvolumen und Porengrößenverteilung zusammengefasst für alle untersuchten Bodenprofile.

Tab. 2 Porosity and pore size distribution for all analysed soil profiles.

Bodentiefe [cm]	Grobporen [%]	Mittelporen [%]	Feinporen [%]	Porenvolumen [%]
10	25 - 32	13 - 19	11 - 13	55 - 57
30	27 - 32	13 - 17	11 - 13	54 - 56
60	24 - 30	15 - 19	8 - 15	53 - 57

Tab. 3 Merkmalsausprägung der Bodenwasserkennwerte Feldkapazität (FK), nutzbare Feldkapazität (nFK) und Permanenter Welkepunkt (PWP) in Vol. % in den untersuchten Bodentiefen aller Profile.

Tab. 3 Values for soil water parameters including field capacity (FK), available water content (nFK), and permanent wilting point (PWP) in Vol. % in the analysed soil depths of all profiles.

10 cm							
	P2	P6	P3	P4	P7	P5	Mittel
FK	29,5	34,6	29,5	32,6	33,0	30,7	31,7
nFK	17,4	23,7	17,5	19,6	21,8	18,6	19,8
PWP	12,1	10,9	12,0	13,0	11,2	12,1	11,9
30 cm							
FK	31,1	32,9	30,3	30,1	31,6	33,6	31,6
nFK	18,5	22,2	19,7	18,4	21,4	20,9	20,2
PWP	12,6	10,7	10,6	11,7	10,2	12,7	11,4
60 cm							
FK	29,4	33,8	29,8	32,2	37,4	34,3	32,8
nFK	19,8	24,0	21,5	23,9	23,5	19,8	22,1
PWP	9,6	9,8	8,3	8,3	13,9	14,5	10,7

Die Porengrößenverteilung spiegelt sich in den Wasserspannungs-Wassergehalts-Kurven wider (vgl. Tab. 3). Die Feldkapazität ist in allen Bodentiefen als mittel einzustufen. Der Totwasseranteil variiert räumlich im Oberboden und im Hauptwurzelraum wenig und ist ebenfalls als mittel einzuordnen. In 60 cm variiert er dagegen merklich zwischen gering (8 Vol.%) bis mittel (15 Vol.%). Der Grund hierfür ist der hohe Totwasseranteil der kolluvialen Profile in dieser Bodentiefe (14 und 15 Vol.%), welcher auf einen hohen Feinporenanteil zurückzuführen ist. Für die nutzbaren Feldkapazitäten ergeben sich damit, in Abhängigkeit des FK-Niveaus und dem Anteil an nicht pflanzenverfügbarem Wassers, in allen Bodentiefen meist Werte auf mittlerem Niveau (Ad-hoc-AG Boden 2005). Nur lokal sind hohe nutzbare Feldkapazitäten gegeben (Profile P6 und P7).

4.3.2 Gesättigte Wasserleitfähigkeit

Der Wasserleitfähigkeitskoeffizient k_f aller Parallelbestimmungen ($n = 6$ je Bodentiefe jeder Profilgruppe) nimmt in allen Bodentiefen in der Regel Minimalwerte im Potenzbereich $10^{-3} \text{ cm s}^{-1}$ an. Nur lokal konnten im Hauptwurzelraum Leitfähigkeiten von $10^{-4} \text{ cm s}^{-1}$ als Minimum festgestellt werden. Die Maximalwerte liegen in allen Bodentiefen im Bereich $10^{-1} \text{ cm s}^{-1}$ und $10^{-2} \text{ cm s}^{-1}$, wobei keine Präferenz für eine der beiden Potenzen festzustellen war. In der Regel sind in allen Bodentiefen k_f -Werte im Bereich von $10^{-2} \text{ cm s}^{-1}$ dominierend (vgl. Abb. 5). Die Prüfung auf einen Zusammenhang zwischen der Quantität

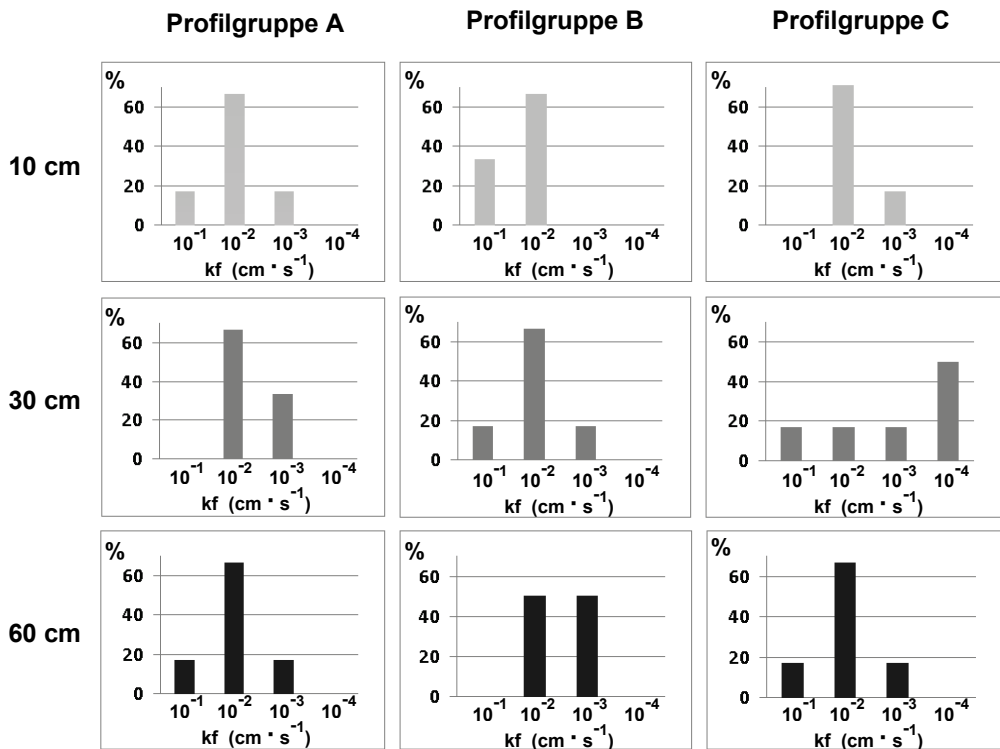


Abb. 5 Häufigkeitsverteilungen des Wasserleitfähigkeitskoeffizienten K_f in den Profilgruppen A bis C in 10, 30 und 60 cm Bodentiefe.

Fig. 5 Frequency distribution of the hydraulic conductivity coefficient K_f in the profile groups A to C at soil depths of 10, 30 and 60 cm.

der gesättigten Wasserleitfähigkeit und der Bodentiefe ergab einen Korrelationskoeffizient von $r = -0,1$. Für den Zusammenhang zwischen der Stärke der Wasserdurchlässigkeit und der Regenwurmanganzahl im Boden wurde ein Korrelationskoeffizient von $r = 0,5$ mit einer Signifikanz von 0,01 ermittelt. Es konnten tendenziell kleine Regenwurmgänge mit niedrigen und große mit hohen Wasserleitfähigkeiten in Verbindung gebracht werden.

4.4 Dynamik des Bodenwassers

Die Wassergehalte lagen in beiden Standjahren in allen Bodentiefen in einem ähnlichen Wertebereich (Tab. 4). Der Bodenwasservorrat war zu Beginn der Untersuchungen in allen Bodentiefen fast auf Feldkapazitätsniveau aufgefüllt. Im 4. Standjahr überschritten die Bodenwassergehalte in 10 und 30 cm Tiefe die FK sowohl im Zeitraum der Bewässerung als auch im Zeitraum größerer Niederschlagsmengen mehrfach. Unter dem Hauptwurzelraum erreichte die Bodenfeuchte dagegen nur selten die FK. Im 15. Standjahr kam es dagegen nur bei größeren Niederschlagsmengen i.d.R. auch nur im Oberboden zur Überschreitung der FK. In keinem der Profile wurde der PWP unterschritten (vgl. Tab. 4 und Abb. 6).

Tab. 4 Wertebereich des Wassergehalts in Vol.% im 4. und 15. Standjahr sowie die Wassergehalte bei Feldkapazität (FK) und Permanentem Welkepunkt (PWP) in den verschiedenen Bodentiefen (FK/PWP-Werte aus Bodenprofil P2).

Tab. 4 Range of soil water content (in Vol.%) for the sampled orchards (stand age: 4 and 15 years) and soil water contents at field capacity (FK) and permanent wilting point (PWP) at different soil depths (FK/PWP-values from soil profile M 2).

