

Konzept zur Bewertung von Ertragspotentialen für Lysimeterstandorte

Lothar Müller^{1*}, Uwe Schindler¹, Axel Behrendt¹ und Johann Fank²

Zusammenfassung

Der Pflanzenertrag bestimmt die Entzüge von Wasser und Stoffen aus dem Boden maßgeblich. In Lysimetern ermittelte Wasser- und Stoffbilanzen werden sowohl durch die Bewirtschaftung als auch durch Unterschiede im Ertragspotential beeinflusst. Ertragspotentiale sind durch Boden- und Klimaverhältnisse standörtlich limitiert. Günstige natürliche Standortbedingungen lassen höhere Erträge und eine bessere Effizienz der Ausnutzung von Wasser und Nährstoffen durch Pflanzenbestände und somit potentiell geringere Umweltbelastungen durch Landwirtschaft erwarten als ungünstige natürliche Standortbedingungen. Wir stellen ein Konzept zur Quantifizierung dieser standörtlichen Unterschiede und der daraus resultierenden Unterschiede im Ertragspotential von Getreide vor. Es ermöglicht die Berechnung von Abstandsmaßen für die Ähnlichkeit von Versuchsstandorten hinsichtlich der Ertragsbildung. Methodische Grundlage bildet das Müncheberger Soil Quality Rating (M-SQR). Es basiert auf der Abschätzung ertragsrelevanter Indikatoren der Böden. Die Anwendung des Konzeptes wird anhand von Datensätzen einiger Versuchsstandorte demonstriert. Viele dieser Standorte gehören zur Europäischen Lysimeter- Plattform. Unterschiede sowohl zwischen den Standorten als auch zwischen einzelnen Lysimetern werden anhand von Beispielen aufgezeigt. Die Mehrzahl der untersuchten Anlagen weist eine sehr hohe und hohe Bodengüte im globalen Maßstab auf. Bodengüte und Ertragspotentiale werden weitgehend von der effektiven Wasserbilanz in der Vegetationsperiode bestimmt.

Schlagwörter: Lysimeter, Standort, Ertragspotential, Indikatoren, Müncheberger Soil Quality Rating

Summary

Crop yield is important for soil water and solute balances. Both management factors and different site-specific crop yield potentials may affect results of lysimeter experiments. Crop yield potentials may be constraint by soil and climate factors. Favourable natural conditions of agricultural land have potentials for higher crop yields and better efficiency of water and nutrients by crops. Land of good agricultural quality is less prone to negative impacts of agriculture on the environment. We present a conception for the quantification of agricultural soil quality and resulting crop yield potentials of small grain cereals. Results provide assessments of the similarity of lysimeters concerning crop yield potentials. The Muencheberg Soil Quality Rating is the methodical basis of this approach. It is based on crop yield relevant soil indicators. Examples of the application for some experimental sites will be demonstrated. Many of them belong to the European Lysimeter Platform. Differences in agricultural soil quality both between locations and single lysimeters have been quantified. The majority of lysimeters under study has very high and high soil quality within a global scale. The effective soil water balance in the vegetation period is crucial for soil quality and crop yield potentials.

Keywords: lysimeter, agricultural land, crop yield potential, indicators, Muencheberg Soil Quality Rating

Einleitung und Zielstellung

Lysimeteranlagen werden weltweit in der Agrar- und Umweltforschung sowie im Umweltmonitoring eingesetzt. Die Aufklärung und Quantifizierung von Prozessen des Wasser- und Stofftransportes in Böden sowie die Erstellung von Wasser- und Stoffbilanzen mittels der Lysimeter oder anhand von Modellen, die an Lysimetern kalibriert wurden, bilden dabei einen Schwerpunkt (GOSS und EHLERS 2009). Viele Lysimeterstandorte befinden sich in landwirtschaftlicher Nutzung. Prozesse der Verlagerung von Agrochemikalien oder Fragen der Effizienz der Nutzung von Wasser und Nährstoffen bleiben aktuell (BÖHM et al.

2005). Im Hinblick auf die Meßmethodik und Ausstattung von Lysimetern gibt es in jüngerer Zeit große technische Fortschritte. Es ist darauf zu achten, dass die Bewirtschaftung von Lysimeteranlagen adäquat dazu beiträgt, dieses technologische Potential in Erkenntniszuwachs umzusetzen. Der Pflanzenertrag bestimmt die Entzüge von Wasser und Stoffen aus dem Boden maßgeblich. Ertragspotentiale sind durch Boden- und Klimaverhältnisse standörtlich limitiert. Außerdem kann die konstruktive Gestaltung der Lysimeter das Pflanzenwachstum beeinflussen. Sogenannte „Lysimeterfehler“, also Abweichungen der Prozesse im Lysimeter von den standorttypischen Bedingungen, sind seit Beginn der Lysimetrie Gegenstand zahlreicher Untersuchungen

¹ Leibnitz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung Müncheberg, Eberswalder Straße 84, D-15374 MÜNCHEBERG

² Joanneum Research, Resources - Institut für Wasser, Energie und Nachhaltigkeit WasserRessourcenManagement, Elisabethstr. 16/II, A-8010 GRAZ

