



Präzises Bewässern

Grundlagen, Technik, Management

LfL-Jahrestagung / Landtechnische Jahrestagung
zu Klimawandel und digitale Konzepte im Pflanzenbau
am 01.12.2021 in Grub mit Liveübertragung im Internet

Dr. Martin Müller, ALB

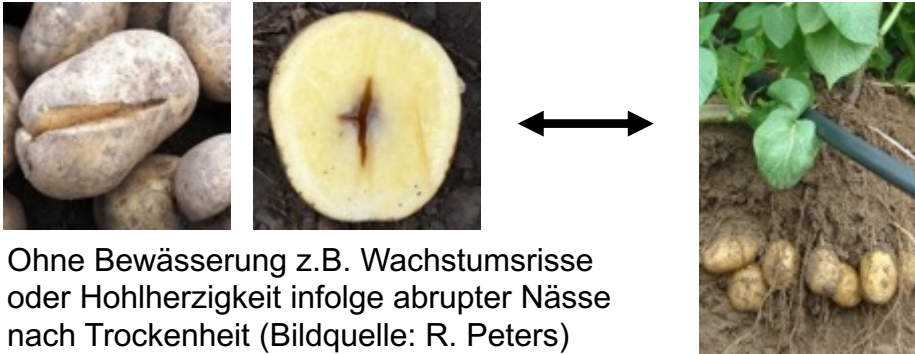
Bayerisches Staatsministerium für
Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
 Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz



Bewässerungsforum Bayern

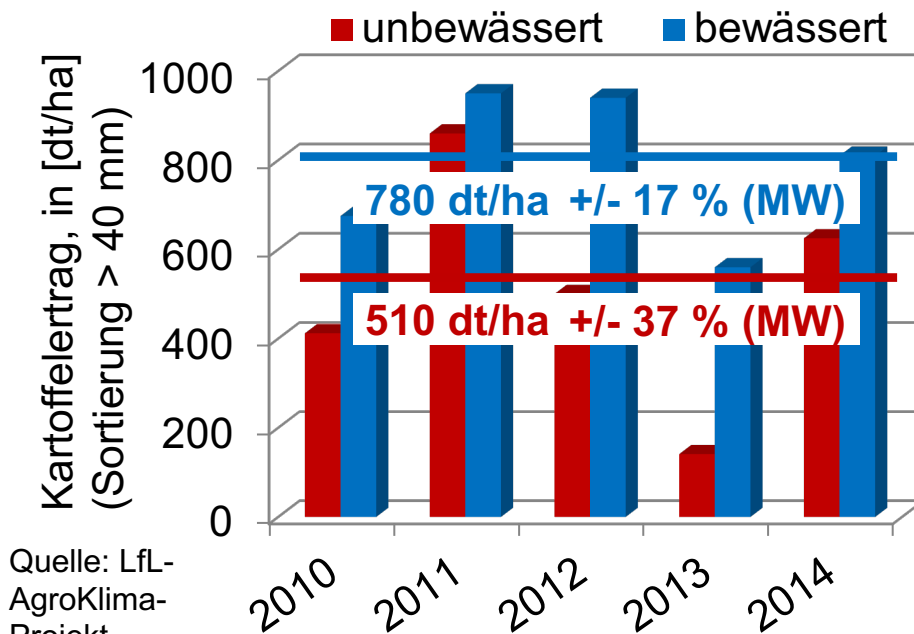
Forum für eine effiziente und umweltschonende Bewässerung
in Landwirtschaft, Wein- und Gartenbau

Gründe für Bewässerung



Ohne Bewässerung z.B. Wachstumsrisse oder Hohlherzigkeit infolge abrupter Nässe nach Trockenheit (Bildquelle: R. Peters)

Kartoffelertrag ohne/ mit Bewässerung *



* Betrieb Bernreuther, Dürrenmungenau, Lkr. Roth

Effekte von Bewässerung:

- Qualitätssicherung
- Ertragssicherung
- **Geringere Schwankungen zwischen den Jahren**



- **Bessere Kalkulierbarkeit der Erträge und Qualitäten**
- Bessere Marktstellung, bessere Erzeugerpreise
- Verbesserung der Nährstoffeffizienz
- Verbesserung der Sickerwasserqualität

Beratungsblatt: www.alb-bayern.de/bef4

Kennzeichen verschiedener Bewässerungsverfahren und ihre Risiken für unproduktive Wasserverluste



Kennzeichen

- Mobil, flexibler Einsatz
- Geringe Beregnungsintensität
- Hohe Einzelgaben möglich
- Hoher Düsendruck
- Hoher Energieaufwand
- Gleichmäßige Verteilung

Kaum Verdunstungsverluste bei fehlendem Sonnenschein und kühler Luft in der Nacht und am Morgen