	Bodentiefe in cm											
	10				30				60			
Volumetrischer Wassergehalt	Min	Max	FK	PWP	Min	Max	FK	PWP	Min	Max	FK	PWP
4. Standjahr	23	33	30	12	26	34	3	13	2	30	30	10
15. Standjahr	24	33	30	12	23	32	3	13	2	30	30	10

In beiden Standjahren verzeichnete die Bodenfeuchte im Oberboden die stärksten Schwankungen. Die Amplitude war hierbei im 4. Standjahr am größten. Mit zunehmender Tiefe unterlag der Wassergehalt immer geringeren Schwankungen. Weiterhin ist zu erkennen, dass, wenn es zu einer Auffüllung des Bodenwasservorrates in allen Tiefen kam, dies meist unmittelbar in allen Bodentiefen gleichzeitig erfolgte, wenn auch in unterschiedlicher Intensität. Aus den Daten wird deutlich, dass es in 60cm Bodentiefe nur nach größeren Niederschlagsereignissen zu steigenden Bodenwassergehalten gekommen ist. Außerdem ist auffällig, dass es im 4. Standjahr im Zeitraum Ende Juni bis Mitte September, in Abhängigkeit von Niederschlagsereignissen, zur Beeinflussung des Bodenwassergehaltes in 60cm gekommen ist. Im 15. Standjahr ist eine solche Beeinflussung nur bis Mitte Juni zu erkennen. An den Verläufen der Bodenfeuchte im Zeitraum der durchgängigen Bewässerung ist zu erkennen, dass es in beiden Beständen zur Abnahme der Bodenfeuchte in allen drei Bodentiefen gekommen ist. Auch wenn die Wassergehalte im 4. Standjahr über und im Hauptwurzelraum durch Zu- und Abnahmen geprägt sind, verzeichnen sie insgesamt einen abnehmenden Trend. Im 15. Standjahr ist dieser Trend eindeutiger. In beiden Beständen hat die Bodenfeuchte unterhalb des Hauptwurzelraumes gleichsam ohne Schwankungen abgenommen. Ebenso auffällig ist, dass es im 4. Standjahr in allen Bodentiefen gleichzeitig zur Erhöhung der Wassergehalte nach dem ersten großen Niederschlagsereignis Ende Juni gekommen ist. Im 15. Standjahr vollzog sich dagegen die Erhöhung des Bodenwassergehaltes zuerst nur im Oberboden und mit etwa einer Woche Verzögerung ebenso im und unterhalb des Hauptwurzelraumes. Am Ende der Messreihe liegt im 4. Standjahr die Bodenfeuchte

in allen drei Bodentiefen wieder auf annähernd demselben Niveau wie zu Beginn der Messreihe. Im 15. Standjahr ist dies in 10 und 30 cm ebenfalls gegeben, jedoch nicht in 60 cm Tiefe.

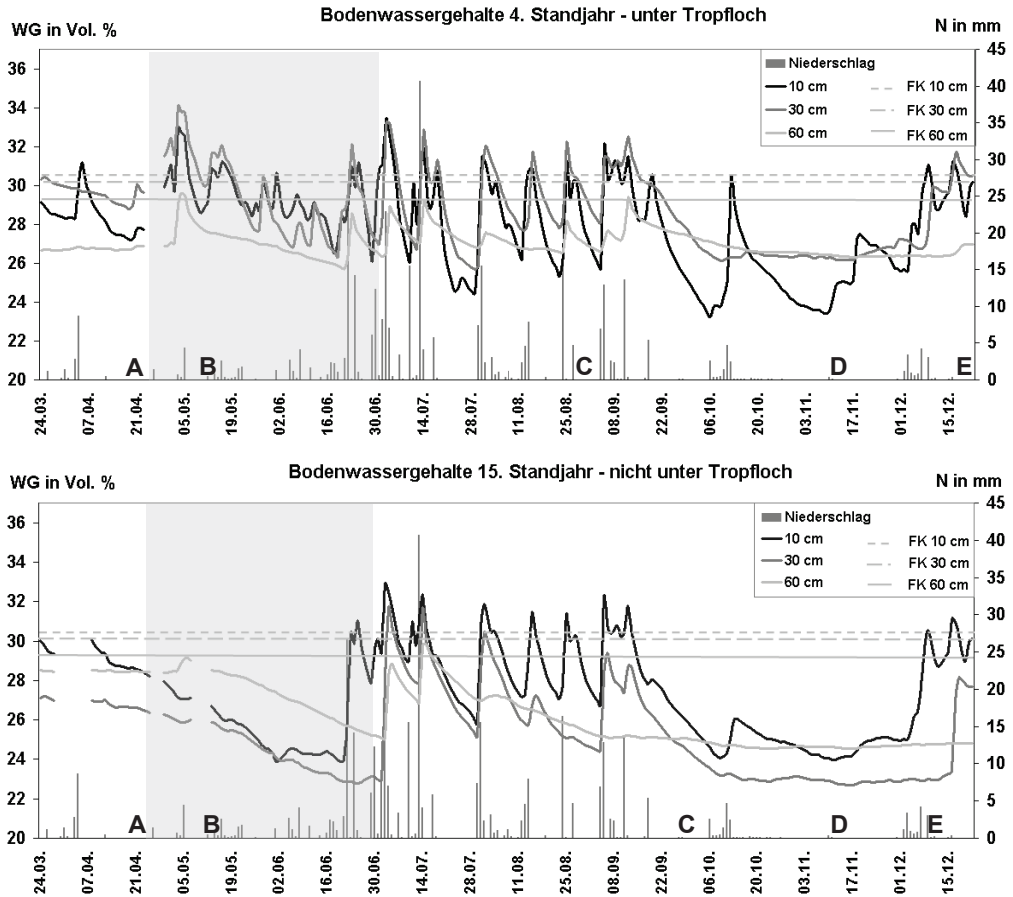


Abb. 6 Darstellung der volumetrischen Bodenwassergehalte im 4. und 15. Standjahr, in Verbindung mit der phänologischen Entwicklung, dem Niederschlags- und Bewässerungswasser sowie der Feldkapazität FK in den einzelnen Bodentiefen (Werte von Profil P2). (A – Blütenbildung, B – Fruchtbildung, C – Ernte, D – Laubfärbung, E – Laubfall). Der grau hinterlegte Bereich kennzeichnet den Zeitraum der durchgängigen Bewässerung).

Fig. 6 Diagram of volumetric soil water contents for the sampled orchards (stand age: 4 and 15 years) including data on phenological stages, precipitation and irrigation amounts, and field capacity (FK) at different soil depths (values from profile P2). (A - flower formation, B - fructification, C - harvest, D - leaf colouration, E - leaf fall). The shaded area marks the period of continuous irrigation.

4.5 Verdunstungsleistung der Bestände und Klimatische Wasserbilanz

Die Unterschiede in den Ergebnissen für die potentielle Verdunstungsleistung mit den verschiedenen Verfahren sind im Gesamten durchaus beträchtlich. Dabei geben die Beträge der ET_0 , $ET_{P_{Haude}}$ und $ET_{P_{Penman-Wendling}}$ mit einer Gesamtverdunstung von über 500 mm einen gemeinsamen Wertebereich

wider (ET_0 542 mm, $ET_{P_{Haude}}$ 544 mm, $ET_{P_{Pe-We}}$ 515 mm). Demgegenüber stehen die Ergebnisse der $ET_{P_{Turc * 1,1}}$ und $ET_{P_{Turc-Wendling}}$ mit einer Gesamtverdunstung von über 600 mm ($ET_{P_{Turc * 1,1}}$ 621 mm, $ET_{P_{Tu-We}}$ 695 mm) (vgl. Abb. 7). Dies zeigt deutlich die Relevanz, in solchen Studien verschiedene Methoden anzuwenden, um die Varianz der Ergebnisse deutlich zu machen. (Weiterführend ist dabei auch die unterschiedliche Ergebnisausprägung der Methoden von Interesse, die bei der Anwendung in Gebieten unterschiedlicher naturräumlicher Bedingungen erzielt werden.)

Unabhängig der Unterschiede in der Verdunstungsleistung stieg für alle verwendeten Verfahren die Verdunstung bis zu einem Maximum im Juni stetig an (ET_0 103 mm, $ET_{P_{Pe-We}}$ 101 mm, $ET_{P_{Turc * 1,1}}$ 122 mm, $ET_{P_{Tu-We}}$ 136 mm, ET_a 129 mm). Lediglich die $ET_{P_{Haude}}$ hatte bereits im Mai ihr Maximum bei 107 mm erreicht. Danach sank die Verdunstungsleistung bis zum Ende der Vegetationsperiode wieder konstant. Die aktuelle Evapotranspiration des 4. und 15. Standjahres unterscheidet sich in ihrer Summe von April bis November nur um 15 mm, weshalb die ET_a für vergleichende Betrachtungen zur ET_p nicht bestands-spezifisch getrennt behandelt wurde. Die auf der $ET_{P_{Tu-We}}$ beruhende ET_a kann keinem dieser Gruppen exakt zugeordnet werden.

