



**Bayerische  
Landesanstalt für  
Bodenkultur und  
Pflanzenbau**

# **Bodenwasserhaushalt unterfränkischer Ackerstandorte 1980–2000**

## **Bodenkultur und Pflanzenbau**

**Schriftenreihe der  
Bayerischen Landesanstalt für  
Bodenkultur und Pflanzenbau**



Bayerisches  
Staatsministerium  
für Landwirtschaft  
und Forsten

**3/02**

6. Jahrgang  
ISSN 1433-3155

## **Impressum**

**Herausgeber:** Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP)  
Freising

Vöttinger Straße 38, 85354 Freising

**Internet:** <http://www.lbp.bayern.de>

**Redaktion:** Sachgebiet Information, Ausbildung, Dokumentation;  
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising, Tel. (0 81 61) 71 40 92

**Satz und Druck:** Druckhaus Kastner, Wolnzach  
RB-Nr. 08/02/05P

© LBP

Die Beiträge in dieser Schriftenreihe geben die Meinung der Autoren wieder.  
Diese Veröffentlichung kann zum Preis von € 10,- zuzüglich Porto bei der LBP bezogen werden.

**Bodenwasserhaushalt  
unterfränkischer Ackerstandorte  
1980–2000**

Soil water balance of arable locations  
in Lower Frankonia (Bavaria)  
1980–2000

Rudolf Rippel<sup>1)</sup>,  
Dieter Schwamm<sup>2)</sup>,  
Robert Brandhuber<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau

<sup>2)</sup> Landwirtschaftsamt Würzburg

Schriftenreihe der  
Bayerischen Landesanstalt für  
Bodenkultur und Pflanzenbau

<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>
<b>1 Einführung</b> .....	7
<b>2 Zusammenfassung</b> .....	7
<b>3 Durchführung</b> .....	9
3.1 Standorte .....	9
3.1.1 Lage und Bodenaufbau .....	9
3.1.2 Bodenphysikalische Eigenschaften .....	9
3.1.3 Niederschlagsdaten .....	10
3.2 Ermittlung des Bodenwassergehalts .....	11
3.3 Wasserhaushaltsmodell .....	12
3.4 Darstellung der Ergebnisse .....	12
<b>4 Ergebnisse und Diskussion</b> .....	13
4.1 Lössböden .....	13
4.1.1 Alle Standorte .....	13
4.1.2 Standort Seligenstadt: Wasserhaushalt verschiedener Bodentypen .....	18
4.1.3 Standort Erbachshof: Wasserhaushalt unter verschiedenen Fruchtarten .....	20
4.2 Tongeprägte Böden .....	20
4.3 Sonstige Böden .....	24
4.3.1 Boden aus Sandmergel (Bundorf) .....	24
4.3.2 Boden aus Terrassensand (Hörblach) .....	25
4.4 Vergleich der Standorttypen .....	25
<b>5 Schlussfolgerungen für die Praxis</b> .....	27
<b>6 Literatur</b> .....	27
<b>7 Anhang</b> .....	28
7.1 Abkürzungen .....	28
7.2 Tabellenverzeichnis .....	29
7.3 Abbildungsverzeichnis .....	30
7.4 Anhangtabellen und -abbildungen .....	31

## 1 Einführung

Der Wasserhaushalt eines Bodens spielt bei vielen Entscheidungen des Landwirts eine Rolle, z.B. bei

- Fruchtartenwahl und Fruchtfolge,
- Art, Menge und Zeitpunkt des Einsatzes von Produktionsmitteln, insbesondere von Stickstoffdüngern,
- Anbau von Zwischenfrüchten und Untersaaten,
- Durchführung einer Strohdüngung,
- Wahl von Zeitpunkt und Art des Befahrens und der Bearbeitung einer Fläche.

Der Landwirt kann den Wachstumsfaktor Wasser durch direkte, jedoch aufwendige Be- oder Entwässerungsmaßnahmen oder durch indirekte und nur eingeschränkt wirksame Maßnahmen der Produktionstechnik günstig beeinflussen.

Richtiges Handeln setzt Wissen über den Haushalt des Bodenwassers voraus. Um diese Kenntnisse zu erhalten und für die Beratung einsetzen zu können, werden vom Sachgebiet Agrarökologie, Boden und ökologischer Landbau des Landwirtschaftsamtes Würzburg seit 1980 regelmäßig Messungen des Bodenwassergehalts auf typischen Ackerstandorten Unterfrankens durchgeführt.

Die aktuellen Ergebnisse der laufenden Messungen des Bodenwassergehalts in Unterfranken können über die Homepage des Landwirtschaftsamtes Würzburg <http://www.aflue-wu.bayern.de> abgerufen werden.

## 2 Zusammenfassung

In Unterfranken wurden in den Jahren 1980 bis 2000 auf bis zu 17 Ackerstandorten monatliche Bodenwassermessungen bis in 1 m Tiefe durchgeführt. Es handelt sich um Böden aus den Ausgangsgesteinen Löss (12 Standorte), Tonstein (3), Sandmergel (1) und Terrassensand (1) in den ackerbaulich bedeutsamen Naturräumen Unterfrankens östlich des Spessarts. Insgesamt wurden 277 „Standortjahre“ (= Summe aller pro Standort betrachteten Jahre) ausgewertet.

Unter Berücksichtigung der Niederschläge werden monatliche Werte des Bodenwasserhaushalts für verschiedene Substrate, Bodentypen und Fruchtarten dar- und gegenübergestellt. Dabei erfahren der absolute Wassergehalt, der Füllgrad der nutzbaren Feld- und Haftwasserkapazität, der Gehalt an pflanzenverfügbarem Wasser sowie die Menge der „Wasserabgabe“ (im wesentlichen Summe von Verdunstung, Versickerung und Oberflächenabfluss) besondere Beachtung. Ein Vergleich der durch Messung ermittelten Daten mit den Ergebnissen eines Wasserhaushaltsmodells ergänzt die Untersuchung.

Der aus 205 Standortjahren ermittelte durchschnittliche Jahresverlauf des Bodenwassergehalts auf Lössstandorten bewegte sich zwischen 248 mm und 371 mm, auf Ton (44 Standortjahre) lagen die Werte zwischen 139 mm und 222 mm. Auf Löss wurde in 71 % der Jahre bei wenigstens einer von 12 Messungen im Jahr (i. d. R. bei Winterausgang) eine vollständige Füllung der Feldkapazität angetroffen. Auf den tongeprägten Standorten waren es mit 89 % deutlich mehr. Trotzdem stand den Pflanzen auf Löss wegen des mehr als doppelt so großen Volumens an nutzbarer Feldkapazität wesentlich mehr Wasser zur Verfügung.

Im Durchschnitt wurde ein Minimum an pflanzenverfügbarem Wasser in Lössböden im August von 72 mm, in Tonböden im Juni von 5 mm gemessen.

Der Wasserhaushalt des Kolluviums unterschied sich deutlich von dem der mehr oder weniger erodierten Parabraunerden. Die Wasserversorgung der Pflanzen hielt dort länger an, die monatliche Wasserabgabe durch Sickerwasser und/oder Evapotranspiration im Winterhalbjahr war um ca. 25 mm niedriger, im Sommerhalbjahr entsprechend höher.

Für die Praxis ergeben sich folgende wesentliche Schlussfolgerungen:

- Auf Löss ist zur Verminderung von Nitratverlagerung nicht so sehr der Zeitpunkt einer Stickstoffdüngung von Bedeutung, sondern die nicht über den Bedarf hinausgehende Stickstoffmenge.

- Auf allen Standorten mit vergleichbaren Niederschlagsverhältnissen wie im Untersuchungsgebiet und ohne Beregnungsmöglichkeit müssen in den Monaten März bis zur Abreife der jeweiligen Frucht alle Maßnahmen zur Schonung und optimalen Ausnutzung der Wasservorräte ergriffen werden.
- Auch wenn die durch Erosion entstandenen Löss-Bodentypen Pararendzina und Kolluvium wegen ihres hohen Schluffgehalts die besten Merkmale für die Versorgung der Pflanzen mit Wasser aufweisen, ist Bodenerosion wegen vieler anderer Nachteile soweit möglich zu vermeiden.
- Gerade für die weniger tiefgründigen Standorte Unterfrankens ist der Anbau einer Zwischenfrucht aus der Sicht des Wasserhaushalts eher positiv zu beurteilen.

## Summary

In the years 1980 to 2000, monthly soil water measurements into a depth of 1 m have been conducted at 17 arable locations in Lower Franconia (Bavaria). They are concerning soils from the parent materials loess (12 locations), clay stone (3), sandy marl (1) and terrace sands (1) in the natural spheres of Lower Franconia east of the Spessart important for arable farming. On the whole, 277 "location years" (= sum of all years considered per location) were evaluated.

Taking into account the precipitations, monthly values of the soil water balance for different substrata, soil types and crops are presented and compared to each other. Doing so, the absolute water content, the level of filling of the available field capacity and the bound water capacity, the content of plant-available water and the amount of "water discharge" (essentially the sum of evaporation, infiltration and surface runoff) are receiving a particular attention. A comparison of the data determined by measurements with the results of a water balance model completes the investigation.

The yearly mean course of the soil water content at loess locations determined from 205 location years ranged from 248 to 371 mm, the values for clay (44 location years) from 139 to 222 mm. In 71 % of the years, a complete filling to field capacity was met in loess for at least one of 12 measurements per year (as a rule at the end of the winter). With a value of 89 % of the years at the locations marked by clay, there were clearly more such measurements. In spite of that, the plants in loess disposed of substantially more water because of the approximately triple volume of the available field capacity.

On the average, a minimum of plant-available water of 72 mm in loessial soils in August and one of 5 mm in clayey soils in June were measured.

The water balance of the colluvial soil differed clearly from that of the more or less eroded Haplic Luvisols (Parabraunerde). The water supply of the plants lasted longer there, the monthly water discharge by percolation water and/or the evapotranspiration in the winter half-year was about 25 mm lower, in the summer half-year, it was accordingly higher.

The following essential conclusions are resulting for the practice:

- For the reduction of the nitrate translocation in loess, the time of a nitrogen fertilization is not so much of importance, but the amount of nitrogen not exceeding the requirement.
- At all locations without irrigation possibility and with comparable rainfall conditions, all measures for the preservation and optimal utilization of the soil water supplies must be taken in the months from March till the maturation of the respective crop.
- Even though the erosion products pararendzina and colluvium in loessial areas show the best traits for the supply of the plants with water because of their high silt content, the soil erosion has to be avoided as far as possible because of many other disadvantages.
- Particularly for the less deep locations of Lower Franconia, the cultivation of an intercrop has to be judged as rather positive from the point of view of the water balance.

### 3 Durchführung

#### 3.1 Standorte

##### 3.1.1 Lage und Bodenaufbau

Die Messungen des Bodenwassergehalts wurden in den ackerbaulich bedeutsamen Naturräumen Unterfrankens östlich des Spessarts auf 17 Standorten durchgeführt (Abbildung 1).

Die Standorte befinden sich auf Löss (12 Standorte), Tonstein (3), Sandmergel (1) und Terrassensand (1) in Höhenlagen zwischen 190 m und 352 m (Tabelle 1).

##### 3.1.2 Bodenphysikalische Eigenschaften

Die Bestimmung der Bodenart, der Lagerungsdichte, des Gesamtporenvolumens, der Luft- und Feldkapazität des Bodens erfolgte für die Haupt- und Unterhorizonte mit den Standardmethoden nach DIN 19683. Für Übergangshorizonte wurden die ermittelten Werte interpoliert.

Die bodenkundlichen Begriffe richten sich nach der bodenkundlichen Kartieranleitung (ARBEITSGRUPPE BODENKUNDE 1994).

Die Ackerzahlen der einzelnen Standorte bewegen sich zwischen 34 und 86. Als Bodentypen sind

verschiedene Erosionsstadien der Parabraunerde (8 Standorte), Kolluvium (2), Braunerde (4), Pelosol (2) und Pseudogley (1) vertreten. Der Tongehalt in der Krume variiert zwischen 3,0 % und 44,3 %, der Schluffgehalt zwischen 11,1 % und 79,1 % und der Sandgehalt zwischen 3,3 % und 85,9 % (Tabelle A1; mit A sind Tabellen und Abbildungen gekennzeichnet, die sich im Anhang befinden).

Als effektive Durchwurzelungstiefe wurden unter Berücksichtigung des Bodenaufbaus für die Lössböden 100 cm, für den Sandstandort 90 cm und für die Mergel- und Tonstandorte 60 cm festgelegt (ARBEITSGRUPPE BODENKUNDE 1994).

Die nutzbare Feldkapazität in der effektiven Durchwurzelungstiefe liegt zwischen 68 mm und 230 mm, die Totwasserkapazität zwischen 57 mm und 213 mm.

Tabelle A2 zeigt die wichtigsten Kenngrößen des Bodenwasserhaushalts und dürfte einen repräsentativen Überblick über die Porenverteilung unterfränkischer Lössstandorte bieten. Diese weisen durchschnittlich 195 mm nutzbare Feld- und 176 mm Totwasserkapazität auf.

Beim Standort Reith handelt es sich um einen zwar nicht für Unterfranken, aber für die unterfränkischen Gäulagen untypischen Lössstandort

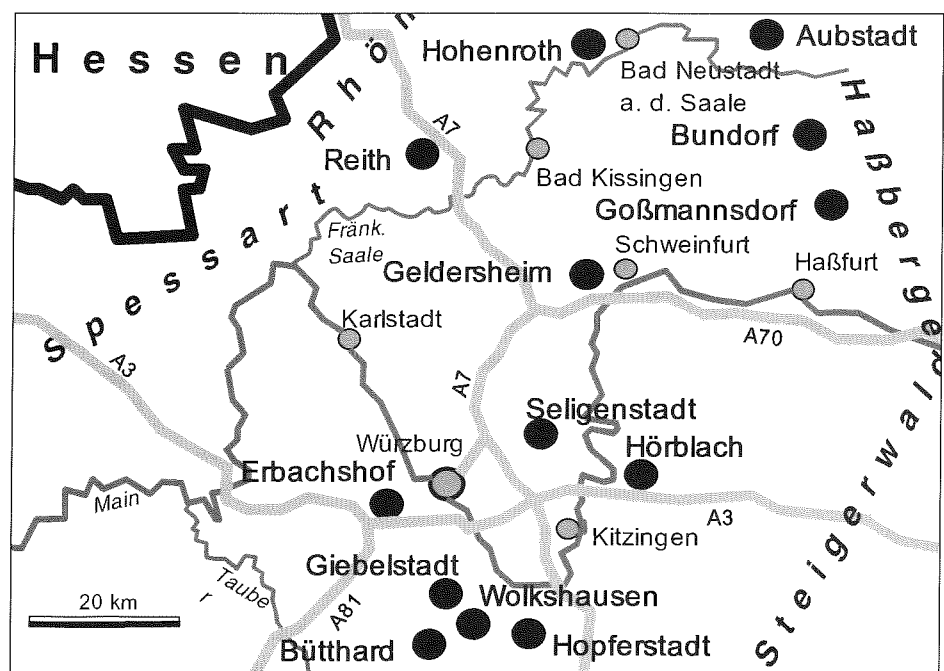


Abb. 1: Lage der Untersuchungsstandorte (Grafik: Seethaler, LBP)

Standort	Lkr.	Landschaft	Höhe ü. NN, m	Bodenzahl	Ausgangsgestein	Bodentyp
Aubstadt	NES	Grabfeld	312	78	Löss	Parabraunerde
Bütthard	WÜ	Zentrale Gäulandschaft	318	80	Löss	Kolluvium
Erbachshof	WÜ	Fränkische Platten	352	68	Löss	Braunerde
Geldersheim	SW	Zentrale Gäulandschaft	231	72	Löss	Parabraunerde, erod.
Giebelstadt	WÜ	Zentrale Gäulandschaft	297	81	Löss	Parabraunerde
Hopferstadt	WÜ	Zentrale Gäulandschaft	315	86	Löss	Parabraunerde, erod.
Reith	KG	Südrhön	318	54	Löss	Pseudogley
Seligenstadt 1	WÜ	Zentrale Gäulandschaft	276	76	Löss	Kolluvium
Seligenstadt 2	WÜ	Zentrale Gäulandschaft	277	76	Löss	Parabraunerde, erod.
Seligenstadt 3	WÜ	Zentrale Gäulandschaft	279	76	Löss	Parabraunerde
Seligenstadt 4	WÜ	Zentrale Gäulandschaft	276	76	Löss	Pararendzina
Wolkshausen	WÜ	Zentrale Gäulandschaft	289	84	Löss	Parabraunerde, erod.
Goßmannsdorf	HAS	Nördliche Gipskeuperplatte	268	43	Tonstein	Pelosol
Hohenroth 1	NES	Östliche Vorrhön	310	39	Tonstein	Braunerde
Hohenroth 2	NES	Östliche Vorrhön	282	32	Tonstein	Pelosol
Bundorf	HAS	Haßberge	340	40	Sandmergelstein	Braunerde
Hörblach	KT	Kitzinger Sandgebiet	190	42	Terrassensand	Braunerde

Tab. 1:  
Standortbeschreibung

mit extrem geringem Anteil an weiten und engen Grobporen, also mit sehr geringer Luft- und Sickerwasserkapazität, der deshalb starker Stau-nässe unterliegt.

Die untersuchten tongeprägten Böden (in folgendem auch als „Tonböden“ bezeichnet) weisen im Mittel 82 mm nutzbare Feld- und 133 mm Totwasserkapazität in der effektiven Durchwurzelungstiefe auf.

### 3.1.3 Niederschlagsdaten

Die Werte der aktuellen und langjährig durchschnittlichen (1961-1990) Niederschläge beruhen auf Angaben des Deutschen Wetterdienstes München und Offenbach\*.