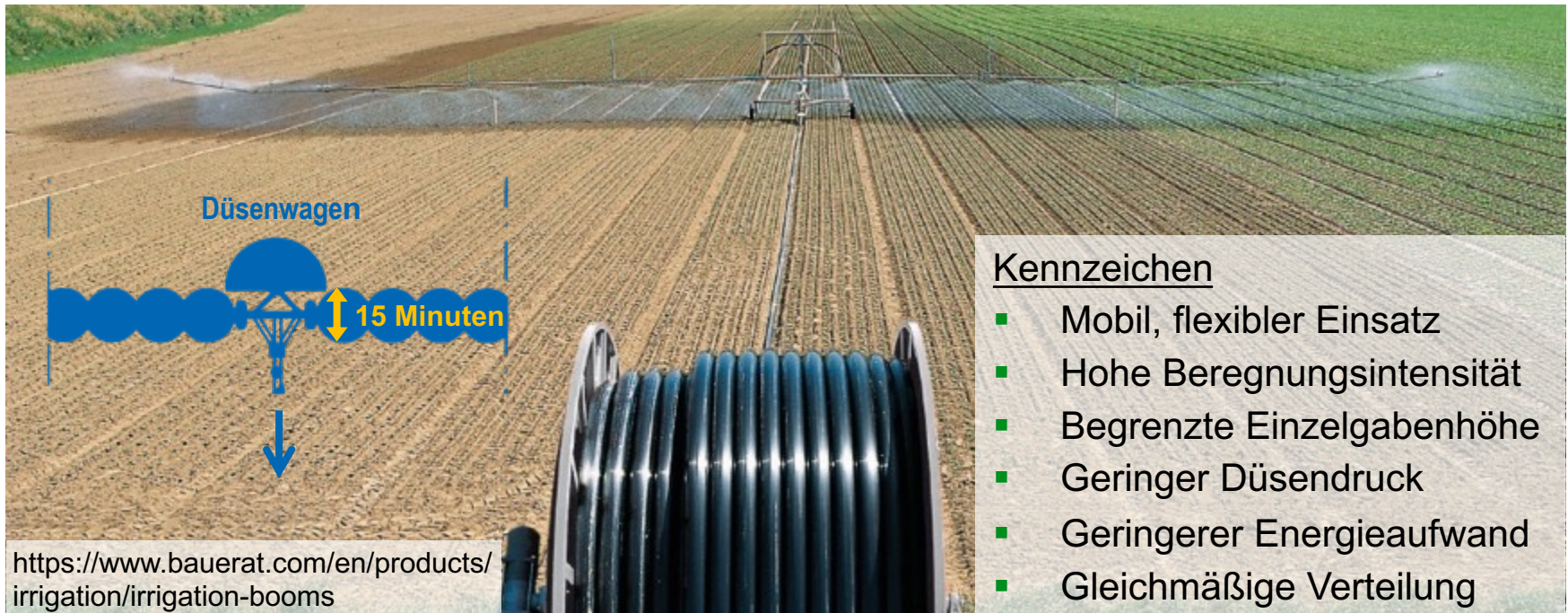
Ursachen:

- fehlende (Sonnen-)Energie
- geringe Aufnahmekapazität (Luft)

Hohe Verluste bei Sonne, Hitze und Wind

- Verdunstung an Tropfenoberfläche in großer Tropfenwolke (1) *
- Abdrift (2)
- Interceptionsverdunstung (3)

Mit $\uparrow$ Düsendruck $\uparrow$ (1) und (2) *; Ursache:
 $\varnothing$ -Tropfengröße $\downarrow \rightarrow$ spezifische Oberfläche $\uparrow$ *



Kennzeichen

- Mobil, flexibler Einsatz
- Hohe Beregnungsintensität
- Begrenzte Einzelgabenhöhe
- Geringer Düsendruck
- Geringerer Energieaufwand
- Gleichmäßige Verteilung

Risiken bzgl. Verdunstungsverluste gering

Ursachen:

- Bodennahe Ausbringung
→ geringe Verweildauer der Tropfen in der Luft
- Geringer Düsendruck → große Ø-Tropfengröße → geringe Angriffsfläche bzgl. Abdrift, Verdunstung
- Hohe Beregnungsintensität
→ vergleichsweise geringe Interzeptionsverluste

Gefahr von Oberflächenabfluss, Verschlämmung und Erosion

Ursache: hohe Beregnungsintensität

Infiltrationsleistung *

Sand	> 30 mm/Std.
Lehm	10 - 20 mm/Std.
Ton	1 - 5 mm/ Std.

* Quelle: Bouwer 1986, ILRI 1974, Ward&Robinson 1990

Beratungsblatt: www.alb-bayern.de/bef3



Kennzeichen

- Stationärer Einsatz
- Mittlerer Düsendruck
- **Beregnung der gesamten Fläche zur selben Zeit**
- Geringe Beregnungsintensität
- **Kleine Einzelgaben möglich**
- Geeignet bei frischen Anpflanzungen
- Geeignet für Frostschutzberegnung
- Ungleichmäßige Überlappung der Wasserstrahlen

Vergleichsweise große Verlustrisiken

Ursachen:

- Hohe Windanfälligkeit
- Ungleichmäßige Verteilung in der Fläche
→ Gefahr der Sickerwasserbildung an Stellen starker Überlappung
- Verdunstungsverluste bei Hitze

