

Zur Wasserausnutzung landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturen

R. GÜNTHER

Abstract

The influence of different water supplies on the water use efficiency (WUE) by crops was investigated in large weighable Lysimeters. The WUE was calculated on the total water consumption (amount of Evapotranspiration) of crops between the beginning of growth and harvesting related to 1 kg harvestable dry matter. This quotient is called the evapotranspiration coefficient (ETC).

The ETC was improved by efficient irrigation because the yield was more increased than the water consumption. Similarly the ETC is better on deep soils with a greater available water holding capacity than on soils with a lower water capacity or on shallow soils with a small rooting space. It means, that the WUE of crops is more unfavourable on soils with insufficient water storage capacity in comparison with better soils.

1. Einleitung

Wasser ist eine immer knapper werdende Ressource, der unter dem Gesichtspunkt einer nachhaltigen Landwirtschaft eine wachsende Bedeutung zukommt (WOLFF 1996). Deshalb ist bei der pflanzlichen Produktion, insbesondere bei der Bewässerungswirtschaft, eine zunehmend bessere Wasserausnutzung anzustreben, da zum einen die Ernährung der ständig wachsenden Weltbevölkerung ohne Bewässerung nicht möglich ist (POSTEL, 1996) und zum anderen in manchen Ländern bereits der weitaus größte Teil des verfügbaren Wassers für die Bewässerung genutzt wird (Van der LEEDEN u. a. 1990).

Alle agronomischen Maßnahmen, die den Ertrag oder die Evapotranspiration beeinflussen, wirken sich auch auf die Wasserausnutzung aus. Es sind aber auch Abhängigkeiten der Wasserausnutzung von den klimatischen Bedingungen, der Bodenart und dem Genotyp nachweisbar (AHMED 1974).

Bekannt ist der große Einfluss differenzierter Nährstoffversorgung auf den Ertrag. Nährstoffmangel reduziert den Ertrag in der Regel ungleich stärker als den Wasserverbrauch, so dass sich die Wasserausnutzung deutlich verschlechtert (HELLRIEGEL 1883, KLAPP 1962, RITCHIE 1983, SCHENDEL 1967).

Unklarer sind die Vorstellungen darüber, welchen Einfluss die Wasserversorgung selbst auf die Wasserausnutzung ausübt. Oftmals wird angenommen, dass ein höheres Wasserangebot über den dadurch induzierten größeren Wasserverbrauch zu einer ungünstigeren Wasserausnutzung führt. Das dies generell nicht so ist, soll an Hand ausgewählter Ergebnisse gezeigt werden.

2. Material und Methoden

Zur Bestimmung der Wasserausnutzung müssen zunächst Kenngrößen definiert werden, die eine einheitliche Bewertung derselben ermöglichen.

Diesbezüglich sind der von HELLRIEGEL (1883) eingeführte Transpirationskoeffizient (TK), als Quotient aus Wasserverbrauch und Trockenmasse

$$TK = \text{kg H}_2\text{O/kg TM}$$

bzw. die Wasserausnutzungsrate (Water Use Efficiency (WUE)), als Quotient aus erzeugter Trockenmasse und verbrauchter Wassermenge

$$WUE = \text{g (TM)/kg (H}_2\text{O)}$$

gebräuchlich.

Dies bedeutet, dass für die Bestimmung der Wasserausnutzung zum einen der Wasserverbrauch und zum anderen die insgesamt gebildete Trockenmasse der Untersuchungskulturen zu ermitteln sind. Bezüglich des Wasserverbrauches gibt es in der Literatur keine einheitliche Auffassung. Unter Wasserverbrauch wird sowohl ausschließlich die Transpiration als auch der gesamte Wasserverlust (Transpiration, Evaporation, ober-

irdischer Abfluss, Versickerung) verstanden (AHMED 1974). Auch beim Begriff Trockenmasse besteht hinsichtlich der einzubeziehenden Komponenten keine generelle Übereinstimmung. In einigen Publikationen ist z. B. die Wurzelmasse Bestandteil der Trockenmasse, in anderen wird davon abstrahiert. Deswegen sind Evapotranspirationskoeffizienten bzw. WUE-Werte ohne Kenntnis ihrer Bestimmungsweise prinzipiell nicht vergleichbar.