* Ansprechpartner: Dr. Lothar Müller, mueller@zalf.de

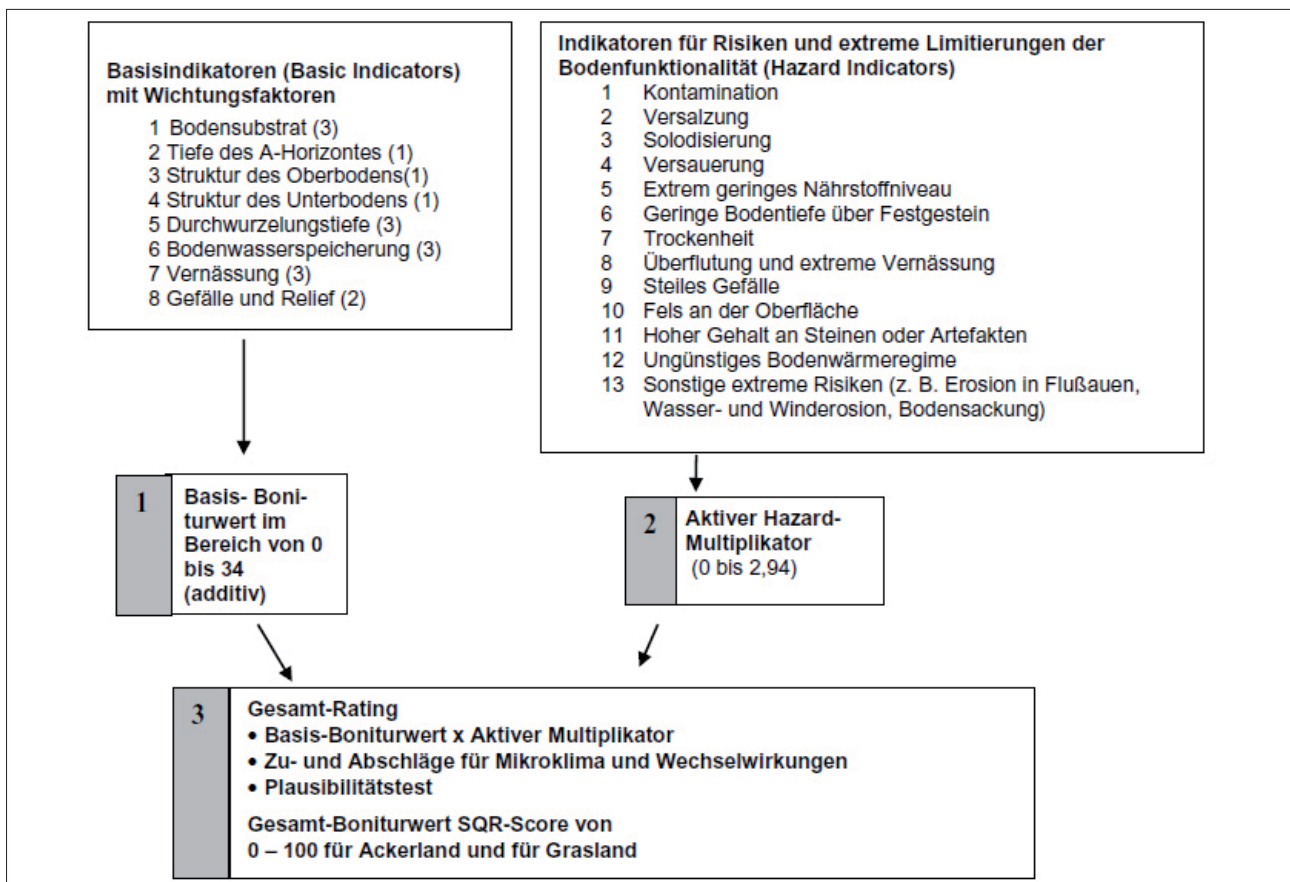


Abbildung 1: Indikatorschema des Müncheberger Soil Quality Rating (MUELLER et al. 2007)

und Diskussionen (KRENN et al. 2003, BÖHM et al. 2005). Eine Quantifizierung dieser Fehler im Hinblick auf die Ertragsbildung steht weitgehend aus. Es fehlen relativ einfache Indikatoren und Vergleichsskalen für die Funktionalität unterschiedlicher Lysimeter, die sich zudem auf unterschiedlichen Standorten befinden. Die wesentlichen ertragslimitierenden Faktoren einiger Lysimeterstandorte sollen identifiziert und semiquantitativ bewertet werden. In bisherigen Tests zeigte sich die Praktikabilität des Müncheberger Soil Quality Rating (M-SQR, MUELLER et al. 2007, 2010) zur Bewertung landwirtschaftlicher Bodengüte über größere Regionen. Im Rahmen dieser Arbeit soll geprüft werden, ob sich diese Methodik zur vergleichenden Charakterisierung von Lysimeterstandorten eignet. Vorläufige Klassifizierungskennwerte für einige Lysimeter sollen erarbeitet werden.

