



Effizient bewässern

Kriterien, technische Entwicklungen und
betriebswirtschaftliche Betrachtungen

Dr. Martin Müller, ALB Bayern e.V., Freising

Wasserversorgung und landwirtschaftliche Bewässerung in Zeiten des Klima-
wandels – Veranstaltung der Regierung der Oberpfalz am 19. November 2019

Kriterien

Wirkung von Wassermangel und Wasserüberschuss



Wassermangel

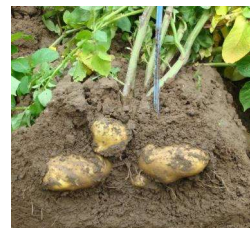
- Ausbildung einer Wachsschicht
- Verzögertes Wachstum und Blattentwicklung
- Verkürzte Lebensdauer der Blätter, Laubabwurf
- Stoffwechselstörungen
- Beweglichkeit von Nährstoffen im Boden sinkt
- Nährstoffaneignungsvermögen sinkt (Wurzeln)



ZR - unbewässert - 08/2015

Wasserüberschuss

- Wasserverschwendung der Pflanzen
- Krankheitsdruck steigt
- Schwache Wurzelbildung
- Luft- und Sauerstoffmangel im Boden
- Verzögerte Bodenerwärmung & Mineralisation



Kartoffeln - überwässert - 07/2011

M. Müller, ALB 3

Einflussgrößen auf den Wasserverbrauch



Verdunstungsanspruch der Atmosphäre

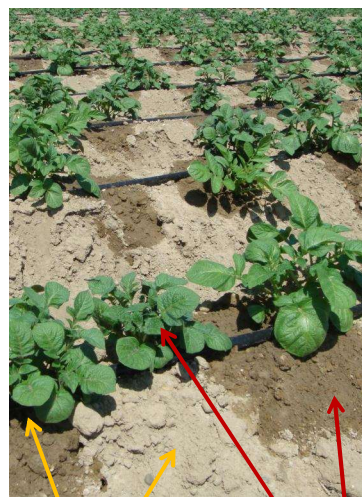
- Globalstrahlung
- Wasserdampfsättigungsdefizit der Luft
- Temperatur, Wind

Ausprägung des Pflanzenbestandes

- Kulturart
- Bodendeckungsgrad
- Wuchshöhe
- Leistungsfähigkeit des Blattapparates
- Aneignungsvermögen (Wurzeln)

Wasserangebot

- Niederschläge, (Art der) Bewässerung
- Speichereigenschaften (Böden)



Wenig Verdunstung

Viel Verdunstung

M. Müller, ALB 4

Schmelz- und Verdunstungsenergie

Schmelzenergie: Für den Übergang von der festen Phase (Eiskristalle) in die flüssige Phase muss Energie zugeführt werden (333 J / g Wasser), um die Kräfte des Kristallgitterverbandes zu überwinden. **Faktor 80**

Verdunstungsenergie: Für den Übergang von der flüssigen in die gasförmige Phase werden vom System 2,3 kJ / g Wasser aufgenommen. **Faktor 550**

→ Latente Energie

- Flüssiges Wasser und v.a. Wasserdampf sind große Energiespeicher
- Mit Luft transportierter Wasserdampf ist zugleich Energietransport (Energie wird bei Kondensation / Niederschlag frei).

Im Vergleich: Spezifische Wärmekapazität c von Wasser:
 $c(\text{Wasser}) = 4,2 \text{ J} / (\text{g} \cdot \text{K})$ **Faktor 1**

Quelle: Wikipedia

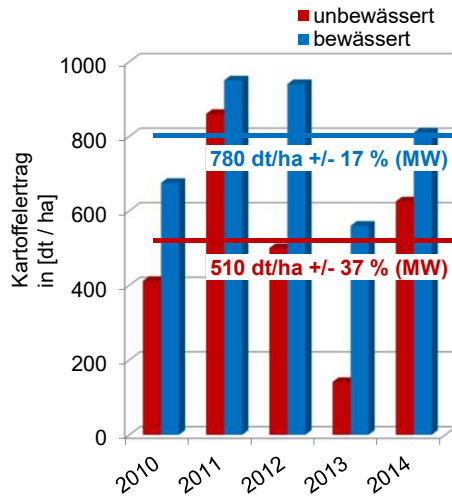
▪ Aufgabe von Beregnung:

- Ergänzung des natürlicher Wasserangebotes (Niederschlag, Bodenwasser)
- Überbrückung von Trockenzeiten und Hitzezeiten

▪ Beregnungsbedürftigkeit abhängig von:

- Standorteigenschaften: - Klima (Niederschlag, Temperaturen)
- Böden (Wasserspeichereigenschaften, Durchwurzelbarkeit)
- Kulturart: - Tageswasserbedarf, Vegetationsdauer
- Wasseraneignungsvermögen / Durchwurzelungstiefe
- Reaktionen auf Trockenstress (Ertrag, Qualität)
- Verwertung: z.B. Speisekartoffeln / Frühkartoffeln

Kartoffelertrag, Sortierung > 40 mm, Aabenberg (Lks. Roth)



Quelle: AgroKlima-Projekt der LfL, 2009-2014

Effekte von Bewässerung:

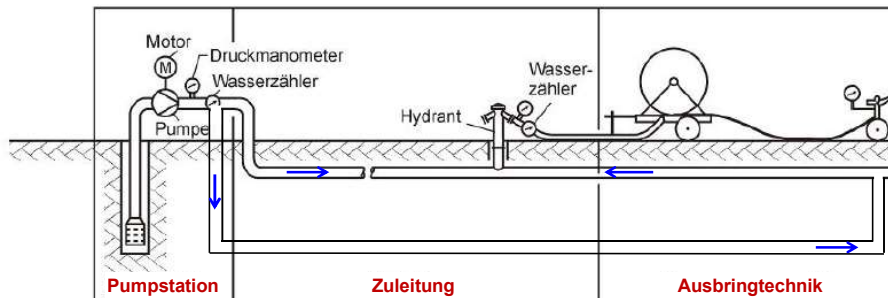
- Ertragssicherung
- Qualitätssicherung
- Geringere Schwankungen zwischen den Jahren



- **Bessere Kalkulierbarkeit der Erträge**
- Bessere Marktstellung / bessere Erzeugerpreise
- Verbesserung der Nährstoffeffizienz

Technische Entwicklungen und betriebswirtschaftliche Betrachtungen

Bestandteile einer Bewässerungsanlage



Quelle: Sourell, Thörmann, 2010, verändert

- Verwendete Ausbringtechnik muss zu den jeweiligen Rahmenbedingungen passen
- Komponenten müssen aufeinander abgestimmt sein

M. Müller, ALB 9

Mobile Beregnungsmaschine mit Großflächenregner



„Rohrtrommelberegnung“

- Flexibler Einsatz, Mobilität, hohe Einzelgaben möglich
- Bis 1.000 m Rohrlänge, 125 mm Rohrdurchmesser
- Einzugs geschwindigkeit: ~ 30 m/h
- Arbeitsaufwand bei 4 x 30 mm:
 - Niedersachsen ~ 2 bis 12 AKh / (ha x Jahr)
 - Münchner Schotterebene ~ 2 bis 12 AKh / (ha x Jahr)
- Kosten ~ 400 bis 600 € / (ha x Jahr)
- Hoher Druck, hoher Energieaufwand
- **Große Verdunstungsverluste bei Hitze**



M. Müller, ALB 10

Mobile Beregnungsmaschine mit Großflächenregner



- Hindernisse sind kein Problem, aber:
- **Anpassung der Arbeitsbreite an den Feldrändern erforderlich**
- Anderenfalls: - Gefahr für Verkehrsteilnehmer
- Verschwendung von wertvollem Beregnungswasser
- Akzeptanzprobleme in der Bevölkerung