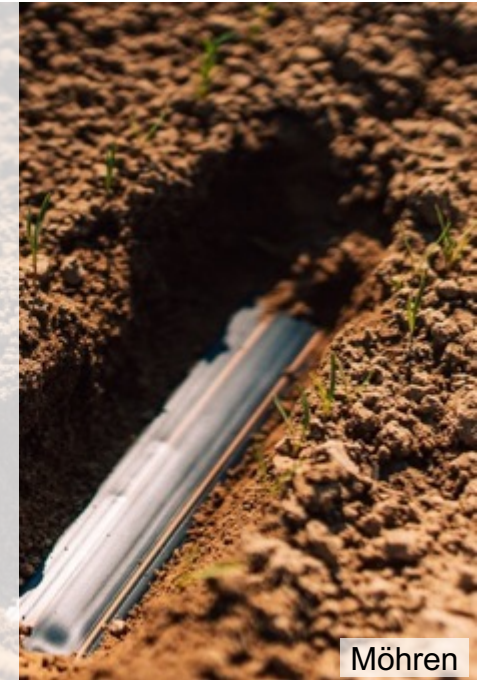
Moderne Mikrosprinkler als Alternative

- Verringerter Regnerabstand
- Reduzierter Druck am Regner
- ➡ - gleichmäßigere Verteilung
- ➡ - geringere Windanfälligkeit



Kennzeichen

- **Pionierarbeit des LW-Betriebs und Beraters seit 2016**
- Standortspezifische Vorgehensweise
- Abstimmung aller Verfahrensschritte auf Tropfbewässerung
- Mit satellitengestützter Landtechnik präzises wurzelnahes Verlegen der Tropfschläuche
- **Nur begrenzte Übertragbarkeit des Vorgehens auf andere Standorte**



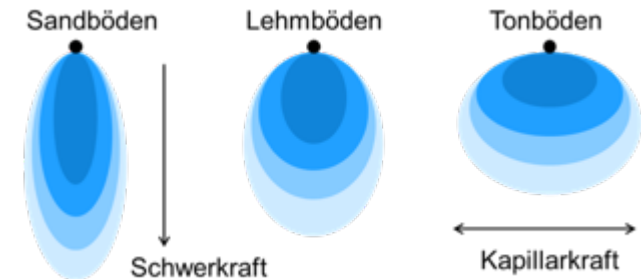
Hohe Wassernutzungseffizienz

Ursachen:

- Keine Verdunstungsverluste
- Windunabhängiges Verfahren
- Grenzen: In Trockenphasen kaum Evapotranspiration und kaum Kühlwirkung auf Kultur während des Auflaufens

Sickerwasserbildung bei zu großen Einzelgaben

Ursache: Nur ein kleiner Teil des Bodens wird durchfeuchtet



Beratungsblatt zu Kartoffeln: www.alb-bayern.de/bef10
zu Hopfen: www.alb-bayern.de/bef11

Bewässerungs-Steuerung mit der Bewässerungs-App

Erarbeitung der
Grundlagen
an der LfL

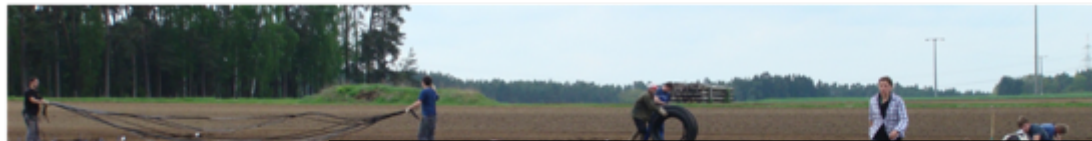


www.alb-bayern.de/app

Konzept: Parzellenversuche zu Kartoffeln / Tropfbewässerung

Wh. 4	Pr 4/3 106	F	334 3/2 102	335 5/1 107	336 3/1 101	337 2/1 101	F	338 4/2 105	339 1/1 -	340 4/3 106	341 2/2 102	F	342 4/1 104	343 2/3 103	344 3/3 103	R	F
Wh. 3	Pr 4/1 104	F	323 4/1 104	324 2/1 105													
Wh. 2	Pr 2/3 103	F	312 4/2 105	313 3/1 100													
Wh. 1	Pr 1/1 -	F	301 1/1 -	302 2/1 100													

Aufbau der Versuchsanlage in Abenberg (Lks. Roth 2010)



Versuchsanlage, einsatzbereit, Landkreis Regensburg 2011



Bewässerungssteuerung (technisch):

- Dateneingabe per Internet
- Datenspeicherung auf zentralem Server in München
- Synchronisation zwischen Server und lokalem Steuerungscomputer im 10 Minutentakt (GSM-Datenübertragung)