Das Konzept des Müncheberger Soil Quality Rating

Das Müncheberger Soil Quality Rating (M-SQR) ist ein Verfahren zur einheitlichen Quantifizierung der Eignung und Limitierung von Böden hinsichtlich ihrer Nutzung als Ackerland oder Grasland über größere Regionen. Es basiert auf etwa 20 Indikatoren, die wesentliche ertragsrelevante Eigenschaften von Böden kennzeichnen (Abbildung 1). Alle Bewertungen der Indikatoren stützen sich auf einfache Grenz- und Orientierungswerte, die aus Regelwerken der Bodenansprache (z. B. AG BODEN 2005, FAO 2006a) sowie aus agroklimatischen Daten (FAO 2006b) abgeleitet

werden können. Die Beträge der Indikatoren werden in einer Ordinalskala auf der Grundlage eines Handbuchs (MUELLER et al. 2007) geschätzt.

Die Indikatorschätzungen sollen die Grundlage für einen „funktionalen Fingerprint“ und eine Klassifikation der standörtlichen Limitierungen der Böden bilden. Darüberhinaus kann über das Bewertungsschema nach *Abbildung 1* bereits im Felde eine mit dem Pflanzenenertrag korrelierende Bodengütekennziffer (SQR-score) in der Spanne von 0 (keine Nutzungseignung) bis 100 (bester Boden) ermittelt werden. Dazu wird zunächst aus den empirisch gewichteten Basisindikatoren additiv ein Basiswert der Bodengüte (Basic score) ermittelt. Dann ist auf der Grundlage der extrem limitierenden Faktoren ein Hazard-Multiplikator abzuleiten. Die Multiplikation beider Werte führt zu einem Gesamtwert innerhalb einer 100-Punkte-Skala.

Anwendungsbeispiele zur Bewertung von Produktivitätspotentialen

Datengrundlagen von Lysimeterstandorten

Es wurden Lysimeteranlagen ausgewählt, in denen sowohl detaillierte Bodendaten für die Bewertung der Bodengüte als auch Daten über ganzjährige Wasserbilanzen und Pflanzenenerträge vorlagen. Viele dieser Anlagen sind Bestandteil der Europäischen Lysimeterplattform (FANK und LANTHALER 2005). Wichtig war eine Streubreite über unterschiedliche Klimate. Die in den Literaturangaben enthaltenen Daten über

Tabelle 1: Liste der bewerteten Lysimeterstandorte

Standort	Geo-Position ¹	Klima ²	Böden ³	Referenzen ⁴
Altengottern, D	51,16/10,57/200m	540/7,8	Fluvisols, Regosols	KLÖCKING, 2003
Askov, DK	55,47/9,10/60m	862/7,6	Luvisols, Albeluvisols	THOMSEN, 2005
Bern-Liebefeld, Schweiz	46,92/7,42/580m	1114/8,6	Luvisols, Cambisols, Fluvisols	STAUFFER und SPIES, 2005
Brandis, D	51,34/12,61/150m	504/8,7	Phaeozems, Luvisols, Stagnosols, Cambisols	HAFERKORN, 2000
Bushland, USA	35,19/-102,06/1160m	479/14,6	Pullman series ⁶	HOWELL et al., 1995
Buttelstedt, D	51,06/11,32/228m	568/8,2	Phaeozems	KNOBLAUCH, 2009
Debrecen, HU	47,53/21,64/120m	566/9,7	Chernozems	ZSEMBELI et al., 2009
Dedelow, D	53,37/13,80/39m	515/ 8,3	Regosols, Cambisols	SCHINDLER et al., 2007
Fargo, USA	46,88/-96,79/260m	492/4,9	Chernozems	BRUN et al., 1985
Göttingen, D	51,52/9,93/180m	644/8,5	Luvisols, Cambisols	BECKER, 2003
Groß Lüsewitz, D	54,07/12,33/45m	679/8,2	Stagnosols, Cambisols	MIEGEL und ZACHOW, 2005
Gumpenstein, AU	47,94/14,1/710m	936/6,8	Cambisols	BOHNER et al., 2005
Hirschstetten, AU	48,2/16,57/140m	434/9,1	Chernozems	EITZINGER et al., 2004
Jokioinen, Finnland	60,82/23,47/85m	642/3,8	Cambisols	LEMOLA et al., 2000
Lahore, Pakistan	31,54/74,34/200m	336/23,9	Regosols	KAHLLOWN et al., 2005
Lincoln, NZ	-42,36/172,47/10m	652/12,1	Fluvisols	STARK et al., 2006
Luancheng, CN	37,89/114,69/53m	434/13,1	Cambisols	LIU et al., 2002
Müncheberg ⁵ , D	52,52/14,12/35m	533/8,5	Albeluvisols, Cambisols	SCHINDLER et al., 2010
Paulinenaue, D	52,68/12,76/30m	582/8,6	Gleysols	BEHRENDT, 1995
Seelow, D	52,54/14,45/7m	470/8,5	Fluvisols, Regosols	MUELLER et al., 2005
Szarvas, HU	46,88/20,52/80m	437/10,4	Chernozems	SZALOKI und BIRO, 2005
Wagna, AU	46,76/15,55/280m	838/8,4	Cambisols, Fluvisols	FANK und LANTHALER, 2005