M. Müller, ALB 11

Beregnung eines Kreisverkehrs



August 2019

M. Müller, ALB 12

Mobile Beregnungsmaschine mit Gießwagen



- Geringer Düsenabstand ermöglicht ca. 2 bar geringeren Druck
- Größere wenig windanfällige Tropfen, bessere Querverteilung
- Etwa 20% Energieeinsparung
- Geringere Verdunstungsverluste
- Aber: hohe Verschlämmungsgefahr bei hoher Beregnungsintensität (z.B. Gabenhöhe 30 mm)!
- Höherer Arbeitszeitbedarf und höherer Kapitalbedarf

Foto: Göttl 2015

M. Müller, ALB 13

Nutzen der Beregnung - Wirtschaftlichkeit



Planbeispiel: Beregnung von Speisekartoffeln

Zwischen beregnet / unberegnet:
→ 1 €/dt Preisunterschied



		Ertragseffekte			
		10 %	20 %	30 %	40 %
Ertrag (beregnet, ab 50% nFK)	[dt/ha]	451	492	533	574
Ertrag (unberegnet)	[dt/ha]	410			
Erlös (beregnet, ab 50% nFK)	15 €/dt [€/ha]	6.765	7.380	7.995	8.610
Erlös (unberegnet)	14 €/dt [€/ha]	5.740	5.740	5.740	5.740
Zusätzliche variable Kosten (1)	[€/ha]	150	210	270	330
Erlösdifferenz	[€/ha]	875	1.430	1.985	2.540
abzögl. variable Kosten Beregnung (2)	[€/ha]	348	348	348	348
Beregnungskostenfreie Leistung	[€/ha]	527	1.082	1.637	2.192
Festkosten	[€/ha]	188	188	188	188
Gewinnbeitrag nach Deckung Ges.-Kosten	[€/ha]	339	894	1.449	2004

(1) Düngung, Pflanzenschutz, Pflanzgut, Maschinen **Δ 451 Δ 492 Δ 533 Δ 574**
 (2) 2,90 €/mm·ha · 120 mm

M. Müller, ALB 14

Rohrberegnung (Reihenregnerverfahren)



- Einsatz heute überwiegend als stationäre Anlagen
 - Vorteil: **Verabreichung sehr kleiner Gabenhöhen möglich; bei Bedarf auch mehrmals täglich**
 - Einsatz nach wie vor häufig im intensiven Gemüsebau
- Zweck: Feuchthalten der obersten cm des Bodens bei geringen Wurzeltiefen nach der Saat oder nach dem Pflanzen

M. Müller, ALB 15

Rohrberegnung (Reihenregnerverfahren)



Frostschuttberegnung im Frühkartoffelanbau



Prinzip:

- Das Gefrieren von Wasser gibt im Wasser gespeicherte Energie frei. Diese Energie verhindert ein Sinken der Pflanzentemp. kleiner 0°C .
- Eine Mischung aus Wasser & Eis, das Temp. unterhalb 0°C ausgesetzt ist, hält die Temp. solange am 0°C Punkt bis alles Wasser gefroren ist.

M. Müller, ALB 16

Rohrberegnung (Reihenregnerverfahren)



Wasserverteilung - Gleichmäßigkeit

**Feste Rohrberegnung
(mit Kreisregnern)**

Luftbildaufnahme



**Rollomatberegnung
(Starkregner)**

Quelle: Beck & Hageneder 2015 / Luftbild ©
Bayer. Vermessungsverwaltung 9/2013.