Verdunstungsanspruch der Atmosphäre

- Globalstrahlung
- Wasserdampfsättigungsdefizit der Luft
- Temperatur, Wind

Quelle: Häckel 2012

Ausprägung des Pflanzenbestandes

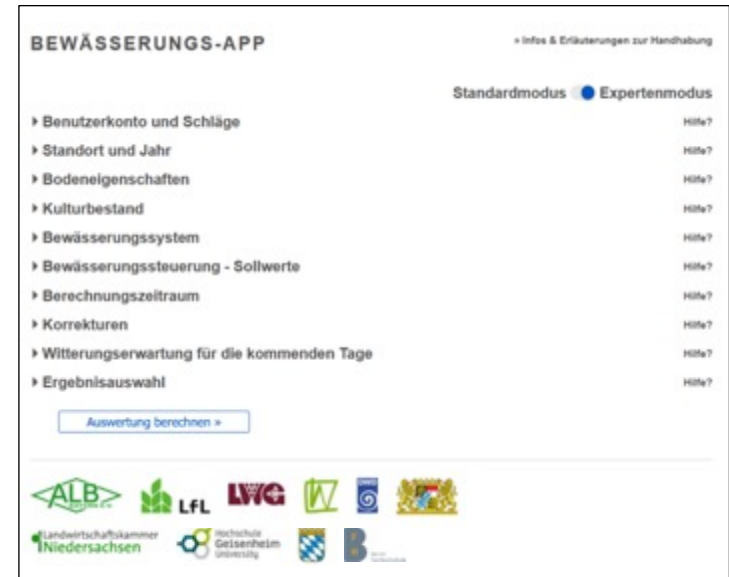
- Kulturart
- Bodendeckungsgrad
- Wuchshöhe
- Leistungsfähigkeit des Blattapparates
- Aneignungsvermögen (Wurzeln)

Wasserangebot

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



- Webbasiertes Entscheidungssystem
- Interaktives Werkzeug zur Planung, Berechnung und Dokumentation von Bewässerung
- 2 Versionen, freier Zugang, optional mit Nutzerkonto, alles kostenfrei
- Modularer Aufbau, erweiterbar



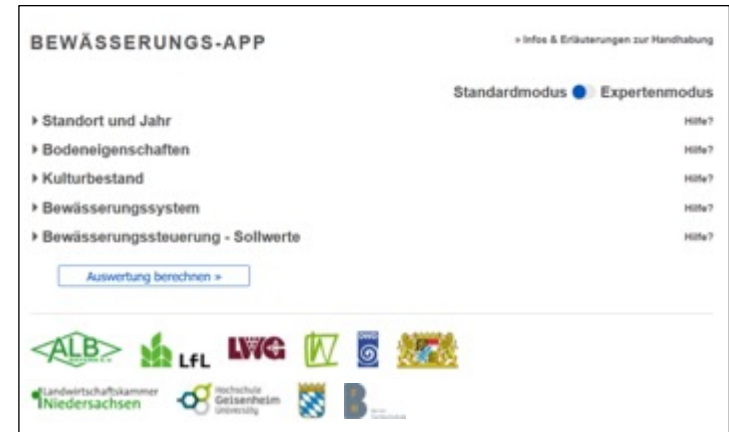
Mit der Anwendung lässt sich:

Expertenmodus

- pflanzenverfügbares Bodenwasser bestimmen
- der reale Wasserverbrauch von Freilandkulturen ermitteln und
- gezielt bewässern, das heißt:

angepasst an den Bedarf der Kulturen und unter Berücksichtigung der verfügbaren Ressourcen und der Art der eingesetzten Technik

- Webbasiertes Entscheidungssystem
- Interaktives Werkzeug zur Planung, Berechnung und Dokumentation von Bewässerung
- 2 Versionen, freier Zugang, optional mit Nutzerkonto, alles kostenfrei
- Modularer Aufbau, erweiterbar



Standardmodus

Mit der Anwendung lässt sich:

- pflanzenverfügbares Bodenwasser bestimmen
- der reale Wasserverbrauch von Freilandkulturen ermitteln und
- gezielt bewässern, das heißt:

angepasst an den Bedarf der Kulturen und unter Berücksichtigung der verfügbaren Ressourcen und der Art der eingesetzten Technik

- **Grasreferenzverdunstung** nach Penman-Monteith:
FAO Irrigation and Drainage paper 56
- **Verdunstungsfaktoren** kultur- und stadienspezifisch:
nach Geisenheimer Steuerung oder eigene Ableitung;
Modellerweiterung bzgl. Interzeptionsverdunstung bzw.
Evaporation nach Niederschlägen oder Beregnung
- Wasser-**Aneignungsvermögen** der Pflanzen in Abh. des
Bodenfeuchtegehalts im Wurzelraum
- **Wurzelwachstumsmodell** kultur- und bodenspezifisch
- **Bodenwassermodell** inklusive **Sickerwassermodell**
- **Einzelgabenmodell**



Berechnung: reale Verdunstung (= Wasserverbrauch)
Bilanzierung: pflanzenverfügbares Bodenwasser
Empfehlung: Einzelgaben (Termine, Höhe)