Die durchschnittlichen Niederschläge in den Anbaujahren (Oktober des Vorjahres bis einschließlich September des genannten Jahres, s. u.) lagen zwischen 68 % (Hohenroth 1991) und 147 % (Hörblach 1995) des langjährigen Standortmittels. Insgesamt ergab sich in den Anbaujahren ein mittlerer Wert von 651 mm oder 103 % des langjährigen Durchschnitts (Tabelle A3). Die dem jeweiligen Standort nächstgelegene und herangezogene Niederschlagsmessstation kann Tabelle A2 entnommen werden.

\* beiden sei an dieser Stelle für die zur Verfügung gestellten Daten gedankt



### 3.2 Ermittlung des Bodenwassergehalts

Insgesamt werden 277 „Standortjahre“ (= Summe aller pro Standort betrachteten Jahre) ausgewertet. Der Zeitraum der Messungen auf den einzelnen Standorten und die in diesen Jahren angebauten Früchte gehen aus Tabelle A4 hervor.

Die Messungen des Bodenwassergehalts erfolgten in der Regel monatlich. Der Messzeitraum für die einzelnen Standorte war unterschiedlich. 1985 kamen einige Standorte neu hinzu, 1997 wurde eine Reihe von Standorten aufgegeben und z. T. durch neue ersetzt, die hier allerdings nicht berücksichtigt wurden.

Wenn anhaltender Niederschlag, vor allem aber wassergesättigter Boden die Probenahme nahezu unmöglich machte, wurde diese um einige Tage verschoben, was bei der folgenden Probenahme nach Möglichkeit wieder ausgeglichen wurde, so dass die Spanne zwischen den Messungen („Messabschnitt“) in der Regel zwischen 3 und 5 Wochen lang war.

Die Bodenproben wurden über die Jahre hinweg aus einer Fläche von ca. 20 m Durchmesser aus mindestens 3 Einstichen mit dem Pürckhauer Bohrstock bis in 100 (Löss), 90 (Sand) bzw. 60 cm Tiefe (Ton- und Sandmergelstandorte) gewonnen und sofort dicht in Plastiktüten verpackt. Der Wassergehalt wurde nach DIN ISO 11465 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V., 2000) durch Bestimmung der Gewichts Differenz vor und nach einer mindestens 16-stündigen Trocknung bei 105 °C im Trockenschrank ermittelt. Für die Umrechnung des ermittelten Wassergewichtes in  $l/m^2$  (= mm) wurde pauschal ein Trockenraumgewicht des Bodens von 1,5 kg/l unterstellt. Die Prüfung der Methode für 9 verschiedene Standorte durch Auswertung der einzelnen Einstiche ergab Standardfehler des Mittelwerts von 0,8 mm bis 7,3 mm.

Um einen Bezug zwischen der angebauten Frucht und dem Bodenwasserhaushalt herstellen zu können, erfolgen die Angaben immer für das „Anbaujahr“, nämlich für den Abschnitt von Oktober des Vorjahres bis einschließlich September des genannten Jahres. Wenn nicht anders angegeben, beziehen sich die Angaben zu einem Monat immer auf die Messtermine in diesem Monat bzw. auf den davor liegenden Messabschnitt.

Die Menge an pflanzenverfügbarem Wasser erhält man nach Abzug der Totwasserkapazität vom Gesamtwassergehalt.

Aus den Zu- oder Abnahmen der monatlich ermittelten Werte des Bodenwassergehalts und den im gleichen Zeitraum gefallenem Niederschlägen lässt sich eine hier „Wasserabgabe“ genannte Größe berechnen, die aussagt, welche Wassermenge durch Verdunstung (Evapotranspiration), Versickerung, Oberflächenabfluss oder seitliche Wasserbewegung den Boden im beobachteten Zeitabschnitt verlassen hat (alle Größen in mm):

$$\text{Wasserabgabe} = \text{Niederschlag} - \Delta \text{Bodenwasser}$$

Es wird hierbei unterstellt, dass ein kapillarer Aufstieg von Wasser aus dem Bereich unterhalb des effektiven Wurzelraums nicht stattfindet. Dies dürfte für alle betrachteten Standorte mit Ausnahme von Hörblach zutreffen (hier spricht die Lage, das Bodenprofil und der Verlauf des Wassergehalts im Sommer dafür, dass der Wurzelraum zumindest zeitweise Anschluss an das Grundwasser hatte).

Die Jahressumme dieser monatlich berechneten Werte entspricht naturgemäß in etwa den Jahresniederschlägen, da die Wasserabgabe sich in einem Jahres nur wenig von der Zufuhr unterscheiden kann.

Auf dem Standort Erbachshof und ab 1995 in Giebelstadt wurden auf drei bodenkundlich vergleichbaren Feldstücken, auf denen eine dreigliedrige Fruchtfolge (Zuckerrüben – Winterweizen – Sommerdruschfrucht) versetzt durchgeführt wurde (Ausnahme 1990), jeweils bei Winterweizen und der Sommerdruschfrucht Messungen durchgeführt. Es handelt sich beim Standort Erbachshof also um drei nebeneinanderliegende Teilstandorte, deren geringe Bodenunterschiede sich beim Vergleich des Winterweizens mit der Sommerdruschfrucht wegen der Standortrotation über die Jahre ausgleichen. Die auf die Fruchtart bezogenen Messergebnisse dieser drei Teilstandorte werden den angebauten Früchten entsprechend als „Erbachshof W“ bzw. „Erbachshof S“ bezeichnet.

### 3.3 Wasserhaushaltsmodell

Als Interpretationshilfe der gefundenen Werte können verschiedene Größen des Bodenwasserge-

halts herangezogen werden, die im Auftrag der LBP mit dem Wasserhaushaltsmodell HyMo-1 von Herrn Dr. Thomas Rötzer anhand gemessener Witterungsdaten von bayerischen Klimastationen (KS) berechnet wurden. Das Modell bestimmt die einzelnen Elemente des Wasserhaushalts (Verdunstung, Oberflächenabfluss und Sickerwassermenge) der jeweiligen Kultur- und Bodenart fortlaufend als Tageswerte für den vorgegebenen Zeitraum. Grundlage der Berechnungen ist die Verdunstungsgleichung nach PENMAN, die neben einem Temperatur-Feuchte-Term und einem Ventilations-Term auch einen Strahlungsterm beinhaltet, wodurch sowohl die für die Verdunstung zur Verfügung stehende Energie als auch der Übergang des Wassers in die Luft beschrieben wird. Nach der Bestimmung der bestandesspezifischen Verdunstung lassen sich über die Wasserhaushaltsgleichung die einzelnen Elemente des Wasserhaushalts berechnen. Ein Schneemodul berücksichtigt Schnee- und -schmelze. Der Vegetationsverlauf landwirtschaftlicher Kulturen wird durch die Einbeziehung phänologischer Entwicklungsphasen nachempfunden. Eine genaue Beschreibung der Methodik ist in RÖTZER (1996) enthalten. Diese sowie die neuesten Modellentwicklungen können über [Thomas-Roetzer@web.de](mailto:Thomas-Roetzer@web.de) erfragt werden.

Dieses Wasserhaushaltsmodell zeigte in einem Vergleich mehrerer Modelle gute Plausibilität (KREMB et al. 2000).

Die Wasserhaushaltsberechnung erfolgte für die Fruchtarten Winterweizen, Wintergerste, Sommerweizen, Sommergerste, Zuckerrüben und Silomais. Der Zeitraum der Berechnungen erstreckte sich aufgrund der vorliegenden Witterungsdaten von 1980 bis zum Jahr 1999. Für die jeweiligen Standorte wurden die hinsichtlich Höhendifferenz (max. 82 m) und Entfernung (max. 20 km) geeignetsten KS herangezogen. Das waren die KS Bad Königshofen für Aubstadt, Bundorf und Hohenroth, die KS Hofheim für Goßmannsdorf, die KS Bad Kissingen für Reith sowie die KS Würzburg für alle anderen Standorte. Damit wurden für 15 der 17 Standorte z. T. deutlich größere Entfernungen und Höhendifferenzen zum Messstandort in Kauf genommen als bei den im übrigen für die Niederschlagsmengen herangezogenen Niederschlagsmessstellen.

Die Ergebnisse für die Löss- und Tonböden werden den durch Messung gewonnenen Werten gegenübergestellt.

### 3.4 Darstellung der Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt tabellarisch und grafisch. Dabei wird der Wassergehalt absolut in mm oder relativ zur nutzbaren Feld- bzw. zur Haftwasserkapazität angegeben.

Die Angaben erfolgen als ganze Zahlen. Dadurch sind durch Rundung bedingte Differenzen möglich. Wenn nicht anders angegeben, beziehen sich Angaben zu den Niederschlägen immer auf die betrachteten Standortjahre. Niederschläge zu bestimmten Früchten beziehen sich auf die Standortjahre, in denen die genannte Frucht angebaut wurde.

Die Begriffe in Tabelle 2 und den entsprechend aufgebauten Tabellen im weiteren Text sind folgendermaßen zu verstehen:

Alle Werte beziehen sich auf die effektive Durchwurzelungstiefe.

*n*: Summe aller pro Standort betrachteten Jahre = Zahl der „Standortjahre“. Eine Beobachtung auf 3 Standorten über jeweils 5 Jahre ergibt z. B.  $n = 15$ . Die Jahre und die angebauten Früchte sind Tabelle A4 zu entnehmen.

% *d. nFK*: Wassergehalt relativ zur nutzbaren Feldkapazität. Der Wert gibt einen Hinweis auf die Wasserversorgung der Pflanzen. Er dient z. B. zur Beurteilung der Beregnungsbedürftigkeit. Ist die nutzbare Feldkapazität gefüllt, gilt dies definitionsgemäß auch für die Feldkapazität.

% *d. HWK*: Wassergehalt relativ zur Haftwasserkapazität (= Porenvolumen der Fein- und Mittelporen). Der Wert kann als Maßstab für die Wahrscheinlichkeit von Sickerwasserbildung herangezogen werden. Spätestens bei einer Wassermenge, die über 100 % der Haftwasserkapazität liegt, tritt zumindest bei Bodentemperaturen über 0 °C Sickerwasser auf. Da der Wassergehalt im Bodenprofil nach unten hin in aller Regel zunimmt und außerdem Wasser auch über die besonders bei Trockenheit vorliegenden weiten Grobporen den Boden schnell durchwandern kann, ist bereits bei niedrigeren Wassergehalten mit Sickerwasser zu rechnen.

*pflanzenverfügbar*: absolute Menge des pflanzenverfügbaren Bodenwassers.

*Niederschläge*: Die Bodenwassergehalte sind im Wesentlichen von den Niederschlägen abhängig. Ein Vergleich zwischen unterschiedlichen Standortjahren ist deshalb schwierig und allenfalls bei gleichzeitiger Betrachtung der den Standortjahren entsprechenden Niederschläge möglich. Diese werden deshalb zur besseren Interpretation der Werte jeweils relativ zum langjährigen Mittel und absolut angegeben. Der Relativwert bezieht sich auf die Niederschläge des angegebenen Monats, nicht auf den Messabschnitt.

*Wasserabgabe*: unter Berücksichtigung von Veränderungen des Bodenwassergehalts und der Niederschläge im Messabschnitt wurde die Abgabe von Wasser aus dem betrachteten Bodenabschnitt rechnerisch ermittelt.

*Winter bzw. Sommer*: für das Winter- (Oktober–März) bzw. Sommerhalbjahr (April–September) wurden die Daten gemittelt bzw. summiert.

*Kennwerte*: die für die beobachteten Standorte wichtigsten mittleren Kennwerte des Bodenwasserhaushalts wurden nach der Zahl der Anbaujahre gewichtet errechnet und sind in mm angegeben.

## 4 Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Lössböden

#### 4.1.1 Alle Standorte

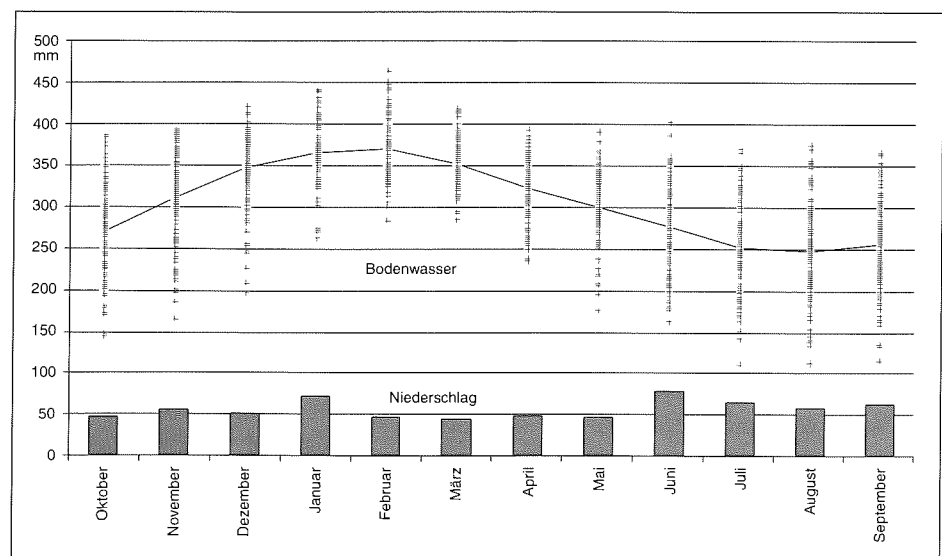
Der im Durchschnitt von 205 Standortjahren ermittelte Jahresverlauf des Bodenwassergehalts auf Lössstandorten bewegt sich zwischen 248 mm und 371 mm (Abbildung 2). Wie hier werden i. d. R. allen weiteren Darstellungen des Bodenwassergehalts die mittleren Niederschläge (mm) in den Messabschnitten der jeweils entsprechenden Standortjahre gegenübergestellt.

Die Spannweite der gemessenen Wassergehalte in den einzelnen Monaten über die Anbaujahre und Standorte umfasst je nach Monat 150 bis 250 mm. Niedrigste Gehalte wurden im Juli, August und September, die höchsten Gehalte im Februar gemessen. Der März ist der Monat mit der kleinsten Spannweite: die Böden sind wassergefüllt, das die Feldkapazität übersteigende Wasser ist zum Teil bereits abgeführt.

Abbildung A1 gibt einen Überblick über die in einem Anbaujahr über alle Lössstandorte festgestellte Bandbreite der Bodenwassergehalte.

Für die Risikoabschätzung des Pflanzenbauers in niederschlagsarmen Gebieten wie Unterfranken ist von Bedeutung, wie häufig der Wasserspeicher für pflanzenverfügbares Wasser zu Vegetationsbeginn nicht gefüllt ist, wie oft das Jahresmaximum

Abb. 2: Mittlerer Verlauf und Bandbreite der gemessenen Bodenwassergehalte (Löss, 1980–2000,  $n = 205/\text{Monat}$ )



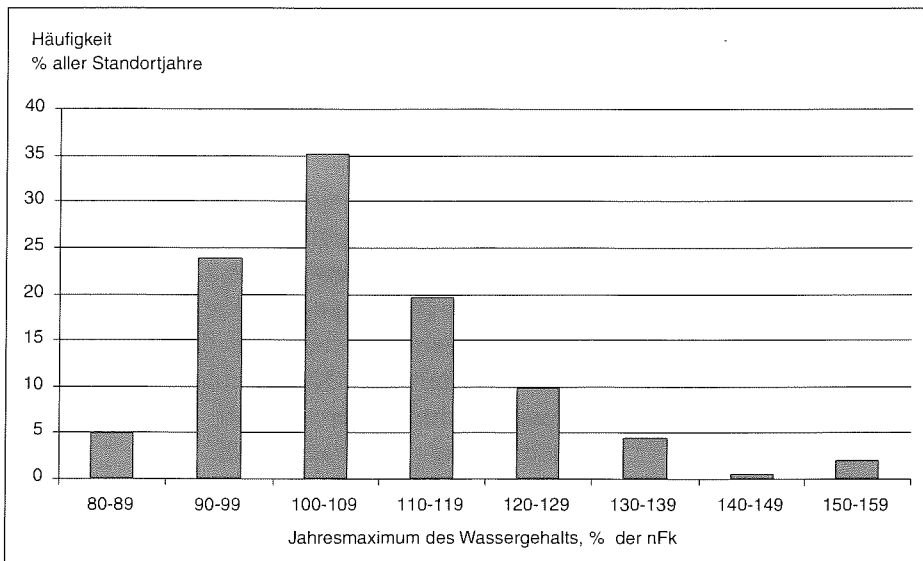


Abb. 3: relative Häufigkeit von Jahresmaxima des Wassergehalts (Löss, 100 % = 205 Standortjahre), z. B.: in 35 % aller beobachteten Standortjahre wurde ein Maximum des Bodenwassergehalts in Höhe von 100–109 % der nFk erreicht.

also unter 100 % der nutzbaren Feldkapazität liegt (Abbildung 3).

Es ist unwahrscheinlich, dass bei 12 Probenahmen im Jahr das Jahresmaximum bzw. -minimum jeweils exakt angetroffen wurde. Tatsächlich ist deshalb mit höheren maximalen Werten bzw. niedrigeren minimalen Werten zu rechnen als hier festgestellt wurde. Dazu kommt, dass eine Probenahme zur Messung des Bodenwassergehalts bei hoher Wassersättigung wegen der erschwerten oder gar unmöglichen Durchführung eher nicht erfolgte (s. o.), so dass auch hierdurch die tatsächlichen Maximalgehalte nicht immer erfasst wurden.

In 71 % der Standortjahre wurde ein Maximum von mindestens 100 % der nutzbaren Feldkapazität angetroffen, in 95 % der Fälle lag das beobachtete Maximum bei mindestens 90 % der nutzbaren Feldkapazität.