Den nachfolgenden Ergebnissen liegen Wasserverbrauchsuntersuchungen der Lysimeterstation Großobringen (ausführliche Beschreibung in ROTH u. GÜNTHER 1992) der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) und der Lysimeteranlage Brandis (ROTH et al. 1988) zu Grunde. Unterschiedliche Wasserversorgungsstufen wurden zum einen durch Bewässerung bei gleichen Bodenbedingungen eingestellt (Großobringen) und ergaben sich zum anderen aus unterschiedlichen nutzbaren Feldkapazitäten von drei Böden bei gleicher Niederschlagsversorgung (Brandis).

Die Untersuchungen in der Lysimeterstation der TLL erfolgten von 1983 bis 2002 an den Kulturen Winterweizen, Sommergerste, Kartoffel, Zuckerrüben, Mais, Raps, Welsches Weidelgras, Buschbohnen, Gurken, Weiskohl, Blumenkohl, Zwiebeln und Pfefferminze sowie an zwei Brachevarianten (Selbstbegrünung und Phacelia).

Die in Brandis auf den drei unterschiedlichen Böden angebauten Fruchtarten waren Winterweizen, Welsches Weidelgras, Kartoffeln und Zuckerrüben.

Als Kenngröße für die Beurteilung der Wasserausnutzung diente der lysimetrisch bestimmte Wasserverbrauch (Evapotranspiration) in verschiedenen Wachstumsabschnitten, bezogen auf jeweils 1 kg erntbare Trockenmasse.

Autor: Dr. Reinhardt GÜNTHER, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Naumburgerstraße 98, D-07743 JENA

Diese Kenngröße wird nachfolgend als Evapotranspirationskoeffizient (ETK) bezeichnet.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Einfluss der Beregnung auf die Wasserausnutzung

Aus den Lysimeteruntersuchungen geht hervor, dass sich die Evapotranspirationskoeffizienten (ETK) der unberegneten und der beregneten Variante nicht wesentlich unterscheiden (Abbildung 1 und 2).

In den 19 Versuchsjahren führte Beregnung zwölfmal zu einer günstigeren Wasserausnutzung als unberegnet. Eine schlechtere Wasserausnutzung der beregneten Variante gegenüber der unberegneten (bzw. reduziert beregneten) wurde bei Winterweizen (1983 und 1987) bei der Kartoffel (1981), bei Weißkohl (1997) und bei der Zwiebel (1999) festgestellt.

Beim Winterweizen hatte die Beregnung sowohl keinen Mehrertrag als auch keinen nennenswert erhöhten Wasserverbrauch zur Folge. Der Weizen deckte in beiden Jahren seinen Wasserbedarf auf der tiefgründigen Löß-Braunschwarzerde vollständig aus der Bodenschicht von 1 m bis 2 m, so dass kein Zusatzwasserbedarf für ihn bestand. Der ungünstigere ETK bei der beregneten Kartoffel 1991 ist auf eine falsche Pflanzenschutzmaßnahme durch den auf dem Lysimeterschlag wirtschaftenden Betrieb zurückzuführen, wodurch der Bestand in seiner Transpirationskapazität geschwächt war und so das Zusatzwasser nur eingeschränkt verwerten konnte. Für Weißkohl (Abbildung 2) ist die gleiche Ursache anzuführen, wie beim Winterweizen. Die „besser“ versorgte Variante konnte das gegenüber der reduziert versorgten Variante zusätzlich verabreichte Wasser (48 mm) nicht in Ertrag umsetzen, da die reduziert versorgte Variante bereits mit einer Zusatzwassermenge von 61 mm einen marktfähigen Ertrag von 1265 dt/ha erbrachte.