Niederschlagsdaten von
Wetterstation der App;
besser: eigene
Messdaten am Feld

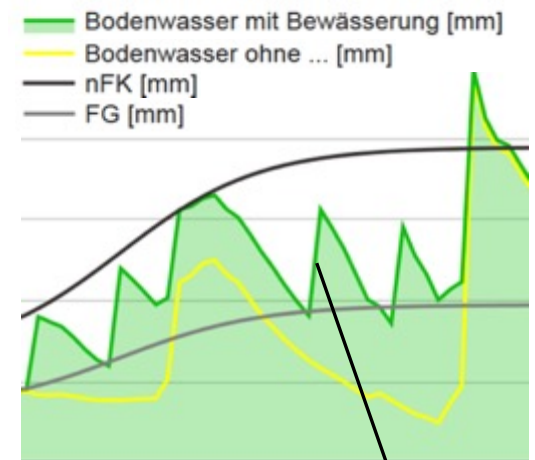
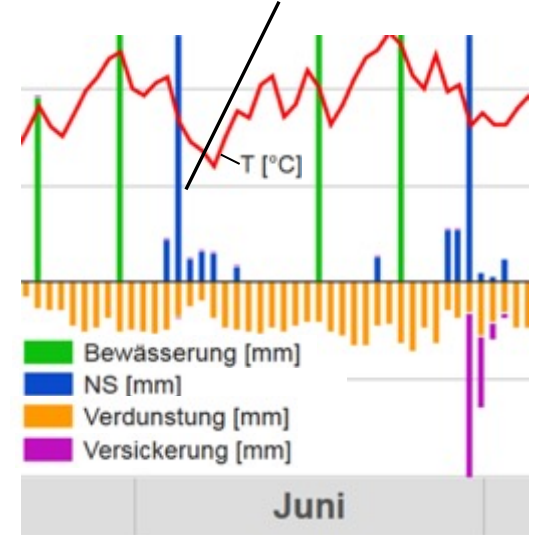
Systemberechnung
App, vom Nutzer
vorgegeben oder
Empfehlung App

$$\begin{aligned} \text{Bilanz [mm/Tag]} = & \text{Niederschlag [mm/Tag]} \\ & + \text{Bewässerung [mm/Tag]} \\ & - \text{Verdunstung [mm/Tag]} \\ & - \text{Versickerung [mm/Tag]} \end{aligned}$$

Berechnung App

Berechnung App

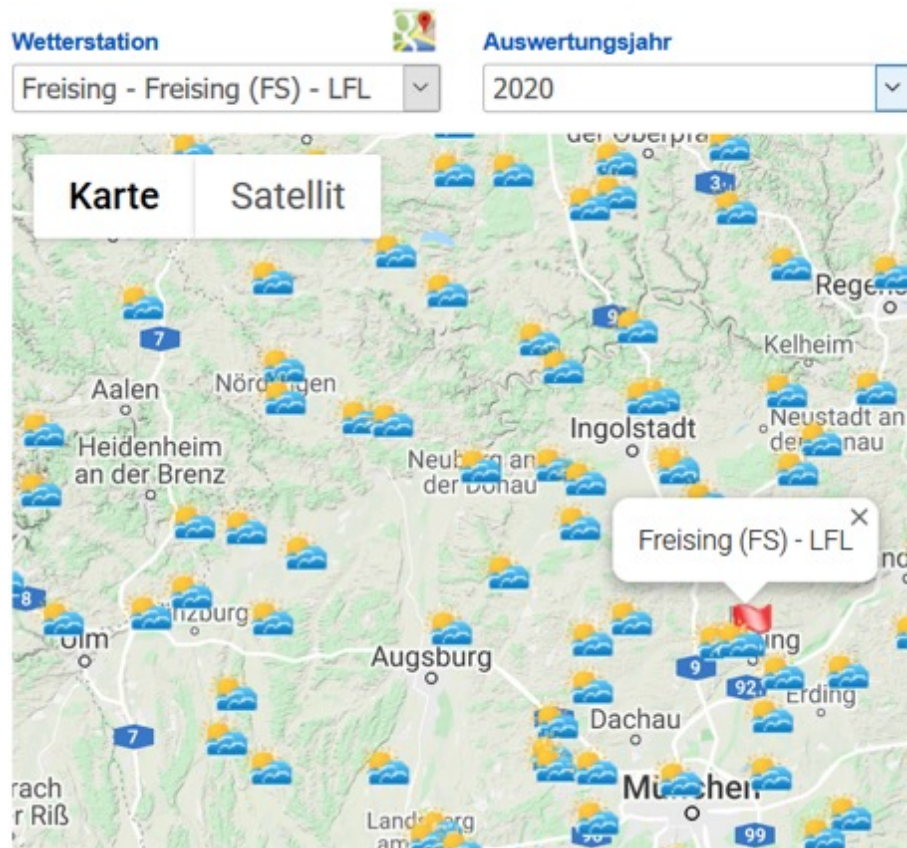
Eingangsgrößen



Bilanz

$$\text{Wasserverbrauch [mm/Tag]} = \text{Wasseranspruch [mm/Tag]} \times \text{Aneignungsvermögen [\%]}$$

1. Schritt: Berechnung der Grasreferenzverdunstung ET_0 (FAO 56)



Wetterdaten

- Wetterstationen: 500 DWD, 140 LfL, 40 CH-Meteotest; DWD, LfL inkl. historische Daten: ~ letzte 30 Jahre
- Radolan-Niederschlagsstationen: > 350.000 DWD
- Wettersvorhersagestationen: 2.600 DWD
- Niederschlagskorrektur, schlagspezifisch (optional)



$$\text{Wasserverbrauch [mm/Tag]} = \text{Wasseranspruch [mm/Tag]} \times \text{Aneignungsvermögen [\%]}$$