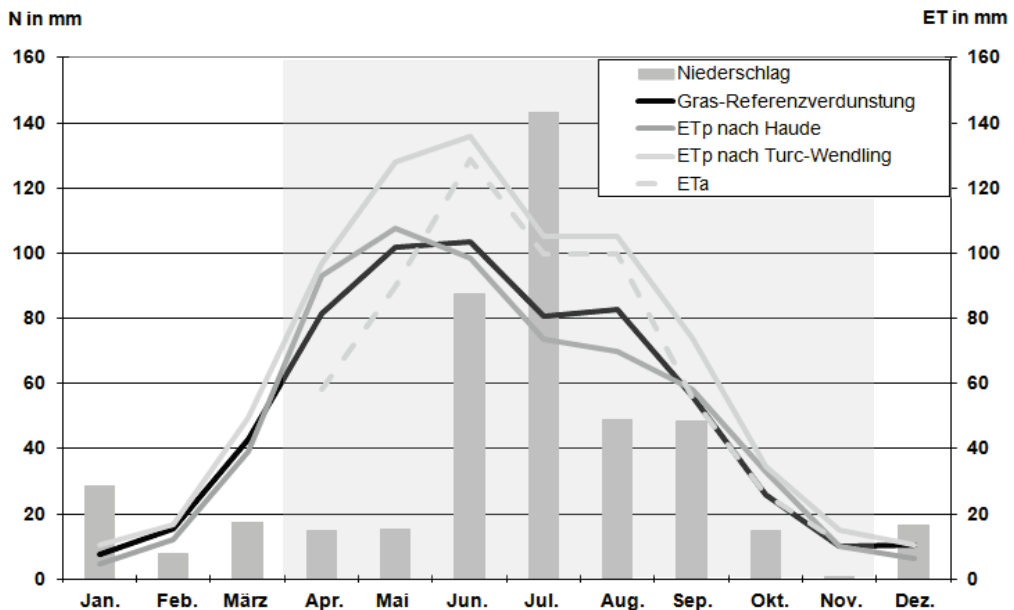


Abb. 7 Verlauf der Monatssummen der Verdunstung in mm ausgewählter Rechenverfahren innerhalb der Vegetationsperiode 2011 (grau hinterlegt) zusammen mit der korrigierten Niederschlagsverteilung (N) in mm.

Fig. 7 Diagram of monthly evaporation totals (in mm) for selected calculation methods during the growing season 2011 (shaded) and corrected precipitation data (N) (in mm).

Die Korrektur der ET_p durch den Bestandskoeffizienten k_c führt dazu, dass die korrigierte Verdunstungsleistung in der gesamten Bestandsentwicklung für beide Bestände dem Verlauf der ET_{pGras} folgt (vgl. Abb. 8). Die Verdunstungsrate zu Beginn der Bestandsentwicklung in den Monaten April und Mai hat den größten Abstand zur ET_{pGras} . In der Zeit der vollen Bestandsentwicklung und der Fruchtreife von Juni bis August findet in beiden Beständen eine Annäherung an die ET_{pGras} statt. Aufgrund der verschiedenen Erntetermine ist im September ein Unterschied zwischen den beiden Beständen zu verzeichnen. Für die Modifizierung der Verdunstungsrate durch den BFI zeigt sich ein ähnliches Bild (vgl. Abb. 8). Bei nied-

rigeren Werten folgt die korrigierte Verdunstung auch hier dem Verlauf der ETpGras. Da der ermittelte BFI für die gesamte Vegetationsperiode als gleich bleibend angenommen wurde, sind keine Aussagen über Veränderungen der Verdunstungsleistung mit der Bestandsentwicklung gegeben. Für das 15. Standjahr ist eine höhere Verdunstungsleistung zu verzeichnen als für das 4. Standjahr.

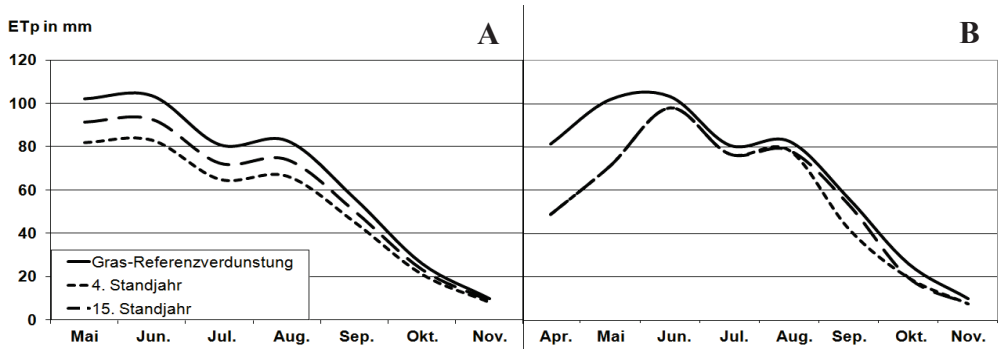


Abb. 8 Potentielle Evapotranspiration am Beispiel der ET_0 multipliziert mit dem Bestandskoeffizienten k_c für *Malus domestica* nach ALLEN et al. (1994) [A] und in Verbindung mit dem Blattflächenindex [B] für die Bestände im 4. und 15. Standjahr innerhalb der Vegetationsperiode 2011.

Fig. 8 Potential evapotranspiration derived by multiplying ET_0 with the crop coefficient k_c for *Malus domestica* (ALLEN et al. 1994) [A] and linking it to Leaf Area Index [B] for the sampled orchards (stand age: 4 and 15 years) during the growing season in 2011.

Für die klimatische Wasserbilanz innerhalb der Vegetationsperiode ergeben sich nach allen Ansätzen negative Bilanzen (vgl. Abb. 9). Eine Ausnahme bildet nur der Juli. Die stärksten negativen Bilanzen wurden in der beginnenden Bestandsentwicklung im April und Mai verzeichnet. Nach diesem Ergebnis war die Vegetationsperiode insgesamt durch einen defizitären Wasserhaushalt geprägt.

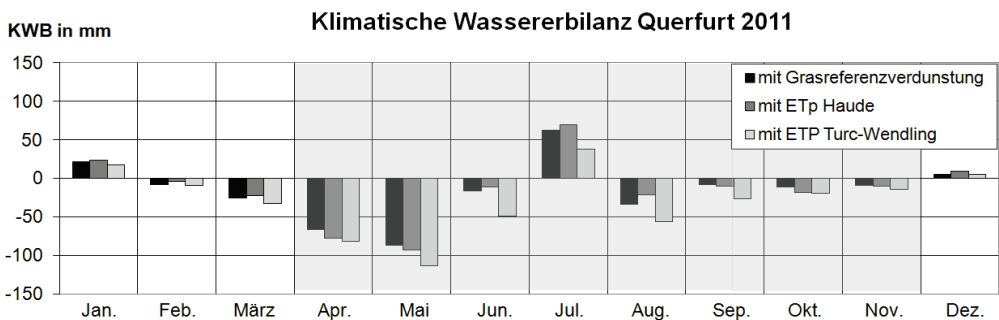


Abb. 9 Klimatische Wasserbilanz für 2011 am Standort Querfurt auf Grundlage der Gras-Referenzverdunstung, der ETp nach Haude und nach Turc-Wendling sowie dem korrigierten Niederschlag. Die Vegetationsperiode ist grau hinterlegt.

Fig. 9 Climatic water balance for Querfurt (2011) based on grass-reference evapotranspiration, ETp after Haude, ETp after Turc-Wendling, and corrected precipitation data. The growing season is grey-shaded.

5 Diskussion

5.1 Pedologische Voraussetzungen für den Bodenwasserhaushalt

Der am Standort gegebene Lehmschluffboden gehört zu den ertragsreichsten Böden im Apfelanbau (FISCHER 2002). Zusammen mit den ermittelten physikalischen, biologischen und chemischen Eigenschaften weist er gute Voraussetzungen zur Wasserspeicherung und -verfügbarkeit auf.

Es ist außerdem positiv zu bewerten, dass der Ah-Horizont trotz seiner kleinräumig stark schwankenden Horizontmächtigkeit mindestens eine solche Stärke aufweist, bei der der Hauptwurzelraum durch den Ah-Horizont umfasst wird. Lediglich bei einer Ah-Horizontmächtigkeit von 30 cm befindet sich der untere Bereich des Hauptwurzelraums im Übergang zum C-Horizont. Auch wenn mit dem hohen Anteil an organischer Substanz im Ah-Horizont über die Bildung einer stabilen grobporigen Bodenstruktur (FISCHER 2002) eine bessere Voraussetzung für ein günstiges Wasserspeichungsvermögen als im C-Horizont gegeben ist, sind keine Auswirkungen auf die Wasserverfügbarkeit in Abhängigkeit des Bodenhorizonts zu erkennen. Wie aus den Wasserretentionskurven hervorgeht, ändern sich die bodenhydrologischen Eigenschaften der Wasserspeicherkapazität und -verfügbarkeit mit zunehmender Bodentiefe nicht signifikant. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Boden in jeder Tiefe durch dieselbe Textur, Lagerungsdichte, Porenvolumina und -größenverteilungen charakterisiert ist.