Der Lössstandort mit den niedrigsten Niederschlägen im Untersuchungszeitraum war Hopferstadt. Er wies in 17 Anbaujahren durchschnittlich 608 mm Niederschlag auf (496 mm bis 761 mm). Im Winterhalbjahr regnete es im Mittel 280 mm (182 mm bis 398 mm). Trotzdem wurde in allen Jahren bei Winterausgang eine Füllgrad von wenigstens 105 % der nutzbaren Feldkapazität vorgefunden.

Der große Wasserspeicher der Lössstandorte im niederschlagsarmen Unterfranken war demnach in aller Regel bei Winterausgang gefüllt.

ROTH et al. (1997) fanden in Thüringen bei durchschnittlich 544 mm Jahresniederschlag in 10 Jahren die Feldkapazität auf tiefgründigem Löss in nur vier Jahren gefüllt.

Ebenfalls von Interesse ist die Wahrscheinlichkeit, mit der in einem Jahr die nutzbare Feldkapazität zu mehr als 50 % oder gar völlig ausgeschöpft wird (Abbildung 4).

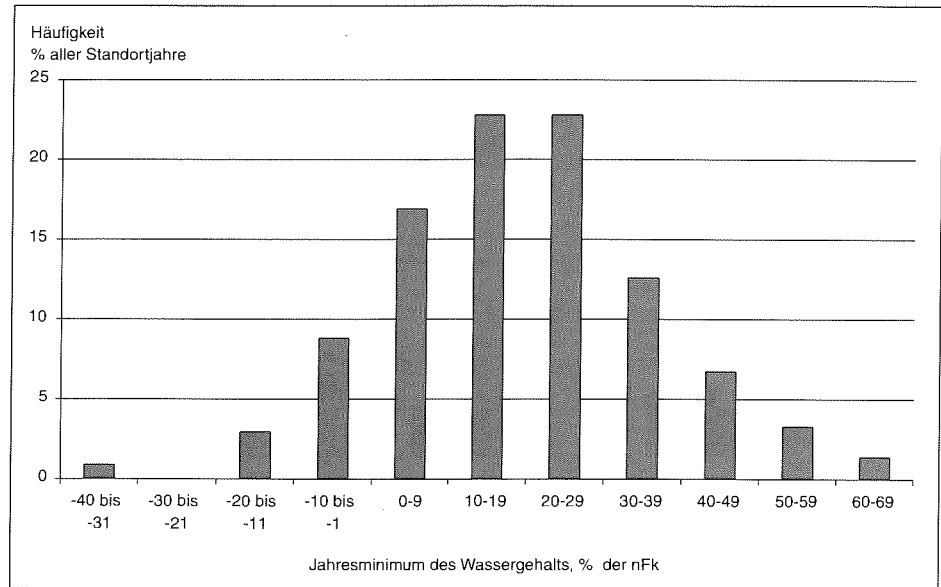
Der pflanzenverfügbare Wasservorrat wurde in 13 % der Jahre völlig ausgeschöpft, in 95 % der Fälle unterschritt er während der Sommermonate 50 % der nutzbaren Feldkapazität.

Die über die Anbaujahre gemessenen Wassergehalte der einzelnen Standorte (Abbildung A2) zeigen mit der Ausnahme Seligenstadt 1, einem Kolluvium, kaum Unterschiede (siehe auch unter 4.1.2).

Im Mittel der Anbaujahre und Standorte (Tabelle 2)

- war bei 309 mm Niederschlag im Winterhalbjahr die (nutzbare) Feldkapazität der Lössböden bei Winterausgang aufgefüllt,
- schwankte die monatliche Wasserabgabe zwischen 14 mm (November/Dezember) und 101 mm (Juni),
- war die Haftwasserkapazität in den 4 Monaten Dezember bis März gefüllt, es trat also bei flüssigem Aggregatzustand des Wassers Sickerwasser auf,

Abb. 4: relative Häufigkeit von Jahresminima des Wassergehalts (Löss, Häufigkeit 100% = 205 Standortjahre; Jahresminimum < 0: nFk war erschöpft, Wassergehalt lag im Totwasserbereich)



- fand im Winterhalbjahr eine nennenswerte Wasserabgabe, d. h. hier hauptsächlich Sickerwasserbildung, erst ab dem Messabschnitt Januar statt,
- war im Sommerhalbjahr die Wasserabgabe mehr als doppelt so hoch wie im Winterhalbjahr.

Die hier festgestellte höhere Wasserabgabe ab dem Messabschnitt Januar entspricht den in der Literatur genannten Zeiträumen mit erhöhter N-Auswaschungsgefahr auf Löss (MAIDL 1998).

Die Auswertung aller Lössstandorte nach verschiedenen Früchten lässt bei Berücksichtigung der jeweiligen Niederschläge keine Unterschiede erkennen (Abbildung 5). Es lassen sich die Vegetationsphasen der verschiedenen Früchte nachvollziehen und das niederschlagsabhängige Ansteigen nach der jeweiligen Abreife.

Die monatlichen Werte des Wasserhaushalts auf Löss für die Früchte mit mehr als 10 beobachteten Standortjahren sind im Anhang in den Tabellen A5 bis A10 dargestellt.

Tab. 2: Monatliche Werte des Wasserhaushalts von Lössböden

Monat	Bodenwasser				Niederschläge		W.abgabe
	mm	% d. nFK	% d. HWK	pflanzenverfügbar mm	monatlich, % d. langj. Ø	im Messabschnitt mm	mm
Oktober	270	48	79	94	116	46	32
November	311	70	91	135	99	55	14
Dezember	347	89	102	171	117	50	14
Januar	367	99	108	190	115	70	50
Februar	371	101	109	195	96	46	41
März	352	91	104	176	107	43	61
April	322	75	95	145	94	48	79
Mai	301	64	88	124	102	45	65
Juni	276	51	81	100	94	77	101
Juli	252	39	74	76	121	63	87
August	248	37	73	72	86	58	62
September	257	41	75	81	108	61	52
	Mittelwert				Mittelwert	Summe	Summe
Winter	336	83	99	160	108	309	213
Sommer	276	51	81	100	101	351	446
Jahr	306	67	90	130	105	660	659
Kennwerte	FK = 370	nFK = 193	HWK = 341				

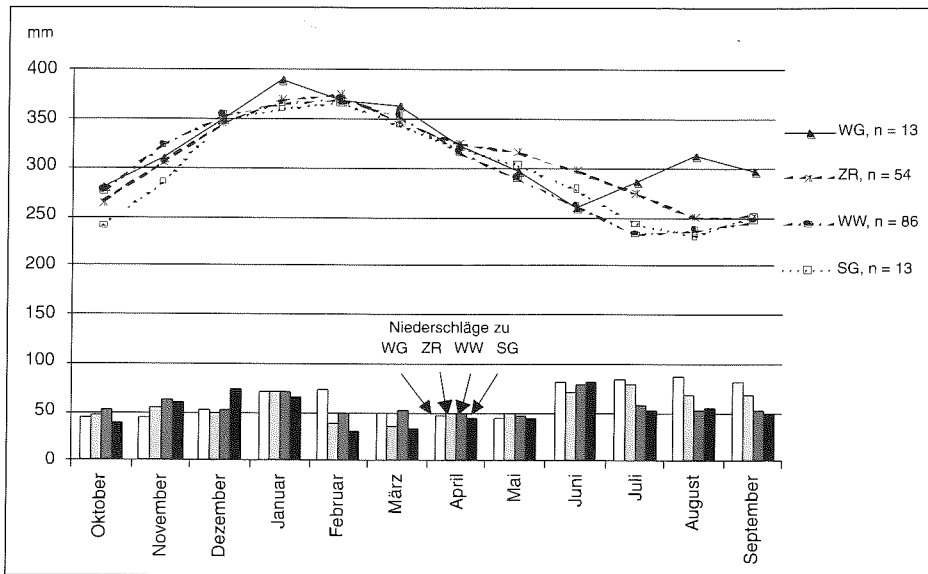


Abb. 5: Mittlerer Verlauf des Bodenwassergehalts unter verschiedenen Früchten (Löss)

Zur weiteren Beurteilung der gemessenen Werte wurden für bestimmte Früchte (s. 3.3) mit dem Bodenwassermodell HyMo-1 (RÖTZER 1996) u. a. die jährlichen Sickerwassermengen ermittelt. Sie sind Tabelle 3 zu entnehmen. Bei der Berechnung wurde Winterroggen dem Winterweizen, Hafer und Durum dem Sommerweizen gleichgestellt. Auf Löss ist demnach im Untersuchungsgebiet mit durchschnittlich 110 mm Sickerwasser pro

Jahr zu rechnen. Die Spanne in den einzelnen Jahren reichte von 0 bis 373 mm. Die meisten Standorte zeigten im Durchschnitt Werte zwischen 90 mm und 120 mm, in Reith versickerten nach dieser Modellrechnung durchschnittlich 238 mm Wasser im Jahr bei überdurchschnittlich hoher (nutzbarer) Feldkapazität, aber deutlich höheren Niederschlägen als auf den anderen Standorten. Die Schwankungen zwischen den Mittelwerten

Anbaujahr	Aubstadt	Bütt-hard	Erbachshof W	Erbachshof S	Geldersheim	Hopferstadt	Reith	Sei- gen- stadt 1	Sei- gen- stadt 2	Sei- gen- stadt 3	Sei- gen- stadt 4	Wolks- hausen	Ø	Ø Niederschlag
1980	127	84	-	-	-	86	-	87	88	88	84	-	92	549
1981	100	87	-	-	-	106	-	77	107	113	92	-	97	603
1982	212	186	-	-	186	190	-	174	208	218	192	174	193	614
1983	-	141	144	167	205	181	-	128	168	177	150	137	160	607
1984	201	33	0	0	20	3	-	0	28	37	7	38	33	581
1985	65	7	17	19	11	42	-	0	7	16	0	13	18	531
1986	138	31	44	55	82	74	190	56	89	96	73	63	83	648
1987	204	208	168	187	229	174	274	181	212	219	168	216	203	729
1988	230	248	265	-	262	270	-	257	262	263	-	254	257	718
1989	200	125	118	196	114	129	218	116	153	162	-	134	151	555
1990	159	57	64	58	90	93	-	47	87	95	57	72	80	531
1991	63	15	20	-	49	39	158	0	42	51	22	24	44	441
1992	48	17	34	83	63	45	127	7	53	63	32	38	51	708
1993	84	38	36	34	40	45	-	15	43	48	29	39	41	454
1994	236	159	163	176	194	173	373	-	-	-	-	171	206	744
1995	266	93	180	-	142	135	327	75	118	127	98	141	155	729
1996	101	56	32	97	65	70	-	47	75	81	61	60	68	509
1997	119	-	-	-	-	-	-	78	108	-	-	-	102	558
1998	49	-	-	-	-	-	-	0	19	-	-	-	23	524
1999	314	-	-	-	-	-	-	158	197	-	-	-	223	666
Ø	153	93	92	97	117	109	238	79	109	116	76	105	110	-
Ø Niederschlag	624	593	594	590	597	594	785	583	583	587	582	597	-	601

Tab. 3: Sickerwasseranfall auf den Lössstandorten in den einzelnen Anbaujahren (mm, Modellrechnung, - = keine Berechnung)

der einzelnen Jahre sind groß und reichen von 18 (1985) bis 257 mm (1988), allerdings bei nicht homogener Datenbasis.

Der Mittelwert entspricht weitgehend der mittleren Abflussmenge, die HIRMER, gestützt auf Abflusswerte größerer Einzugsgebiete für die Berechnung des noch akzeptablen N-Austrags auf unterfränkischen Standorten unterstellt hat (HIRMER, 1994). Allerdings dürfte die Übertragung dieses Mittelwerts auf einzelne Jahre wegen der großen Schwankungsbreite problematisch sein.

Die monatlichen Werte für den Sickerwasseranfall zeigen, dass auch nach diesem Modell Sickerwasser nur in den Monaten Januar bis April in nennenswerter Höhe von durchschnittlich jeweils rund 25 mm auftritt (Tabelle 4). Berücksichtigt man, dass im Mittel an den Standorten mit Winterweizen 21 mm höhere Niederschläge niedergingen als an denen mit Zuckerrüben, so wird man von vergleichbaren Sickerwassermengen bei Zuckerrüben und Winterweizen ausgehen können.

Ein Vergleich zwischen dem Ergebnis des Wasserhaushaltsmodells und der Bodenwassermessung der entsprechenden Standortjahre zeigt, dass die Ergebnisse in hohem Maße von den unterlegten Niederschlagshöhen abhängen. Da im Modell Witterungsdaten zur Berechnung der Verdunstung notwendig sind, mussten diese von einer geeigneten Klimastation herangezogen werden. Klimastationen existieren in einem deutlich weitmaschige-

ren Netz als die Niederschlagsmessstellen, deren Entfernung von einem bestimmten Standort deshalb in der Regel geringer ist. Die Werte der Niederschlagsmessstellen dürften aus diesem Grund wohl besser den Verhältnissen an den untersuchten Standorten entsprechen.

Der Unterschied der monatlichen Niederschläge zwischen Niederschlagsmessstellen und Klimastationen beträgt über alle hier untersuchten Standortjahre im Mittel 54 mm pro Jahr (Tabelle 5).

Zählt man die Ergebnisse des Modells für Verdunstung, Versickerung und Oberflächenabfluss zusammen, so ergibt dies einen Wert, welcher dem Wert der Wasserabgabe entspricht und mit diesem vergleichbar ist. Sieht man von der aufgrund der höheren Niederschlagsmenge insgesamt auch größeren Wasserabgabe ab, ist festzustellen, dass das Wasserhaushaltsmodell in den Monaten Mai bis August, also in den Monaten mit der höchsten Verdunstung, etwas höhere Werte des Wasserverlustes liefert, als sie sich über Bodenwassermessungen ergaben, während sie in den übrigen Monaten darunter lagen. Der Grund für diese systematisch erscheinende Abweichung dürfte nur schwerlich in den Messungen oder Differenzen der unterlegten Niederschläge gefunden werden können.

Nach dem Modell besteht die Wasserabgabe in den Monaten Mai bis Dezember nahezu vollstän-

Tab. 4: Monatlich aufgetretenes Sickerwasser (Löss, Modellrechnung)

Monat	Zuckerrüben n = 52		Winterweizen n = 82		sonstige Früchte n = 49		Ø aller Früchte n = 183	
	Niederschlag mm	Sickerwasser mm	Niederschlag mm	Sickerwasser mm	Niederschlag mm	Sickerwasser mm	Niederschlag mm	Sickerwasser mm
Oktober	44	0	47	1	36	0	43	1
November	47	0	54	3	38	1	48	2
Dezember	41	1	46	2	42	1	44	2
Januar	62	28	63	26	61	15	62	23
Februar	32	21	40	29	47	17	40	24
März	30	16	45	33	35	24	38	26
April	45	21	48	26	45	21	47	23
Mai	43	8	42	2	42	5	42	4
Juni	58	6	72	5	86	7	72	6
Juli	71	0	50	0	55	0	57	0
August	53	0	51	0	62	0	55	0
September	56	0	48	0	61	0	54	0
Jahr	583	102	604	127	610	90	601	110

dig aus Verdunstung. Im Januar und Februar besteht die abgehende Wassermenge neben einem nahezu konstanten Betrag von monatlich 6 mm für Verdunstung überwiegend aus Sickerwasser. Im März macht der Sickerwasseranteil etwa 2/3, im April ca. 40 % der gesamten Wasserabgabe aus. Nach den Ergebnissen der vorliegenden Modellrechnung macht der Anteil des Sickerwassers auf diesen Standorten etwa 18 % der Jahresniederschläge aus.

Insgesamt weisen beide Methoden im Durchschnitt der Jahre ähnliche Größenordnungen der monatlichen Wasserabgabe auf.

#### 4.1.2 Standort Seligenstadt: Wasserhaushalt verschiedener Bodentypen

Die Standorte Seligenstadt 1 bis 4 lassen einen Vergleich des Wasserhaushalts der Bodentypen Kolluvium, erodierte Parabraunerde, Parabraunerde und Pararendzina zu. Es werden hierzu die hinsichtlich Fruchtart vergleichbaren Anbaujahre 1980–1986 und 1990–1996 herangezogen.

Das Kolluvium weist bei hohem Gesamtporenvolumen den höchsten Grobporenanteil und die niedrigste Totwasserkapazität auf und hat damit bei geringer Feldkapazität eine hohe nutzbare Feldkapazität. Es hatte demzufolge einen etwas geringe-

ren Wassergehalt, lag aber beim pflanzenverfügbaren Wasser vor den anderen Bodentypen (Tabelle 6 und 7, Abbildung A3).

Auch bei der monatlichen Wasserabgabe unterschied sich das Kolluvium von den anderen Bodentypen. In den Monaten mit hohen Wassergehalten war die berechnete Wasserabgabe etwas niedriger, was möglicherweise auf eine lagebedingte Zufuhr von Oberflächenwasser zurück geführt werden kann. Allerdings wäre dieser Effekt auch in den Sommermonaten bei stärkeren Gewitterregen zu erwarten.

Schließt man dies aus und geht im Winterhalbjahr von gleicher Evapotranspiration auf den verschiedenen Bodentypen aus, so kann dies nur bedeuten, dass das Kolluvium in Zeiten hoher Wassersättigung weniger Wasser abgab als andere Bodentypen. Eine geringere Porenkontinuität im Kolluvium ist eine mögliche Erklärung.

Der negative Wert von -3 mm für die Wasserabgabe im November bei der Parabraunerde muss durch Niederschläge, die von denen der Niederschlagsmessstation abweichen oder durch Messfehler erklärt werden.

