BERATUNGSBLATT

Einstufung von landwirtschaftlichen Feldfrüchten und Feldgemüse

Beachtung der Durchwurzelungstiefe bei der Bewässerung



www.alb-bayern.de/fgb2

Fachgruppe Bewässerung, Verfasser:

Dr. Martin Müller
Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.

Beate Zimmermann
Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V.

Jürgen Kleber
Hochschule Geisenheim University, Institut für Gemüsebau

Angela Riedel
Landwirtschaftskammer Niedersachsen

Fachgruppe Bewässerung von ALB, DLG und KTBL

Die Fachgruppe Bewässerung ist Bestandteil eines bundesweiten neutralen Informationsnetzwerks für eine effiziente Bewässerung in der Landwirtschaft und dem Gartenbau. Sie vernetzt wichtige Akteure und wird von ALB, DLG und KTBL gemeinsam organisiert. Fachleute aus Forschung, Beratung, Bildung sowie landwirtschaftlicher und gartenbaulicher Praxis suchen nach den bestmöglichen machbaren Lösungen und bündeln die Ergebnisse für die Praxis. Ziel ist es, auf fachlich fundierter Grundlage und in ausgewogener Weise die Bewässerung zu optimieren. Es werden Beratungsblätter ausgearbeitet und veröffentlicht. Beratungsblätter sind neutrale, kompakte Fachinformationen zu konkreten Fragestellungen und mit hohem Praxisbezug.

Weiteres unter: www.alb-bayern.de/fgb

Mitglieder der Fachgruppe Bewässerung

Vorsitzende, zugleich Vorsitzende der DLG-Arbeitsgruppe Bewässerung: Dr. Sandra Kruse

Arbeitsgemeinschaft Landtechnik u. Landw. Bauwesen in Bayern e.V., Freising: Dr. Martin Müller

Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Veitshöchheim: Claudia Taeger

Berner Fachhochschule, Zollikofen, Schweiz: Prof. Andreas Keiser

Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft e.V., Frankfurt am Main: Jonas Trippner

Dienstleistungszentrum ländlicher Raum Rheinpfalz, Schifferstadt: Dr. Sebastian Weinheimer

Landesamt f. ländliche Entwicklung, Landwirtschaft u. Flurneuordnung, Paulinenaue: Dr. Veikko Junghans

Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V., Finsterwalde: Dr. Beate Zimmermann

Hochschule Geisenheim University, Geisenheim: Jürgen Kleber, Matthew Suomi

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising: Prof. Michael Beck

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt: Till Belau, Mathias Funk

Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Griesheim: Maximilian Sandmann

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Augustenberg: Dr. Martine Schraml

Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hannover: Ekkehard Fricke, Henning Gödeke, Angela Riedel

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Köln: Simon Keutmann

Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, Suderburg: Prof. Andreas Teichert

Impressum

Herausgeber: Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. (ALB),
Vöttinger Straße 36, 85354 Freising
Telefon 08161 / 887-0078, E-Mail info@alb-bayern.de Internet www.alb-bayern.de

1. Auflage 05/2025
© ALB Alle Rechte vorbehalten
Titelfoto ALB

Inhaltsverzeichnis

Seite

1. Einleitung 4
2. Einflussfaktoren auf die Wurzelentwicklung 4
3. Wachstumsfunktion zur Wurzeltiefenentwicklung, Beispiele 6
4. Bedeutung der zugrunde gelegten Durchwurzelungstiefe für die Bewässerungssteuerung 7
4.1 Berechnung der nutzbaren Feldkapazität in Abhängigkeit von der Durchwurzelungstiefe 7
4.2 Bemessung der Einzelgabenhöhe in Abhängigkeit von der Durchwurzelungstiefe 7
4.3 Bewässerungssteuerung mit Modellen unter Berücksichtigung der jeweiligen Durchwurzelungstiefe 9
4.4 Bewässerungssteuerung mit Sensoren unter Berücksichtigung der jeweiligen Durchwurzelungstiefe 9
5. Methode der Charakterisierung kulturartspezifischer Durchwurzelungstiefen 10
6. Einstufung der Durchwurzelungstiefen einzelner Kulturen zur Beachtung bei der Bewässerungssteuerung 11
7. Fazit 13
8. Literatur 14

1. Einleitung

Wurzeln sind der im Boden wachsende Teil von Pflanzen. Wurzeln geben den Pflanzen Halt und dienen der Wasser- sowie der Nährstoffaufnahme. Die Ausprägung des Wurzelsystems hängt entscheidend von der Pflanzenart und Bestandsführung (Hopkins, 1995) sowie den vorherrschenden Bodeneigenschaften ab.

Im Wurzelraum wird das in den Mittelporen und engen Grobporen gespeicherte pflanzenverfügbare Bodenwasser von den Wurzeln aufgenommen (Ad-hoc-AG Boden, 2005). Mit einem gut entwickelten und tiefreichenden Wurzelsystem kann ein Pflanzenbestand das natürliche Wasserangebot aus dem Bodenvorrat optimal ausnutzen. Das reduziert den Bewässerungsbedarf, der das natürliche Wasserangebot aus Niederschlägen und dem pflanzenverfügbaren Bodenvorrat ergänzen soll. In dem vorliegenden Beratungsblatt werden die näheren Zusammenhänge zwischen Wurzelentwicklung, Durchwurzelungstiefe und dem Bewässerungsbedarf dargestellt. Zudem werden für einzelne Kulturarten mittlere Durchwurzelungstiefen angegeben, die bei der Bewässerungssteuerung angesetzt werden können.