Die Zwiebel nimmt im Rahmen der untersuchten Fruchtarten eine Sonderstellung ein. Bei ihr kommt es bei einem maximalen Bedeckungsgrad von 80 % während der gesamten Wachstumsperi-

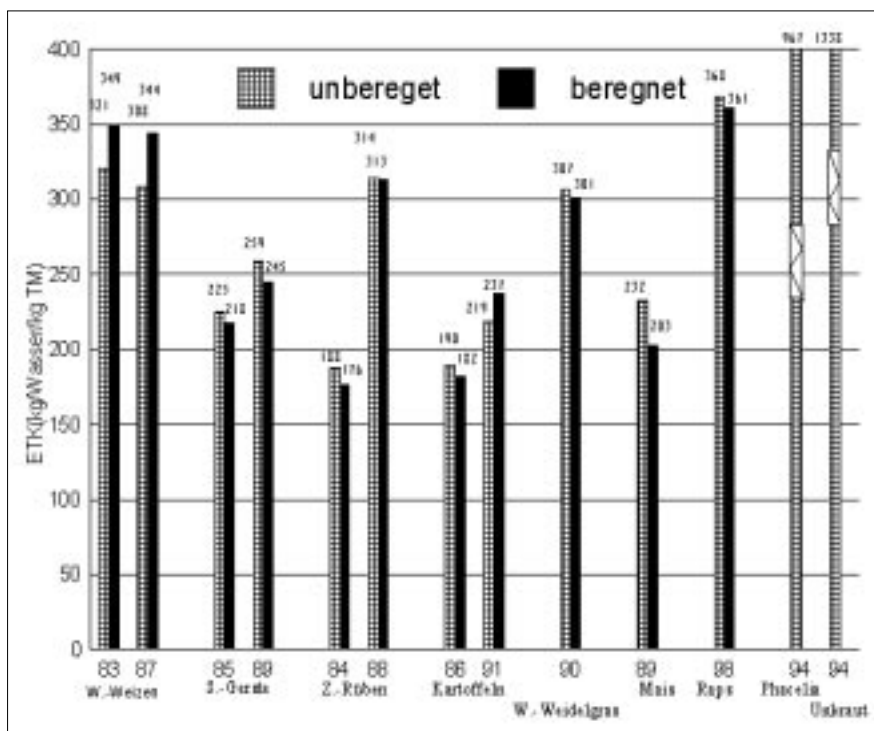


Abbildung 1: Einfluss der Beregnung auf die Evapotranspirationskoeffizienten (ETK) landwirtschaftlicher Fruchtarten

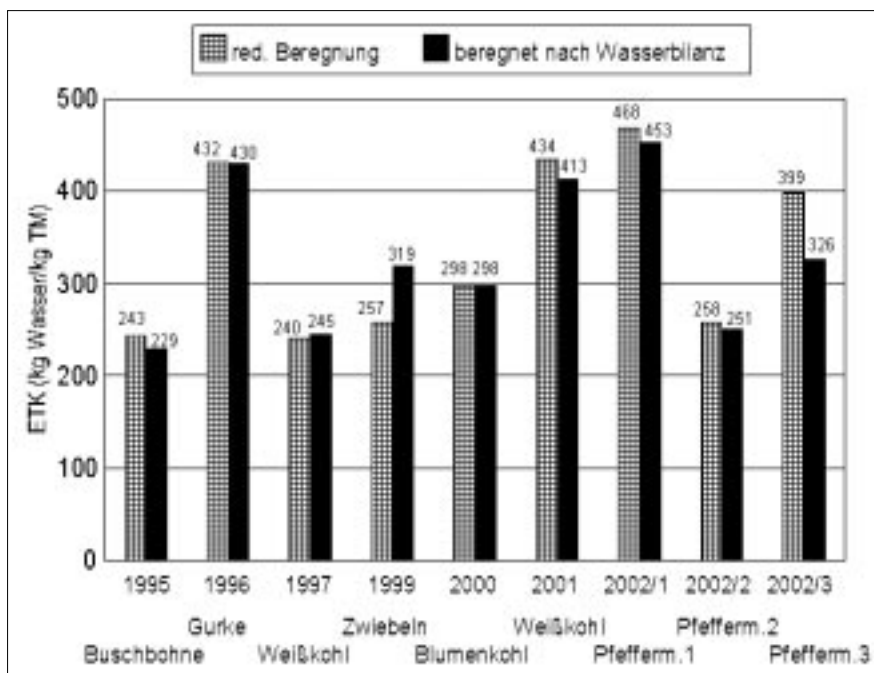


Abbildung 2: Einfluss der Beregnung auf die Evapotranspirationskoeffizienten (ETK) von Gemüse und Pfefferminze

ode nicht zum Schließen des Bestandes. Dies bedeutet, dass der bei Beregnung größere Evaporationsanteil als unproduktive Verdunstung einen höheren Anteil am Gesamtwasserverbrauch einnimmt, als bei den anderen untersuchten, bodendeckenden Kulturen. Am Beispiel der Pfefferminze wird der Witterungseinfluss auf die Wasseraus-

nutzung deutlich. Die ungünstigeren Witterungsverhältnisse während des ersten und dritten Aufwuchs führten zu relativ hohen ETK -Werten, während die des zweiten Aufwuchses (vom 11.08. bis 23.08.), in dessen Verlauf nahezu optimale Witterungsbedingungen vorherrschten, deutlich niedriger ausfielen. Die noch ungünstigere Wassernutzungs-

