

**Trotz massiver Austrocknung des Bodens
kaum Ertragseinbußen bei unberegneten
Markerbsen**

**Markerbsen
Bewässerung
Sorte**

Zusammenfassung

Bei einem ersten Bewässerungsversuch mit vier verschiedenen Markerbsensorten am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie in Dresden-Pillnitz zeigten sich 2010 überraschender Weise keine wesentlichen Ertragseffekte einer Bewässerung nach dem 'Geisenheimer Modell', obgleich der Boden in der unbewässerten Kontrolle auf unter 10 % nutzbare Feldkapazität austrocknete. Eine deutliche Wechselwirkung zwischen Sorte und Bewässerung konnte ebenfalls nicht beobachtet werden. Allerdings war in der unbewässerten Kontrolle die gesamte Aufwuchsmenge deutlich reduziert und die Reife um ca. 4 Tage verfrüht.

Versuchshintergrund u. -frage

Im hiesigen Anbaubereich mit seinen Lössböden werden Markerbsen fast ausnahmslos ohne Beregnung angebaut. Der Klimawandel und dabei insbesondere die prognostizierte Frühsommertrockenheit stellen aber langfristig einen unberegneten Anbau in Frage. Neben der Überprüfung von vorhandenen Beregnungsmodellen sollen im Rahmen der Untersuchungen spezielle Sorten mit einer ggf. besseren Toleranz gegenüber Trockenstress getestet werden.

Material und Methoden

In dem Versuch konnten 4 Sorten mit ähnlicher Reifezeit geprüft werden, wovon jeweils 2 seitens der Züchter als 'eher trockenstresstolerant', die anderen beiden als 'eher wasser- bzw. beregnungsbedürftig' eingeschätzt werden (Tab. 1).

Tab. 1: Einbezogene Sorten; erreichte Bestandesdichte

Sorte	Puget	Ambassador	Naches	Mundial
Züchter	Van Waveren		Seminis	
Trockenstresstoleranz ¹⁾	eher ja	eher nein	eher ja	eher nein
Blattform	normal	normal	semi-leafless	normal
Reifetage ¹⁾	+12	+12	+12	+13
Bestandesdichte [Pfl./m ²] ²⁾	85	73	71	69

¹⁾: Einschätzung/Angabe des Züchters; ²⁾: Auszählung am 31.5., 6 lfdm pro Sorte pro Wiederholung, (Unterschiede zwischen den Sorten nicht statistisch abgesichert)

Die Aussaat erfolgte mit dem 21. April relativ spät, um möglichst trockene Boden- und Witterungsbedingungen vorzufinden. Die Erbsen liefen am 2. Mai auf, die erreichte Bestandesdichte war aber, mit Ausnahme der Sorte 'Puget', mit nur rund 70 Pfl./m² nicht ganz befriedigend (Tab. 1). Eine versehentlich mit 3 Tagen nach dem Auflauf zu früh durchgeführte NA-Herbizidbehandlung führte insbesondere bei der Sorte 'Mundial' zu Schäden, die sich durch ein Absterben des Vegetationspunktes und dem Austrieb von einer, teilweise zwei Seitenknospen äußerten. Diese Schäden 'verwachsen' sich allerdings überraschend gut (vgl. auch die Ertragsergebnisse), so dass diese Variante/Sorte nicht verworfen werden musste. Im weiteren Kulturverlauf wurden mehrere praxisübliche Fungizid- und Insektizidmaßnahmen durchgeführt, so dass der Erbsenbestand praktisch befallsfrei war.

Kultur- und Versuchsdaten:

- 21. April 2010: Aussaat der Sorten mit 90 Korn/m², Beetanbau (1,5 m) mit 10 Reihen, Reihenabstand 12 cm, keine N-Düngung
- 2. Mai: Auflauf (BBCH 09)
- 29. Mai: 6-Blatt-Stadium (BBCH 16)
- 21. Juni: Beginn der Blüte (BBCH 61)
- 29. Juni: Ende der Blüte/Beginn Hülsenbildung (BBCH 69)
- 12. Juli: Ernte der Sorten 'Puget' und 'Ambassador'
- 13. Juli: Ernte der Sorten 'Naches' und 'Mundial'
- Bodenart: stark lehmiger Sand (SI4), n. Bodenschätzung: L 3 Al 73/74
- Versuchsanlage: Zweifaktorielle Spaltanlage (Haupteinheit Beregnung, Untereinheit Sorte) mit 4 Wiederholungen
- Parzellengröße: 6,0 Netto-m² (5 lfdm Beet)
- Beregnung: Parzellen-Gießwagen mit Flachstrahldüsen (Gierhake Maschinenbau)
- Drusch: Mini Sampling Viner (Tickhill Engineering Co Ltd), 2 Druschdurchläufe
- Tenderometer: TM-2 Texture Press (Food Technology Corporation)