2. Schritt: Ableitung der realen Evapotranspiration beliebiger optimal mit Wasser versorgter Pflanzenbestände

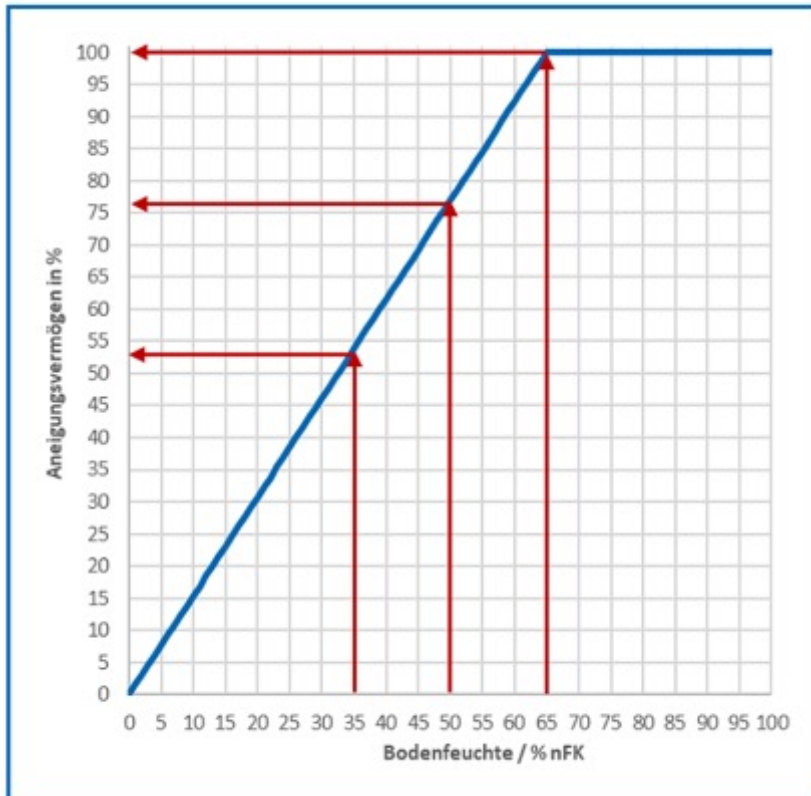
$$ET(\text{Kultur})_{\text{opt}} = ET_0 \times \text{kc-Wert}$$

kc-Werte

- Kulturart- und stadienabhängig; 28 Kulturen
- Kontinuierliche Anpassung der kc-Werte im Zeitverlauf
- Grundlage Kartoffeln: LfL-Versuchsergebnisse
- Grundlage landwirtschaftliche Kulturen: Ableitung anhand historischer Versuchsergebnissen der LWK-Niedersachsen
- Gemüse: nach Geisenheimer Steuerung



$$\text{Wasserverbrauch [mm/Tag]} = \text{Wasseranspruch [mm/Tag]} \times \text{Aneignungsvermögen [\%]}$$



Relatives Aneignungsvermögen des Wasseranspruchs eines Pflanzenbestandes gemäß Bewässerungs-App

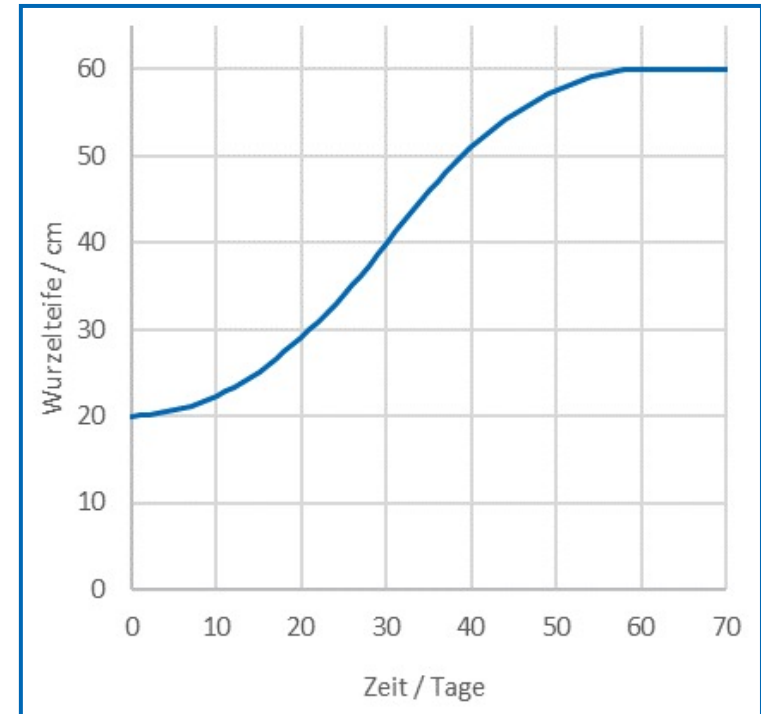
- Ableitung anhand von historischen Ergebnissen aus Niedersachsen (Versuchsstandort Hamerstorf mit schwach lehmigem Sandboden, 33 Bodenpunkte) 
- Grundlage: verschiedene landwirtschaftliche Kulturen ohne Bewässerung bzw. mit Beregnung bei Bewässerungsschwellen BS von 50% bzw. 35% der nFK
- Beispiel: Wasseranspruch = 7,5 mm
BS > 65% nFK → Verbrauch 7,5 mm
= 50% nFK → 5,8 mm
= 35% nFK → 4,0 mm

$$\text{nFK (Anbausystem)} = \text{nFK (Boden)} \times \text{Wurzeltiefe (Kulturart)}$$