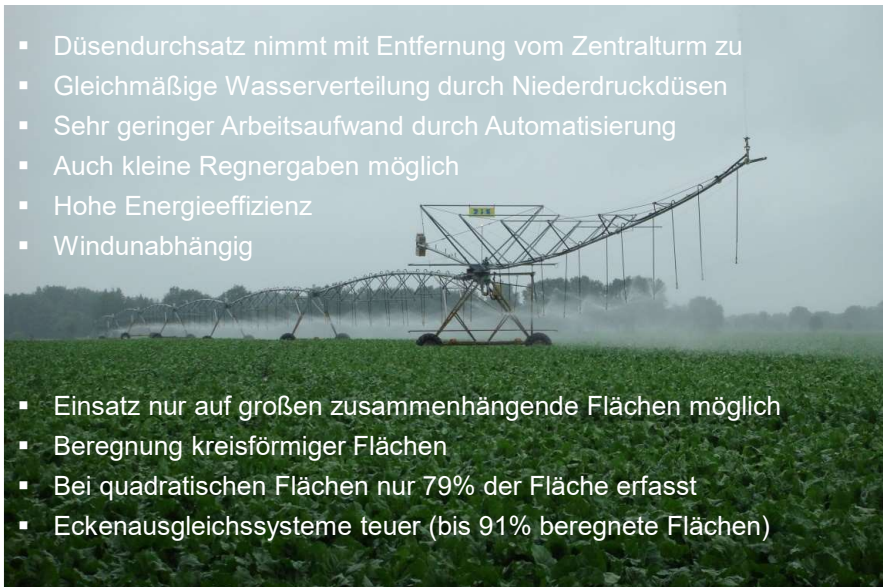
M. Müller, ALB 17

Kreisberegnung



- Düsendurchsatz nimmt mit Entfernung vom Zentralturm zu
- Gleichmäßige Wasserverteilung durch Niederdruckdüsen
- Sehr geringer Arbeitsaufwand durch Automatisierung
- Auch kleine Regnergaben möglich
- Hohe Energieeffizienz
- Windunabhängig

- Einsatz nur auf großen zusammenhängende Flächen möglich
- Beregnung kreisförmiger Flächen
- Bei quadratischen Flächen nur 79% der Fläche erfasst
- Eckenausgleichssysteme teuer (bis 91% beregnete Flächen)



M. Müller, ALB 18

Tropfbewässerung



Foto: Reber GmbH

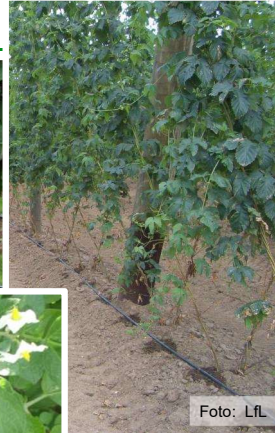


Foto: LfL



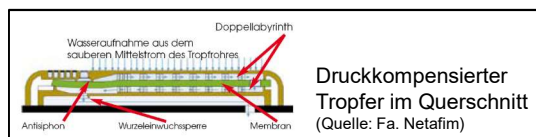
Foto: GEO



Grundprinzip von Tropfbewässerung



- **Punktuelle Bodendurchfeuchtung mittels Tropfer**
 - Tropfer-Abstand: 30-80 cm
 - Ausfluss (Tropfer): 0,6-3,6 l/h
- **Gleichmäßige Verteilung der Wassergaben entlang der Tropfschläuche mittels spezieller Tropfereigenschaften**
 - druckkompensiert (0,4 bis 2,4 bar)
 - oder drucksensitiv (0,4 bis 1,1 bar)



Aufbau einer Kopfeinheit mit Düngerdosierung



- Druckminderer
- Filter
- Dosierventil
- Dosatron
(Düngerdosierung)
- Rücklaufventil
- Zuleitung
- Hydrant



M. Müller, ALB 21

Kopfeinheit bei Einlegegurken



Problem von Fertigation: Bewässerung zur Verabreichung von Düngern auch dann erforderlich, wenn es ausreichend geregnet hat, auch nach Starkniederschlägen mit (nahezu) Wassersättigung der Böden

M. Müller, ALB 22

Verlegen der Tropfschläuche bei Kartoffeln



Dammkronenverfahren (DKV)



Verlegen der Tropfschläuche bei Kartoffeln



Dammkronenverfahren (DKV)



Aufwand und Kosten der Technik



Tropfschläuche: druckkompensiert (1) oder drucksensitiv (2)