Mit der in allen Bodentiefen verzeichneten hohen biologischen Aktivität ist eine gute Voraussetzung für die Nährstoffnachlieferung aus dem Humus gegeben. Diese ist umso intensiver, je höher die biologische Aktivität ist (FISCHER 2002). In dieser Hinsicht liegt auch die Bodenreaktion im Hauptwurzelraum in einem für Apfelgehölze günstigen Bereich, bei dem viele Mikro- und Makronährstoffe pflanzenverfügbar sind (FISCHER 2002). Von Vorteil ist die hohe Nährstoffverfügbarkeit, weil durch diese der Wasserverbrauch für den Biomassertrag gesenkt werden kann (EHLERS 1996, FISCHER 2002). Die Regenwurmakktivität ist auch hinsichtlich der Infiltrationseigenschaften des Bodens von Bedeutung, da diese ein Porensystem hoher Kontinuität schaffen (EHLERS 1996). Zusammengefasst sind im gesamten effektiven Wurzelraum nahezu gleiche Voraussetzungen für die Wasserversorgung der Pflanzen gegeben.

Porenvolumen, Porengrößenverteilung und Kennwerte des Bodenwassers

Das ermittelte Porenvolumen entspricht sowohl der typischen Charakteristik einer Schwarzerde (ZECH 2002), als auch dem maximal erreichbaren Porenvolumenwert für Schluffe (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010). Die Porengrößenverteilung zeigt dabei eine für die ermittelte Bodenart unerwartete Ausprägung auf (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010). Ein möglicher Grund hierfür ist, dass die Bestimmung der Porengrößenverteilung auf Grundlage der Wasserretentionskurven erfolgte. Die Porengrößenverteilung weist auf eine geringere Wasserspeicherkapazität hin, als diese bei Lehmschluff erwartet werden kann (Ad-hoc-AG Boden 2005). Bestätigt wird diese Annahme durch die ermittelten Wasserretentionskurven. Da Apfelgehölze einen hohen Wasserbedarf haben, ist dies hinsichtlich der Niederschlagsverhältnisse am Standort zunächst kritisch zu sehen. Die Ausprägung der Mittel- und Feinporenanteile bilden dennoch eine gute Grundlage für eine günstige Wasserspeicherung und -verfügbarkeit. Es konnte ermittelt werden, dass die nutzbare Speicherkapazität ausreichend für die Bereitstellung einer ausreichenden Menge an pflanzenverfügbarem Wasser ist. Dies zeigt sich darin, dass trotz der geringen Niederschlags- und Bewässerungsmengen bei gleichzeitig hohen Verdunstungsraten zu keinem Zeitpunkt der Vegetationsperiode Wassergehalte nahe des Permanenten Welkepunktes erreicht wurden. Der hohe Anteil an Grobporen gewährleistet demgegenüber eine günstige Infiltration und eine effektive Umverteilung des Wassers in tiefere Bodenschichten (EHLERS 1996, FISCHER 2002). Bei der Interpretation dieser Ergebnisse muss jedoch bedacht werden, dass diese nur Auskunft über die Wassergehalte auf Basis der Bodenart geben. Rückschlüsse auf Einflüsse der natürlichen Lagerung und Aggregatstruktur auf die Wasserspeicherkapazität können nicht gezogen werden.

Gesättigte hydraulische Leitfähigkeit

Labor-Durchlässigkeitsmesser gewährleisten in der Regel eine hohe Genauigkeit der Messwerte für die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit (EIJKELKAMP 2008). Bei der Interpretation der Ergebnisse muss man sich dennoch bewusst sein, dass diese auf Grund der geringen Probenzahl nur begrenzt repräsentativ und deshalb vielmehr als Tendenz zu verstehen sind.

Die Ergebnisse liegen in einem Bereich häufiger Werte der Wasserleitfähigkeit von wassergesättigten Böden, die der Bodenart Schluff entsprechen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010). Die Dominanz der Beiträge im Bereich $10^{-2} \text{ cm s}^{-1}$ in allen Bodentiefen weist auf eine starke Beeinflussung der Wasserleitfähigkeit durch Sekundärporen hin (HARTGE & HORN 2009). Bestätigt wird dies u. a. durch den signifikanten Zusammenhang zwischen der Wasserdurchlässigkeit und der Regenwurmgangzahl. Weitere Gründe für die hohe hydraulische Leitfähigkeit können die primäre Porengrößenverteilung, die stabile Aggregatstruktur und die geringen Lagerungsdichten sein.

Der Boden am Standort weist damit auch ohne Bodenbearbeitungsmaßnahmen optimale Voraussetzungen für eine hohe Wasseraufnahmerate als auch eine gute Wasserverteilung in tiefere Bodenschichten auf. Besonders bei Starkniederschlägen, wie sie in den Sommermonaten mehrmals gegeben waren, ist ein guter Infiltrationsverlauf vor allem bei geringer Ausgangsbodenfeuchte wichtig (EHLERS 1996), damit es nicht zum Oberflächenabfluss kommt. Die hohe und schnelle Infiltration und Umverteilung des Wassers wird durch die Verläufe der Bodenfeuchte bestätigt.

Die Sekundärporenstruktur führt auch bei nicht wassergesättigtem Boden zu einem Makroporenfluss (KUNTZE et al. 1994), bei dem das Wasser schneller in tiefere Bodenschichten verlagert wird (EHLERS 1996). Dabei fließt ein Teil des Infiltrationswassers an der Bodenmatrix vorbei. Hinsichtlich der Wasserversorgung der Apfelbestände ist dies kritisch zu sehen. Bezüglich der am Standort ohnehin stark verminderten Grundwasserneubildungsrate (DÖRING 1997, KLAUER et al. 2000) ist dies hingegen positiv zu bewerten; zumal das Bewässerungswasser dem Grundwasser entnommen wird.

5.2 Bestandsmorphologie

Die Bestände verzeichnen – ihrem Alter entsprechend – einen voneinander abweichenden Blattflächenindex. Obwohl eine Beeinflussung durch sortentypische Veranlagungen in der morphologischen Entwicklung nicht ausgeschlossen ist, ist die generelle Bestandsmorphologie in erster Linie durch die Veredlungsunterlage, den Erziehungsschnitt in Spindelform und das Baumalter bestimmt. Die ermittelten Indizes liegen für das 15. Standjahr im unteren Bereich des in LINDICKE (2010) für Intensivanlagen angegebenen BFI von 2,5 bis 2,7 bzw. für das 4. Standjahr leicht darunter. Eine Überschätzung des Blattflächenindex ist aber nicht ausgeschlossen, da der Sensor des BFI-Messgerätes nicht zwischen Blattfläche und verholzten Pflanzenteilen unterschieden kann. Für die Verwendung des LAI-2000-Messgerätes im Obstbau gibt es noch wenig Erfahrung (BASTIAS & WIDMER 2002).

Aufgrund der größeren Blattfläche kommt es im 15. Standjahr, v. a. bei Niederschlagsmengen unter 10 mm, zu größeren Interzeptionsverlusten, wie sie u. a. OHLMEYER & HOYNINGEN-HUENE (1975), KUNTZE et al. (1994) und ETZINGER et al. (2009) beschreiben. Dies spiegelt sich merklich in der Bodenfeuchtedynamik des Oberbodens wieder. Wie groß der Unterschied zwischen den Beständen ist, kann nicht quantifiziert werden, da die Ausgangsbedingungen der Feuchtemessungen ungleich waren.

Die tatsächliche Durchwurzelungsintensität und -tiefe wurde indirekt über die elektrische Leitfähigkeit ermittelt. Voraussetzung für diese Überlegung war, dass kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Höhe der elektrischen Leitfähigkeit und der Fertigation hergestellt werden konnte und dass es einen Zusammenhang zwischen der Nährstoffaufnahme über das Bodenwasser und der Höhe der elektrischen Leitfähigkeit gibt. Demnach bestätigen die in allen Profilen in 30 cm Bodentiefe gegebenen niedrigsten Werte der elektrischen Leitfähigkeit, dass in diesem Bereich der Hauptwurzelraum lokalisiert ist. In 60 cm Bodentiefe kann deshalb nur von einer peripheren Wasserentnahme über den kapillaren Aufstieg in den Hauptwurzelraum

ausgegangen werden. Dass ein Wasserentzug in dieser Bodenschicht im phänologischen Verlauf stattfindet, wird in den Verläufen der Bodenfeuchte bestätigt. Jedoch sind, gerade in Böden mit einer begrenzten Wasserzufuhr, Wurzeln auch in tieferen Bodenschichten nicht ausgeschlossen, da diese sich in ihrem Wachstum hin zu „unerschlossenen“ Wasser- und Nährstoffvorräten des Bodens ausrichten (SCHOPFER & BRENNIKKE 2006). Bestätigt wird dies durch große Wurzelstränge v. a. bei den kolluvial überprägten Profilen. Die geschilderten Überlegungen werden durch die niedrigen pH-Werte in 30cm bekräftigt. Auch diese sind auf eine erhöhte Wurzelaktivität zurückzuführen. Die Ergebnisse deuten auf keine altersspezifischen Unterschiede in der Wurzelentwicklung hin. Sie bestätigen jedoch, dass schwach wurzelnde Apfelbäume nur einen geringmächtigen Wurzelraum für ihre Wasserversorgung nutzen (GRASHEY-JANSEN 2007b).