¹Breitengrad/Längengrad/Höhe, vorzugsweise nach Angaben der Autoren, ansonsten näherungsweise Ortsangaben, Höhenangaben aus der FAO-Datenbasis New Locclim 1.10, ²Jahresniederschlag in mm / Jahrestemperatur in °C, vorzugsweise nach Daten der Autoren, ansonsten geschätzt aus der FAO-Datenbasis New Locclim 1.10, ³Referenz-Bodengruppen (RSG) nach WRB, 2006, die Allokation in RSG bezieht sich auf die Böden vor deren Einbau in Lysimeter, ⁴aus Platzgründen kann hier zumeist nur eine massgebliche Quelle zitiert werden, ⁵Standort Müncheberg: Bodenhydrologische Messplätze mit gesicherter Wasserbilanz (virtuelle Lysimeter), ⁶US-Taxonomy

Textur, Bodentiefe und nutzbare Bodenwasservorräte gestatteten eine recht zuverlässige Abschätzung der Indikatoren des M-SQR nach den Kriterien des Manuals. Da der Hazard-Indikator Trockenheitsgefährdung entscheidend für das Gesamt-Rating ist, verwenden wir neben anderen Kriterien des Manuals die „effektive Wasserbilanz in der Hauptvegetationsperiode“ als Kriterium für die Trockenheitsgefährdung (RICHTER et al. 2009). Es ist die Summe aus klimatischem Wasserbilanzdefizit und Bodenwasserdargebot, einschließlich Grundwasserdargebot und sonstige Bewässerung. Das klimatische Wasserbilanzdefizit wurde auf der Grundlage der FAO- Klimadatenbank New_LocClim_V1.10 ermittelt (FAO 2006b). Das Bodenwasserdargebot im Wurzelraum wurde vorzugsweise der Literatur über die Lysimeteranlagen entnommen. Waren diese Daten nicht verfügbar, wurden sie nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG BODEN 2005) geschätzt. Mit etwas größeren Unsicherheiten behaftet blieb die Bewertung der Struktur des Bodens (Basisindikatoren 3 und 4), da solche Daten i. d. R. nicht vorliegen. Plausibilitätsannahmen ermöglichen eine Eingrenzung des Fehlerbereichs. So kann z. B. davon ausgegangen werden, dass manuell oder mit Kleintechnik bewirtschaftete Lysimeter, vor allem händisch befüllte Lysimeter, nicht extrem verdichtet sein können. Andererseits können reine Sandböden zumeist nur sub-optimale Strukturwerte erreichen.

Bewertungsergebnisse und Auswertbeispiel

Klassifizierung von Lysimeterstandorten für den Anbau von Getreide

Tabelle 2 zeigt die nach den Kriterien des SQR-Manuals ermittelten Boniturwerte für die Bodengüte für einige Ly-

simeter der Standorte nach Tabelle 1. Die Gütepunkte des Basisratings kennzeichnen weitgehend textuelle und strukturelle Eigenschaften des Bodenprofils. Die Gütepunkte des Gesamt-Ratings werden bei der Mehrzahl der Anlagen maßgeblich durch den weitgehend klimatisch determinierten Faktor „Trockenheit“ beeinflusst. Unter sub-humiden oder semi-ariden Bedingungen reicht der Bodenspeicher guter Böden i. d. R. nicht mehr aus, das klimatische Wasserbilanzdefizit in der Vegetationsperiode abzudecken. Die Differenz zwischen aufskaliertem Basis-Boniturwert (Wert in Klammern) und Gesamt- Boniturwert kann bei vielen Standorten als relatives Maß für die Minderung des Ertragspotentials durch Trockenheit gelten.

Standorte aus schluffigem Bodensubstrat, vorzugsweise aus Löss, im relativ günstigen humiden oder sub-humiden Klima, weisen die höchste Bodengüte auf. Bodengütepunkte im Basisrating größer 27 deuten auf sehr günstige Eigenschaften des Bodenprofils für eine intensive und zumeist tiefreichende Durchwurzelung und die Erschließung der Wasser- und Nährstoffvorräte im Unterboden durch Getreidepflanzen. Böden in semiariden Klimaten oder sehr gemischtkörnig-sandige Böden im subhumiden Klima (Beispiel: Standort Müncheberg) haben eine deutlich geringere, mittlere Bodengüte.

Die Bewertungen der natürlichen Böden weichen an vielen Standorten nicht massgeblich von denen der Lysimeter ab. Tendenziell sind natürliche Böden der Umgebung (ungünstigere Struktur, Gefällrelagen, laterale Abflüsse) etwas schlechter zu bewerten als Lysimeter. Größere Abweichungen in der Bodengüte (ebenfalls höhere Bodengüte der Lysimeter) sind vor allem auf grundwassernahen Niederungsstandorten möglich (Standorte Paulinenaue,

Tabelle 2: Bewertungsergebnisse für Lysimetervarianten, Skale für Ackerland, getreidebetonte Fruchtfolge