Fabrikat:	Dripnet 22250 (1)	Streamline 16080 (2)	T-Tape 505 (2)	P1 (2)
Hersteller (Firma):	Netafim	Netafim	John Deere	Siplast
Wandstärke:	0,63 mm	0,20 mm	0,15 mm	0,15 mm
Haltbarkeit (Herst.):	6 Jahre	1 Jahr	1 Jahre	1 Jahr
Schlauchdurchmesser:	22 mm	16,1 mm	16 mm	16 mm
Eingangsdruck:	1,8 bar	1,1 bar	0,6 bar	0,65 bar
Max.Schlauchlänge/m:	740 (95%)	200 (90%)	350 (85%)	276 (85%)
Rollenlänge:	500 m	2.500 m	3.050 m	3.000 m
Anzahl Rollen / ha DKV:	28	5,5	4,5	4,5
Gewicht / ha DKV:	750 kg	140 kg	100 kg	110 kg
Preis (Netto):	0,546 €/m	0,098 €/m	0,072 €/m	0,076 €/m
Preis, 30% Rabatt, DKV:	5.350 €/ha	960 €/ha	700 €/ha	740 €/ha

Quelle: Handel,
Stand 2011

M. Müller, ALB 25

Verlegen der Tropfschläuche bei Kartoffeln



Zwischendammverfahren (DKV)



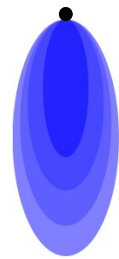
Bildquelle: Fa. Netafim

M. Müller, ALB 26

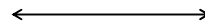
Bodendurchfeuchtung unter einer Tropfstelle



Böden leicht



Schwerkraft



Kapillarkraft

Die horizontale Ausbreitung der Durchfeuchtungszonen unter den Tropfstellen steigt mit zunehmender Schwere der Böden.

M. Müller, ALB 27

Wurzelwachstum in Richtung Wasser



6. Juni
2011

- Fröhsommertrockenheit
- Westwind während mäßiger Mai-Niederschläge mit
- Durchfeuchtungstiefen von max. 10 cm

Quelle: Agro-Klima
Projekt der LfL, 2011

M. Müller, ALB 28

Effekte von Tropfbewässerung (DKV)



6. Juni
2011

Effekte der Bewässerung:

- Gleichmäßige Durchwurzelung
- Zügiges Wachstum
- Ausgeprägte Entwicklung

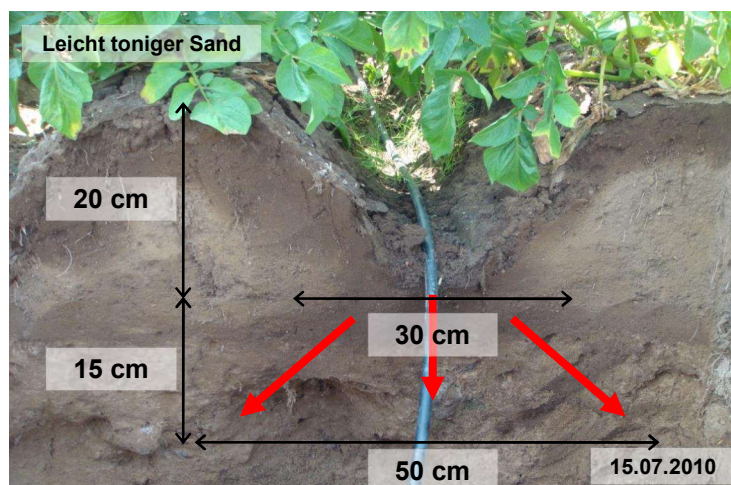
Quelle: Agro-Klima
Projekt der LfL, 2011

M. Müller, ALB 29

Bewässerung: 4 mm/Tag wenn nFK < 50%



Ausmaß der Bodendurchfeuchtung (Zwischendammverfahren)