5.3 Verdunstungsleistung und Wasserverbrauch in Abhängigkeit des Bestandsalters

Eine Aussage über den Wasserverbrauch in Abhängigkeit des Bestandsalters auf Grundlage der Bodenwasserdynamik ist anhand der Datengrundlage nicht möglich. Über den Wasserverbrauch kann daher nur die Betrachtung der Evapotranspirationsraten eine Auskunft liefern. Insgesamt liegen die ermittelten Jahressummen der ET_p , abgesehen von der $ET_{p-Turc-Wendling}$, in einem Bereich, der für das Untersuchungsgebiet repräsentativ ist (DWD 2011). Um Aussagen über die Unterschiede in der Transpirationsleistung von jungen und alten Apfelbeständen machen zu können, ist eine kombinierte Betrachtung der Verdunstungsleistung unter Einbeziehung des k_c und BFI am aussagekräftigsten.

Unabhängig von dem verwendeten Berechnungsansatz liegen die Transpirationsraten unterhalb der potentiellen Verdunstung. Die Unterschiede in der Verdunstungsleistung unter Einbeziehung des Bestandskoeffizienten sind nicht auf das Bestandsalter, sondern auf die Pflückreife des Apfelbestandes zurückzuführen. Grund hierfür ist, dass neben der Blattfläche auch der Fruchtbehang die Verdunstungsleistung und damit den Wasserverbrauch wesentlich beeinflusst (MASAROVICOVÁ & NAVARA 1994, FISCHER 2002, ETZINGER et al. 2009). Im Zustand des fruchttragenden Baumes ist eine annähernd gleiche Transpirationsratenleistung in beiden Beständen gegeben. Durch die frühere Ernte im 4. Standjahr verzeichnet der junge im Vergleich zum alten Bestand aber einen insgesamt geringeren Wasserverbrauch; unabhängig vom Bestandsalter. Die Modifizierung der Evapotranspirationsleistung mit Hilfe des k_c ermöglicht demnach nur Aussagen über das Verdunstungsverhalten in Abhängigkeit von der generellen, bestandsaltersunabhängigen Entwicklung der Blattfläche und des Fruchtbehanges. Bei der Einbeziehung des BFI in die potentielle Bestandsverdunstung hingegen sind Aussagen hinsichtlich altersabhängiger Verdunstungsunterschiede möglich, jedoch ohne Berücksichtigung des Einflusses der Blattflächenentwicklung und des Fruchtbehanges innerhalb der Vegetationsperiode. Mit dieser Modifikation wird deutlich, dass ein älterer Bestand, aufgrund seiner größeren Blattfläche, eine größere Transpirationsleistung aufweist als ein junger Bestand. Im 15. Standjahr wird eine größere Strahlungsmenge durch das Blätterdach aufgefangen, welche photosynthetisch genutzt werden kann und dementsprechend zu höheren Transpirationsraten führt (EHLERS 1996).

5.4 Niederschlag und Bewässerung in Abhängigkeit des Wasserverbrauchs in der phänologischen Entwicklung

Die Vegetationsperiode im Jahr 2011 war sehr lang. Im Gegensatz zum mehrjährigen Mittel für den Blattfall für spätreifende Apfelfrüchte (7.11., DWD 2010), ist der Dezember ein äußerst später Eintrittstermin für den Laubfall. Hinzu kommt, dass die Vegetationsperiode besonders trocken war. Da eine lange Vegetationsperiode auch mit einem langen Wasserentzug aus dem Boden einhergeht (EHLERS 1996), ist diese Situation kritisch zu betrachten. Dies kommt durch die i.d.R. defizitären Bilanzen des Wasserhaushaltes zum Ausdruck. Auch die ungleiche Verteilung der Niederschläge und deren häufiges Aufkommen in Form von Starkregenereignissen sind problematisch zu sehen, da laut der LVG ERFURT (2009) eine gleichmäßige Niederschlagsverteilung für einen produktiven Apfelanbau wichtig ist. Geht man von den 60% des Jahresniederschlags aus, die von Mai bis September für eine optimale obstbauliche Produktion

fallen müssen (FRIEDRICH 1993), sind die meisten Niederschläge in diesem Zeitraum gefallen. Insgesamt waren diese jedoch in ihrer Menge nicht ausreichend für eine ideale Bestandsentwicklung. HANKE (1991) gibt für *Malus domestica* für diesen Zeitraum eine Mindestniederschlagsmenge von 350 mm an. Auch die Mindestjahresniederschläge von 500 mm (LVG ERFURT 2009) bis 700 mm (KEPPEL et al. 1991, FISCHER 2002, PASCHOLD 2010) für eine optimale Wasserversorgung der Gehölze wurden nicht erreicht.

Besonders die niedrigen Niederschläge zu Beginn der Vegetationsperiode sind kritisch zu sehen, da eine hohe Bodenfeuchte genau in diesem Entwicklungszeitraum wichtig ist (QUAST 1986, HANKE 1991, FRIEDRICH & FISCHER 2000, FISCHER 2002, GRASHEY-JANSEN 2007b, PASCHOLD 2010). Die geringen Niederschlagsmengen konnten, zumindest in der Zeit des Austriebs und der Blüte im April, bis zu einem gewissen Grad durch die gespeicherte Winterfeuchtigkeit ausgeglichen werden (FISCHER 2002). Gemäß der Definition der ETa und der Einbeziehung der Bodenfeuchte in die Berechnung weist die relativ hohe aktuelle Verdunstung in diesem Zeitraum auf eine solch hohe gespeicherte Bodenfeuchte hin. Ohne diese wären derlei Verdunstungswerte nicht möglich. Da in diesem Zeitraum gleichzeitig ein hoher atmosphärischer Verdunstungsanspruch gegeben war, konnte die Verarmung des Bodens an Wasser aber nicht ausgeschlossen werden. Aufgrund der raschen Entwicklung der Bäume in Verbindung mit einer noch nicht vollständig ausgebildeten Kutikula steigen die Transpiration und damit der Wasseraufbrauch kurz nach der Blüte im Mai stark an (FRIEDRICH & SCHWOPE 1964).

Insgesamt wurde der Apfelbestand nur in der Zeit durchgängig bewässert, in welcher der Wasserbedarf der Bäume (vgl. FRIEDRICH & SCHWOPE 1964, HANKE 1991) sowie der atmosphärische Verdunstungsanspruch am höchsten und die Niederschläge am niedrigsten waren. Bestätigt wird der hohe Wasserverbrauch in diesem Zeitraum durch hohe monatliche potentielle und aktuelle Verdunstungsraten. Über diesen Zeitraum hinaus erfolgten nur in größeren Abständen einzelne Bewässerungsgaben mit Dünger. In länger anhaltenden niederschlagsfreien Phasen konnte so einer übermäßigen Absenkung des Bodenwassergehaltes entgegen gewirkt werden. Gerade bei schwachwurzelnden Unterlagen, die empfindlich auf Schwankungen in der Bodenfeuchte reagieren, ist dies wichtig (HANKE 1991). Ohne die Bewässerung wären unter dem Witterungsverlauf innerhalb der Vegetationsperiode extreme Bedingungen für eine produktive Bestandsentwicklung gegeben.

Die insgesamt geringen Bewässerungsmengen haben, in Verbindung mit den natürlichen Wassermengen, aufgrund der guten physikalischen Bodeneigenschaften ein Wasserspeicherniveau geschaffen, das in der gesamten Vegetationsperiode immer im optimalen Bereich des für Apfelbäume relevanten verfügbaren Wassergehaltbereichs lag (GRASHEY-JANSEN 2010a). Trotz des Wasserverbrauchs der Obstgehölze, der in der Regel dem Boden so viel Feuchtigkeit entzieht, dass das gesamte gespeicherte Bodenwasser des Wurzelraums aufgebraucht ist (FRIEDRICH 1993), wurden nie Wassergehalte nahe des permanenten Welkepunktes erreicht.