Bsp.: Kartoffeln auf leicht tonigem Sand

$$\begin{aligned} \text{nFK (Anbausystem)} &= \\ &= \text{nFK (Boden)} \quad \times \quad \text{Wurzeltiefe} = \\ &= 10 \text{ Vol.}\% \quad \times \quad 60 \text{ cm} = \\ &= 10 \text{ mm} / 10 \text{ cm Bodentiefe} \times 60 \text{ cm} = \\ &= \underline{60 \text{ mm}} \end{aligned}$$



Berechnete effektive Wurzeltiefe in Abhängigkeit der Wachstumsdauer Tagen gemäß Bewässerungs-App; Beispiel Kartoffeln

Automatisierte Einstufung

- Grundlage: Datenbank mit flächenbezogenen nutzbaren Feldkapazitäten, **~ 3 Mio. Datensätze** (Quelle: Geologische Dienste der Bundesländer); insb. für BY, BWB, MV, NRW, S, SA, SH, RLP; für weitere D-Gebiete geringere Auflösung
- Genauigkeit u.a. abhängig von zur Verfügung stehenden Standortpositionsangaben
- Ableitung der Bodenart in Abhängigkeit der zugewiesenen nFK



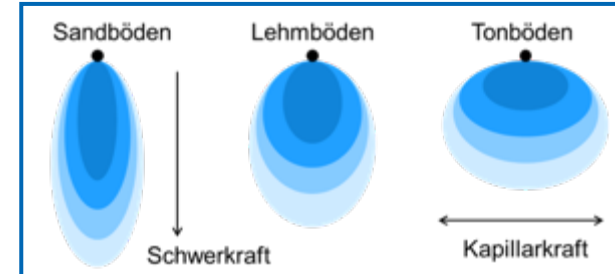
▼ Bodeneigenschaften

Bodenart	Unterbo
» über Standort festlegen 	Wie Ol
» aus Systemdatenbank	nFK Unt
» über Standort festlegen	Wie Ol
leicht, Sand (S)	
▼ K leicht, schwach lehmiger Sand (IS)	
mittel, sandiger Lehm (sL)	Zwiebel
mittel, stark lehmiger Sand (IIS)	02.03.
mittel, schluffiger Lehm (uL)	
▼ B schwer, toniger Lehm (tL)	
schwer, lehmiger Ton (IT)	
schwer, Ton (T)	
organisch, Moor (M)	

Korrektur der automatisierten Einstufung (optional)

- Bodenart
- nutzbare Feldkapazität
- Durchwurzelbarkeit des Bodens

Einstufung verschiedener Bodenarten in
Hinsicht auf ihre nutzbare Feldkapazität
nFK in Vol.-% gemäß Bewässerungs-App



Bodenart	nFK / Vol.-%	Ø Durchfeuch- tungszone / cm
leicht, Sand (S)	9	25
leicht, schwach lehmiger Sand (IS)	13	30
mittel, stark lehmiger Sand (IIS)	16	35
mittel, sandiger Lehm (sL)	19	40
mittel, schluffiger Lehm (uL)	22	45
schwer, toniger Lehm (tL)	17	50
schwer, lehmiger Ton (IT)	14	55
schwer, Ton (T)	10	60
organisch, Moor (M)	30	45

Einstufung in
Zusammenarbeit
mit HS Geisenheim

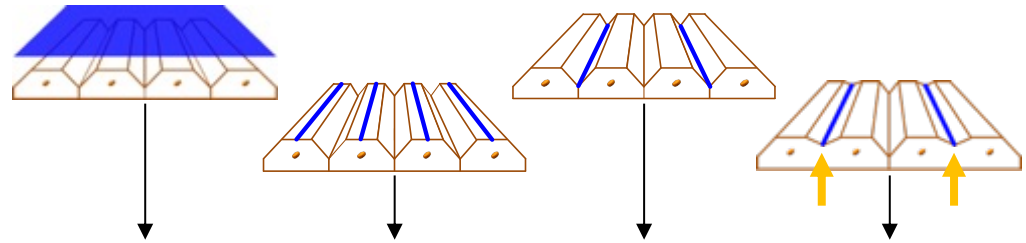


Beratungsblatt:
www.alb-bayern.de/bef3

Freier pflanzenverfügbarer Bodenwasserspeicher / Einzelgabenmodell

Beispiel:

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



Kenndaten	Bereg- nung	DKV	ZDV	ZMDV
Tropferabstand / cm	-	30	30	30
Anzahl Tropfstellen / m ²	-	4,4	2,2	2,2
Durchfeuchtung- ϕ am Tropfer/ cm	-	30	30	30
Wurzeltiefe in Feuchtezone / cm	60	60	45	52
Anteil durchfeuchteten Bodens / %	100	31	12	14
Mögliche Einzelwassergabe / mm	30	9	3,5	4,3 (+25%)

- Je nach Verfahren, Bodenart und Wurzeltiefe große Unterschiede
- Zu hohe Einzelgaben führen unmittelbar zu Sickerwasserbildung

BEWÄSSERUNGS-APP

» Infos & Erläuterungen zur Handhabung

Standardmodus ☐ **Expertenmodus** ☒

► Schlagverwaltung

Hilfe?