Quelle: Agro-Klima
Projekt der LfL, 2010

M. Müller, ALB 30

Wurzelwachstum in Richtung der Durchfeuchtungszonen



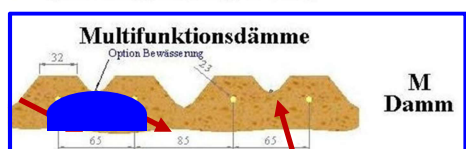
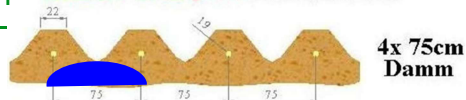
Quelle: Agro-Klima
Projekt der LfL, 2010

Tropfbewässerung zu Kartoffeln

ALL-IN-ONE Vario-Dammformen

System „Heiss“ ALL-IN-ONE

- Kennzeichen des Verfahrens:
 - 3 Arbeitsgänge kombiniert**
 - 1. Bodenbearbeitung (Kreiselegge od. Kreiselrotor + Scheibenwalze)
 - 2. Kartoffellegen
 - 3. Dammformen
 - Fahrgeschwindigkeit: 4-6 km/h
- Gefahren wird auf abgesetztem unbearbeitetem Boden
- Vorteile: **Kraftstoffeinsparung und Wassereinsparung** (im Frühjahr bewirkt jede Überfahrt ~15 mm zusätzliche Verdunstung)
- Damm wird zu 1 Termin geformt und setzt sich gleichmäßig ab
- Im Gegensatz zu Verfahren mit 2-phasiger Dammformung **keine Rissbildung!**



Quelle: www.all-in-one-kartoffel.de

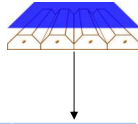
Wie hoch dürfen Einzelwassergaben maximal sein?



Pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicher

Beispiel:

Wasserspeicherkapazität eines Sandbodens (nFK = 10 Vol.-%, Bewässerungsstart bei 50 % nFK)



Kenndaten		Berechnung
Tropferabstand	/ cm	-
Anzahl Tropfstellen	/ m ²	-
Durchfeuchtung- ϕ am Tropfer/	cm	-
Wurzeltiefe in Feuchtezone	/ cm	60
Anteil durchfeuchteten Bodens	/ %	100
Mögliche Einzelwassergabe	/ mm	30

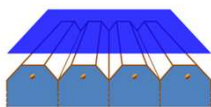
- Je nach Bewässerungsverfahren und Bodenart große Unterschiede
- Zu hohe Einzelgaben führen unmittelbar zu Sickerwasserbildung

M. Müller, ALB 33

Entscheidungssystem „Bewässerungs-App“



Berechnung von Kartoffeln auf tonigem Lehm



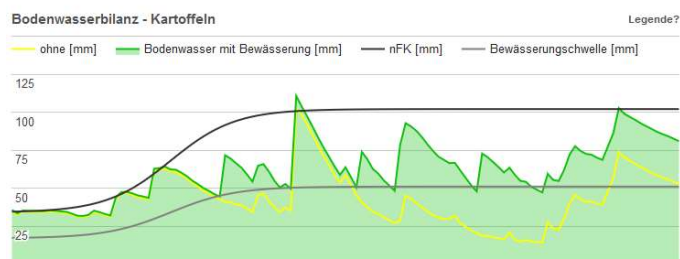
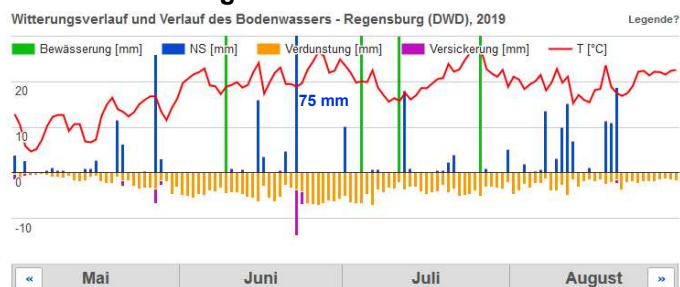
Berechnung 2019:
120 mm