5.5 Bodenwasserdynamik

Bei der Nutzung der empirisch erfassten Daten der Bodenfeuchte muss beachtet werden, dass diese bei unzureichendem Kontakt der FDR-Sonde zur Bodenmatrix den tatsächlichen Wassergehalt über- oder unterschätzen können. Hierin könnte der Grund bestehen, dass sich im 4. Standjahr der Verlauf der Bodenfeuchte im Hauptwurzelraum meistens über dem Verlauf im Oberboden bewegt und damit eine eher untypische Bodenwasserdynamik suggeriert. Trotz dieser Einschränkung konnte festgestellt werden, dass alle Kurvenverläufe typische Reaktionsmuster in Abhängigkeit von den natürlichen Niederschlagsereignissen und der Vegetationsentwicklung aufweisen. Letzteres v.a. im 15. Standjahr, wo sich die FDR-Sonden unter keinem Tropfloch befanden. Der direkte Bewässerungseinfluss spiegelt sich in der Bodenfeuchtedynamik des 4. Standjahres wider.

Unabhängig von der Art der Wasserzufuhr und dem Alter des Bestandes verzeichnet die Bodenfeuchte im Oberboden infolge des ständigen Wechsels von Wasserzufuhr und -entzug die größte Dynamik (EHLERS 1996, ZEPPEL & HERGET 2001, ETZINGER et al. 2009). In der Regel sind Niederschlagsmengen ab etwa

10 mm nötig, um die Bodenfeuchte im Hauptwurzelraum positiv zu beeinflussen. Bei Mengen über 15 mm in Verbindung mit einer Überschreitung der Feldkapazität in den oberen Bodenschichten wird auch der Wasserspeicher unterhalb des Hauptwurzelraums aufgefüllt. Unter solchen Umständen erfolgt die Erhöhung der Wassergehalte in allen Bodentiefen nur mit leichter Verzögerung mit zunehmender Bodentiefe. Der Grund hierfür ist die hohe bis sehr hohe gesättigte Wasserleitfähigkeit des Bodens. Insgesamt konnte keine Grundwasserspeisung festgestellt werden. Wenn der Wassergehalt in 60 cm Tiefe nicht durch Infiltrationswasser aufgefüllt wurde, ist er, in Abhängigkeit der phänologischen Entwicklung, gesunken. Dies bestätigt die Aussage von HOYNINGEN-HUENE (1980) und KLAUER et al. (2000), dass das Grundwasser aufgrund der großen Grundwasserflurabstände als Wasserquelle ausgeschlossen ist.

Bodenfeuchtedynamik unter indirektem Bewässerungseinfluss - 15. Standjahr

Die Bodenfeuchtedynamik im 15. Standjahr repräsentiert deutlich den Bereich zwischen zwei von den Tropflöchern ausgehenden zwiebelförmig verlaufenden Durchfeuchtungszonen. Dass die Wassergehalte in der phänologischen Entwicklung so verhalten abgenommen haben, lässt auf eine periphere Speisung des Wasserspeichers durch das Bewässerungswasser schließen. Zurückzuführen ist dies auf eine relativ große Durchfeuchtungszone, die jeweils von einem Tropfloch ausgeht (QUAST 1986). Das Wasser führt dabei zwar nicht zu einer Auffüllung des Wasserspeichers, schwächt aber einen übermäßigen Wasserentzug durch den Bestand ab.

Bodenfeuchtedynamik unter direktem Bewässerungseinfluss - 4. Standjahr

Über den Verlauf der Bodenfeuchte im 4. Standjahr ist die Beeinflussung der Bodenwasserdynamik in Abhängigkeit der künstlichen Bewässerung sehr gut nachzuvollziehen. Dabei zeigt sich, dass die Art der Bewässerung zu einem anderen Infiltrations- und Umverteilungsverhalten führt als bei natürlichen Niederschlagsereignissen. Ein möglicher Grund hierfür ist die vertikale und laterale Ausbreitung des infiltrierten Wassers von nur einem Punkt aus; dem Tropfloch. Die Umverteilung des Wassers vollzieht sich nur langsam, obwohl der Boden an der Tropfstelle während des Tropfbetriebes eine hohe Wassersättigung aufweist (QUAST 1986). Es kann davon ausgegangen werden, dass die Feuchteausbreitung vorrangig über die Bodenmatrix erfolgt. Der Einfluss des Makroporenflusses scheint, anders als bei Niederschlagsereignissen, untergeordnet zu sein. Auf der anderen Seite könnten die Wassermengen bei einer alleinigen Verteilung über den Bodenmatrixfluss aber auch einfach zu gering gewesen sein, als dass diese bis in 60 cm Tiefe infiltrieren konnten. Aber auch wenn es zu keiner direkten Wassergehaltserhöhung durch die Bewässerung gekommen ist und vielmehr eine Abnahme in Verbindung mit der Bestandsentwicklung verzeichnet wurde, waren die Wassermengen dennoch ausreichend, um den Wasserspeicher im Hauptwurzelraum immer wieder aufzufüllen.

Es hat sich weiterhin gezeigt, dass die Bewässerungsgaben sich nicht nur auf den Bodenwasserspeicher und die Infiltrationsdynamik in der Zeit der unmittelbaren Bewässerung auswirken, sondern auch auf den weiteren Verlauf der Bodenwasserdynamik. Zum Zeitpunkt des ersten größeren Niederschlagsereignisses nach dem trockenen Frühling war die Ausgangsbodenfeuchte im 4. Standjahr durch die Bewässerung höher. Die Bodenfeuchte im Oberboden verzeichnete dementsprechend eine geringere Erhöhung des Wassergehaltes, dafür aber eine unmittelbare Verteilung der Bodenfeuchte in und unterhalb des Hauptwurzelraums. Im 15. Standjahr dagegen, wo der Bodenwassergehalt in der Trockenperiode nicht direkt künstlich hoch gehalten wurde, zeigt sich eine viel höhere Wasseraufnahme im Oberboden und keine Weiterleitung des Wassers in tiefere Bodenschichten. Dies verdeutlicht die Abhängigkeit der Infiltration bzw. der Bodenfeuchteverteilung von der Ausgangsbodenfeuchte (KUNTZE et al. 1994). Neben dem Unterschied in der Ausgangsbodenfeuchte kann, zumindest in den oberen Bodenschichten, im 4. Standjahr auch der geringere Interzeptionsverlust bei Niederschlagsereignissen zu höheren Infiltrationsraten geführt haben. Dass der Wassergehalt im jungen Bestand am Ende der Vegetationsperiode höher war als im alten Bestand, kann ebenfalls auf den Bewässerungseinfluss zurückgeführt werden. Zwar war der Wasserentzug durch den jungen Bestand durch eine geringere Verdunstungsleistung kleiner als bei dem alten Bestand. Durch die zusätzlichen Wassergaben wurde die Bodenfeuchte dennoch, trotz pflanzlichen Wasserentzugs, insgesamt auf einem höheren Niveau gehalten.

5.6 Allgemeine Wirkungen auf die Bodenwasserdynamik durch künstliche Bewässerung

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Bewässerung auch mit geringen Bewässerungsmengen durchweg einen positiven Einfluss auf Bodenwasserspeicher und -dynamik ausübt – ungeachtet ob direkt oder indirekt. Die Erhöhung der Bodenfeuchte über die zusätzlichen Wassergaben wirkt fördernd auf den Infiltrationsverlauf und die Infiltrationsraten. Die hydraulische Leitfähigkeit wird erhöht, so dass Wasser schneller und in größerer Intensität in tiefere Bodenschichten infiltrieren kann. Dies gilt sowohl für die Wasserbewegung über den Makroporenfluss als auch über die Bodenmatrix. Der bessere Infiltrationsprozess spiegelt sich darin wider, dass unter direktem Bewässerungseinfluss verhältnismäßig oft und schnell ein Wassergehalt oberhalb der Feldkapazität erreicht wird. Dies bedeutet aber auch, dass eine wirklich ausreichende Wasserversorgung durch eine Tröpfchenbewässerung nur dann gewährleistet ist, wenn das Wasser direkt in Stammnähe abgegeben wird. Wie begrenzt die Befeuchtungszone durch eine Tröpfchenbewässerung ist, zeigen die Verläufe der Bodenfeuchte. Aber auch wenn die Bewässerungsgabe nicht exakt in Pflanzennähe stattfindet und der Bodenwassergehalt nur peripher beeinflusst ist, wird dieser insgesamt auf einem höheren Niveau gehalten und punktuelle Austrocknungen bei größeren Abständen zwischen den Bäumen werden vermindert. Letzteres würde dazu führen, dass sich das ausgebrachte Wasser, dem niedrigeren Potential folgend, viel stärker lateral ausbreiten und weniger Wasser im Wurzelbereich des Baumes bleiben würde. Der Tropferabstand sollte daher immer so gewählt werden, dass eine gleichmäßige Durchfeuchtung des Bodens im Wurzelbereich gewährleistet wird (QUAST 1986). Diese Aspekte der Bodenwasserverteilung müssen bei einer bedarfsorientierten Bewässerungssteuerung auf jeden Fall berücksichtigt werden.