Der Gehalt an pflanzenverfügbarem Wasser (Wassergehalt – Totwasser) wird bei gleichem Substrat im Wesentlichen von der jeweiligen Totwasserka-

n = 183	Niederschlag		Bodenwassermodell				Messung
	Klimastation <sup>2)</sup>	Messstelle <sup>3)</sup>	Verdunstung	Sickerwasser	Oberflächenabfluss	zusammen	Wasserabgabe <sup>4)</sup>
Oktober	43	46	20	1	1	21	33
November	48	54	11	2	0	12	14
Dezember	44	49	7	2	0	9	12
Januar	62	69	6	24	0	30	49
Februar	40	45	6	24	0	30	40
März	38	41	12	26	0	38	61
April	47	47	35	23	0	58	78
Mai	42	45	63	4	1	69	64
Juni	72	79	112	6	3	121	102
Juli	57	61	92	0	5	97	89
August	55	58	58	0	8	66	62
September	54	60	46	0	4	50	51
Jahr	601	655	468	110	24	602	655

Tab. 5: Vergleich der monatlichen Messungen mit den Berechnungen nach dem Bodenwassermodell (Löss, mm)<sup>1)</sup>

1) zugrunde liegen die gleichen Standortjahre

2) Verwendung im Bodenwassermodell

3) nächstgelegene Messstelle für Niederschläge (s. Tab. 2). Verwendung zur Ermittlung der „Wasserabgabe“ im Rahmen der Bodenwassermessungen

4) entspricht der Summe aus Verdunstung, Versickerung und Oberflächenabfluss



Tab. 6: Monatliche Werte des Wasserhaushalts verschiedener Löss-Bodentypen, 1980–1986, 1990–1996 (Teil 1)

n=14		Bodenwasser, mm				Niederschlag		Wasserabgabe, mm			
Bodentyp Monat	Kollu- vium	erod. Para- b.erde	Para- braun- erde	Para- rend- zina	monatlich, % des langj. Ø	im Mess- abschnitt mm	Kollu- vium	erod. Para- b.erde	Para- braun- erde	Para- rend- zina	
	Oktober	232	272	258	266	119	47	30	32	41	33
November	265	312	312	308	102	51	18	11	-3	8	
Dezember	305	349	346	342	129	50	10	13	16	17	
Januar	332	367	367	358	127	72	46	54	51	56	
Februar	345	374	375	364	90	44	31	37	37	38	
März	335	349	350	342	94	34	44	59	58	56	
April	303	315	315	309	87	44	76	78	79	77	
Mai	287	298	301	295	108	41	57	59	56	55	
Juni	265	287	292	285	94	77	99	88	86	87	
Juli	238	268	262	258	137	73	100	92	103	100	
August	220	267	263	252	93	67	84	67	66	73	
September	223	265	258	257	108	61	58	63	66	57	
	Mittelwert				Mittelwert	Summe	Summe				
Winter	302	337	335	330	110	298	179	207	200	209	
Sommer	256	283	282	276	104	364	475	447	456	449	
Jahr	279	310	308	303	107	661	654	654	656	657	
Kennwerte	mm										
FK	350	373	380	372							
nFK	230	178	167	202							
HWK	299	340	355	338							

pazität des Bodentyps bestimmt. Er lag beim Kolluvium in Seligenstadt wegen dessen geringer Totwasserkapazität immer über dem der anderen Bodentypen. Am ungünstigsten für die Versorgung der Pflanzen zeigte sich aus diesem Grund die Parabraunerde. Sie wies in den Monaten mit geringen Wasservorräten durchschnittlich 50 mm bis 80 mm weniger pflanzenverfügbares Wasser auf als das Kolluvium (s. a. Abbildung A4).

Dies stellt sich auch im Füllgrad der nutzbaren Feldkapazität dar. Er lag im Mittel im Kolluvium etwas höher als auf den Vergleichstandorten. Diese Eigenschaft trat vor allem in den Monaten mit geringeren Wassergehalten auf, nämlich von April bis einschließlich Oktober.

Gemessen an der relativen Füllung der Haftwasserkapazität zeigte das Kolluvium das höchste

Tab. 7: Monatliche Werte des Bodenwasserhaushalts verschiedener Löss-Bodentypen, 1980–1986, 1990–1996 (Teil 2)

n=14		Bodenwasser											
Bodentyp Monat	% der nFK				% der HWK				pfl. verfügbares Wasser, mm				
	Kollu- vium	erod. Para- b.erde	Para- braun- erde	Para- rend- zina	Kollu- vium	erod. Para- b.erde	Para- braun- erde	Para- rend- zina	Kollu- vium	erod. Para- b.erde	Para- braun- erde	Para- rend- zina	
Oktober	49	43	27	48	78	80	73	79	112	77	45	96	
November	63	66	59	68	89	92	88	91	145	117	99	138	
Dezember	81	87	80	85	102	103	97	101	185	154	133	172	
Januar	92	97	92	93	111	108	103	106	212	172	154	188	
Februar	98	100	97	96	115	110	105	108	225	179	162	194	
März	93	86	82	85	112	103	99	101	215	154	137	172	
April	79	68	61	69	101	93	89	91	183	120	102	139	
Mai	73	58	53	62	96	88	85	87	167	103	88	125	
Juni	63	51	47	57	88	84	82	84	145	92	79	115	
Juli	51	41	29	43	79	79	74	76	118	73	49	88	
August	44	40	30	40	74	78	74	74	100	72	50	82	
September	45	40	27	43	75	78	73	76	103	70	45	87	
	Mittelwerte												
Winter	79	80	73	79	101	99	94	98	182	142	122	160	
Sommer	59	50	41	52	86	83	79	82	136	88	69	106	
Jahr	69	65	57	66	93	91	87	90	159	115	95	133	

Sickerwasserpotential. Tatsächlich errechnet sich aber nach dem Wasserhaushaltsmodell für die Bodentypen Kolluvium, erodierte Parabraunerde, Parabraunerde bzw. Pararendzina in Seligenstadt für die direkt vergleichbaren Anbaujahre 1980–1986, 1990–1993, 1995 und 1996 (für 1994 erfolgte wegen der Fruchtart Winterraps keine Berechnung) ein durchschnittliches Sickerwasseraufkommen von 59, 90, 93 und 69 mm. Das allgemein niedrige Niveau ergibt sich aus den in den Vergleich einbezogenen Jahren mit witterungsbedingt geringem Sickerwasseranfall und kann nicht verallgemeinert werden.

**4.1.3 Standort Erbachshof: Wasserhaushalt unter verschiedenen Fruchtarten**

Auf dem Standort Erbachshof können bei sonst gleichen Bedingungen die Einflüsse von Sommerdruschfrüchten (Fruchtfolge s. Tabelle A4) und von Winterweizen auf den Bodenwasserhaushalt verglichen werden. Die Unterschiede waren unbedeutend (Tabelle 8, Abbildung A5).

Ein Wassermehrverbrauch im Herbst durch Winterweizen gegenüber den Sommerdruschfrüchten konnte nicht beobachtet werden. Lediglich im Mai wurde ein Mehrverbrauch von 16 mm festgestellt, der im August, also nach Vegetationsende, wieder ausgeglichen wurde. Die Kurve der Sommer-

früchte entspricht weitgehend der Kurve aller Löss-Standortjahre.

Ein entsprechender Vergleich zwischen Winterweizen und Sommergerste zeigt das gleiche Ergebnis (Abbildung A6). Der Verlauf für Sommergerste unterscheidet sich kaum vom Durchschnitt aller Sommerdruschfrüchte.

In den Werten für Oktober kommt wohl ein unterschiedlicher Vorjahres-, möglicherweise Vorfruchteinfluss zum Ausdruck (die Sommerfrucht stand nach Winterweizen).

Rückschlüsse auf das Auftreten von Sickerwasser lassen diese Ergebnisse nicht zu, auch wegen der geringen Stichprobenzahl von 13 Standortjahren.

Der hier in den Vergleich einbezogene Winterweizen lässt keine großen Unterschiede zu Sommerfrüchten erwarten. Möglicherweise wären die Unterschiede bei Wintergerste oder Winterraps wegen der im Herbst stärker entwickelten Pflanzenmasse deutlicher ausgefallen.

**4.2 Tongepägte Böden**

Im Zuge dieser Untersuchung wurden mit den Standorten Goßmannsdorf, Hohenroth 1 und Hohenroth 2 drei Standorte mit tongepäigten Böden beobachtet (hier auch kurz „Tonböden“ genannt).

n=13	Bodenwasser								Niederschlag		W.abgabe	
	mm		% d. nFK		% d.HWK		pfl.verfügbar, mm		monatl., im Mess-% des abschnittlangj. Ø		mm	
Monat	Sommer-ung	WW	Sommer-ung	WW	Sommer-ung	WW	Sommer-ung	WW	monatl., im Mess-% des abschnittlangj. Ø	mm	Sommer-ung	WW
Oktober	285	273	57	51	81	78	112	100	106	41	34	51
November	302	314	66	72	86	89	130	141	96	55	38	14
Dezember	342	343	87	87	97	98	170	170	113	46	6	17
Januar	372	367	102	99	106	105	200	195	120	71	41	47
Februar	368	370	100	101	105	105	196	198	91	47	51	44
März	354	354	93	93	101	101	182	181	111	41	56	58
April	322	323	77	77	92	92	150	151	102	55	88	86
Mai	307	292	69	61	88	83	135	120	116	44	59	75
Juni	276	260	53	45	79	74	104	87	93	84	115	116
Juli	255	239	42	34	73	68	83	67	111	56	77	76
August	254	263	41	46	72	75	82	91	90	60	61	37
September	274	285	52	57	78	81	102	113	110	61	40	39
	Mittelwert								Ø	Summe	Summe	
Winter	337	337	84	84	96	96	165	164	106	302	225	231
Sommer	281	277	56	53	80	79	109	105	104	360	440	429
Jahr	309	307	70	69	88	87	137	135	105	662	665	660
Kennwerte	FK = 368		nFK = 196		HWK = 351							

*Tab. 8: Monatliche Daten des Bodenwasserhaushalts unter Sommerung und Winterweizen (Löss; Ø 1983–1989 und 1991–1996)*

n=44	Bodenwasser				Niederschläge		W.abgabe
Monat	mm	% d. nFK	% d. HWK	pflanzen- verfügbar mm	monatlich, % d. langj. Ø	im Mess- abschnitt mm	mm
Oktober	175	48	85	40	108	44	24
November	204	84	99	70	94	62	33
Dezember	216	99	105	82	107	50	37
Januar	217	100	105	83	108	70	72
Februar	222	107	108	88	101	51	46
März	207	88	101	73	104	43	58
April	179	55	87	45	93	47	75
Mai	152	21	74	18	74	43	71
Juni	139	5	67	5	90	60	73
Juli	142	8	69	7	131	71	69
August	149	17	72	15	75	48	41
September	157	28	76	23	109	64	56
	Mittelwert				Mittelwert	Summe	Summe
Winter	207	88	100	73	104	319	270
Sommer	153	22	74	19	95	334	384
Jahr	180	55	87	46	100	654	654
Kennwerte	FK = 217	nFK = 83	HWK = 209				

Tab. 9: Monatliche Werte des Wasserhaushalts tongeprägter Böden

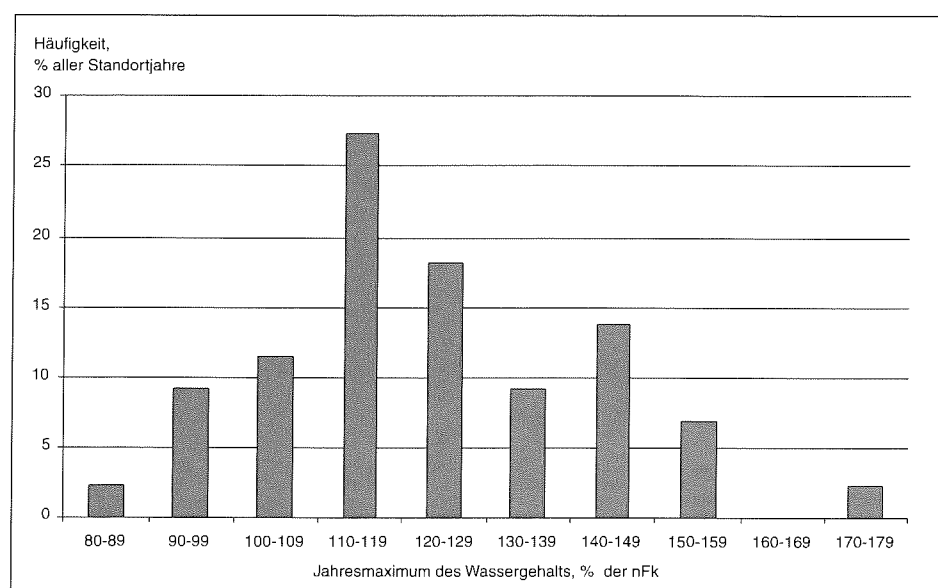
Im Mittel der Standortjahre schwankte der Bodenwassergehalt im Verlauf eines Jahres zwischen 139 mm und 222 mm (Tabelle 9). Im Vergleich zu den bis 1 m tief beprobten Lössstandorten mit ähnlichen Niederschlagsverhältnissen war der Gehalt an Bodenwasser in tongeprägten Böden 100 mm bis 150 mm niedriger (Abbildung A7).

In Hohenroth 2 lag das Wassergehaltsmaximum des Anbaujahres 1985 bei 87 % der nutzbare Feldkapazität, in allen anderen Standortjahren der Ton-

böden immer darüber. In insgesamt 5 Standortjahren, das sind 11 %, wurde die nutzbare Feldkapazität nicht vollständig gefüllt. Im Sommer wurden auf allen Standorten und in jedem Jahr 50 % der nutzbaren Feldkapazität unterschritten, in 78 % der Fälle wurde sie sogar völlig erschöpft (Abbildung 6 und 7).

Auch hier gilt aus den oben erläuterten Gründen, dass die Maxima tatsächlich höher und die Minima niedriger anzunehmen sind als hier festgestellt wurde (siehe 4.1.1).

Abb. 6: relative Häufigkeit von Jahresmaxima des Wassergehalts (Ton, 100% = 44 Standortjahre)



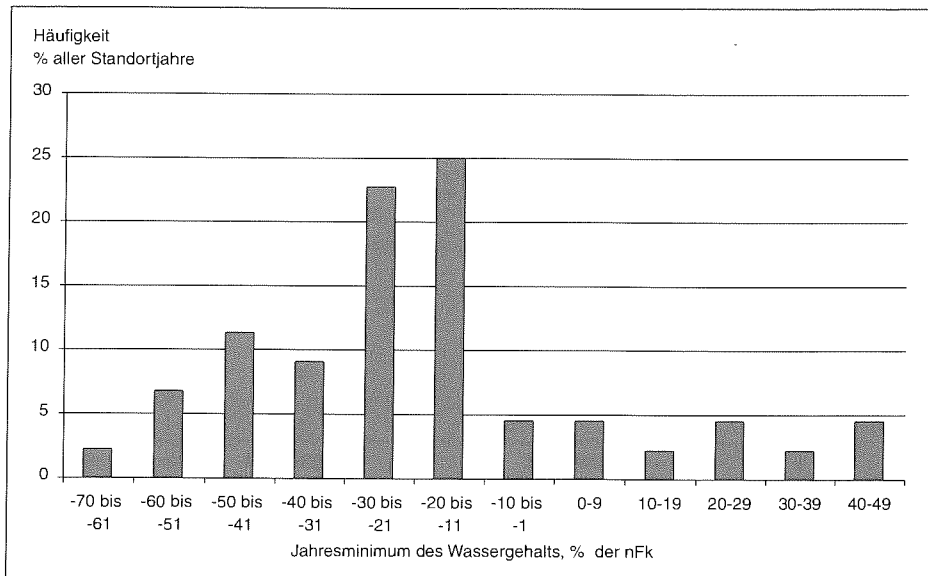


Abb. 7: Relative Häufigkeit von Jahresminima des Wassergehalts (Ton, 100% = 44 Standortjahre)

Die mittlere Sättigung der nutzbaren Feldkapazität in den einzelnen Monaten schwankte zwischen 5 % und 107 %.

Die Unterschiede zwischen den monatlichen Wasserabgaben eines Jahres sind bei Tonböden geringer als bei Lössböden. Die Feldkapazität ist im Winter schneller gefüllt (bereits im Dezember), so dass eher Wasser versickern kann, und im Sommer schneller entleert, so dass dann die Evapotranspiration und damit die Wasserversorgung der Pflanzen eher begrenzt ist (s. a. Abbildung 11).

Auch bei den Tonböden lässt ein Vergleich des Mittelwerts für unterschiedliche Fruchtarten

wegen der verschiedenen Standortjahre und damit auch Niederschläge kaum Interpretationsmöglichkeiten zu (Abbildung A8).

Weitere Auswertungen für einzelne Früchte (Winterweizen, Wintergerste, Winterraps, Spargel) auf Tonböden sind im Anhang in den Tabellen A11 bis A14 und der Abbildung A9 dargestellt.

Für die Tonstandorte wurde der Anfall von Sickerwasser mit dem Bodenwassermodell nur für Winterweizen und Wintergerste berechnet. Entsprechend dem geringeren Wasserhaltevermögen von tongeprägten Böden fällt demnach mit durchschnittlich 239 mm im Jahr deutlich mehr Sickerwasser an als auf Löss (Tabelle 10).