Nutzbare Feldkapazität:
nFK = 17 Vol.-%

Bewässerungsschwelle:
50 % nFK

Intensität:
max. 30 mm / 7 Tage

Bewässerungsperiode:
Mitte Mai bis Ende Juli

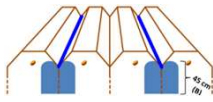


M. Müller, ALB 34

Entscheidungssystem „Bewässerungs-App“



Tropfbewässerung von Kartoffeln auf tonigem Lehm



Bewässerung 2019:
119 mm

Nutzbare Feldkapazität:
nFK = 17 Vol.-%

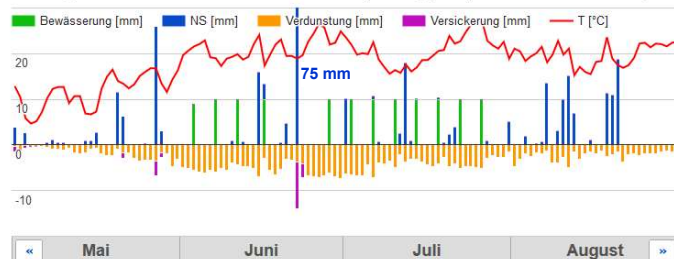
Bewässerungsschwelle:
80 % nFK

Intensität:
max. 10 mm / 4 Tage
(ab 50% nFK:
10 mm / 2 Tage)

Bewässerungsperiode:
Mitte Mai bis Ende Juli

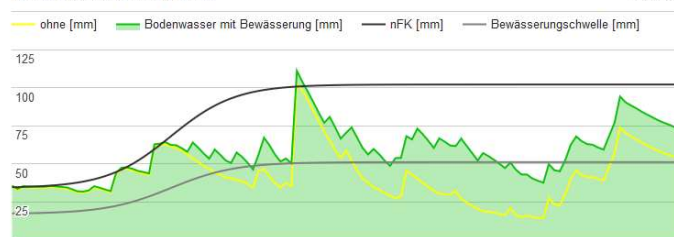
Witterungsverlauf und Verlauf des Bodenwassers - Regensburg (DWD), 2019

Legende?



Bodenwasserbilanz - Kartoffeln

Legende?