2. Einflussfaktoren auf die Wurzelentwicklung

Die maximale Durchwurzelungstiefe der Pflanzen ist artspezifisch genetisch festgelegt und wird unter optimalen Bedingungen im Verlauf einer Wachstumsperiode allmählich erreicht (Kutschera, 1960; Schroeder, 1992).

Außerdem hängt die Wurzeltiefenentwicklung von der Durchwurzelbarkeit des jeweiligen Bodens ab. Durchwurzelbarkeit bezeichnet die Tiefe, bis zu der Pflanzenwurzeln unter den vorherrschenden Standortbedingungen tatsächlich in den Boden eindringen können (Ad-hoc-AG Boden, 2005). Fruchtbare Ackerböden ermöglichen Durchwurzelungstiefen von mehr als 80 cm. Die maximal möglichen Durchwurzelungstiefen variieren im Einzelfall zwischen 15 cm bei Böden mit geringer Auflage auf Felsgestein und teilweise mehr als 250 cm auf tiefgründigen Schwarzerden aus Löß (Kundler et al., 1989; Schroeder, 1992; Ad-hoc-AG Boden, 2005).

Die Bodenart und die Trockenrohdichte haben Einfluss auf den möglichen Wurzeltiefgang und damit auf die potenzielle Ausschöpftiefe von pflanzenverfügbarem Bodenwasser in Trockenjahren. Dieser Umstand wird durch den Begriff „effektive Durchwurzelungstiefe (WE)“ beschrieben. Sie wird modellhaft als Äquivalenttiefe für Getreide bestimmt. Bei sandigen Böden ist sie niedriger (50 bis 80 cm) als bei lehmigen oder schluffigen Böden (80 bis 140 cm). Je höher der Ton- und Schluffgehalt ist, desto negativer wirkt sich eine hohe Lagerungsdichte des Bodens auf die effektive Durchwurzelungstiefe aus (AG Boden, 2024).

Verschiedene Faktoren können die Durchwurzelungstiefe begrenzen. Dazu zählen Verfestigungshorizonte (Ortstein), Bodenverdichtungen, die Entstehung einer Pflugsohle, „Matratzenbildung“, die bei der Einarbeitung des vorhandenen Bewuchses durch zu große Mengen an organischem Material entsteht, Staunässe, niedrige pH-Werte oder Nährstoffarmut. Häufig bedingen die negativen Faktoren einander und sind die Folge einer unsachgemäßen Bewirtschaftungsweise. Ein intaktes Bodengefüge ist jedoch eine wichtige Voraussetzung, um hohe Durchwurzelungstiefen zu ermöglichen. Im Beratungsblatt „Bodenpotenziale nutzen“ (http://www.alb-bayern.de/bef13) aus dem Bewässerungsforum Bayern wird ein Überblick gegeben, worauf hierbei zu achten ist.

Zur Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit und zur Beurteilung der Durchwurzelung des Bodens

sowie der Durchwurzelungstiefe kann die sogenannte Spatenprobe eine wichtige praktische Hilfe sein (Bild 1a,b). Mit dem Spaten wird ein Bodenblock ausgehoben und dabei der Eindringwiderstand beachtet, der Hinweise auf die Lagerungsdichte gibt. Der folgende Abwurf des Blocks auf eine harte Unterlage bewirkt, dass der Boden in seine natürlichen Gefügeaggregate zerfällt. Diese werden anschließend mit der Hand zerteilt und Farbe, Gefügeform, Strohverteilung und Wurzelbild bewertet. In einem wachsenden Bestand geben die Wurzeln über ihre Dichte und Verteilung sowie den Verlauf in die Tiefe am besten Auskunft, ob das Gefüge in Ordnung ist oder nicht. Eine geringe Wurzeldichte und -verzweigung oder abknickende Wurzeln an der Grenzschicht vom Ober- zum Unterboden weisen auf eine mangelhafte Bodenstruktur oder Probleme mit der Nährstoffversorgung hin. Störungen wie Bodenverdichtungen und Strohmatten können mit der Spatendiagnose gut erkannt werden. Eine ausführliche Anleitung zur Spatenmethode gibt eine Broschüre der LfL: Bodenstruktur erkennen und beurteilen - Anleitung zur Bodenuntersuchung mit dem Spaten.