Tabelle 1: Transpirationskoeffizienten (ETK) landwirtschaftlicher Fruchtarten auf drei Böden mit unterschiedlicher nutzbarer Feldkapazität und Wurzelraumtiefe bei gleichen Umwelt- und Wirtschaftsbedingungen (Lysimeterstation Brandis, n. SPENGLER in ROTH u. a. 1988)

Fruchtart		Böden		
		Löß-Schwarzerde (Braunerde-Tschernosem) (Lö1)	Kiesunterlagerter Sandlöß- Tieflehmstaugley (D6)	Decksandlöß über Kiessandbraunerde (D3)
Zuckerrüben (1991)	Ertrag	2,296	1,461	0,744
	Wasserverbrauch	514	376	299
	ETK	224	257	402
Kartoffeln (1985)	Ertrag	1,157	0,660	0,409
	Wasserverbrauch	291	242	208
	ETK	252	367	509
Winterweizen (1982 u. 1986)	Ertrag	1,435	0,957	0,677
	Wasserverbrauch	462	367	289
	ETK	322	383	427
Welsches Weidelgras (1984)	Ertrag	1,351	1,188	1,006
	Wasserverbrauch	449	418	377
	ETK	332	352	375

Ertrag : in kg erntbare Biomasse (TM) pro m²
 Wasserverbrauch : in kg pro m² von Aufgang bis Ernte (Winterweizen und Welsches Weidelgras ab 01.03.)
 ETK : Evapotranspirationskoeffizient (kg Wasser pro 1 kg Trockenmasse)

effizienz des ersten gegenüber dem dritten Aufwuchs wurde durch den anfangs noch wenig deckenden Bestand und damit hohen Evaporationsanteil verursacht. Qualitativ vergleichbare Ergebnisse wurden auch beim Welschen Weidelgras erzielt.

Züchterische Einflüsse auf den Evapotranspirationskoeffizienten sind aus den ETK-Werten der beiden Brachevarianten Phacelia und Selbstbegrünung abzuleiten (*Abbildung 1*). In beiden Fällen handelt es sich um Pflanzenbestände, die kaum bzw. nicht züchterisch behandelt wurden. Dies spiegelt sich in den sehr hohen Werten von 967 l/kg TM bzw. 1338 l/kg TM wider und bedeutet, dass diese Bestände die drei- bis vierfache Wassermenge für die Produktion von 1 kg Trockenmasse benötigen als die meisten Kulturpflanzen.

3.2 Einfluss unterschiedlicher Bodenwasserbereitstellung auf die Biomassebildung

Das differenzierte Wasserspeicherungs- und Bereitstellungsvermögen verschiedener Böden unter einheitlichen klimatischen und agrotechnischen Bedingungen wirkt sich ähnlich wie unterschiedliche Wasserversorgung bei gleichen Bodenverhältnissen auf die Evapotranspirationskoeffizienten aus. Untersuchungen in der Lysimeteranlage Brandis zeigen (*Tabelle 1*), dass der Wasserverbrauch bei allen untersuchten Fruchtarten von der tiefgründigen Löß-Schwarzerde über den Sandlöß-Tieflehm-Staugley bis hin zum Decksandlöß abnimmt.

Die Erträge gingen bei dieser Standortreihenfolge aber noch stärker zurück als die Evapotranspiration. Daraus resul-

tiert, dass auf Böden, die in ihrem Wasserbereitstellungsvermögen begrenzt sind, das verfügbare Wasser auch noch ungünstiger verwertet wird.