► Standort und Jahr

Hilfe?

▼ Bodeneigenschaften

Hilfe?

Bodenart (aus Systemdatenbank)

» aus Systemdatenbank ▼

nFK Oberboden

14 Vol. % aus Datenbank ▼

Unterboden / Bodenart ab 30cm

Wie Oberboden ▼

Wie Oberboden

leicht, Sand (S)

leicht, schwach lehmiger Sand (IS)

mittel, sandiger Lehm (sL)

mittel, stark lehmiger Sand (IIS)

mittel, schluffiger Lehm (uL)

schwer, toniger Lehm (tL)

schwer, lehmiger Ton (IT)

schwer, Ton (T)

organisch, Moor (M)

Durchwurzelbarkeit des Bodens

bis 100 cm ▼

► Kulturbestand

Hilfe?

► Bewässerungssystem

Hilfe?

► Bewässerungssteuerung - Sollw

Hilfe?

► Berechnungszeitraum

Hilfe?

► Korrekturen

Hilfe?

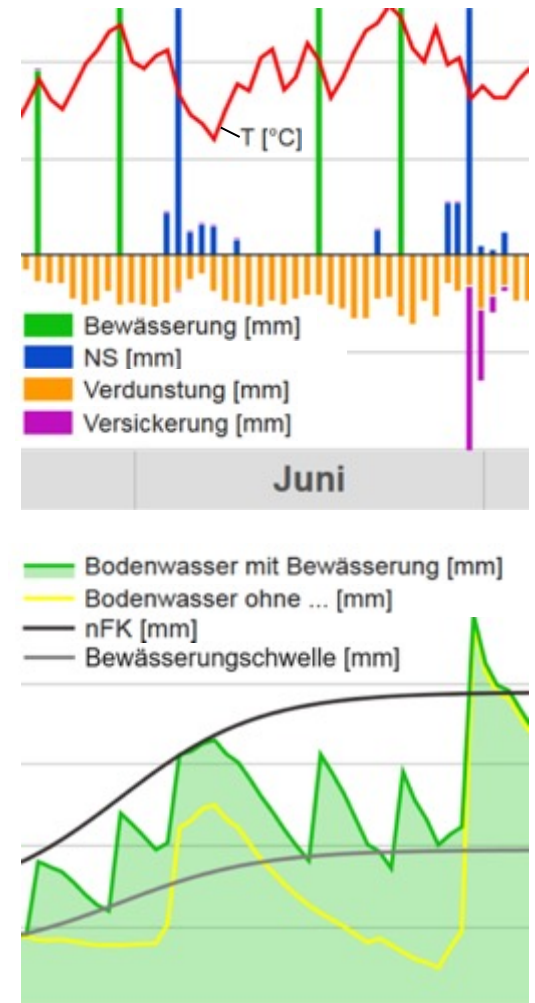
► Wetterprognose

Hilfe?

► Ergebnisauswahl

Hilfe?

- Ermittlung des Wasserverbrauchs auf Grundlage der berechneten Verdunstung
- Gerade noch tolerierbarer Bodenfeuchtegrenzwert (= Bewässerungsschwelle) lässt sich vom Nutzer frei festlegen
- Empfehlung des Bewässerungsstarts erst, wenn Bewässerungsschwelle unterschritten ist
- Empfohlene Gabenhöhen stets abgestimmt auf freie Speicherkapazitäten im Wurzelraum
- Systematisches Planen und Erstellen betriebspezifischer Konzepte durch Verrechnung von historischen Wetterdaten (max. 30 Jahre)
- Graphische und tabellarische Darstellung der Ergebnisse (flexible Ergebnisauswahl)



Projekt-Zusammenarbeit mit LWG, HSWT, LfL + Partnern (03/2020 bis 02/2023)



- ✓ Radolan-Niederschlagsdaten des DWD
- ✓ Wettervorhersagedaten des DWD
- ✓ Schlagliste zur übersichtlichen Verwaltung aller Schläge
- ✓ Email-Warndienst für anstehenden Maßnahmen
- ✓ Flächenbezogene nutzbaren Feldkapazitäten
- ➔ Dokumentations-Modul zur mobilen Dokumentation von Niederschlägen, Bewässerungsmaßnahmen, Wasserentnahmen und Brunnenspiegeln
 - Entwicklungsstadien-Modul zur Berechnung des Erreichens kulturartspezifischer Entwicklungsstadien
 - Kopplung mit Bewässerungstechnik für vollautomatische Bewässerung (Rohrberegnung, Tropfbewässerung, Kreisberegnung)

Finanzierung: StMELF, (StMUV)

Danke für Ihre Aufmerksamkeit !