Standort	Lysimeter-Variante ¹	Textur ²	Bodenwasser- dargebot Wpfl ³	Basis- Bonitur- wert ⁴	Gesamt- Bonitur- wert ⁵	Maßgeb- licher H- Indikator ⁶
Gesamtrating Sehr hoch (> 80 Gütepunkte)						
Altengottern	Vega	SiL	Hoch	29 (85)	82	Tro.
Bern-Liebefeld	Kalkbraunerde	CL	Mittel-Hoch	29 (85)	85	keiner
Brandis	B10, Lö1	SiL	Hoch	33 (97)	97	keiner
Brandis	B9, Lö3	SiL	Hoch	33 (97)	97	keiner
Buttelstedt	Lößlehm	SiL	Mittel	32 (94)	90	Tro.
Buttelstedt	Lößlehm, OB	SiL	Mittel	32 (94)	94	keiner
Debrecen	Chernozem, OB	SiCL	Hoch	31 (91)	91	keiner
Debrecen	Chernozem	SiCL	Hoch	31 (91)	85	Tro.
Dedelow	Kolluvisol	SL	Gering-Mittel	29 (85)	80	Tro.
Göttingen	Lösslehm, GWF 2,25	SiL	Hoch	31 (91)	91	keiner
Hirschstetten	Chernozem	SiL	Mittel-Hoch	30 (88)	82	Tro.
Hirschstetten	Fluvisol	SL	Mittel	29 (85)	80	Tro.
Lincoln	Silt Loam, OB	SiL	Gering	28 (82)	80	Tro.
Luancheng	Lösslehm, OB	SiL	Hoch	32 (94)	94	keiner
Paulinenaue	Anmoor, GWF 0,8-1	LS	Hoch	29 (85)	85	keiner
Paulinenaue	Anmoor, GWF 0,4-0,8	LS	Hoch	28 (82)	82	keiner
Szarvas	Chernozem, OB	SiL	Mittel-Hoch	28 (82)	82	keiner
Gesamtrating Hoch (60-80 Gütepunkte)						
Altengottern	Tonmergel-Rendzina	SiC	Gering-SG	25 (74)	70	Tro.
Askov	Sand	LS	Mittel	24 (70)	70	keiner
Bern-Liebefeld	Fluvisol	LS	Gering-SG	25 (73)	73	keiner
Bern-Liebefeld	Parabraunerde	SL	Gering	27 (79)	79	keiner
Brandis	B1, D6	SiL	Mittel	27 (79)	75	Tro.
Brandis	B7, D4	L	Gering-Mittel	27 (79)	74	Tro.
Bushland	Pullman , OB	SiC	Gering	26 (76)	73	Tro.
Groß Lüsewitz	Cambisol	SL	Gering	25 (74)	69	Tro.
Gumpenstein	Cambisol	SL	Gering	24 (70)	70	keiner
Göttingen	Sand, GWF 0,8	S	Gering-Mittel	23 (68)	68	keiner
Göttingen	Sand, GWF 2,25	S	Gering	23 (68)	64	Tro.
Lahore	Schluff, GWF 2	SiL	Hoch	30 (88)	72	Tro.
Seelow	Ton, GWF 0,7-0,85	SiCL	Hoch	23 (68)	68	keiner
Seelow	Ton, GWF 0,85-1,3	SiCL	Hoch	27 (79)	79	keiner
Szarvas	Chernozem	SiL	Mittel-Hoch	28 (82)	64	Tro.
Wagna	FF- Lysimeter	L	Gering-Mittel	26 (76)	76	keiner
Wagna	M- Lysimeter	L	Gering-SG	23 (68)	68	keiner
Gesamtrating Mittel (40-60 Gütepunkte)						
Brandis	B8, D3	SL	Gering	26 (76)	49	Tro.
Brandis	B5, D3	LS	Sehr gering	21 (62)	40	Tro.
Dedelow	Sand	S	Sehr gering	21 (62)	47	Tro.
Fargo	Ton	SiC	Gering-Mittel	25 (74)	48	Tro.
Hirschstetten	Sandiger Chernozem	SL	Gering-SG	22 (65)	48	Tro.
Jokioinen	Ton	C	Sehr gering	26 (76)	49	Tro. Therm.
Jokioinen	Ton, OB	C	Sehr gering	25 (74)	56	Therm.
Müncheberg	Sand	S	Sehr gering	21 (62)	45	Tro.
Seelow	Sand, GWF 0,7-1,3	S	Gering-Mittel	25 (74)	57	Tro.
Gesamtrating Gering und Sehr gering (< 40 Gütepunkte)						
Bushland	Pullman, dryland	SiC	Gering	26 (76)	30	Tro.
Lahore	Schluff, GWF 0,5	SiL	Hoch	22 (65)	20	Vers. Vern.