Bild 1a,b: Zur Beurteilung der Durchwurzelung des Bodens sowie der Durchwurzelungstiefe kann die sogenannte Spatenprobe eine wichtige praktische Hilfe sein (Bildquelle: ALB)

Auch die Witterung sowie die jeweilige Bestandsführung haben Einfluss auf die resultierende Durchwurzelungstiefe eines Anbausystems: Pflanzenbestände, die insbesondere während der Jugendentwicklung durchwegs gut mit Wasser und Nährstoffen versorgt sind, durchwurzeln vorrangig die obere Bodenzone. Durch die gute Versorgung in der oberen Bodenzone fehlt es an äußeren Reizen und der Notwendigkeit, mit den Wurzeln tiefer im Boden gelegene Ressourcen zu erschließen. Moderater Trockenstress in der Jugendentwicklung kann hingegen die Ausbildung eines tiefreichenden Wurzelsystems fördern.
Die Wurzelentwicklung ist auch von der Temperatur abhängig. Eine Faustzahl für die Zunahme des Tiefenwachstums pro Zeiteinheit ist bei Winterweizen 0,1 cm pro Gradtag (Kage, 2000). Für Sommergerste und Zuckerrüben wurden ähnliche Werte festgestellt (Pedersen, 2004). Die Anzahl an Gradtagen ergibt sich aus der Summe der Tagesmitteltemperaturen während eines konkreten Zeitraums. Beträgt beispielsweise drei aufeinanderfolgende Tage die Tagesmitteltemperatur 8, 10 und 12 °C, ergeben sich für diesen Zeitraum 8 + 10 + 12 Gradtage = 30 Gradtage, und man kann für diesen Zeitraum von einem Wurzeltiefenwachstum in Höhe von 0,1 cm / Gradtag x 30 Gradtage = 3 cm ausgehen.

3. Wachstumsfunktion zur Wurzeltiefenentwicklung - Beispiele

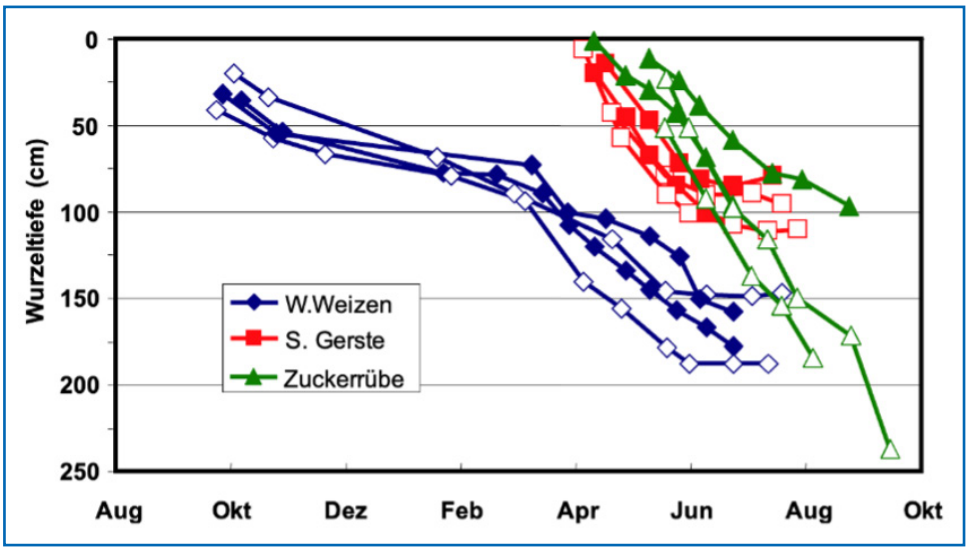
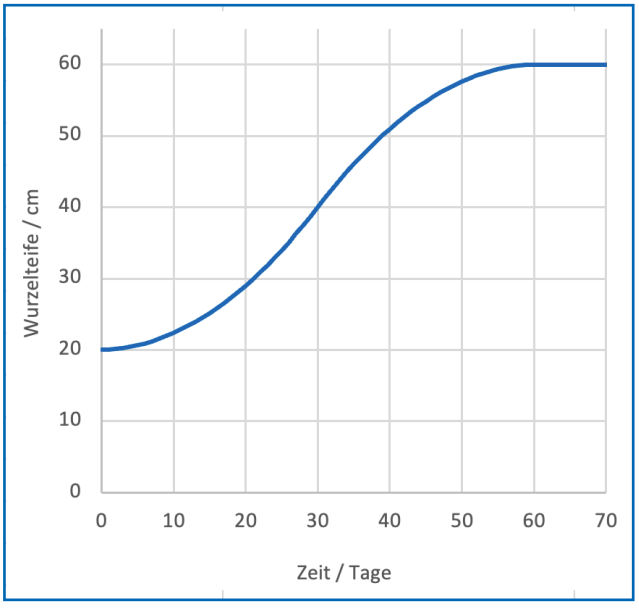


Abb. 1: Wurzelwachstum von drei Kulturen im Vegetationsverlauf. Daten aus zwei Bodentypen (ungefüllte Symbole: sandiger Lehm, gefüllte Symbole: schwach lehmiger Sand) und zwei Jahren (2001 und 2002) in Dänemark; gemessen wurde die Eindringtiefe der Wurzeln mittels Minirhizotronen (nach Pedersen, 2004)

Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Wurzelentwicklung im Vegetationsverlauf von 3 Kulturen (Winterweizen, Sommergerste und Zuckerrübe) in jeweils 2 Jahren und 2 Bodenarten. Die Wurzelentwicklung von Winterweizen war langsamer als die von Sommergerste, wobei dieser aber deutlich tiefer wurzelte als die Sommergerste, und zwar unabhängig vom Jahr und von der Bodenart. Der sandige Boden hatte einen etwas geringeren Tongehalt als der lehmige Boden. Außerdem ist erkennbar, dass das Wurzelwachstum meist etwa zur Blüte endete. Bei der Zuckerrübe hing das Tiefenwachstum stärker von der Bodenart ab. In dem lehmigen Boden erreichten die Wurzeln eine erheblich größere Tiefe als im sandigen Boden. Außerdem setzte sich das Wurzelwachstum bis zum Ende der Vegetationszeit bzw. bis zur Ernte fort.