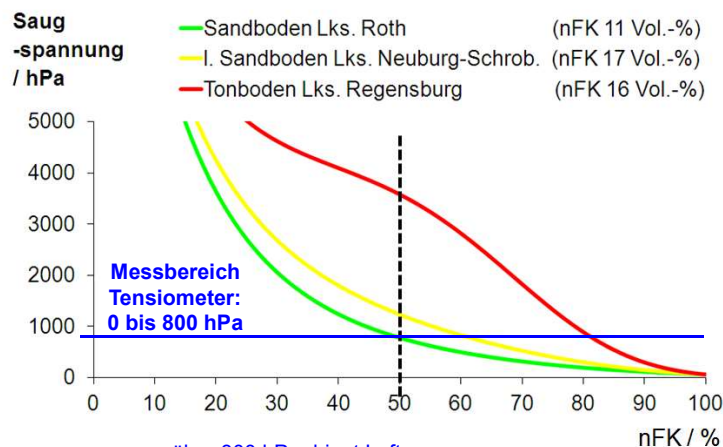
M. Müller, ALB 35

Verfügbarkeit des Bodenwassers für Pflanzen



Abhängigkeit von der Bodenart

Abhängigkeit von dem Grad der Austrocknung



Bei Wasserspannungen über 800 hPa dringt Luft ein und das System entleert sich

Quelle: Agro-Klima Projekt der LfL, 2011

M. Müller, ALB 36

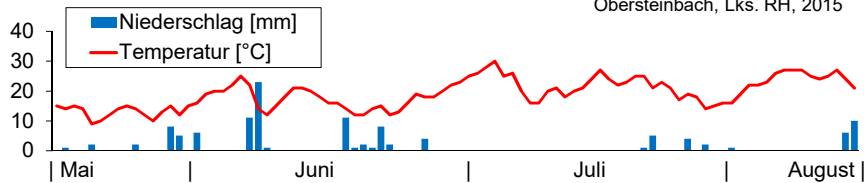
Zusatzwasserbedarf bei Kartoffeln



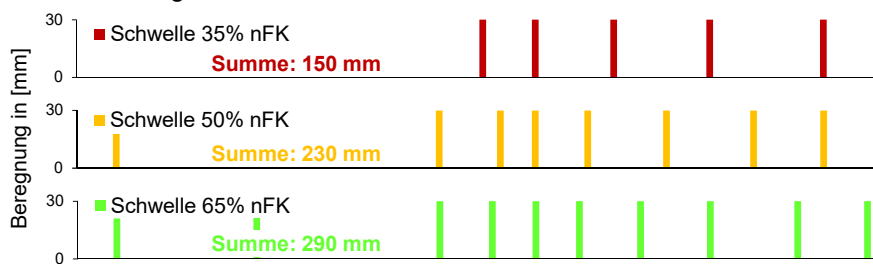
... in Abhängigkeit von der Bewässerungsschwelle

Witterungsverlauf

Berechnungen: LfL-Wetterstation
Obersteinbach, Lks. RH, 2015



Bewässerung



M. Müller, ALB 37

Bodenfeuchte, Verdunstung und Versickerung

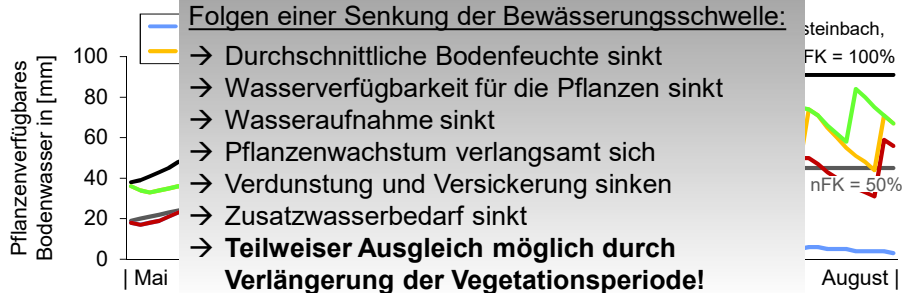


... in Abhängigkeit von der Bewässerungsschwelle

Feuchtegrenzwert der Bewässerung	Bewässerung (Summe)	Verdunstung Zeitraum: 16. Mai bis 15. August	Versickerung	Δ Verd. zu unbewässert	Δ BF
Keine Bewässerung	-	175 mm	0 mm	-	
35% nFK	150 mm	290 mm	0 mm	115 mm	35 mm
50% nFK	230 mm	360 mm	1 mm	185 mm	45 mm
65% nFK	290 mm	375 mm	14 mm	200 mm	75 mm

Verlauf der Bodenfeuchte BF (Kartoffelacker)

Grundwasserneubildung



M. Müller, ALB 38



Bewässerungsforum Bayern

Neutrales Informationsnetzwerk für eine effiziente und umweltschonende
Bewässerung in Landwirtschaft, Weinbau und Gartenbau

Bewässerungsforum Bayern



Arbeitsgruppen, im Aufbau

- AG I Bewässerungssteuerung (*Leitung: Stefan Kirchner, LWG*)
- AG II Bewässerungswürdigkeit/-bedürftigkeit (*Dr. Peter Doleschel, LfL*)
- AG III Bewässerungstechnik (*Dr. Michael Beck, HSWT*)
- AG IV Wasserbedarfsdeckung (*Dr. Marek Simper, LfU*)
- AG V Bewässerung von Dauerkulturen (*Dr. Daniel Heßdörfer, LWG*)
- AG VI Bewässerung einjähriger Kulturen (*Dr. Peter Doleschel, LfL*)
- AG VII Bewässerung urbaner Grünflächen (*Nikolai Kendzia, LWG*)
- AG VIII Anpassung an die Trockenheit ohne Bewässerung
(*Dr. Peter Doleschel, LfL*)

www.bewaesserungsforum-bayern.de
www.bef-bayern.de