3.3 Wasserausnutzung in unterschiedlichen Entwicklungsabschnitten

Die Ermittlung von Transpirationskoeffizienten ist für beliebige Entwicklungsabschnitte möglich, in dem der Stoffzuwachs und der Wasserverbrauch für diese Abschnitte getrennt bestimmt wird. Bei den vorliegenden Untersuchungen zeigte sich, dass die Effizienz der Wasserausnutzung eine Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium aufweist. In Zeiträumen vor dem Bestandesschluss ergibt sich wegen des relativ hohen, unproduktiven Evaporationsanteils prinzipiell eine schlechtere Wasserausnutzung, wogegen

Tabelle 2: Evapotranspirationskoeffizient von Winterweizen, Sommergerste und Zuckerrüben ermittelt für unterschiedliche Vegetationszeiträume

Fruchtart/Jahr	Zeitraum	Phänologisches Stadium	ETK _G (l/kg TM)	ETK _H (l/kg TM)
Winterweizen (1983)	01.03.-09.08.	01.03. bis Ernte	301	685
	04.05.-14.06.	Schoß- bis Blühbeginn	201	
	15.06.-14.07.	Blühbeginn bis Beginn Gelbreife	182	
	15.06.-27.06.	Blühbeginn bis Ende Blüte	152	
Sommergerste (1985)	10.04.-11.08.	Aufgang bis Ernte	225	566
	21.05.-01.07.	Schoßbeginn bis Ende Blüte	150	
	02.07.-29.07.	Blühende bis Beginn Gelbreife	219	
	18.06.-01.07.	Blühbeginn bis Ende Blüte	94	
Zuckerrüben (1984)	08.05.-05.11.	Auflaufen bis Ernte	188	370
	05.07.-11.09.	Bestandesschluss bis 30 Laubblätter	163	
	12.09.-23.10.	30 bis 40 Laubblätter	119	
	25.09.-08.10.	stärkster Rübenzuwachs	51	

ETK_G = Evapotranspirationskoeffizient bezogen auf die Gesamttrockenmasse
 ETK_H = Evapotranspirationskoeffizient bezogen auf das Hauptprodukt

Tabelle 3: Transpirationskoeffizienten (kg Wasser/kg TM) aus der ökophysiologischen Standardliteratur im Vergleich zu eigenen Ergebnissen

Fruchtart	Transpirationskoeffizienten aus der Literatur				ETK der vorliegenden Arbeit
	LERCH (1980)	GEISSLER (1980) *)	SCHILLING u.a. (1982)*)	HARTMANN u.a. (1989)	
(Winter)-Weizen	435	--	340...690		308...321
(Sommer)-Gerste	520	400...500	310...521		218...245
Zuckerrüben	397	300...400	300...400		176...314
Kartoffeln	636	500...600	329...636		182...219
Mais	368	300...400	180...389		203
Buschbohne				372...436	229
Gurke				540	430
Weißkohl				506...525	240...413
Zwiebel				422...427	257

*) Zusammenfassung mehrerer Einzelliteraturangaben

im Zeitraum von Bestandesschluss bis einsetzende Reife bzw. Vergilbung die Stoffproduktion und die Effizienz der Wassernutzung am höchsten sind, obwohl auch der Wasserverbrauch in dieser Periode den Höchstwert erreicht (*Tabelle 2*).

So benötigte der 1983 angebaute Winterweizen insgesamt 301 Liter Wasser für die Erzeugung von 1 kg Trockenmasse, in der Periode Kornfüllung bis Milchreife (15.06. bis 27.06.) dagegen nur 152 Liter, obwohl in diesem Zeitraum und der Wasserverbrauch überdurchschnittlich hoch war.

Auch bei der Sommergerste konnte diese sehr hohe Effizienz der Wassernutzung (94 l/kg TM) in der Periode Blüte bis Milchreife nachgewiesen werden, bei der Zuckerrübe war dies im Zeitraum des stärksten Rübenzuwachses (25.09. bis 08.10.) der Fall. Diese effizienten Wassernutzungsgrade treten aber nur dann auf, wenn die Pflanzen stets ihren Anspruch auf Wasser decken können.