Anbaujahr	Goßmannsdorf	Hohenroth 1	Hohenroth 2	Ø	Ø Niederschlag
1986	207	245	-	226	676
1987	332	213	252	266	722
1988	389	-	274	332	704
1989	-	248	-	248	604
1990	311	218	230	253	631
1991	181	158	151	163	490
1992	174	-	-	174	735
1993	-	149	151	150	535
1994	376	310	311	332	786
1995	399	-	-	399	868
1996	127	178	179	161	564
1997	-	-	175	175	525
1998	121	-	-	121	609
1999	387	-	-	387	740
Ø	273	215	215	239	-
Ø Niederschlag	718	601	598	-	648

Tab. 10: Jährlicher Sickerwasseranfall auf den tongeprägten Standorten in den einzelnen Anbaujahren (Modellrechnung, mm, - = keine Berechnung)

Unter Wintergerste wurde im Mittel der beobachteten Standortjahre, allerdings bei durchschnittlich 70 mm höheren Niederschlägen, ein um 30 mm höheres Sickerwasseraufkommen als unter Winterweizen festgestellt.

Höhere Sickerwassermengen von monatlich über 30 mm traten auf diesen Standorten bereits ab November auf, also deutlich früher als auf Löss (Tabelle 11).

Die Summe aus Verdunstung, Sickerwasser und Oberflächenabfluss des Bodenwassermodells entspricht der aus den Bodenwassermessungen und den Niederschlägen ermittelten „Wasserabgabe“

(s. o.). Die gemessenen Werte und die Werte des Wasserhaushaltsmodells zeigen bei weitgehend vergleichbaren Niederschlägen (Klimastation – Niederschlagsmessstelle) einen in der Tendenz ähnlichen Verlauf mit Abweichungen in den einzelnen Monaten von bis zu 20 mm (April, August). Die Werte der Modellrechnung liegen u. a. in den Monaten März bis Mai zwar niedriger und von Juni bis August höher als die Messwerte, eine Gesetzmäßigkeit lässt sich angesichts der Schwankungen in den anderen Monaten aber kaum ableiten. Die Unterschiede lassen sich nicht durch Unterschiede in den unterlegten Niederschlägen erklären.

Tab. 11: Monatlich aufgetretenes Sickerwasser (Ton, Modellrechnung)

Monat	Wintergerste n = 9		Winterweizen n = 14		sonstige Früchte n = 4		Ø aller Anbaujahre n = 27	
	Niederschlag mm	Sickerwasser mm	Niederschlag mm	Sickerwasser mm	Niederschlag mm	Sickerwasser mm	Niederschlag mm	Sickerwasser mm
Oktober	46	8	39	3	75	31	47	9
November	70	31	55	22	52	23	60	25
Dezember	42	34	45	31	50	32	45	32
Januar	64	55	74	64	79	74	72	63
Februar	58	55	41	37	31	25	45	41
März	54	46	34	28	41	28	42	34
April	42	21	45	24	41	13	45	23
Mai	41	2	48	10	28	1	43	6
Juni	66	5	61	3	56	0	62	3
Juli	75	1	69	1	85	0	73	1
August	72	0	50	0	27	0	54	0
September	62	0	60	4	64	5	61	3
Jahr	692	256	622	226	628	231	648	239

Tab. 12: Vergleich der monatlichen Messungen mit den Berechnungen nach dem Bodenwassermodell (Ton, mm) <sup>1)</sup>

n = 27	Niederschlag		Bodenwassermodell				Messung
	Klimastation <sup>2)</sup>	Messstelle <sup>3)</sup>	Verdunstung	Sickerwasser	Oberflächenabfluss	zusammen	Wasserabgabe <sup>4)</sup>
Oktober	47	44	21	9	1	31	22
November	60	61	13	25	0	38	34
Dezember	45	50	8	32	0	40	32
Januar	72	77	6	63	0	69	81
Februar	45	49	5	41	0	46	42
März	42	44	12	34	0	45	62
April	45	47	34	23	0	57	77
Mai	43	43	55	6	1	62	68
Juni	62	61	77	3	0	80	76
Juli	73	71	76	1	5	82	70
August	54	44	46	0	7	53	33
September	61	61	43	3	3	48	58
Jahr	648	651	395	239	18	651	655

1) zugrunde liegen die selben Standortjahre

2) Verwendung im Bodenwassermodell

3) nächstgelegene Messstelle für Niederschläge (s. Tab. 2), Verwendung zur Ermittlung der „Wasserabgabe“ im Rahmen der Bodenwassermessungen

4) entspricht der Summe aus Verdunstung, Versickerung und Oberflächenabfluss

### 4.3 Sonstige Böden

Mit dem Standort Bundorf wurde ein Boden aus Sandmergel, mit Hörblach ein Boden aus fluvial abgelagertem Sand untersucht. Die Vielfalt der Böden, deren Ausgangsgestein weder Löss noch Ton(stein) sind, ist in Unterfranken groß. Die Standorte Bundorf und Hörblach mögen diese Breite exemplarisch abstecken.

#### 4.3.1 Boden aus Sandmergel (Bundorf)

In dem beobachteten Sandmergelboden bewegte

sich der Wassergehalt in der effektiven Durchwurzelungstiefe (60 cm) im Durchschnitt der 12 Jahre (1985–1996) zwischen 135 mm und 210 mm, also zwischen 21 mm und 96 mm pflanzenverfügbarem Wasser (Tabelle 13).

Nur 1986 wurde mit 89 % der nutzbaren Feldkapazität der Bodenwasserspeicher in einem Anbaujahr nicht vollständig gefüllt, entleert wurde er bis mindestens 24% der nutzbaren Feldkapazität (1995). Etwa jedes 2. Jahr lag das Jahresminimum im Totwasserbereich.

n = 12	Bodenwasser				Niederschläge		W.abgabe
	mm	% d. nFK	% d. HWK	pflanzenverfügbar mm	monatlich, % d. langj. Ø	im Messabschnitt mm	mm
Oktober	166	77	97	52	100	35	23
November	193	116	112	79	92	58	32
Dezember	194	118	113	80	111	48	46
Januar	203	131	118	89	115	72	67
Februar	210	142	122	96	99	47	39
März	180	97	104	66	119	42	73
April	152	56	89	38	88	51	78
Mai	140	39	82	26	76	42	54
Juni	135	31	79	21	103	61	66
Juli	142	42	83	28	139	67	60
August	145	46	84	31	74	61	59
September	156	62	91	42	103	61	51
	Mittelwert				Mittelwert	Summe	Summe
Winter	191	113	111	77	106	301	281
Sommer	145	46	84	31	97	343	367
Jahr	168	80	98	54	102	645	648
Kennwerte	FK = 182 nFK = 68 HWK = 172						

Tab. 13: Monatliche Werte des Wasserhaushalts eines Bodens aus Sandmergel

n = 16	Bodenwasser				Niederschläge		W.abgabe
	mm	% d. nFK	% d. HWK	pflanzenverfügbar mm	monatlich, % d. langj. Ø	im Messabschnitt mm	mm
Oktober	125	58	83	68	125	44	28
November	159	86	105	102	113	58	24
Dezember	173	99	115	116	117	35	20
Januar	178	103	118	121	117	50	46
Februar	179	103	118	122	120	40	39
März	170	96	112	113	131	37	47
April	151	80	100	94	103	42	61
Mai	134	65	89	77	87	39	56
Juni	126	59	84	69	101	61	69
Juli	127	60	84	70	126	65	63
August	115	49	76	58	78	44	57
September	109	44	72	52	118	56	61
	Mittelwert				Mittelwert	Summe	Summe
Winter	164	91	109	107	120	264	204
Sommer	127	59	84	70	102	307	368
Jahr	146	75	96	89	111	571	572
Kennwerte	FK = 175 nFK = 118 HWK = 151						

Tab. 14: Monatliche Werte des Wasserhaushalts eines Sandbodens

### 4.3.2 Boden aus Terrassensand (Hörblach)

Der Sandboden zeigte im mittleren Bodenwassergehalt (effektive Durchwurzelungstiefe = 90 cm) mit einer Spanne zwischen 109 und 179 mm einen relativ ausgeglichenen Verlauf, was vermutlich auf den Anschluss zum Grundwasser zurückzuführen ist (Tabelle 14).

Dies dürfte auch der Grund dafür sein, dass in den 16 Jahren der Boden nur im Anbaujahr 1998 mit 89% der Feldkapazität nicht ganz aufgefüllt wurde und nur in den Jahren 1999 und 2000 (unter Spargel) das pflanzenverfügbare Wasser völlig

ausgeschöpft wurde. Die Durchschnittswerte für die vier Jahre unter Spargelnutzung sind in Tabelle A13 dargestellt.

### 4.4 Vergleich der Standorttypen

Bei einem Vergleich der vier hier beobachteten Standorttypen muss berücksichtigt werden, dass der Sandboden zumindest zeitweise über zusätzliche Wasserzufuhr von unten verfügte und dass die Daten zum Sand- und zum Sandmergelboden nur eine relativ geringe Zahl von Standortjahren zur Grundlage haben.

Abb. 8: Mittlerer Verlauf des Bodenwassergehalts verschiedener Standorttypen (entsprechende Niederschläge s. Tab. 2, 9, 13 und 14)

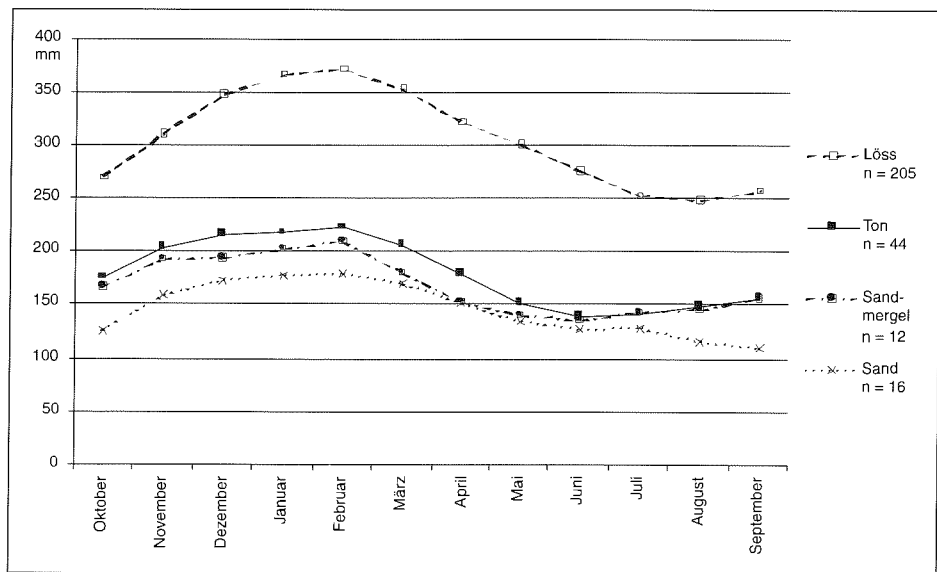
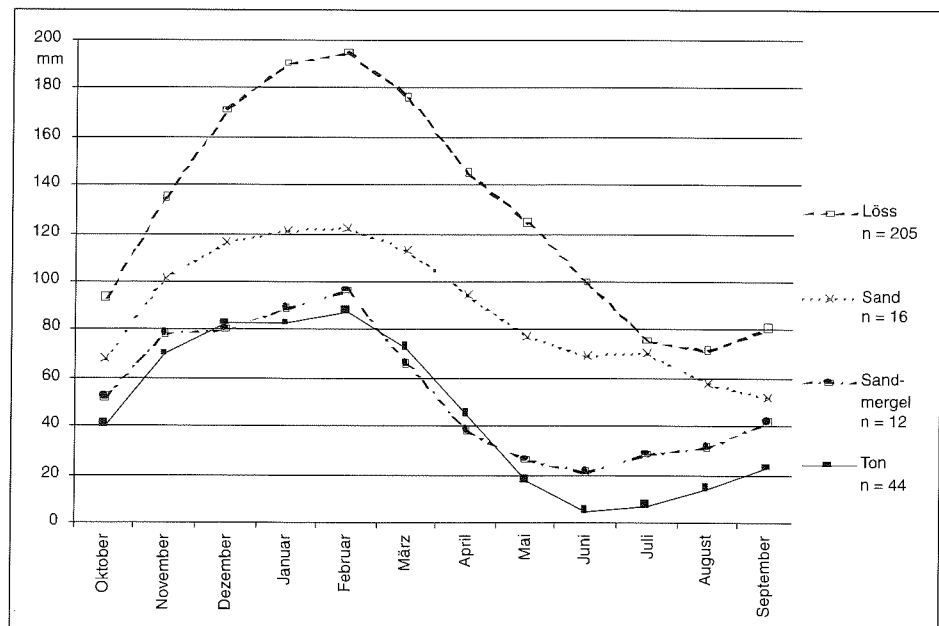


Abb. 9: Mittlerer Verlauf des Gehalts an pflanzenverfügbarem Wasser verschiedener Standorttypen (entsprechende Niederschläge s. Tab. 2, 9, 13 und 14)



Die Standorte aus Ton, Sandmergel und Sand ähneln sich im Verlauf des Wassergehalts, Löss liegt deutlich darüber (Abbildung 8).

Bei Betrachtung des pflanzenverfügbaren Wassers verschieben sich die Kurven dem jeweiligen Totwassergehalt entsprechend (Abbildung 9).

Als Anteil der nutzbaren Feldkapazität ausgedrückt wird der hohe Wasserpuffer auf Lössstandorten in der flacher verlaufenden Kurve deutlich

(Abbildung 10). Wegen der Wassernachlieferung von unten weist der Sand ähnlich günstige Verhältnisse auf.

Die monatliche Wasserabgabe als Maßstab für die Versickerung und Verdunstung macht für Löss die geringere Auswaschungsfahr in den Monaten November bis Januar und das höhere Versorgungsvermögen für die Pflanzen im Juni und Juli gegenüber den anderen Standorten deutlich (Abbildung 11).

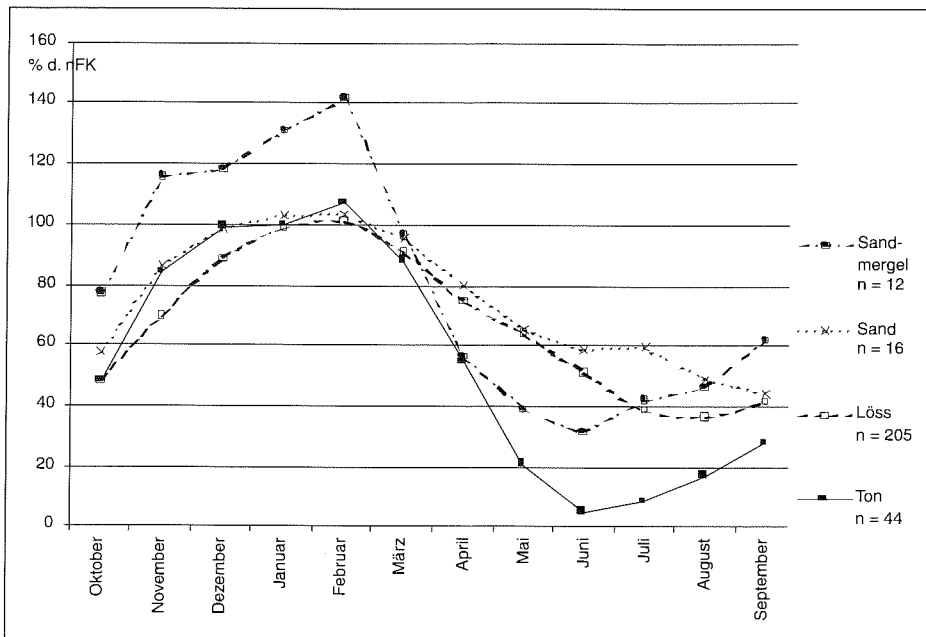


Abb. 10: Mittlerer Verlauf des Bodenwasseranteils verschiedener Standorttypen in % der nFK (entsprechende Niederschläge s. Tab. 2, 9, 13 und 14)

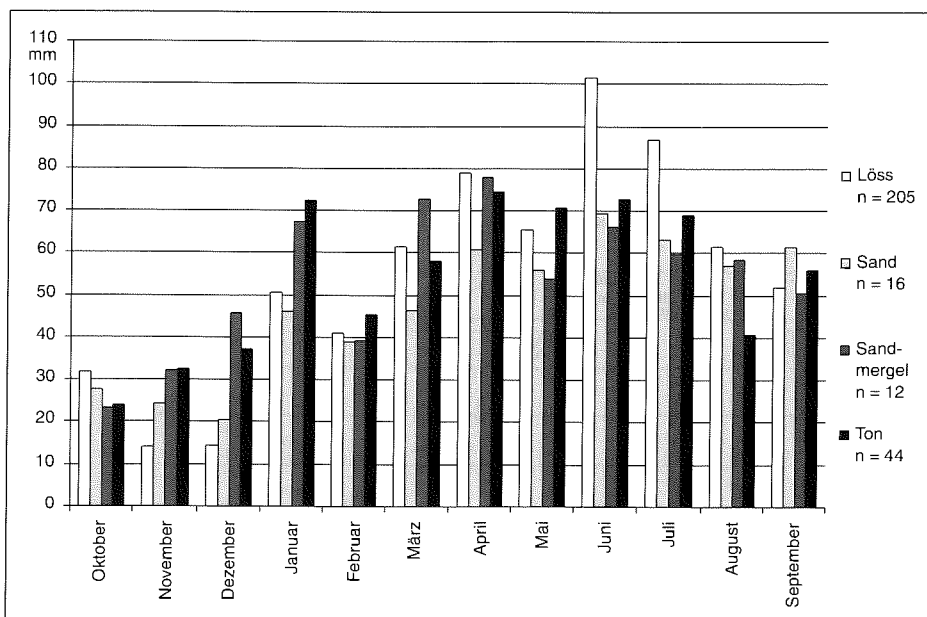


Abb. 11: Monatliche Wasserabgabe verschiedener Standorttypen (entsprechende Niederschläge s. Tab. 2, 9, 13 und 14)



## 5 Schlussfolgerungen für die Praxis

- Das Maximum der Wassersättigung wurde meist im Februar festgestellt. Dies bestätigt die oft eingeschränkten Möglichkeiten für die Ausbringung von stickstoffhaltigen Düngemitteln in dieser Zeit.
- Auf Löss ist die Sickerwassermenge eines Jahres in der Regel kleiner als die nutzbare Feldkapazität. Das heißt, dass das Sickerwasser relativ langsam seinen Weg nimmt, dafür aber eine entsprechend höhere Nitratkonzentration aufweist. Deshalb hat dort der Zeitpunkt einer Stickstoffdüngung nicht die Bedeutung für die Nitratverlagerung wie auf anderen Standorten. Wegen des relativ geringen Verdünnungseffektes muss aber gerade dort auf eine den Bedarf nicht übersteigende Stickstoffmenge geachtet werden.
- Da zumindest in Unterfranken selbst auf Lössstandorten Wassermangel in den Sommermonaten die Regel ist, müssen auf allen Standorten ohne Beregnungsmöglichkeit in den Monaten März bis zur Abreife der jeweiligen Frucht alle Maßnahmen zur Schonung und optimalen Ausnutzung der Wasservorräte ergriffen werden. Dazu gehören das Vermeiden häufiger oder tiefer Bodenbearbeitung in dieser Zeit, eine optimale Nährstoffversorgung und, soweit möglich, das Schaffen einer Verdunstungssperre durch flache Bodenbearbeitung bzw. einer Beschattung durch eine flache Mulchschicht.
- Auch wenn die Erosionsprodukte Pararendzina und Kolluvium in Lössgebieten wegen ihres hohen Schluffgehalts die besten Merkmale für die Versorgung der Pflanzen mit Wasser aufweisen, ist Bodenerosion wegen vieler anderer Nachteile soweit wie möglich zu vermeiden.
- Wie unterschiedliche Löss-Bodentypen bei einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung (z. B. bei der Bodenbearbeitung, Düngung, Saatstärke) zu berücksichtigen sind und ob dies sinnvoll ist, muss noch geklärt werden.
- Je geringer die Feldkapazität eines Standorts ist, desto weniger Winterniederschläge werden benötigt, um den vorhandenen Wasserspeicher wieder aufzufüllen. Es spielt deshalb gerade auf den ungünstigeren Standorten keine Rolle, ob im Herbst ein zusätzlicher Wasserverbrauch durch Zwischenfrüchte erfolgt, da die Winterniederschläge für die notwendige Füllung im-

mer ausreichen. Im Gegenteil: durch eine gute Humusversorgung lässt sich mittelfristig die Wasserspeicherkapazität eher verbessern und mit einem oberflächigen Mulch die Verdunstung über den Boden im darauf folgenden Sommer vermindern.