In Abbildung 2 wird beispielhaft die Berechnung der Durchwurzelungstiefe von Kartoffeln mithilfe eines Modells, der Bewässerungs-App, gezeigt.



Es gilt folgende Beziehung:
$W(t) = W_0 + (W_{max} - W_0) / (1 + T \times e^{bt})$
(Formel 1)

- W(t): Durchwurzelungstiefe in Abhängigkeit des zeitlichen Verlaufs
- W_0: Mindestdurchwurzelungstiefe
- W_{max}: Maximale Durchwurzelungstiefe
- T, b: Wachstumsfaktoren
- t: Zeit ab Wachstumsbeginn

Abb. 2: Berechnete Durchwurzelungstiefe in Abhängigkeit der Wachstumszeit während der Jugendentwicklung ab dem Legetermin von Kartoffeln in Tagen gemäß Bewässerungs-App

Für das Jugendwachstum des Pflanzenbestandes berechnet das hinterlegte Modell - ausgehend von einer angenommenen Mindestdurchwurzelungstiefe, ein Wurzeltiefenwachstum nach dem „Prinzip einer logistischen Funktion“, siehe Abbildung 2 (Nicholas, 2005).

Im Beispiel wird hierbei für Kartoffeln zum Zeitpunkt des Legens eine minimale Durchwurzelungstiefe von 20 cm, und - etwa 55 Tage später - eine maximale Durchwurzelungstiefe in Höhe von 60 cm, angesetzt.

4. Bedeutung der zugrunde gelegten Durchwurzelungstiefe für die Bewässerungssteuerung

4.1 Berechnung der nutzbaren Feldkapazität in Abhängigkeit von der Durchwurzelungstiefe

Von Pflanzen aufgenommenes Wasser stammt im Wesentlichen aus dem pflanzenverfügbaren Bodenwasservorrat im Wurzelraum, der über natürliche Niederschläge und gegebenenfalls Bewässerungsgaben gespeist wird. Bei grundwassernahen Standorten spielt zudem der kapillare Aufstieg aus dem Grundwasser eine Rolle. Die Größe des pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeichers eines Anbausystems steigt mit der Durchwurzelungstiefe proportional an und das Maß dafür ist die nutzbare Feldkapazität nFK.

Die nutzbare Feldkapazität eines Anbausystems in Millimeter ergibt sich aus der nFK des zugrundeliegenden Bodens in Volumenprozent (Vol.-%) multipliziert mit der Durchwurzelungstiefe der betrachteten Kulturart gemäß folgendem Beispiel:

nFK (Anbausystem) =
= nFK (Boden) x Durchwurzelungstiefe (Kultur)
(Formel 2)

nFK (Sandboden, Kartoffel zur Blüte) =
= 10 Vol.-% x 60 cm =
= 10 mm / 10 cm x 60 cm =
= 60 mm

Erläuterung:
Ein Sandboden mit zum Beispiel einer nFK von 10 Vol.-% hat einen pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeicher in Höhe von 10 mm je 10 cm Bodenmächtigkeit. Beträgt die zugrunde gelegte Durchwurzelungstiefe bei Kartoffeln zum Zeitpunkt der Blüte 60 cm, ergibt sich daraus eine nFK des Anbausystems in Höhe von 60 mm.

Je größer die nutzbare Feldkapazität eines Anbausystems ist, desto größer ist die Wassermenge, die aus den Winterniederschlägen oder während einer Anbausaison bei vorübergehenden ergiebigen Niederschlägen vom Boden pflanzenverfügbar gespeichert werden kann. Mit zunehmender nutzbarer Feldkapazität verschiebt sich dadurch der Bewässerungsstart, der während einer anschließenden Trockenphase folgt, nach hinten. Das reduziert den Gesamtbewässerungsbedarf während einer Anbausaison. Je höher die Durchwurzelungstiefe ist, desto geringer ist daher der Bewässerungsbedarf bei gleichen klimatischen Bedingungen.

4.2 Bemessung der Einzelgabenhöhe in Abhängigkeit von der Durchwurzelungstiefe

Einzelwassergaben sind so zu bemessen, dass die Gaben vollständig im durchwurzelten Bodenraum aufgenommen und gespeichert werden können. Sie dürfen daher nicht größer sein als die Wassermenge, die der Boden zum Zeitpunkt der Bewässerung gegen die Schwerkraft speichern kann. Wasser, das tiefer sickern würde als die Wurzeln reichen, wäre hingegen für die Pflanzen nicht verfügbar und würde möglicherweise ohne Nutzen versickern und wertvolle Nährstoffe auswaschen.

Zu kleine Einzelgaben haben eine unzureichende Tiefenwirkung. Wurzelwachstum,

die natürliche Nährstoffmobilisation des Bodens, die Verfügbarkeit von Mineraldüngern und die Nährstoffaufnahme der Pflanzen beschränken sich dann vorrangig auf die durchfeuchteten Bodenbereiche in Oberflächennähe. Folgen auf eine längere niederschlagsarme Bewässerungsperiode ergiebige Niederschläge, welche die Böden auch in tieferen Bereichen durchfeuchten, ist dieses Wasser und die darin gelösten Nährstoffe dann weniger gut pflanzenverfügbar, wenn die Wurzeln in der Tiefe nur wenig ausgebildet sind.