3.4 Vergleich der ermittelten Evapotranspirationskoeffizienten mit Ergebnissen aus der Literatur

Die vorgestellten Evapotranspirationskoeffizienten sind außer auf dem flachgrün-

digen, ertragsschwachen Decksandlöß (*Tabelle 1*) meist nur halb so hoch wie die in *Tabelle 3* zusammengestellten Transpirationskoeffizienten (TK) aus der Literatur. Ergebnisse aus neueren Untersuchungen (KRETSCHMER 1982, NIEDER 1981, WEINZIERL 1984) zeigen dagegen eine weitgehende Übereinstimmung. Mögliche Ursachen für die z.T. sehr hohen TK in der Literatur sind darin zu sehen, dass Ergebnisse aus Mangelparzellen herangezogen wurden, ertragsschwache Sorten zu Grunde lagen oder dass der Wasserverbrauch anderweitig bzw. nicht hinreichend genau bestimmt wurde. Letztgenannte Ursache wird durch den Vergleich in *Tabelle 4* belegt, der mit Ausnahme von Gurke eine z.T. deutliche Überschätzung des Wasserverbrauches in der einschlägigen Literatur ausweist.

4. Zusammenfassung

Mit wägbaren Lysimetern wurde unter weitgehend natürlichen Standortbedingungen der Einfluss differenzierter Wasserversorgung, hervorgerufen durch Beregnung bzw. durch eine unterschiedliche Bodenwasserbereitstellung, untersucht. Untersuchungskulturen waren Winterweizen, Sommergerste, Zuckerrü-

ben, Kartoffeln, Welsches Weidelgras, Mais und Raps, zwei Brachevarianten (Selbstbegrünung, Phacelia) sowie fünf Gemüsearten (Buschbohne, Einlegegurke, Weißkohl, Blumenkohl, Zwiebel) und Pfefferminze.

Als Kenngröße für die Effizienz der Wassernutzung diente der Wasserverbrauch der einzelnen Fruchtarten von Aufgang bis Ernte bzw. in einzelnen Entwicklungsabschnitten, bezogen auf jeweils 1 kg erntbare Trockenmasse.

Diese als Evapotranspirationskoeffizient (ETK) bezeichnete Kenngröße zeigt, dass eine bedarfsgerechte Zusatzwasserversorgung, die vor allem in der Hauptwachstumsperiode eine ausreichende Wasserversorgung gewährleisten muss, den ETK meist positiv beeinflusst, weil die Erträge stärker ansteigen als der Wasserverbrauch. So führte Beregnung in den 19 Versuchsjahren zwölfmal zu einer günstigeren Wasserausnutzung als unberegnung. Eine Ausnahme stellen Kulturen dar (z.B. Zwiebel), bei denen der Bestandesschluss ausbleibt und so ein relativ hoher Evaporationsanteil (unproduktive Verdunstung) am Gesamtwasserverbrauch entsteht. Ebenso führte eine bessere Pflanzenwasserversorgung als Folge eines größeren Wasserbereitstellungsvermögens des Bodens bei allen geprüften Fruchtarten zu einer deutlich höheren Wasserausnutzung.

Die Wasserausnutzung ist in unterschiedlichen Entwicklungsabschnitten verschieden. Die höchste Wassernutzungseffizienz ergibt sich in der Regel in den Zeiträumen mit den höchsten Ertragszuwächsen, in denen auch der Wasserverbrauch meist überdurchschnittlich hoch

Tabelle 4: Vergleich von Lysimeter- und Literaturwerten des Wasserverbrauches von Gemüse

Gemüseart	ET (mm)	
	Lysimeter	HARTMANN u.a. 1989
Buschbohne (1995)	206	220...400
Einlegegurke (1996)	290	220...400
Weißkohl (1997)	296	400...600
Zwiebeln (1999)	350	400...600

ist. Die in den Versuchen ermittelten Evapotranspirationskoeffizienten sind etwa nur halb so groß, wie die aus der älteren Literatur. Dagegen stimmen sie weitgehend mit neueren Literaturergebnissen überein.

Durch züchterische Maßnahmen, die auf Ertragssteigerung gerichtet sind, kann ebenfalls eine bessere Wasserausnutzung erzielt werden, wie am Beispiel eines Wildkrautbestandes und von Phacelia gezeigt wird.

Der Witterungseinfluss auf die Wasserausnutzung ist anhand der Ergebnisse zu den mehrschnittigen Kulturen Pfefferminze und Welsches Weidelgras nachweisbar.