- Die Nutzung einer Zwischenfrucht als Bremse für den Nitrataustrag kann demnach gerade auch auf den flachgründigeren Standorten Unterfrankens ohne zusätzliche Sorge um die Wasserversorgung der Folgefrucht erfolgen.

Die aktuellen Ergebnisse der laufenden Messungen des Bodenwassergehalts in Unterfranken können über die Homepage des Landwirtschaftsamtes Würzburg <http://www.aflue-wu.bayern.de> abgerufen werden.

## 6 Literatur

- ARBEITSGRUPPE BODENKUNDE der geologischen Landesämter und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe der Bundesrepublik Deutschland (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Auflage
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (Hrsg.) (2000): Handbuch der Bodenuntersuchung, Berlin
- HIRMER, R. (1994): Ein standortspezifisches Nitrat-Schutzkonzept mit kontrollierbaren Anforderungen. Wasserwirtschaft 84, 652-655
- KREMB, S., RÖTZER, T. und SCHAUPP, H. (2000): Berechnung des Sickerwasseranfalls nach verschiedenen Wasserhaushaltsmodellen. Wasser und Boden 4/00, 26-30
- MAIDL, F. X. und BRUNNER, H. (1998): Strategien zur gewässerschonenden Landbewirtschaftung in Bayern. KTBL-Arbeitspapier 252.
- RÖTZER, T. (1996): Neuartige Karten der Phänologie und des Wasserhaushalts von Bayern unter Berücksichtigung möglicher künftiger Klimaverhältnisse. – Diss. TU-München-Weihenstephan.
- ROTH, D., GÜNTHER, R. und KNOBLAUCH, S. (1997): Wasserbilanz sowie Wasserverbrauch und Bodenwasserausschöpfung landwirtschaftlicher Fruchtarten auf einem tiefgründigen Lössstandort. Agribiol. Res. 50, 3, S. 271-278

## 7 Anhang

### 7.1 Abkürzungen

In den Tabellen und Abbildungen verwendete Abkürzungen

<i>Abkürzung</i>	<i>Begriff</i>
FK	Feldkapazität
GPV	Gesamtporenvolumen
HWK	Haftwasserkapazität
nFK	nutzbare Feldkapazität
nFKWe	nutzbare Feldkapazität in der effektiven Durchwurzelungstiefe
SWK	Sickerwasserkapazität
TWK	Totwasserkapazität
Vol.-%	Volumenprozent
W.abgabe	Wasserabgabe (Niederschlag – $\Delta$ Bodenwasser)
We	effektive Durchwurzelungstiefe

## 7.2 Tabellenverzeichnis

	<i>Kapitel</i>
Tab. 1 Standortbeschreibung	3.1.1
Tab. 2 Monatliche Werte des Wasserhaushalts von Lössböden	4.1.1
Tab. 3 Sickerwasseranfall auf den Lössstandorten in den einzelnen Anbaujahren (mm, Modellrechnung)	4.1.1
Tab. 4 Monatlich aufgetretenes Sickerwasser (Löss, Modellrechnung)	4.1.1
Tab. 5 Vergleich der monatlichen Messungen mit den Berechnungen nach dem Bodenwassermodell (Löss, mm)	4.1.1
Tab. 6 Monatliche Werte des Wasserhaushalts verschiedener Löss-Bodentypen, 1980–1986, 1990–1996 (Teil 1)	4.1.2
Tab. 7 Monatliche Werte des Wasserhaushalts verschiedener Löss-Bodentypen, 1980–1986, 1990–1996 (Teil 2)	4.1.2
Tab. 8 Monatliche Werte des Bodenwasserhaushalts unter Sommerfrüchten und Winterweizen (Löss, 1982-1989 und 1991-1996)	4.1.3
Tab. 9 Monatliche Werte des Wasserhaushalts tongeprägter Böden	4.2
Tab. 10 Jährlicher Sickerwasseranfall auf tongeprägten Standorten in den einzelnen Anbaujahren (Modellrechnung, mm, - = keine Berechnung)	4.2
Tab. 11 Monatliche aufgetretenes Sickerwasser (Ton, Modellrechnung)	4.2
Tab. 12 Vergleich der monatlichen Messungen mit den Berechnungen nach dem Bodenwassermodell (Ton, mm)	4.2
Tab. 13 Monatliche Werte des Wasserhaushalts eines Bodens aus Sandmergel	4.3.1
Tab. 14 Monatliche Werte des Wasserhaushalts eines Sandbodens	4.3.2
Tab. A1 Bodenprofilbeschreibung	7.4
Tab. A2 Kennwerte des Bodenwasserhaushalts in der effektiven Durchwurzelungstiefe	7.4
Tab. A3 Niederschläge in den Anbaujahren, absolut (mm) und relativ zum langjährigen Durchschnitt (%)	7.4
Tab. A4 Messzeitraum und Früchte	7.4
Tab. A5 Monatliche Werte des Bodenwasserhaushalts unter Winterweizen (Löss)	7.4
Tab. A6 Monatliche Werte des Bodenwasserhaushalts unter Wintergerste (Löss)	7.4
Tab. A7 Monatliche Werte des Bodenwasserhaushalts unter Sommergerste (Löss)	7.4
Tab. A8 Monatliche Werte des Bodenwasserhaushalts unter Hafer (Löss)	7.4
Tab. A9 Monatliche Werte des Bodenwasserhaushalts unter Zuckerrüben (Löss)	7.4
Tab. A10 Monatliche Werte des Bodenwasserhaushalts unter Winterweizen (Ton)	7.4
Tab. A11 Monatliche Werte des Bodenwasserhaushalts unter Wintergerste (Ton)	7.4
Tab. A12 Monatliche Werte des Bodenwasserhaushalts unter Winterraps (Ton)	7.4
Tab. A13 Monatliche Werte des Bodenwasserhaushalts unter Spargel (Sand)	7.4

### 7.3 Abbildungsverzeichnis

	<i>Kapitel</i>	
Abb. 1	Lage der Untersuchungsstandorte	3.1.1
Abb. 2	Mittlerer Verlauf und Bandbreite der gemessenen Bodenwassergehalte (Löss, n=205)	4.1.1
Abb. 3	Relative Häufigkeit von Jahresmaxima des Wassergehalts (Löss, 100 % = 205 Standortjahre)	4.1.1
Abb. 4	Relative Häufigkeit von Jahresminima des Wassergehalts (Löss, 100 % = 205 Standortjahre)	4.1.1
Abb. 5	Mittlerer Verlauf des Bodenwassergehalts unter verschiedenen Früchten (Löss)	4.1.1
Abb. 6	Relative Häufigkeit von Jahresmaxima des Wassergehalts (Ton, 100 % = 44 Standortjahre)	4.2
Abb. 7	Relative Häufigkeit von Jahresminima des Wassergehalts (Ton, 100 % = 44 Standortjahre)	4.2
Abb. 8	Mittlerer Verlauf des Bodenwassergehalts verschiedener Standorttypen (entsprechende Niederschläge s. Tab. 2, 9, 13 und 14)	4.4
Abb. 9	Mittlerer Verlauf des Gehalts an pflanzenverfügbarem Wasser verschiedener Standorttypen (entsprechende Niederschläge s. Tab. 2, 9, 13 und 14)	4.4
Abb. 10	Mittlerer Verlauf des Bodenwassergehalts verschiedener Standorttypen in % der nutzbaren Feldkapazität (entsprechende Niederschläge s. Tab. 2, 9, 13 und 14)	4.4
Abb. 11	Monatliche Wasserabgabe verschiedener Standorttypen (entsprechende Niederschläge s. Tab. 2, 9, 13 und 14)	4.4
Abb. A1	gemessene Bodenwassergehalte in den einzelnen Anbaujahren (Löss, 1980–2000, n = 36 bis 144/Jahr)	7.4
Abb. A2	gemessene Bodenwassergehalte auf den einzelnen Standorten (Löss, 1980–2000, n = 141 bis 252/Standort)	7.4
Abb. A3	Mittlerer Verlauf des Wassergehalts in verschiedenen Löss-Bodentypen, 1980–1986, 1990–1996 (n = 14)	7.4
Abb. A4	Mittlerer Gehalt an pflanzenverfügbarem Wasser auf verschiedenen Bodentypen (Seligenstadt, n = 14)	7.4
Abb. A5	Verlauf des Bodenwassergehalts unter Winterweizen und Sommerdruschfrüchten (Erbachshof 1983–1989 u. 1991–1996, n = 13)	7.4
Abb. A6	Verlauf des Bodenwassergehalts unter Winterweizen und Sommergerste (Erbachshof 1983–1986, 1989, 1992, 1993; n = 7)	7.4
Abb. A7	Mittlerer Verlauf des Wassergehalts tongepprägter Böden (n = 44) im Vergleich zu Lössböden (n = 205)	7.4
Abb. A8	Mittlerer Verlauf des Bodenwassergehalts unter verschiedenen Früchten (Ton)	7.4
Abb. A9	Mittlerer Verlauf des Bodenwassergehalts unter verschiedenen Früchten (Ton, in % der nFK)	7.4

Standort	Bodentyp Gestein	Horizont	dm	Substrat	Ton %	Schluff %	Sand %	Bodenart
Aubstadt	Parabraunerde Löss	Ap	3,1	Löss	25,4	69,9	4,7	Tu4
		Ahl	0,5	Löss	(27,0)	69,0	4,0	Tu4)
		Bt	3,4	Löss	34,6	63,6	1,8	Tu3
		Bv	2,0	Löss	(27,0)	69,0	4,0	Tu4)
		Cc	4,0+	Löss	22,5	75,2	2,3	Ut4
Bütthard	Kolluvium Löss	Ap	3,0	Löss	22,3	71,2	6,5	Ut4
		M1	2,0	Löss	22,0	73,2	4,8	Ut4
		M2	7,0+	Löss	22,1	74,3	3,6	Ut4
Erbachshof	Braunerde Löss	Ap	3,2	Löss	23,5	69,7	6,8	Ut4
		Bv1	3,3	Löss	31,9	63,3	4,8	Tu3
		Bv2	6,5+	Löss	29,6	66,3	4,1	Tu4
Geldersheim	Parabraunerde, erod. Löss	Ap	2,8	Löss	26,1	69,8	4,1	Tu4
		Bt	3,2	Löss	37,6	60,1	2,3	Tu3
		Cc	7,0+	Löss	22,0	74,1	3,9	Ut4
Giebelstadt	Parabraunerde Löss	Ap	3,2	Löss	22,2	73,8	4,0	Ut4
		AlBt	0,6	Löss	(28,0)	69,0	3,0	Tu4)
		Bt	2,7	Löss	32,5	65,4	2,1	Tu4
		Cck	5,5+	Löss	16,6	79,9	3,5	Ut3
Hopferstadt	Parabraunerde, erod. Löss	Ap	3,3	Löss	28,9	66,7	4,4	Tu4
		Bv	1,7	Löss	21,5	74,4	4,1	Ut4
		Ckc	7,0+	Löss	24,5	68,0	7,5	Ut4
Reith	Pseudogley Löss	SgAp	2,6	Löss	18,7	71,4	9,9	Ut4
		Sg	2,9	Löss	31,4	61,8	6,8	Tu3
		Sge	4,5+	Löss	28,6	64,4	7,0	Lu
Seligenstadt 1	Kolluvium Löss	Ap	3,5	Löss	15,9	79,1	5,0	Ut3
		SgM	9,5+	Löss	16,0	81,0	3,0	Ut3
Seligenstadt 2	Parabraunerde, erod. Löss	Ap	3,5	Löss	19,6	75,7	4,7	Ut4
		Bt	2,5	Löss	36,4	60,7	2,9	Tu3
		Bv	2,5	Löss	30,5	67,8	1,7	Tu4
		Cv	4,5+	Löss	19,4	77,0	3,6	Ut4
Seligenstadt 3	Parabraunerde Löss	Ap	3,5	Löss	21,3	74,5	4,2	Ut4
		Al	0,7	Löss	(21,0)	75,0	4,0	Ut4)
		Bt	5,3	Löss	35,7	61,4	2,9	Tu3
		Cc	3,5+	Löss	29,2	68,9	1,9	Tu4
Seligenstadt 4	Pararendzina Löss	Ap	3,4	Löss	30,2	66,4	3,4	Tu4
		Cc	9,6+	Löss	19,9	76,9	3,2	Ut4
Wolkshausen	Parabraunerde, erod. Löss	Ap	3,2	Löss	28,1	68,6	3,3	Tu4
		Bt	2,1	Löss	35,0	63,6	1,4	Tu3
		Cv	7,7+	Löss	16,5	79,9	3,6	Ut3
Goßmannsdorf	Pelosol Tonstein	Ap	2,1	grusführ. Verwitt.ton	44,3	31,8	23,9	Lt3,Gr2,X1
		CvBv	3,4	Verwitt. gruslehm	41,6	25,1	33,3	Lts,Gr3,X2
		mCv	0,5+	Verwitt. lehmschutt	(40,0)	25,0	35,0	Lts,Gr4,X4)
Hohenroth 1	Braunerde Tonstein	Ap	2,3	schuttführender Lehm	20,8	46,9	32,3	Ls2,Gr2,X2
		SwBv	0,7	grusführender Lehm	(26,0)	48,0	26,0	Lt2,Gr3,X2)
		IIISdBv	4,0+	schuttführ. Verwitt.ton	33,7	50,8	15,5	Tu3,Gr3,X3
Hohenroth 2	Pelosol Tonstein	Ap	2,3	schuttführender Lehm	22,4	49,8	27,8	Ls2,Gr2,X2
		IIP	3,7	grusführ. Verwitt.ton	48,1	34,3	17,6	Tu2,Gr3,X2
		CvP	1,0+	Verwitterungsgruston	(48,0)	34,0	18,0	Tu2,Gr4,X3)
Bundorf	Braunerde Sand- mergelstein	Ap	2,5	Verwitterungslehm	29,9	32,8	37,3	Lt2
		Bv	3,0	grusführ. Verwitt.lehm	22,7	26,3	51,0	Ls4,Gr3,X2
		emCv	0,5+	Verwitt. gruslehm	(20,0)	25,0	55,0	Ls4,Gr4,X3)
Hörblach	Braunerde Terrassensand	Ap	3,8	Fluvisand	3,0	11,1	85,9	Su2
		Bv	2,2	Fluvisand	4,7	14,2	81,1	Su2
		IIGBv	3,0+	Fluvisand	14,0	11,6	74,4	Sl4

in ( ): Bodenart mit Fingerprobe ermittelt.