¹OB= mit Beregnung/ Oberflächenbewässerung, GWF= Grundwasserflurabstand in m; ²Klassifizierung nach den Kriterien der FAO, 2006a; ³pflanzenverfügbares Bodenwasserangebot nach AG BODEN (2005), Hoch=> 220mm, Mittel 160-220mm, Gering 100-160 mm, Sehr gering < 100mm; ⁴In Klammern aufskaliertes Wert (Basiswert*2,94) zur besseren Vergleichbarkeit mit dem Gesamt-Boniturwert; ⁵Skala gilt für feinkörnige C3-Getreidearten, Gütepunkte ohne Zu- oder Abschläge für Mikroklima; ⁶Tro.= Trockenheit, Therm.= Thermalregime, Vers.= Versalzung, Vern.= Vernässung

Seelow und Lahore). Lysimeter mit konstant eingestellten, relativ flachen Grundwasserständen können eine bessere Regulierungsfähigkeit (geringere Nässe-disposition) als

benachbarte Feldstandorte aufweisen (MUELLER et al. 2005). Deutliche negative Abweichungen in der Bodengüte (geringere Bodengüte der Lysimeter) sind vor allem bei

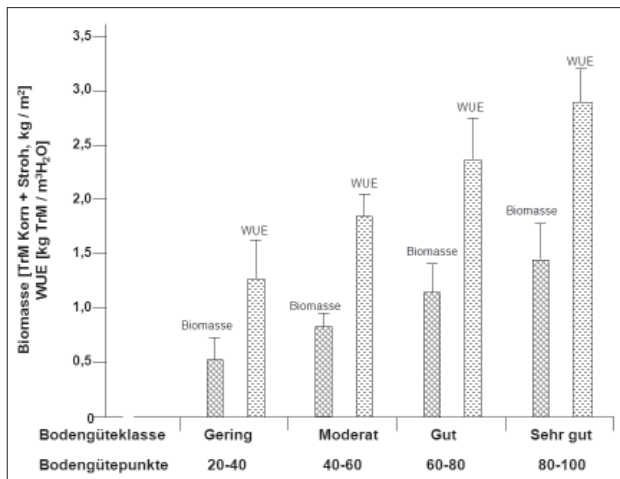


Abbildung 2: Oberirdische Biomasse und Effizienz der Wassernutzung (WUE) für Getreide bei unterschiedlicher Bodengüte

zu flachen Gefäßen möglich. Die Lysimeter am Standort Lincoln (STARK et al. 2006) waren Kleinlysimeter mit nur 0,7m Tiefe. Begrenzter Wurzelraum und zu geringes Wasserdargebot, aber möglicher zeitweiliger Wasserstau, bedeuten unter Ackernutzung deutliche Abweichungen vom benachbarten Standort.

Die vorgestellten Ergebnisse basieren bei der Mehrzahl der Standorte nicht auf einer Feldebewertung, sondern erfolgten auf der Grundlage vorhandener Daten. Sie tragen daher Konzeptcharakter und sollten im Rahmen einer Projektstudie weiter qualifiziert werden.

Oberirdische Biomasse und Effizienz der Wassernutzung bei unterschiedlicher Bodengüte

Das Auswertebispiel nach *Abbildung 2* zeigt die Biomasse und Effizienz der Wassernutzung für kleinkörnige Getreidearten bei unterschiedlichen Klassen der Bodengüte. Für das Auswertebispiel waren auch Wasserbilanzen ungünstiger Standorte nach Kriterien des M-SQR (scores <40) von Interesse. Da solche Standorte für Ackerbau in Europa wenig typisch und i. d. R. nicht mit Lysimetern besetzt sind, Angaben über Verdunstung und Effizienz der Wassernutzung aber ebenfalls von Interesse waren, wurden Versuchsstandorte aus semiariden und ariden Gebieten mit einbezogen. Es handelte sich um folgende Standorte mit vernachlässigbar geringer Versickerung: Culbertson (USA, PIKUL et al. 2004), Grogan (Australien, CHAN et al. 2006), Fairbanks und Delta Junction (USA, SHARRATT 1994), Innere Mongolei (China, WANG et al. 2002), Konni (Niger, PANDEY et al. 2001), Linze (China, WANG et al. 2010), Ramtha (AL ISSA und SAMARAH 2007).

Die *Abbildung 2* verdeutlicht den Ertragsanstieg mit steigender Bodengüte. Die Effizienz der Wassernutzung durch Getreidepflanzen (WUE, kg TrM/m³ H₂O pro Jahr) ist bei den besseren Böden ebenfalls deutlich höher. Erhöhte Evaporation, durch Trockenstress geschwächte Pflanzen, aber auch ungenügende Nährstoffaneignung oder -verfügbarkeit sind plausible Ursachenkomplexe für die geringere Effizienz der Wassernutzung auf geringer bonitierten Standorten.

Schlussfolgerungen

- Das Müncheberger Soil Quality Rating (M-SQR) erscheint geeignet, Bodengüte und Ertragspotentiale von landwirtschaftlichen Versuchsstandorten abzuschätzen. Auch Lysimeterstandorte und einzelne Lysimeter können bewertet werden.
- Die Methodik hat Potential für eine einheitliche Ermittlung der für die Biomasseproduktion relevanten Kennwerte und vergleichende Bewertung der Produktivitätspotentiale aller Anlagen der Europäischen Lysimeterplattform.