Literatur

Das Literaturverzeichnis hinterliegt beim Autor und kann angefordert werden über r.guenther@lysimeter.tll.de

- AHMED, J., 1974: Optimaziation of Water-Use Efficiency in Crop Production Systems by dynamic Simulation of Crop Behavior under stochastic Regimes. Dissertation A, Texas A&M University, 193 S.
- GEISSLER, G., 1980: Pflanzenbau- Biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion. -Verlag P. Parey, Berlin und Hamburg.

- HARTMANN, H. D., E. PFÜLB und K. H. ZENGERLE, 1989: Grundlagen zum Wasserverbrauch von Gemüse. - In: Gartenbauwissenschaft, 5, S. 215-222.
- HELLRIEGEL, H., 1883: Beiträge zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Ackerbaues.- Braunschweig.
- KLAPP, E., 1962: Ertragssteigerung und Wasserverbrauch landwirtschaftlicher Kulturen.- In: Z. Kulturtechnik.-Berlin, Hamburg 3, S. 1-5.
- KRETSCHMER, H., 1982: Einfluss von Strahlung, Temperatur und Wasserversorgung auf Biomassebildung der Zuckerrübe (*Beta vulgaris*) unter Feldbedingungen.-Berlin, Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR, Diss. A.
- LERCH, G., 1980: Pflanzenökologie, Teil II: Zur Ökologie von Stoffproduktion und Ertragsbildung. -Akademie-Verlag Berlin.
- NIEDER, G., 1981: Sortenspezifisches Ertragsverhalten von Winterweizen unter besonderer Berücksichtigung des Wasserhaushaltes. -In: Arbeiten zur Pflanzenökologie.-Inst. Pflanzenbau u. Pflanzenzüchtung Bundesforschungsanstalt Landwirtsch.- Braunschweig-Völkenrode.
- POSTEL, S., 1996: Dividing the Waters: Food Security, Ecosystem Health and the New Politics of Scarcity.-Worldwatch Paper 132, Worldwatch Institute, Washington D.C.
- RITCHIE, J., T., 1983: Efficient water use in crop production: Discussion on the generality of relations between biomass production and evapotranspiration.- In: Taylor, H.M., Jordan, W.R., Sinclair, T.S.: Limitations to efficient water use in crop production.- In: American.Soc. Agronomy.-Madison, S. 29-44.
- ROTH, D., R. ROTH, R. GÜNTHER und R. SPENGLER, 1988: Transpirationskoeffizienten und Wasserausnutzungsraten landwirtschaftlicher Fruchtarten. 2. Mitt.: Einfluss unterschiedlicher Wasserversorgung auf Transpirationskoeffizienten und Wasserausnutzungsraten. -Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenkde, 32, S. 405-410.
- ROTH, D. und R. GÜNTHER, 1992: Vergleich von Mess- und Schätzverfahren der potentiellen Evapotranspiration.- Z. f. Kulturtechnik und Landentw. , 33 S. 13-22.
- ROTH, D., R. GÜNTHER und R. ROTH, 1993: Der Einfluss unterschiedlicher Wasserversorgung auf die Wasserausnutzung landwirtschaftlicher Fruchtarten.-Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung 43, 65-71, Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg.
- SCHENDEL, U., 1967: Vegetationswasserverbrauch und -wasserbedarf.- Arb. Inst. Wasserwirtsch. u. Meliorationswesen Univ. Kiel.
- SCHILLING, G. u.a., 1982: Pflanzenernährung und Düngung. Teil 1: Pflanzenernährung. - Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin.
- TANIJ, K. K. and B. YARON, 1994: Management of Water Use in Agriculture. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 320 S.
- Van der LEEDEN, F., F. L.TROISE and D. K. TODD, 1990 : The water encyclopedia. 2nd edn. Lewis, Michigan.
- WEINZIERL, W., 1984: Wasserhaushalt und Ertrag landwirtschaftlicher Kulturpflanzen ausgewählter Löß-Standorte im Raum Göttingen. Univ. Göttingen, Inst. für Bodenwissenschaften, Diss.
- WOLF. P.: Zur Nachhaltigkeit der Wasserausnutzung- eine kritische Betrachtung unter besonderer Berücksichtigung des Wasserbedarfes der Landwirtschaft. Z. f. Bewässerungswirtschaft, 31, Heft 2, 129-154.