Korngrößenverteilung entsprechend der gemessenen Werte angeglichen

Tab. A1: Bodenprofil-  
beschreibung

Tab. A2: Kennwerte  
des Bodenwasserhaus-  
halts in der effektiven  
Durchwurzelungstiefe

Standort	Höhe m	Niederschlag		We	Vol.-%				mm									
		Messstelle	Höhe m		LK	FK	SWK	HWK	nFK	TWK	GPV	LK	FK	SWK	HWK	nFK	TWK	GPV
1. Lössböden																		
Aubstadt	312		288	10	7,0	37,6	9,9	34,6	17,9	19,7	44,6	70	376	99	346	179	197	446
Büthard	318		282	10	5,3	36,2	7,2	34,4	20,5	15,7	41,6	53	362	72	344	205	157	416
Erbachshof	358		308	10	5,3	36,7	7,5	35,1	19,2	17,5	42,6	53	367	75	351	192	175	426
Geldersheim	231		270	10	4,2	38,5	7,4	35,3	18,3	20,2	42,7	42	385	74	353	183	202	427
Giebelstadt	297		295	10	4,6	37,2	6,8	35,0	21,5	15,7	41,8	46	372	68	350	215	157	418
Hopferstadt	315		305	10	8,8	34,6	11,7	31,7	18,1	16,5	43,4	88	346	117	317	181	165	434
Reith	318		285	10	1,8	38,3	3,2	36,9	20,6	17,8	40,1	18	383	32	369	206	178	401
Seligenstadt 1	276		284	10	8,4	35,0	13,6	29,9	23,0	12,0	43,6	84	350	136	299	230	120	436
Seligenstadt 2	277		284	10	5,6	37,3	8,9	34,0	17,8	19,5	42,9	56	373	89	340	178	195	429
Seligenstadt 3	279		284	10	4,3	38,0	6,8	35,5	16,7	21,3	42,2	43	380	68	355	167	213	422
Seligenstadt 4	276		284	10	4,0	37,2	7,4	33,8	20,2	17,0	41,2	40	372	74	338	202	170	412
Wolkshausen	289		295	10	6,9	38,0	10,0	34,8	20,0	18,0	44,9	69	380	100	348	200	180	449
Ø				10	5,5	37,1	8,4	34,3	19,5	17,6	42,6	55	371	84	343	195	176	426
2. tongeprägte Böden																		
Gofmannsdorf	268		262	6	0,8	39,8	2,4	38,2	15,5	24,3	40,7	5	239	15	229	93	146	244
Hohenroth 1	310		265	6	3,0	33,2	5,2	31,0	13,1	20,1	36,2	18	199	31	186	78	121	217
Hohenroth 2	282		265	6	3,7	34,7	5,3	33,1	12,7	22,1	38,4	22	208	32	198	76	132	230
Ø				6	2,5	35,9	4,3	34,1	13,7	22,2	38,4	15	215	26	205	82	133	231
3. sonstige																		
Bundorf	340		315	6	3,0	30,3	4,7	28,7	11,3	19,0	33,3	18	182	28	172	68	114	200
Hörblach	190		188	9	14,2	19,4	16,8	16,8	13,1	6,3	33,6	128	175	151	151	118	57	302



Erntejahr	Aubstadt	Büthhard	Erbachshof W	Erbachshof S	Geldersheim	Hopferstadt
1980	Zuckerrüben	Zuckerrüben	-	-	-	Zuckerrüben
1981	WWeizen	WWeizen	-	-	WWeizen	WWeizen
1982	WWeizen	Zuckerrüben	WWeizen	SWeizen	WWeizen	WWeizen
1983	Ackerbohnen	WWeizen	WWeizen	SGerste	Zuckerrüben	SGerste
1984	Durum	Zuckerrüben	WWeizen	SGerste	WWeizen	WWeizen
1985	Hafer	WWeizen	WWeizen	SGerste	WGerste	Durum
1986	Zuckerrüben	WWeizen	WWeizen	SGerste	Durum	Durum
1987	WWeizen	Zuckerrüben	WWeizen	Hafer	Zuckerrüben	WWeizen
1988	WWeizen	WWeizen	WWeizen	ABohnen	WWeizen	WWeizen
1989	Zuckerrüben	SGerste	WWeizen	SGerste	WGerste	WWeizen
1990	WWeizen	Zuckerrüben	WWeizen	WRoggen	SMais	Zuckerrüben
1991	WWeizen	WWeizen	WWeizen	Erbsen	Zuckerrüben	WWeizen
1992	Zuckerrüben	WRoggen	WWeizen	SGerste	Zuckerrüben	WWeizen
1993	WWeizen	Zuckerrüben	WWeizen	SGerste	WWeizen	WWeizen
1994	WWeizen	WWeizen	WWeizen	Hafer	Zuckerrüben	WWeizen
1995	Zuckerrüben	WGerste	WWeizen*	Erbsen*	WWeizen	WWeizen
1996	WWeizen	Zuckerrüben	WWeizen*	Durum*	Zuckerrüben	Zuckerrüben
1997	WWeizen	-	-	-	-	-
1998	Zuckerrüben	-	-	-	-	-
1999	WWeizen	-	-	-	-	-
2000	WWeizen	-	-	-	-	-
Erntejahr	Reith	Seligenstadt 1	Seligenstadt 2	Seligenstadt 3	Seligenstadt 4	Wolkshausen
1980	-	Zuckerrüben	Zuckerrüben	Zuckerrüben	Zuckerrüben	-
1981	-	WWeizen	WWeizen	WWeizen	WWeizen	WWeizen
1982	-	Zuckerrüben	Zuckerrüben	Zuckerrüben	Zuckerrüben	WWeizen
1983	-	WWeizen	WWeizen	WWeizen	WWeizen	WWeizen
1984	-	Hafer	Hafer	Hafer	Hafer	Zuckerrüben
1985	WRoggen	WGerste	WGerste	WGerste	WGerste	WWeizen
1986	SMais	Zuckerrüben	Zuckerrüben	Zuckerrüben	Zuckerrüben	Hafer
1987	WWeizen	Hafer	Hafer	Hafer	WWeizen	Zuckerrüben
1988	WRaps	WWeizen	WWeizen	WWeizen	Grassamen	WWeizen
1989	WWeizen	Zuckerrüben	Zuckerrüben	Zuckerrüben	Grassamen	Hafer
1990	WRaps	WWeizen	WWeizen	WWeizen	WWeizen	Zuckerrüben
1991	WWeizen	SGerste	SGerste	SGerste	SGerste	WWeizen
1992	WGerste	Zuckerrüben	Zuckerrüben	Zuckerrüben	Zuckerrüben	Hafer
1993	WRaps	WWeizen	WWeizen	WWeizen	WWeizen	Zuckerrüben
1994	WWeizen	WRaps	WRaps	WRaps	WRaps	WWeizen
1995	WGerste	WGerste	WGerste	WGerste	WGerste	Hafer
1996	WRaps	Zuckerrüben	Zuckerrüben	Zuckerrüben	Zuckerrüben	Zuckerrüben
1997	-	WWeizen	WWeizen	-	-	-
1998	-	Zuckerrüben	Zuckerrüben	-	-	-
1999	-	WWeizen	WWeizen	-	-	-
2000	-	Zuckerrüben	Zuckerrüben	-	-	-
Erntejahr	Goßmannsdorf	Hohenroth 1	Hohenroth 2	Bundorf	Hörblach	
1980	-	-	-	-	-	
1981	-	-	-	-	-	
1982	-	-	-	-	-	
1983	-	-	-	-	-	
1984	-	-	-	-	-	
1985	SMais	WRaps	WGerste	WGerste	SMais	
1986	WWeizen	WWeizen	WRaps	SMais	WGerste	
1987	WGerste	WGerste	WWeizen	WWeizen	SMais	
1988	WGerste	WRaps	WGerste	WGerste	WGerste	
1989	WRaps	WWeizen	WRaps	WRaps	WRaps	
1990	WWeizen	WGerste	WWeizen	WGerste	WWeizen	
1991	WGerste	SGerste	WWeizen	WRaps	SMais	
1992	WGerste	WRaps	WRaps	WGerste	WGerste	
1993	WRaps	WWeizen	WWeizen	Brache	SMais	
1994	WWeizen	WRoggen	WWeizen	WRaps	Zuckerrüben	
1995	WGerste	WRaps	WRaps	WGerste	SBlumen	
1996	WGerste	WWeizen	WWeizen	WWeizen	WGerste	
1997	WRaps	-	WWeizen	-	Spargel	
1998	Triticale	-	WRaps	-	Spargel	
1999	Triticale	-	WRaps	-	Spargel	
2000	WGerste	-	WWeizen	-	Spargel	

Tab. A4: Messzeitraum  
und Früchte

\*ab 1995 Standort Giebelstadt



n = 86	Bodenwasser				Niederschläge		W.abgabe
Monat	mm	% d. nFK	% d. HWK	pflanzen- verfügbar mm	monatlich, % d. langj. Ø	im Mess- abschnitt mm	mm
Oktober	276	52	81	100	130	50	32
November	323	77	95	147	95	60	13
Dezember	354	93	104	177	114	51	20
Januar	365	98	107	189	119	68	57
Februar	369	100	109	192	102	46	42
März	353	92	104	177	114	49	65
April	315	72	93	139	95	47	85
Mai	289	58	85	113	103	45	71
Juni	262	44	77	86	90	77	105
Juli	232	28	68	55	104	55	85
August	236	31	69	60	75	49	44
September	245	36	72	69	105	51	41
	Mittelwert				Mittelwert	Summe	Summe
Winter	340	85	100	164	112	324	229
Sommer	263	45	77	87	95	324	432
Jahr	302	65	89	125	104	648	661
Kennwerte	FK = 368 nFK = 192 HWK = 340						

Tab. A5: Monatliche Werte des Bodenwasserhaushalts unter Winterweizen (Löss)

n = 13	Bodenwasser				Niederschläge		W.abgabe
Monat	mm	% d. nFK	% d. HWK	pflanzen- verfügbar mm	monatlich, % d. langj. Ø	im Mess- abschnitt mm	mm
Oktober	279	52	82	102	103	43	39
November	311	68	91	133	85	41	10
Dezember	349	88	102	171	81	49	11
Januar	389	109	114	211	182	68	28
Februar	370	99	108	192	93	71	90
März	362	94	106	184	110	49	56
April	325	75	95	147	95	44	82
Mai	296	59	87	118	99	42	71
Juni	259	40	76	81	87	78	115
Juli	285	54	83	107	187	81	55
August	312	68	91	134	120	85	58
September	296	60	87	119	125	79	95
	Mittelwert				Mittelwert	Summe	Summe
Winter	343	85	100	166	109	320	234
Sommer	296	59	86	118	119	409	475
Jahr	319	72	93	142	114	729	709
Kennwerte	FK = 373 nFK = 195 HWK = 342						

Tab. A6: Monatliche Werte des Bodenwasserhaushalts unter Wintergerste (Löss)

n = 13	Bodenwasser				Niederschläge		W.abgabe
Monat	mm	% d. nFK	% d. HWK	pflanzen- verfügbar mm	monatlich, % d. langj. Ø	im Mess- abschnitt mm	mm
Oktober	241	35	70	68	95	37	36
November	285	58	83	112	134	58	13
Dezember	348	91	102	175	105	71	9
Januar	360	97	105	187	103	62	50
Februar	367	101	108	195	68	29	22
März	344	89	101	171	73	31	54
April	320	76	94	147	107	42	66
Mai	302	67	89	130	101	43	60
Juni	279	55	82	107	97	79	103
Juli	243	36	71	70	80	49	86
August	231	30	67	58	72	52	63
September	250	40	73	77	101	47	28
	Mittelwert				Mittelwert	Summe	Summe
Winter	324	79	95	151	96	288	184
Sommer	271	51	79	98	93	312	406
Jahr	297	65	87	125	95	601	590
Kennwerte	FK = 366 nFK = 193 HWK = 342						

Tab. A7: Monatliche Werte des Bodenwasserhaushalts unter Sommergerste (Löss)

n = 14	Bodenwasser				Niederschläge		W.abgabe
Monat	mm	% d. nFK	% d. HWK	pflanzen- verfügbar mm	monatlich, % d. langj. Ø	im Mess- abschnitt mm	mm
Oktober	254	39	74	76	111	43	22
November	264	44	77	86	84	36	26
Dezember	298	62	88	120	111	43	8
Januar	344	86	101	166	140	82	36
Februar	372	100	109	194	117	55	28
März	360	93	106	182	92	38	50
April	326	76	96	148	80	43	77
Mai	316	71	93	138	144	44	53
Juni	299	63	88	121	118	119	136
Juli	249	36	73	71	108	43	94
August	249	36	73	71	87	65	65
September	274	49	80	96	133	77	53
	Mittelwert				Mittelwert	Summe	Summe
Winter	315	71	93	137	109	298	171
Sommer	286	55	84	107	112	392	478
Jahr	300	63	88	122	111	689	649
Kennwerte	FK = 372 nFK = 194 HWK = 340						

Tab. A8: Monatliche Werte des Bodenwasserhaushalts unter Hafer (Löss)

n = 54	Bodenwasser				Niederschläge		W.abgabe
Monat	mm	% d. nFK	% d. HWK	pflanzen- verfügbar mm	monatlich, % d. langj. Ø	im Mess- abschnitt mm	mm
Oktober	264	44	78	88	109	45	35
November	306	67	91	129	106	54	13
Dezember	345	87	102	169	129	47	8
Januar	369	100	109	192	87	68	45
Februar	375	103	111	198	86	36	30
März	347	88	103	170	103	34	62
April	326	77	97	149	91	47	68
Mai	315	72	94	139	96	48	58
Juni	297	62	88	120	103	69	87
Juli	275	50	82	98	144	76	98
August	250	37	74	73	90	67	92
September	251	38	75	75	104	67	65
	Mittelwert				Mittelwert	Summe	Summe
Winter	334	81	99	158	103	285	192
Sommer	286	56	85	109	105	373	468
Jahr	310	69	92	133	104	657	660
Kennwerte	FK = 370	nFK = 193	HWK = 339				

Tab. A9: Monatliche Werte des Bodenwasserhaushalts unter Zuckerrüben (Löss)

n = 15	Bodenwasser				Niederschläge		W.abgabe
Monat	mm	% d. nFK	% d. HWK	pflanzen- verfügbar mm	monatlich, % d. langj. Ø	im Mess- abschnitt mm	mm
Oktober	167	43	83	35	93	38	24
November	192	75	96	60	87	57	32
Dezember	217	106	108	85	125	55	30
Januar	218	107	108	86	98	76	75
Februar	229	123	114	97	101	47	35
März	202	88	101	71	87	37	64
April	168	44	83	36	86	46	80
Mai	138	8	69	6	78	46	75
Juni	129	-5	64	-3	89	59	68
Juli	125	-8	62	-7	124	69	72
August	141	11	70	9	77	39	24
September	153	26	76	21	98	62	50
	Mittelwert				Mittelwert	Summe	Summe
Winter	204	90	102	72	98	310	260
Sommer	142	13	71	10	92	321	370
Jahr	173	51	86	41	95	630	630
Kennwerte	FK = 212	nFK = 80	HWK = 201				

Tab. A10: Monatliche Werte des Bodenwasserhaushalts unter Winterweizen (Ton)

n = 11	Bodenwasser				Niederschläge		W.abgabe
Monat	mm	% d. nFK	% d. HWK	pflanzen- verfügbar mm	monatlich, % d. langj. Ø	im Mess- abschnitt mm	mm
Oktober	196	65	91	57	100	47	21
November	226	98	104	86	93	68	38
Dezember	231	103	106	91	100	50	45
Januar	216	88	100	77	105	58	70
Februar	225	98	104	86	128	62	53
März	217	89	101	78	127	53	61
April	187	54	87	48	73	43	73
Mai	164	27	75	25	78	44	67
Juni	150	12	70	11	109	64	77
Juli	168	32	78	29	139	80	62
August	169	33	78	30	84	56	56
September	176	42	82	38	107	66	58
	Mittelwert				Mittelwert	Summe	Summe
Winter	218	90	101	79	109	337	289
Sommer	169	34	78	30	98	353	393
Jahr	194	62	90	55	104	690	682
Kennwerte	FK = 226	nFK = 87	HWK = 216				

Tab. A11: Monatliche Werte des Bodenwasserhaushalts unter Wintergerste (Ton)

n = 13	Bodenwasser				Niederschläge		W.abgabe
Monat	mm	% d. nFK	% d. HWK	pflanzen- verfügbar mm	monatlich, % d. langj. Ø	im Mess- abschnitt mm	mm
Oktober	163	37	80	31	114	41	31
November	200	83	99	67	105	65	29
Dezember	200	83	99	67	87	41	41
Januar	207	93	103	75	120	69	64
Februar	209	96	104	77	91	52	50
März	206	92	102	74	114	44	47
April	183	65	91	51	119	52	75
Mai	153	27	77	22	68	47	77
Juni	139	8	69	7	75	57	72
Juli	141	11	70	9	140	69	67
August	146	16	72	14	71	56	51
September	157	31	78	25	118	63	52
	Mittelwert				Mittelwert	Summe	Summe
Winter	198	81	98	65	105	312	261
Sommer	153	26	76	21	98	344	394
Jahr	175	54	87	43	102	657	655
Kennwerte	FK = 212	nFK = 81	HWK = 201				

Tab. A12: Monatliche Werte des Bodenwasserhaushalts unter Winterraps (Ton)

n = 4	Bodenwasser				Niederschläge		W.abgabe
Monat	mm	% d. nFK	% d. HWK	pflanzen- verfügbar mm	monatlich, % d. langj. Ø	im Mess- abschnitt mm	mm
Oktober	128	60	85	71	175	62	38
November	163	90	108	106	106	59	23
Dezember	172	97	114	115	74	32	23
Januar	172	98	114	115	99	28	28
Februar	161	88	107	104	128	43	54
März	167	93	110	110	113	33	28
April	135	66	89	78	63	30	62
Mai	132	63	87	75	85	32	35
Juni	119	53	79	62	73	54	66
Juli	125	57	82	68	125	62	57
August	97	34	64	40	43	26	53
September	91	29	61	34	118	46	52
	Mittelwert				Mittelwert	Summe	Summe
Winter	161	88	106	104	116	257	195
Sommer	117	50	77	60	84	250	325
Jahr	139	69	92	82	100	507	520
Kennwerte	FK = 175 nFK = 118 HWK = 151						

Tab. A13: Monatliche Werte des Bodenwasserhaushalts unter Spargel (Sand)