Literatur

- AG BODEN, 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung 5. Aufl. (KA5), Hannover, 432 S.
- AL-ISSA, T.A. and N.H. SAMARAH, 2007: The Effect of Tillage Practices on Barley Production under Rainfed Conditions in Jordan. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 2 (1):75-79.
- BECKER, K.-W., 2003: Einfluss des Grundwasserstandes auf Wasserhaushalt und Pflanzenertrag - Ergebnisse der Göttinger Löss- und Sand-Grundwasserlysimeter -. 10. Gumpensteiner Lysimetertagung 151-156.
- BEHRENDT, A., 1995: Moorkundliche Untersuchungen an nordostdeutschen Niedermooren unter Berücksichtigung des Torfschwundes, ein Beitrag zur Moorerhaltung, Diss. Humboldt Universität zu Berlin, 1995, 170 S.
- BÖHM, K.E., P. CEPUDER, G. EDER, J. FANK, F. FEICHTINGER, F. FÜHR, H. GAUDLITZ, M.H. GERZABEK, G. HINREINER, H. HOLZMANN, D. KLOTZ, S. KNAPPE, A. KRENN, A. LEIS, R. MEISSNER, W. MITTELSTAEDT, H.P. NACHTNEBEL, Th. PÜTZ, J. RIESING, H. RUPP, J. SEGER, G. VON UNOLD und H. VEREECKEN, 2002: Lysimeter - Anforderungen, Erfahrungen, technische Konzepte. *Beiträge zur Hydrogeologie*, 53, 115-232, Graz.
- BOHNER, A., M. ADAM, G. EDER und A. BAUMGARTEN, 2005: Nährstoffkreislauf in einem Silomais-Ökosystem mit besonderer Berücksichtigung des Stickstoffs. 11. Gumpensteiner Lysimetertagung 2005, 99-108.
- BRUN, L.J., J.W. ENZ and J.K. LARSEN, 1985: Evaluation of energy balance and water use by spring wheat during a normal and a dry season. *Agricultural and Forest Meteorology* 35, 1-4, Oct. 1985, 103-111.
- CHAN, K.Y., A. OATES, A.D. SWAN., R.C. HAYES, B.S. DEAR and M.B. PEOPLES, 2006: Agronomic consequences of tractor wheel compaction on a clay soil. *Soil & Tillage Res.* 89, 1, Aug. 2006, 13-21.
- EITZINGER, J., M. TRNKA, J. HÖSCH, Z. ŽALUD and M. DUBROVSKY, 2004: Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models insimulating soil water content during growing season under different soil conditions. *Ecological Modelling* 171 (2004) 223-246.
- FANK J. and C. LANTHALER, 2005: Lysimeter Stations and Soil Hydrology Measuring Sites in Europe – Results of a 2004 Survey. Bericht der BAL über die 11. Gumpensteiner Lysimetertagung "Lysimetrie im Netzwerk der Dynamik von Ökosystemen" vom 5. bis 6. April 2005, 19-24, Gumpenstein.
- FAO, 2006a: Guidelines for soil description, Rome, 4th edition, 95 S.
- FAO, 2006b: New_LocClim: Local Climate Estimator. Download –Adresse: FTP-Verzeichnis /SD/Reserved/Agromet/New_LocClim/ auf ext-ftp.fao.org.
- GOSS, M. J. and W. EHLERS, 2009: The role of lysimeters in the development of our understanding of soil water and nutrient dynamics in ecosystems. *Soil Use and Management*, 25, 3, 213-223, Sept. 2009.