Bei geringer Durchwurzelungstiefe muss die Höhe der Bewässerungsgaben entsprechend gering sein. Das bedeutet, dass häufiger bewässert werden muss, weil die verabreichten Einzelwassergaben schneller verbraucht sind. Bei größerem Wurzeltiefgang können höhere Wassergaben gegeben werden und entsprechend länger kann mit der nachfolgenden Bewässerung gewartet werden. Die Durchwurzelungstiefe hat damit ebenfalls Einfluss auf das Bewässerungsintervall, also den Zeitabstand zwischen aufeinanderfolgenden Gaben.

Bei Tropfbewässerung werden nur die Bereiche unter den Tropfstellen durchfeuchtet. Bei anhaltend zu geringen Einzelwassergaben konzentriert sich das Wurzelwachstum zusehends auf die räumlich stark begrenzten Durchfeuchtungszonen unmittelbar im Bereich der Tropfer. Das Risiko für ein Einwachsen von Wurzeln in die Tropfer und dadurch bedingte Verstopfungen steigt an.

Für die Bemessung der Gabenhöhe sollte insbesondere bei flächiger Beregnung zusätzlich darauf geachtet werden, den Wasserspeicher nicht vollständig aufzufüllen. Damit wird gewährleistet, dass ein Puffer für auf Bewässerungsmaßnahmen folgende Niederschläge vorhanden ist. Diese können dadurch jederzeit in bedeutendem Umfang im durchwurzelten Bodenraum aufgenommen werden und versickern nicht nutzlos. Bei vollständig ausgebildetem Wurzelwerk wird empfohlen, den Wurzelraum bei wechselhafter Witterung im Ackerbau nur auf 80 % der nFK und im Gemüsebau auf 90 % der nFK aufzufüllen.

Würde man gemäß dem Beispiel (Tab. 1) Kartoffeln auf Sandboden während des Knollenansatzes bei etwa 30 cm Durchwurzelungstiefe beregnen (nFK = 10 Vol.-%, Bewässerungsschwelle = 50 % nFK) und hätte man zum Ziel, den durchwurzelten Bodenraum auf nicht mehr als 80 % der nFK aufzufüllen, ergäbe sich rechnerisch folgende Gabenhöhe:

Gabenhöhe =
= Zielbodenfeuchte - Bewässerungsschwelle
(Formel 3)

Gabenhöhe = 80 % nFK - 50 % nFK
Gabenhöhe = 0,8 x 30 mm - 0,5 x 30 mm
Gabenhöhe = 0,3 x 30 mm
Gabenhöhe = 9 mm

Zum Knollenansatz werden die Wurzeln zügig, von 30 cm ausgehend, weiter in die Tiefe wachsen. Berücksichtigt man außerdem Verluste bei der Überkopfberegnung, z.B. durch Interzeption bei der Benetzung des Blattapparates, lassen sich in dem konkreten Beispiel Einzelgaben von bis zu 15 mm fachlich rechtfertigen.

Tab. 1: Bemessung der Höhe einzelner Zusatzwassergaben bei Beregnung bzw. Tropfbewässerung; Beispiel: Kartoffeln, Sandboden mit nFK = 10 Vol.-%, Bewässerungsschwelle 50 % nFK, Tropfbewässerung im Dammkronenverfahren

Kartoffeln		Einzelgabenhöhe	
Entwicklungsstadium	Durchwurzelungstiefe	Beregnung	Tropfbewässerung im Dammkronenverfahren
Knollenansatz	30 cm	9 mm bis 15 mm	4 mm
Blüte	60 cm	18 mm	8 mm

Rechnerisch (ohne Verdunstungsverluste) wird hierdurch der Bodenwasserspeicher bis 30 cm Tiefe auf 100 % nFK gefüllt.

Bei Tropfbewässerungsverfahren wird nur ein Teil des Bodens durchfeuchtet. In Abhängigkeit von Bodenart, Lagerung und Applikationsrate beträgt der Durchfeuchtungsradius etwa 30 bis 60 cm (Payero et al., 2008; Skaggs et al., 2010; Reyes-Cabrera et al., 2016; Li et al. 2017). Je nach Abstand zwischen zwei benachbarten Tropfschläuchen, den Tropferabständen und dem angenommenen Durchfeuchtungsradius sind daher die zu verabreichenden Einzelgaben deutlich zu reduzieren (Tab. 1).

4.3 Bewässerungssteuerung mit Modellen unter Berücksichtigung der jeweiligen Durchwurzelungstiefe

Die Entwicklung der Durchwurzelungstiefe einzelner Kulturen während einer Wachstumsperiode kann anhand von Funktionen des Wurzelwachstums kalkuliert werden (siehe Kapitel 3). In Bewässerungssteuerungsmodellen geschieht dies implizit bei der modellbasierten Ermittlung von Bewässerungszeitpunkt und Gabenhöhe. Dabei wird berücksichtigt, wie sich die nutzbare Feldkapazität (siehe Kapitel 4.1) und der pflanzenverfügbare Bodenwasservorrat im zeitlichen Verlauf ändern.