6 Schlussfolgerungen

Die Betrachtung der klimatischen Verhältnisse hat bestätigt, dass durch die natürlich gegebenen Niederschlagsmengen am Untersuchungsstandort keine optimale Versorgung des Apfelbestandes möglich ist. Mit der prognostizierten klimatischen Veränderung wird sich diese Situation verschärfen. Damit ist eine zusätzliche Bewässerung der Obstbestände für die Ertragssicherheit und -qualität unerlässlich. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass der Boden am Untersuchungsstandort aufgrund seiner natürlichen pedologischen und bodenhydrologischen Eigenschaften jedoch gute Voraussetzungen aufweist, um die veränderten klimatischen Bedingungen bis zu einem gewissen Grad kompensieren zu können.

Es wurde festgestellt, dass mit den geringen Bewässerungsmengen allein keinerlei Beeinflussung der Bodenschichten unterhalb des Hauptwurzelraums bewirkt wird. Dies zeigt, dass das ausgebrachte Bewässerungswasser über die Evaporation und die Transpiration aus dem standörtlichen System geführt wird. Hinsichtlich des Infiltrations- und Wasserbewegungsverhaltens ergibt sich durch das Bewässerungswasser aber eine positive Wirkung auf die Bodenfeuchtedynamik. Diese drückt sich darin aus, dass auch geringe natürliche Niederschlagsmengen ausreichend für eine Infiltration in tiefere Bodenschichten sein können. Hierdurch kommt es vermutlich zu einem positiven Einfluss auf die Sickerwasserrate und damit auch auf die Grundwasserneubildungsrate.

Weiterhin hat sich gezeigt, dass aufgrund der guten Infiltrations- und Wasserspeichereigenschaften des Bodens mit der Tröpfchenbewässerung aber auch mit sehr geringen Bewässerungsmengen in Verbindung mit den natürlichen Niederschlagsmengen eine Tiefenwirksamkeit erzielt wird, die für die Wasserversorgung von flachwurzelnden Apfelsorten in einem optimalen Bereich liegt. Dabei ist es für die Pflanzenversorgung irrelevant, ob der Bodenwasserspeicher direkt oder nur indirekt durch das Bewässerungswasser gespeist wird. Mit einer bedarfsorientierten Bewässerungssteuerung könnte die Kultivierung der Obstplantage noch optimiert werden.

Über den verwendeten Berechnungsansatz der aktuellen Evapotranspiration, der den Bodenwassergehalt in die Bilanzierung einbezieht, konnten Werte der E_T ermittelt werden, die bei voller Bestandsentwicklung nur geringe Differenzen zur potentiellen Verdunstung aufweisen. Dies beweist, dass die höhere Wasserverfügbarkeit im Boden zu höheren Verdunstungsleistungen des Apfelbestandes führt. Ebenso konnte bestätigt werden,

dass ältere Apfelbestände, aufgrund eines größeren Blattflächenindex, eine höhere Verdunstungsleistung aufweisen als junge Apfelbestände. Ein Einfluss höherer Erträge auf die Transpirationsleistung konnte jedoch nicht nachgewiesen werden. Auch Aussagen hinsichtlich eines größeren Wurzelsystems in Abhängigkeit zum Bestandsalter, können nicht gemacht werden. Aufgrund der schwachwuchsinduzierten Veredlungsunterlage ist jedoch davon auszugehen, dass das Wurzelsystem in seiner Ausprägung an die Bewässerungsform angepasst und deshalb bei beiden Beständen annähernd gleich ist. Damit ist auch der Bereich des effektiven Wurzelraumes, aus dem das Wasser durch den Bestand entzogen wird, annähernd identisch.

Die Ausbringung minimaler Bewässerungsmengen sowie deren effiziente Ausnutzung lassen vermuten, dass die Folgen für den Landschaftswasserhaushalt verhältnismäßig gering sein werden. Es wird damit gerechnet, dass eine Absenkung des Grundwasserspiegels marginal sein kann. Um die Erkenntnisse dieser Arbeit, die in ihren Aussagen aufgrund der Kürze der Untersuchung nur Tendenzen aufzeigen, stützen zu können, sind umfangreichere Untersuchungen der Bodenfeuchtedynamik und des Verdunstungsprozesses über einen längeren Zeitraum grundlegend notwendig.

7 Zusammenfassung

BARUCK, J., SCHMIDT, G., FRÜHAUF, M.: Charakterisierung und Quantifizierung des standörtlichen Wasserhaushaltes eines Obstbaustandortes unter künstlicher Bewässerung auf der Querfurter Platte. - *Hercynia* N. F. 46 (2013): 41 – 62.

Die Arbeit ist im Rahmen der Untersuchungen zum Regionalen Klimawandel und den daran notwendigen regionalen Anpassungsmaßnahmen in der Landnutzung entstanden. Aus geoökologischer Sicht sind hierbei vor allem die Effekte für den Landschaftswasserhaushalt von Interesse. Eine zunehmend verbreitete Anpassung an die steigende Trockenheit ist die künstliche Bewässerung. Die Folgen einer solchen Anpassungsmaßnahme sind jedoch bis jetzt noch relativ unbekannt. Aus diesem Grund wurde in der Vegetationsperiode 2011 der standörtliche Wasserhaushalt eines mit einem Tröpfchenbewässerungssystem kultivierten Obstbaustandortes auf der Querfurter Platte untersucht. Ziel war es, die Wirkungen und möglichen Folgen einer solchen obstbaulichen Nutzung auf den regionalen Wasserhaushalt eines niederschlagsarmen Gebiets abschätzen zu können. Exemplarisch erfolgten die Analysen an Apfelbäumen unterschiedlichen Alters (4. und 15. Standjahr). Um den Wasserhaushalt des Apfelbaumbestandes quantifizieren und charakterisieren zu können, wurden relevante pedologische, bodenhydrologische, pflanzenmorphologische und klimatische Parameter erfasst und in Bezug zueinander gesetzt. Es hat sich gezeigt, dass aufgrund der pedologischen und bodenhydrologischen Eigenschaften am Standort die Voraussetzungen gegeben sind, auch geringe Niederschlags- und Bewässerungsmengen, selbst bei einer hohen Verdunstungsleistung des Bestandes, effizient auszunutzen. Die Folgen einer solchen Anpassungsstrategie für den Landschaftswasserhaushalt können daher als verhältnismäßig gering eingestuft werden.

8 Literatur

- Ad-hoc-AG Boden (2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung*. - E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Hannover.
- ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M. (1998): Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. - *FAO Irrigation and drainage paper* 56.
- ALTERMANN, M. (1995): Überblick über die Böden des mitteldeutschen Raumes. - In: Altermann, M.: *Exkursionsführer zur Jahrestagung 1995 in Halle*. - Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges. 77: 27 – 34.
- BARUCK, J. (2012): *Charakterisierung und Quantifizierung des standörtlichen Wasserhaushaltes eines Obstbaustandortes unter künstlicher Bewässerung auf der Querfurter Platte*. - Dipl.arb., Univ. Halle-Wittenberg.
- BASTIAS, R., WIDMER, A. (2002): Blattflächenindex und Lichtaufnahme in verschiedenen Apfelanbauformen. - *Schweiz. Z. Obst-Weinbau* 4 (2): 66 – 69.
- BURMAN, R., POCHOP, L. O. (1994): *Evaporation, Evapotranspiration and Climatic Data*. - Elsevier, Amsterdam.
- DAMMANN, S. (2011): *Hilfestellung hinsichtlich der Herstellung präparierter Proben*. - mündl. Mitteilung.