- HAFERKORN, U., 2000: Größen des Wasserhaushaltes verschiedener Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung im klimatischen Grenzraum des Mitteldeutschen Trockengebietes, Ergebnisse der Lysimeterstation Brandis, Diss. Georg-August-Universität Göttingen, 184 S.
- HOWELL, T.A., A.D. SCHNEIDER, D.A. DUSEK, T.H. MAREK and J.L. STEINER, 1995: Calibration and scale performance of Bushland weighing lysimeters. *Trans. ASAE* 38(4):1019-1024.
- KAHLLOWN, M.A., M. ASHRAF and Z. UL-HAQ, 2005: Effect of shallow groundwater table on crop water requirements and crop yields. *Agricultural Water Management* 76, 1, July 2005, 24-35
- KLÖCKING, B., 2003: Parametrisierung und Validierung des PSCN-Moduls anhand der Messwerte der Altengotterschen Lysimeterstationen. Online: http://www.bah-berlin.de/Modellvalidierung_Lys_Altengotters.pdf
- KNOBLAUCH, S., 2009: Langjährige Ergebnisse über das pflanzenspezifische Aneignungsvermögen von Bodenwasser landwirtschaftlicher Kulturen auf einem tiefgründigen Braunerde-Tschernosem aus Löß. 13. Gumpensteiner Lysimetertagung 2009, 131-136.
- KRENN, A., E. KLAGHOFER und M.H. GERZABEK, 2003: Diskussion seitlicher Randeefekte bei Lysimeterexperimenten am Beispiel der Lysimeteranlage Seibersdorf. 10. Gumpensteiner Lysimetertagung 33-36.
- LEMOLA, R., E. TURTOLA and C. ERIKSSON, 2000: Undersowing Italian ryegrass diminishes nitrogen leaching from spring barley. *Agric. Food Sci. Finland* 9:201-216.
- LIU, C., X. ZHANG and Y. ZHANG, 2002: Determination of daily evaporation and evapotranspiration of winter wheat and maize by large-scale weighing lysimeter and micro-lysimeter. *Agricultural and Forest Meteorology* 111 (2002) 109-120.
- MIEGEL, K. und B. ZACHOW, 2005: Untersuchungen zur Verringerung von Nährstoffausträgen aus landwirtschaftlich genutzten Böden auf der Grundlage von Lysimetermessungen. 11. Gumpensteiner Lysimetertagung 2005, 99-200.
- MUELLER, L., A. BEHRENDT, G. SCHALITZ and U. SCHINDLER, 2005: Above ground biomass and water use efficiency of crops at shallow water tables in a temperate climate. *Agricultural Water Management*, Vol 75/2, 117-136.
- MUELLER, L., U. SCHINDLER, A. BEHRENDT, F. EULENSTEIN and R. DANNOWSKI, 2007: The Muencheberg Soil Quality Rating (SQR). Field Guide for Detecting and Assessing Properties and Limitations of Soils for Cropping and Grazing. Online: http://www.zalf.de/home_zalf/institute/lwh/lwh_e/mitarbeiter/mueller_l/publ.htm
- MUELLER, L., U. SCHINDLER, W. MIRSCHEL, T.G. SHEPHERD, B.C. BALL, K. HELMING, J. ROGASIK, F. EULENSTEIN and H. WIGGERING, 2010: Assessing the productivity function of soils. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, Vol. 30 (2010), No. 3, 601-614, DOI: 10.1051/agro/2009057
- PANDEY, R.K., J.W. MARANVILLE and A. ADMOU, 2001: Tropical wheat response to irrigation and nitrogen in a Sahelian environment. I. Grain yield, yield components and water use efficiency. *European Journal of Agronomy* 15(2001) 93-105.
- PIKUL Jr., J.L., J.K. AASE and V.L. COCHRAN, 2004: Water Use and Biomass Production of Oat-Pea Hay and Lentil in a Semiarid Climate. *Agronomy Journal*, 96 No. 1, 298-304.
- SCHINDLER, U., G. VERCH, M. WOLFF, F. EULENSTEIN und L. MÜLLER, 2007: Energiepflanzen im Konnex zum Bodenwasser- und Stoffhaushalt. - In: Bericht / 12. Lysimetertagung am 17. und 18. April 2007 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein: 105-108; Irdning (Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein).
- SCHINDLER, U., L. MÜLLER, R. DANNOWSKI, D. BARKUSKY and G. FRANCIS, 2010: Long-term measurements to quantify the impact of arable management practices on deep seepage and nitrate leaching. - In: Long-Term Ecological Research : between Theory and Application: 243-252; Dordrecht (Springer Science+Business Media B.V).
- STARK, C., L.M. CONDRON, A. STEWART, H.J. DI and M. O'CALLAGHAN, 2006: Effects of past and current management practices on crop yield and nitrogen leaching - a comparison of organic and conventional cropping systems. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, Vol. 34: 207-215.
- RICHTER, A., V. HENNINGS und L. MÜLLER, 2009: Anwendung des Müncheberger Soil Quality Ratings (SQR) auf bodenkundliche Grundlagenkarten. Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der DBG, Kommission V, DBG, September 2009, Bonn, Berichte der DBG (nicht begutachtete online-Publikation) <http://www.dbges.de>
- SHARRATT, B.S., 1994: Observations and modeling of interactions between barley yield and evapotranspiration in the subarctic. *Agricultural Water Management* 25, 2, April 1994, 109-119.
- STAUFFER, W. und E. SPIESS, 2005: Einfluss unterschiedlicher Nutzung und Düngung auf Sickerwassermenge und Nitratauswaschung. 11. Gumpensteiner Lysimetertagung 2005, 213-216.
- SZALOKI, I.Z. and M.O. BIRO, 2005: Nitrogen cycling and utilisation at different nitrogen and water supply in a long-term experiment at the Lysimeter Station in Szarvas. 11. Gumpensteiner Lysimetertagung 2005, 221-222.
- THOMSEN, I.K., 2005: Nitrate leaching under spring barley is influenced by the presence of a ryegrass catch crop: Results from a lysimeter experiment. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 111, 1-4, 1 Dec. 2005, 21-29.
- WANG, S., Y. WANG, E. SCHNUG, S. HANEKLAUS and J. FLECKSTEIN, 2002: Effects of nitrogen and sulphur fertilization on oats yield, quality and digestibility and nitrogen and sulphur metabolism of sheep in the Inner Mongolia Steppes of China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 62: 195-222.
- WANG, Q., F. LI, L. ZHAO, E. ZHANG, S. SHI, W. ZHAO, W. SONG and M.M. VANCE, 2010: Effects of irrigation and nitrogen application rates on nitrate distribution and fertilizer nitrogen loss, wheat yield and nitrogen uptake on a recently reclaimed sandy farmland. *Plant Soil* (2010) 337:325-339.
- WRB, 2006: World Reference Base for Soil Resources 2006, A Framework for International Classification, Correlation and Communication, FAO Rome, 2006, World Soil Resources Reports 103, 145 p.
- ZSEMBELI, J., G. KOVACS, A. MURANYI and T. TANAKA, 2009: Water use efficiency of sorghum and maize treated with PENTAKEEP-V. 13. Gumpensteiner Lysimetertagung 2009, 59-62.