Je trockener die Böden sind, desto dringender ist die Bewässerung. Ein objektives Maß für diese Dringlichkeit ist die Bodenfeuchte in Prozent der nutzbaren Feldkapazität nFK. Bei Kartoffeln beispielsweise liegt der gerade noch tolerierbare Bodenfeuchtegrenzwert, die sogenannte Bewässerungsschwelle, üblicherweise bei 50 % der nFK. Erst bei Unterschreiten der Schwelle wird empfohlen, zu bewässern. Da für die Berechnung der nFK (siehe Kapitel 4.1) und damit ebenso für die Berechnung der Bewässerungsschwelle (siehe oben) die Durchwurzelungstiefen berücksichtigt werden, ist das Erreichen der Bewässerungsschwelle und der hierdurch unmittelbar abgeleitete Bewässerungsstart ebenfalls von der zugrunde gelegten Durchwurzelungstiefe abhängig.

4.4 Bewässerungssteuerung mit Sensoren unter Berücksichtigung der jeweiligen Durchwurzelungstiefe

Bodenfeuchtesensoren können sowohl zur Kontrolle flächiger Beregnung als auch zur Steuerung von Tropfbewässerungsanlagen genutzt werden. Grundsätzlich ist zu beachten, dass mit Sensoren ausschließlich punktförmig (und nicht flächig) gemessen werden kann.

Bei Tropfbewässerung wird der Sensor an einer für den Schlag oder den Bereich repräsentativen Stelle an einer durchschnittlich entwickelten Pflanze platziert und direkt unter einem Tropfer eingebaut. Zur Anpassung der Sensorposition an die Hauptwurzelzone ist es sinnvoll, Sensoren in verschiedenen Tiefen im Boden einzubauen (z. B. 10, -30, -50 cm). Abhängig von der Wurzelentwicklung der Pflanzen wird jeweils der Sensor zur Bewässerungssteuerung ausgewählt, der sich zu diesem Zeitpunkt im Bereich der Hauptwurzelzone befindet. Saatkulturen sind bis zum Feldaufgang und Pflanzkulturen bis zum Anwachsen, unabhängig von den Messwerten der Sensoren, gleichmäßig feucht zu halten.

Zur Kontrolle kann ein weiterer Sensor unterhalb der Hauptwurzelzone platziert werden. Nimmt die Bodenfeuchte nach einer verabreichten Gabe in diesem Bereich zu, ist dies ein Zeichen, dass die Einzelgabenhöhe zu groß war und die nachfolgende Gabenhöhe zu reduzieren ist. Wird der Boden im Bereich unter der Hauptwurzelzone mit der Zeit hingegen immer trockener, sollte die Einzelgabe erhöht werden.

Während der Vegetationszeit können bei flächiger Beregnung Sensoren zur Überprüfung des Bodenfeuchteverlaufs dienen. Eine konkrete Ableitung des Beregnungsbeginns anhand von Sensormessungen wird jedoch nicht empfohlen, weil die Werte an einzelnen Messstellen sehr voneinander abweichen können.

Zur Überwachung der Bodenfeuchte sollten ein oder besser mehrere Sensoren in einer Tiefe eingebaut werden, in der die hauptsächliche Wasserentnahme erfolgt. Das ist häufig in etwa 25 bis maximal 50 cm Tiefe der Fall, je nachdem, ob es sich um eine flach- oder tiefwurzelnde Kultur handelt. Bis zu dieser Tiefe sollte der Bodenwassergehalt nach einer Beregnungsgabe wieder ansteigen. Tut er das nicht, war die Gabenhöhe zu gering bemessen. Steigt der Wert hingegen sehr stark an und sinkt danach wieder sehr schnell ab, war die Gabe eventuell zu hoch.

5. Methode der Charakterisierung kulturartspezifischer Durchwurzelungstiefen

Generell ist die Tiefenverteilung der Wurzeln landwirtschaftlicher und gartenbaulicher Kulturen durch eine mehr oder weniger deutliche Abnahme der Wurzellängendichte mit der Bodentiefe gekennzeichnet. Die Leistungsfähigkeit eines Wurzelsystems wird deshalb mit zunehmender Bodentiefe generell schnell kleiner. Die nachfolgend ausgewiesenen Wurzeltiefen sind deshalb geringer als die kulturartspezifischen maximalen Wurzeltiefen und beziehen sich jeweils auf den Bereich der Hauptentnahme im Boden.

Zu Dammkulturen gelten in diesem Beratungsblatt alle Angaben zur Durchwurzelungstiefe ab der Dammkronenoberfläche.

Die Bemessung der Wurzeltiefen beruht auf Versuchsergebnissen, Literaturrecherchen sowie Berater-/Anwendererfahrungen. Die aufgezeigten Wurzeltiefen für Feldgemüse sind zudem an die Veröffentlichung „Düngung im Freilandgemüsebau“ des IGZ Großbeeren angelehnt. Zu Gewürzpflanzen orientieren sich die angegebenen Durchwurzelungstiefen an der Veröffentlichung „Stickstoffbedarfswerte von Heil- und Gewürzpflanzen“ der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft.

Zu beachten ist noch, dass die tatsächliche Durchwurzelungstiefe grundsätzlich nicht größer sein kann als die effektive Wurzeltiefe des kultivierten Bodens.