- DÖRING, J. (1995): Klimatische Kennzeichnung des Mitteldeutschen Schwarzerdegebietes. - In: Körschens, M., Mahn, E.-G. (Hrsg.): Strategien zur Regeneration belasteter Agrarökosysteme des mitteldeutschen Schwarzerdegebietes: 534 – 567.
- DVWK - DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e.V. (Hrsg.) (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. DVWK-Geschäftsstelle, Bonn - Merkblätter zur Wasserwirtschaft 238.
- DWD - DEUTSCHER WETTERDIENST (2010): Aktueller Stand der Phänologie in Deutschland. - In: www.dwd.de (12.11.2011).
- DWD - DEUTSCHER WETTERDIENST (2011): Erläuterungen zur potentiellen und tatsächlichen Verdunstung von Gras über einem sandigen Lehmboden. - In: www.dwd.de (15.2.2012).
- EHLERS, W. (1996): Wasser in Boden und Pflanze. Dynamik des Wasserhaushaltes als Grundlage von Pflanzenwachstum und Ertrag. - Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart (Hohenheim).
- EIJKELKAMP (2008): Gebrauchsanweisung - 09.02. Labor-Permeameter. - Giesbeck.
- ETZINGER, J., KERSEBAUM, K. C., FORMAYER, H. (Hrsg.) (2009): Landwirtschaft im Klimawandel. Auswirkungen und Anpassungsstrategien für die Land- und Forstwirtschaft in Mitteleuropa. - Agrimedia, Dumme.
- FABIG, I. (2007): Die Niederschlags- und Starkregenentwicklung der letzten 100 Jahre im Mitteldeutschen Trockengebiet als Indikatoren möglicher Klimaänderungen. - Diss., Univ. Halle-Wittenberg.
- FISCHER, M. (Hrsg.) (2002): Apfelanbau. Integriert und biologisch. - Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- FRIEDRICH, G. (1993): Handbuch des Obstbaus. - Neumann Verlag, Radebeul.
- FRIEDRICH, G., FISCHER, M. (Hrsg.) (2002): Physiologische Grundlagen des Obstbaus. - Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- FRÜHAUF, M. (2007): Notwendigkeit und Herausforderungen für eine angewandte Klimafolgenforschung in Sachsen-Anhalt: Erste Überlegungen und Perspektiven. - In: LAU - Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Sonderheft 1: 4 – 9.
- GRASHEY-JANSEN, S. (2007a): Der Einfluss des Bodens auf die Wasserversorgung von Apfelbäumen. - Obstbau 12: 626 – 629.
- GRASHEY-JANSEN, S. (2007b): Untersuchung zur raum-zeitlichen Differenzierung der Bodenwasserdynamik auf obstbaulich genutzten Standorten Südtirol unter Bewässerungseinfluss. - Diss., Univ. Augsburg.
- GRASHEY-JANSEN, S. (2008): Zur Bodenwasserdynamik eines bewässerten Standortes im Südtiroler Erwerbsobstbau. - Wasserwirtschaft 7-8: 61 – 65.
- GRASHEY-JANSEN, S. (2010): Pedohydrological case study of two apple-growing locations in South Tyrol (Italy). - Agric. Water Manage. 98: 234 – 240.
- GRASHEY-JANSEN, S., TIMPF, S. (2010): Soil hydrology of irrigated orchards and agent-based simulation of a soil dependent precision irrigation system. - Advanced Science Letters 3 (3): 259 – 272.
- GRASHEY-JANSEN, S. (2011): Simulation einer sensorgestützten Präzisionsbewässerung von Standorten im Südtiroler Obstanbau. - Hallesches Jahrbuch f. Geowiss. 32 / 33: 49 – 56.
- GRASHEY-JANSEN, S. (2012): The influence of physical soil properties on the water supply of irrigated orchards - some examples from Val Venosta (South Tyrol/Northern Italy). - J. Environ. Biol. (Special Issue: Environment and Geography in Mediterranean) 33: 417 – 424.
- GRASHEY-JANSEN, S. (2013): Grid-based simulation of a lateral move irrigation system. - Soil and Water Research 8 (in press).
- HAFERKORN, U. (2000): Größen des Wasserhaushaltes verschiedener Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung im klimatischen Grenzraum des Mitteldeutschen Trockengebietes - Ergebnisse der Lysimeterstation Brandis. – Diss., Univ. Göttingen.
- HANKE, B. (Hrsg.) (1991): Wasser für die Pflanze. - Dt. Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- HARTGE, K. H., HORN, R. (1999): Einführung in die Bodenphysik. - F. Encke Verlag, Stuttgart.
- HARTGE, K. H., HORN, R. (2009): Die physikalische Untersuchung von Böden. Praxis, Messmethoden, Auswertung. - E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- HEDLEY, C. B., YULE, I. J. (2009): Soil water status mapping and two variable-rate irrigation scenarios. - Precision Agriculture 10: 342 – 355.
- HOYNINGEN-HUENE, v. J. (1980): Mikrometeorologische Untersuchungen zur Evapotranspiration von bewässerten Pflanzenbeständen. Hannover. - Ber. Inst. f. Meteorol. u. Klimatol. d. Univ. Hannover 19.
- KEPPEL, H., PIEBER, K., WEISS, J., HIEBLER, A. (1991): Obstbau. Anbau und Verarbeitung. - Leopold Stocker Verlag, Graz.
- KLAUER, B., HORSCH, H., GEYLER, S., MEYER, B. C. (2000): Indikatoren und Kriterien für einen nachhaltigen Grundwasserschutz in der Querfurter Platte. Leipzig - UFZ-Bericht 30 / 2000.
- KUNTZE, H., ROESCHMANN, G., SCHWERDTFEGGER, G. (1994): Bodenkunde. - Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

- LAU - LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (2007): Künftige Klimaänderungen in Sachsen-Anhalt. Sachstand und Handlungsfelder. Workshop am 16. Juni 2006 im Landesamt für Umweltschutz, Halle. – Ber. Landesamtes f. Umweltschutz Sachsen-Anh., Sonderheft 1.
- LAU - LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT (2008): Regionale Klimadiagnose. Sachsen-Anhalt. -Ber. Landesamtes f. Umweltschutz Sachsen-Anh.. Sonderheft 5 / 2008.
- LAU - LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT (2009): Abschlussbericht der Unterarbeitsgruppe „Modellregionen“. Halle. - In: www.sachsen-anhalt.de (18.5.2011).
- LINDICKE, M. (2010): Praxiserfahrung mit der Tropfbewässerung und Fertigation bei Apfel auf sandigen Böden. - In: www.landwirtschaft.sachsen.de (13.10.2011).
- LVG ERFURT - LEHR- UND VERSUCHSANSTALT GARTENBAU ERFURT (2009): Erfahrungen mit Tropfbewässerung und Fertigation im Kern- und Steinobstanbau in Thüringen. Bewässerungstag Sachsen / Thüringen Reinholdshain. - In: www.landwirtschaft.sachsen.de (13.10.2011).
- MASAROVICOVÁ, E., NAVARA J. (1994): Einfluß des Fruchtbehanges auf CO₂-Gaswechsel, Wasseraufnahme und Biomassebildung bei Apfel. - Gartenbauwiss. 59 (3): 132 – 138.
- MULL, R. (Hrsg.) (1987): Anthropogene Einflüsse auf den lokalen und regionalen Bodenwasserhaushalt. Ergebnisse aus dem Schwerpunktprogramm „Anthropogene Einflüsse auf hydrologische Prozesse“. Bd. 1. - Wiley-VCH Verlag, Weinheim, New York.
- 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 Landwirtschaft. - In: LAU - Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): Ber. Landesamtes f. Umweltschutz Sachsen-Anh., Sonderheft 1: 33 – 44.
- OHLMEYER, P., HOYNINGEN-HUENE, J. (1975): Über die Prognose des Wasserverbrauches eines Pflanzenbestandes unter extrem ariden Klimabedingungen. - Leichtweiss-Inst. f. Wasserbau, Braunschweig.
- PASCHOLD, P.-J. (Hrsg.) (2010): Bewässerung im Gartenbau. - Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- PIK - POTSDAM-INSTITUT FÜR KLIMAFOLGENFORSCHUNG (2009): Klimawandel in Sachsen-Anhalt. Verletzlichkeiten gegenüber den Folgen des Klimawandels. Endbericht. Potsdam. - In: www.pik-potsdam.de (08.01.2012).
- PROTZE, N. (1996): Heimat und Welt. Sachsen-Anhalt - Westermann, Braunschweig.
- QUAST, P. (1986): Düngung, Bewässerung und Bodenpflege im Obstbau. - Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- SCHAEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P. (2010): Lehrbuch der Bodenkunde. - Spektrum Akademie Verlag, Heidelberg.
- SCHOPFER, P., BRENNICKE, A. (2006): Pflanzenphysiologie. - Spektrum Akademie Verlag, München.
- SCHRÖDER, H. (1986): Allgemein-geographische Charakteristik der natürlichen Verhältnisse des südöstlichen Harzvorlandes. - Hercynia N. F. 23: 1 – 14.
- SPONAGEL, H. (1980): Zur Bestimmung der realen Evapotranspiration landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. - Geologisches Jahrbuch, Reihe F Bodenkunde 9.
- STARKS, P., HEATHMAN, G., AHUJA, L., MA, L. (2003): Use of limited soil property data and modeling estimate root zone soil water content. – J. Hydrol. 272: 131 – 147.
- ZECH, W., HINTERMAIER-ERHARD, G. (2002): Böden der Welt. Ein Bildatlas. – Spektrum Akad. Verlag, Heidelberg.
- ZEBISCH, M., GROTHMANN, T., SCHRÖTER, D., HASSE, C., FRITSCH, U., CRAMER, W. (2005): Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Kurzfassung. – Forsch.ber. 201 41 253 UBA-FB 000844.
- ZEPP, H., HERGET, J. (2001): Bodenwasser - Grundlagen, Einflussfaktoren und geökologische Bezüge. – Geogr. Rundsch. 53 (5): 10 – 16.

Manuskript angenommen: 1. Juli 2013

Dipl.-Geogr. Jasmin Baruck

Universität Innsbruck, Institut für Geographie, Innrain 52f, A-6020 Innsbruck

E-Mail: jasmin.baruck@uibk.ac.at

Dr. rer. nat. Gerd Schmidt

Prof. Dr. Dr. h. c. Manfred Frühauf

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

E-Mail: gerd.schmidt@geo.uni-halle.de

manfred.fruehauf@geo.uni-halle.de