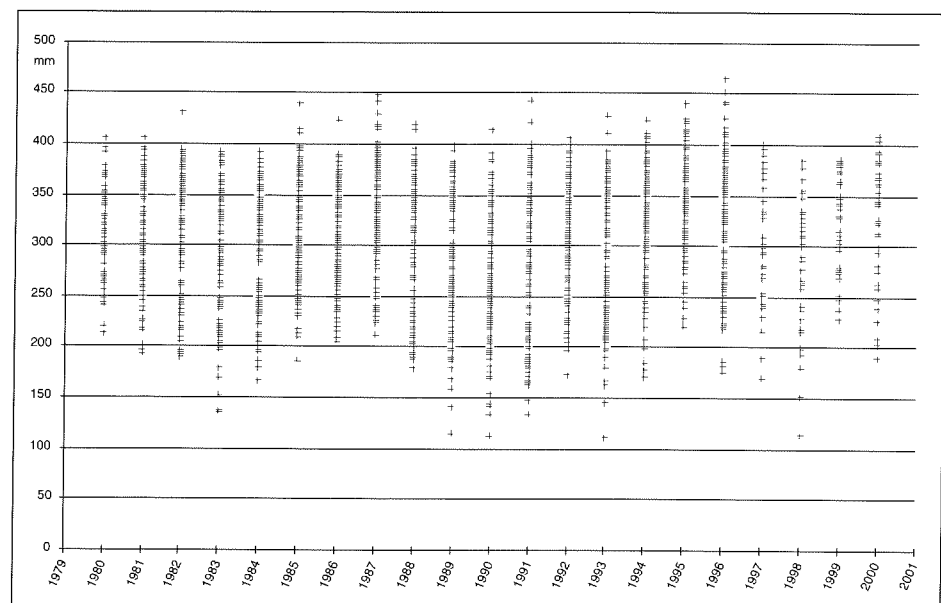


Abb. A1: gemessene Bodenwassergehalte in den einzelnen Anbaujahren (Löss, 1980-2000, n = 36 bis 144/Jahr)

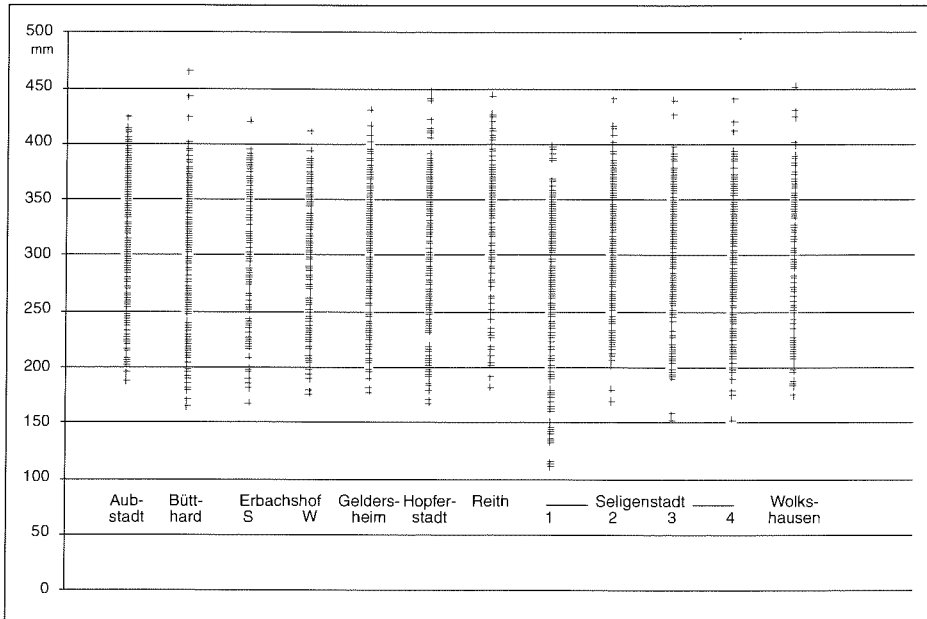


Abb. A2: gemessene Bodenwassergehalte auf den einzelnen Standorten (Löss, 1980-2000, n = 141 bis 252/Standort)

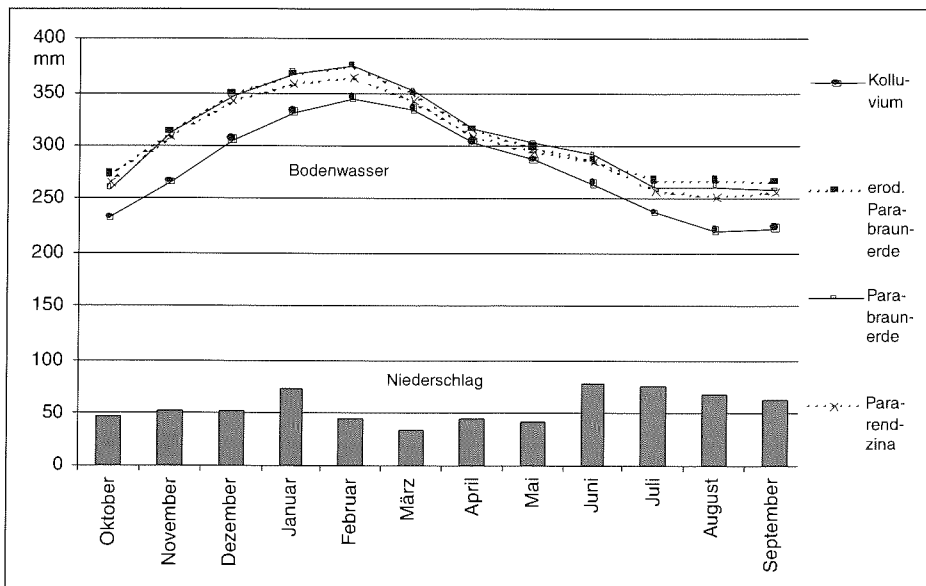


Abb. A3: Mittlerer Verlauf des Wassergehalts in verschiedenen Löss-Bodentypen, 1980-1986, 1990-1996 (n = 14)

Abb. A4: Mittlerer Gehalt an pflanzenverfügbarem Wasser auf verschiedenen Bodentypen (Seligenstadt,  $n = 14$ )

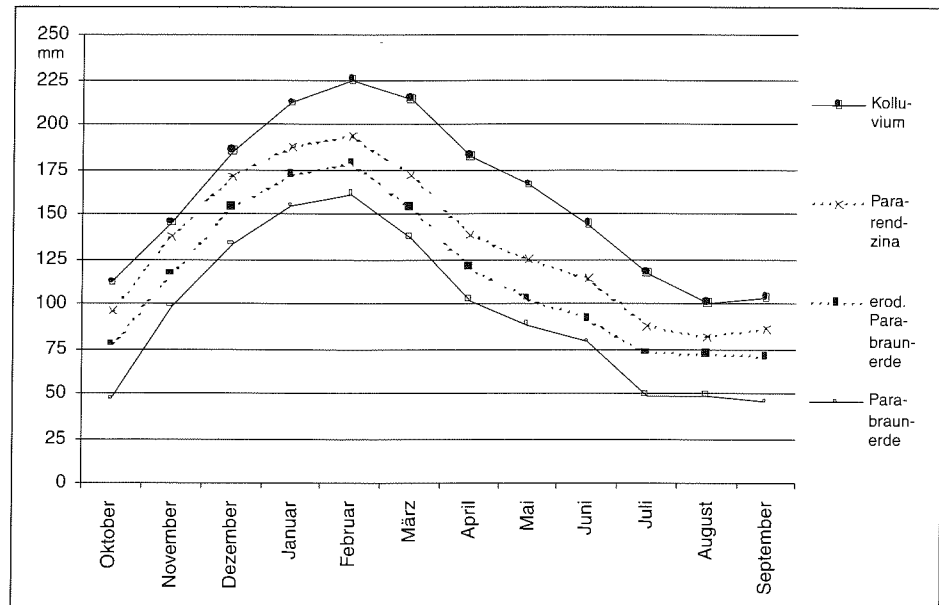
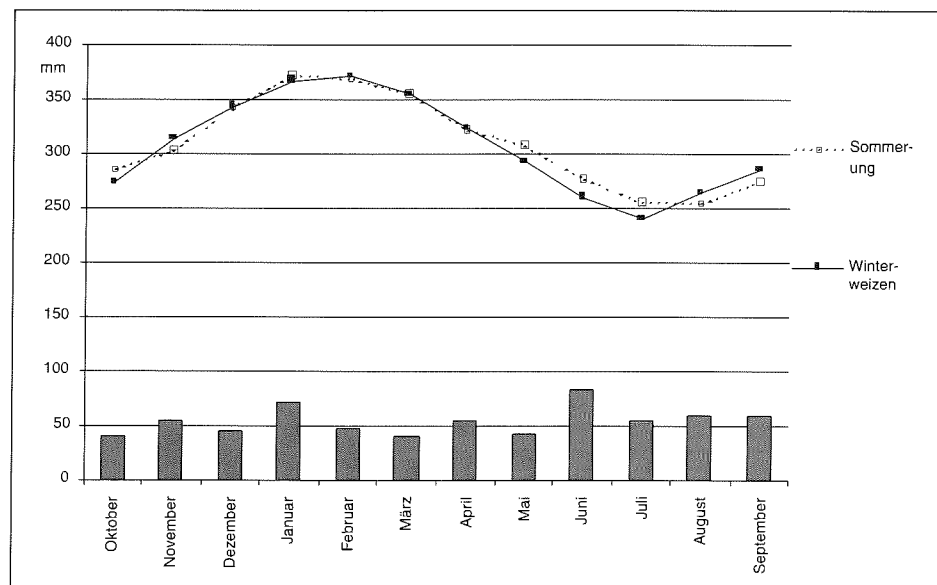


Abb. A5: Verlauf des Bodenwassergehalts unter Winterweizen und Sommerdruschfrüchten (Erbachshof 1983–1989 u. 1991–1996,  $n = 13$ )



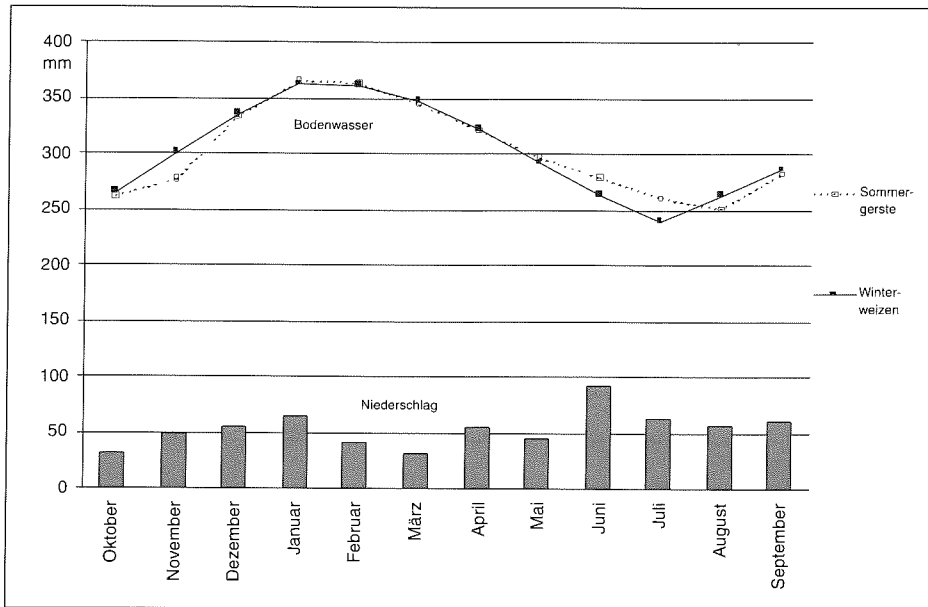


Abb. A6: Verlauf des Bodenwassergehalts unter Winterweizen und Sommergerste (Erbachshof 1983–1986, 1989, 1992, 1993; n = 7)

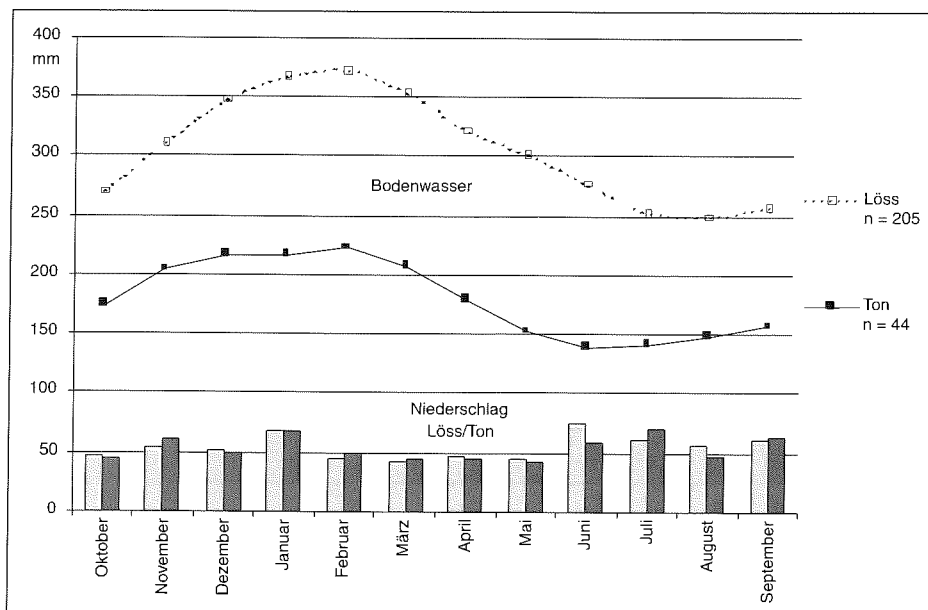


Abb. A7: Mittlerer Verlauf des Wassergehalts tongeprägter Böden (n = 44) im Vergleich zu Lössböden (n = 205)



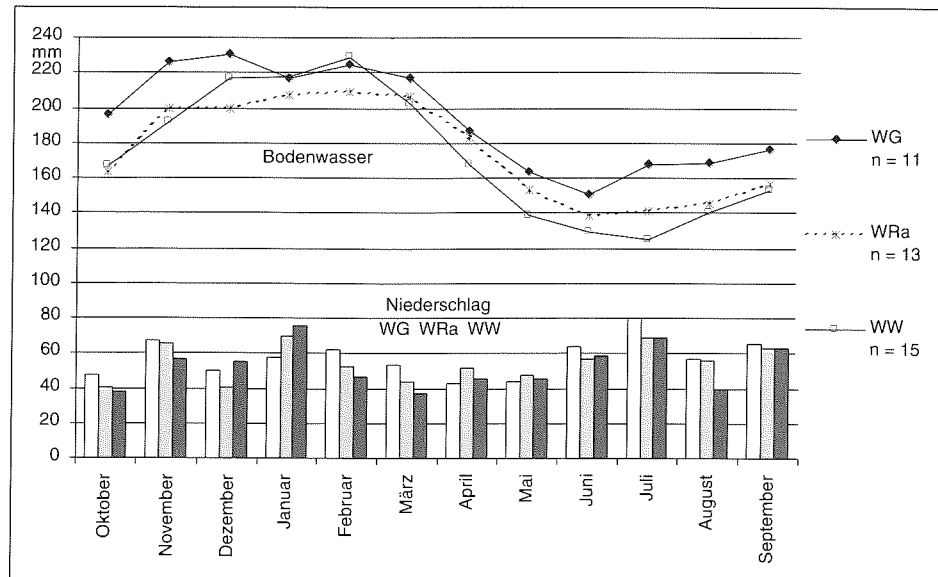


Abb. A8: Mittlerer Verlauf des Bodenwasser-gehalts unter verschiedenen Früchten (Ton)

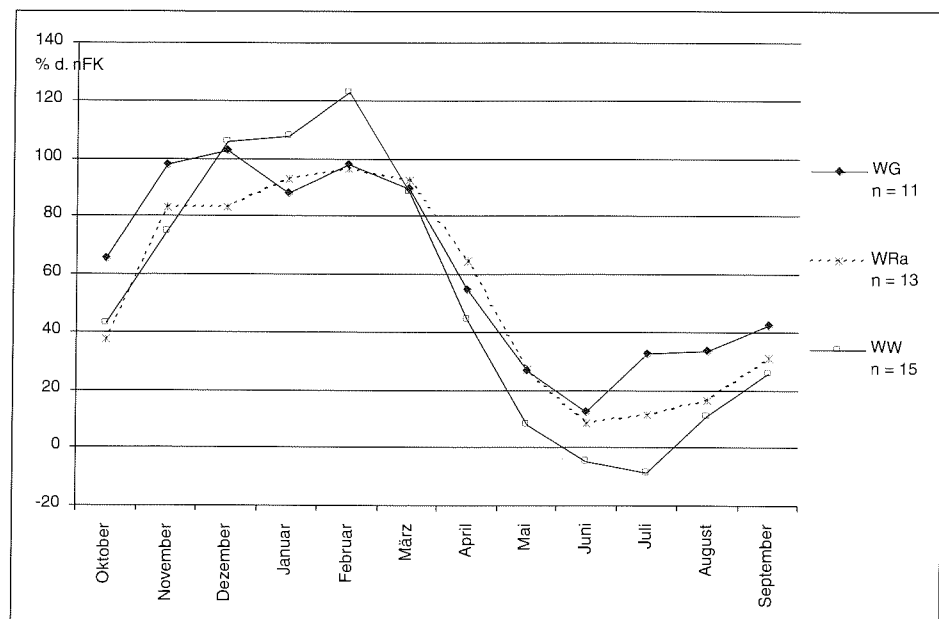


Abb. A9: Mittlerer Verlauf des Bodenwasser-gehalts unter verschiedenen Früchten (Ton, in % der nFK)