6. Einstufung der Durchwurzelungstiefen einzelner Kulturen zur Beachtung bei der Bewässerungssteuerung

Definition minimale Durchwurzelungstiefe (Hauptentnahme):
Bodentiefe, bis zu der zum Zeitpunkt der Saat, des Pflanzens, Legens oder zu Vegetationsbeginn (Frühjahr) die hauptsächliche Aufnahme von Wasser und Nährstoffen erfolgt. Die zugrunde gelegten minimalen Durchwurzelungstiefen sind kalkulatorische Größen. Diese definieren ausgehend von der Bodenoberfläche die Bodenzone, aus der den jeweiligen Kulturen ab der Aussaat, dem Pflanzen, dem Legen oder ab Vegetationsbeginn im Frühjahr bei Bedarf Bodenwasser zur Aufnahme zur Verfügung steht, wenngleich die Wurzeln zu diesem Termin zum Teil nicht bis in diese Tiefe reichen (z. B. Aussaaten, Knollen zum Zeitpunkt des Legens).

Tab. 2: Bemessung minimaler Durchwurzelungstiefen (Hauptentnahme)

Kulturgruppe, Vegetationsstart	Minimale Durchwurzelungstiefe, Hauptentnahme
Aussaaten, zum Zeitpunkt der Aussaat	5 cm
Pflanzkulturen, zum Zeitpunkt des Pflanzens	10 cm
Knollenfrüchte, zum Zeitpunkt des Legens	20 cm
Winterungen, zu Vegetationsbeginn im Frühjahr	40 cm

Definition maximale Durchwurzelungstiefe (Hauptentnahme):
Bodentiefe bis zu der bei einem vollständig entwickeltem Wurzelsystem die hauptsächliche Aufnahme von Wasser und Nährstoffen erfolgt.

Tab. 3: Maximale Durchwurzelungstiefen (Hauptentnahme landwirtschaftlicher Feldfrüchte und Feldgemüse)

Kultur	Maximale Wurzeltiefe Hauptentnahme
Landwirtschaftliche Feldfrüchte	
Ackerfuttergras	50 cm
Erbsen, Körner	60 cm
Gerste	
... Sommer	60 cm
... Winter	80 cm
Gras	
... Kleegras	50 cm
... Luzerne	60 cm
Grünland, Dauer	30 cm
Hafer	60 cm
Sonnenblumen	90 cm

Kultur	Maximale Wurzeltiefe Hauptentnahme
Kartoffeln	60 cm
Kartoffeln, früh	40 cm
Kohlrüben	50 cm
Lupine	90 cm
Luzerne, ab 2. Standjahr	80 cm
Mais	
... Körner	90 cm
... Silo	90 cm
Raps, Winter	90 cm
Roggen, Winter	100 cm
Sojabohne	90 cm
Porree	60 cm

Tab. 3, Fortsetzung S. 11: Maximale Durchwurzelungstiefen (Hauptentnahme landwirtschaftlicher Feldfrüchte und Feldgemüse)

Kultur	Maximale Wurzeltiefe Hauptentnahme
Sorghumhirse	
... Silo	90 cm
... Körner	60 cm
Triticale	90 cm
Weide	25 cm
Weizen	
... Sommer	70 cm
... Winter	90 cm
Zuckerrübe	90 cm
Feldgemüse	
Blumenkohl	60 cm
Brokkoli	60 cm
Buschbohne	60 cm
Chicorée	60 cm
Chinakohl	60 cm
Eissalat	30 cm
Erbsen, grün	60 cm
Feldsalat	15 cm
Fenchel	60 cm
Grünkohl	60 cm
Gurke	40 cm
Kohlrabi	30 cm
Kopfkohl	60 cm
Kürbis	60 cm
Markstammkohl	60 cm
Möhren	60 cm
Petersilie	
... 1. Schnitt	30 cm
... ab 2. Schnitt	60 cm
Radieschen	15 cm
Rettich	60 cm
Rosenkohl	60 cm
Rote Rüben	60 cm
Rotkohl	60 cm
Salat, Kopfsalat	30 cm
Schnittlauch	30 cm
Schwarzwurzeln	90 cm
Sellerie	60 cm
Spargel, ab 2. Jahr	90 cm
Stangenbohnen	60 cm
Spinat	60 cm
Weißkohl	60 cm
Wirsingkohl	60 cm
Zucchini	60 cm
Zwiebel	
... Bund	30 cm
... Bund, Überwinterung	60 cm
... Sommer	60 cm
Sonstiges	
Dill	30 cm
Erdbeeren	30 cm
Hopfen	100 cm
Majoran	30 cm
Pfefferminze	30 cm
Rhabarber	
... 1. Standjahr	30 cm
... 2. Standjahr	60 cm
... 3. Standjahr	90 cm

7. Fazit

Die Durchwurzelungstiefe bestimmt die Mächtigkeit des pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeichers und ist deshalb bei der Bewässerungssteuerung sowohl mit Modellen als auch mit Sensoren ein maßgeblicher Parameter, um die jeweiligen Bewässerungstermine und Einzelgabenhöhen angemessen ermitteln zu können.

Die Durchwurzelungstiefe hängt von der jeweiligen Kulturart und den Bodeneigenschaften ab und nimmt im Verlauf einer Wachstumsperiode zu.

Im vorliegenden Beratungsblatt erfolgt für zahlreiche landwirtschaftliche Feldfrüchte und Feldgemüsearten eine Einstufung der kulturartspezifischen maximalen Durchwurzelungstiefe, bis zu der die hauptsächliche Aufnahme von Wasser und Nährstoffen erfolgt (Hauptentnahme).

8. Literatur

Ad-hoc-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Aufl., Schweizerbart`sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart; 438 S.

AG Boden (2024): Bodenkundliche Kartieranleitung. Band 1: Grundlagen, Kennwerte und Methoden. 6. Auflage, - Hannover; 160 S.

Blume, H.-P.; Stahr, K.; Leinweber, P. (2011): Bodenkundliches Praktikum. Eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen, insbesondere Land- und Forstwirte, und für Geowissenschaftler. 3. überarb. Auflage, Spektrum, Akad. Verlag, Heidelberg; 255 S.

Feller, C.; Fink M.; Laber, H.; Maync, A.; Paschold, P.; Scharpf, H.C.; Schlaghecken, J.; Strohmeyer, K.; Weier, U.; Ziegler, J. (2011): Düngung im Freilandgemüsebau. In: Fink, M. (Hrsg.): Schriftenreihe des Leibniz-Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ), 3. Auflage, Heft 4, Großbeeren

Deimel, R.; Offenberger, K.; Hippich, L.; Kalmbach, S. (2024): LFL Basisdaten, Tab. 9d. https://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/031245/index.php, Zugriff am 14.03.2025

Hopkins, W.G. (1995): Introduction to Plant Physiology. John Wiley & Sons, New York; 464 S.

Hortigate (2025): Wurzelwachstum im Gemüsebau. https://hortipendium.de/Wurzelwachstum_im_Gem%C3%BCsebau#:~:text=Ohne%20menschliches%20Eingreifen%20bilden%20unsere,z.B.%20durch%20Steine%20oder%20Bodenversichtungen., Zugriff am 14.03.2025

Jackson, R.B.; Canadell, J.; Ehleringer, J.R.; Mooney, H.A.; Sala O.E.; Schulze, E.D. (1996): A global analysis of root distribution for terrestrial biomes. Oecologia 108, S. 389–411

Kage, H. (2000): Simulation modelling for improving nitrogen use efficiency in intensive cropping systems. Habilitation, Universität Hannover, https://www.pflanzenbau.uni-kiel.de/de/publikationen/redigierte/redigierte-als-pdf/14-kage-habilitation, Zugriff am 14.03.2025

Kundler, P.; Steinbrenner, K.; Smukalski, M.; Kunze, A.; Quast, J.; Roth, D. (1989): Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin; 452 S.

Kutschera, L. (1960): Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen. DLG-Verlag, Frankfurt/M.; 574 S.

Li, X.; Šimůnek, J.; Shi, H.; Yan, J.; Peng, Z.; Gong, X. (2017): Spatial distribution of soil water, soil temperature, and plant roots in a drip-irrigated intercropping field with plastic mulch. European Journal of Agronomy 83, 47–56.

Nicholas, F.B. (2005): Essential Mathematical Biology. 3. printing. Springer, ISBN 1-85233-536-X (Springer undergraduate mathematics series)

Payero, J.O.; Tarkalson D.D.; Irmak, S.; Davison, D.; Peterson, J.L. (2008): Effect of irrigation amounts applied with subsurface drip irrigation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency, and dry matter production in a semi-arid climate. Agricultural Water Management 95 (8), 895–908

Pedersen, A.; Thorup-Kristensen, K.; Kristensen, H.; Berntsen, J. (2004): Simulating root growth. Danish Institute for Agricultural Sciences. https://orgprints.org/id/eprint/3879/

Reyes-Cabrera, J.; Zotarelli, L.; Dukes, M.D.; Rowland, D.L.; Sargent, S.A. (2016): Soil moisture distribution under drip irrigation and seepage for potato production. Agricultural Water Management 169, 183–192

Roth, D.; Werner, D. (2000): Grundlagen Bewässerung. In: Handbuch der Bodenkunde, 9.Erg. (5.3.4.2), Lfg.10/2000, S. 1–43

Schroeder, D. (1992): Bodenkunde in Stichworten. 5. Aufl. von W.E.H. Blum, Hirt in der Gebr.-Borntraeger-Verl.-Buchhandl., Berlin, Stuttgart; 175 S.

Skaggs, T.H.; Trout, T.J.; Rothfuss Y. (2010): Drip Irrigation Water Distribution Patterns: Ef-fects of Emitter Rate, Pulsing, and Antecedent Water. Soil Science Society of America Journal 6, 1886–1896

Zitiervorlage: Müller, M., Zimmermann, B., Kleber, J., Riedel, A. (2025): Beachtung der Durchwurzelungstiefe bei der Bewässerung - Einstufung von landwirtschaftlichen Feldfrüchten und Feldgemüse. In: Fachgruppe Bewässerung, Ausgabe 1 - 05/2025, Hrsg. ALB Bayern e.V., www.alb-bayern.de/fgb2, Stand [Abrufdatum]

Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und
Landwirtschaftliches Bauwesen (ALB)
in Bayern e. V.
Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

Telefon 08161 / 887-0078
Telefax 08161 / 887-3957
E-Mail info@alb-bayern.de
Internet www.alb-bayern.de