Neben einer 'Kontrolle' in der keine Beregnung durchgeführt wurde, sollten in einer 'Praxis'-Variante nur bei extremer Trockenheit 1 bis 2 Regengaben erfolgen. In der Variante 'Intensiv' wurde nach der 'Geisenheimer Bewässerungssteuerung' (PASCHOLD et al. 2010) eine Wasserbilanz erstellt und entsprechend beregnet. Allerdings sollte abweichend vom Modell (bei dem der Boden durch die Beregnungsgaben immer wieder auf den Ausgangswassergehalt von rund 100 % nutzbare Feldkapazität (nFK) aufgefüllt werden soll) erst bei ca. 60 % nFK eine Beregnung durchgeführt werden, die den Boden auf ca. 80 % nFK auffüllt. Dabei wurde zunächst bis zum 6-Blatt-Stadium (BBCH 16) nur die Bodenschicht 0-30 cm einbezogen, danach wurde entsprechend mit 0-60 cm Tiefe kalkuliert. Nachdem ein Zugang zur 'Agrowetter Beregnungsberatung' (s. u.) bestand, wurden später allerdings die Wassergaben nach diesen Empfehlungen bemessen. Hierbei wird, bei getrennter Betrachtung der Bodenschichten, mit einem unteren Schwellwert von 70 % (BBCH 09), abfallend auf 50 % nFK (ab BBCH 69) gerechnet. Beregnet wird bis zu einem Wassergehalt von 90 % nFK in der Bodenschicht 0-60 cm (AGROWETTER 2009). (Das dennoch in der Bodenschicht 0-60 cm durch Beregnungsgaben kurzzeitig Wassergehalte von über 90 % nFK auftraten beruht darauf, dass teilweise empfohlene Regengaben vorgezogen wurden.)

Die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration des Erbsenbestandes (ET_c) und damit der Wasserbilanz erfolgte nach der 'Geisenheimer Bewässerungssteuerung' (PASCHOLD et al. 2010) mit den entsprechenden k_c -Werten für Grünerbsen (FORSCHUNGSANSTALT GEISENHEIM 2010; vgl. Abb. 2). Abweichend vom 'Geisenheimer Modell', das "nach starken Niederschlägen" mit einer Überschreitung der Feldkapazität (FK) die Bilanzierung für 2 Tage aussetzt und danach wieder mit FK 'startet', wurde bei der eigenen Kalkulation die Nutzung der über die FK hinausgehende Wassermenge (langsam bewegliches Sickerwasser) dadurch eingerechnet, dass sich der Boden auf bis zu 105 % nFK auffüllen konnte und nur die darüber hinausgegangene Niederschlagsmenge als versickert angenommen wurde.

Parallel wurde die Verdunstung/Wasserbilanz mit dem vom Deutschen Wetterdienst angebotenen Modul 'Agrowetter Beregnungsberatung' berechnet, dass sich ebenfalls weitestgehend am 'Geisenheimer Modell' orientiert. Abweichend von diesem wird auch hier die Bilanzierung im Falle einer Überschreitung der FK nicht ausgesetzt, sondern die Versickerung in Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften kalkuliert (AGROWETTER 2009). Eine Besonderheit von 'Agrowetter' ist die Berechnung einer aktuellen Verdunstung ($ET_{c\ adj}$), die im Falle einer nicht ausreichenden Wasserversorgung des Bestandes unter ET_c liegt (JANSSEN 2010).

Bei der Berechnung mit 'Agrowetter' wurden die Voreinstellungen bezüglich der Schwellenwerte für den Beregnungsbeginn (s. o.) nicht verändert, die maximale Durchwurzelungstiefe wurde aber von 40 cm (Voreinstellung) auf 60 cm erhöht.

Da für die Berechnung von 'Agrowetter' automatisch auf die ET_0 -Werte (FAO Gras-Referenzverdunstung) der nächstgelegenen Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zurückgegriffen wird (in diesen Falle Dresden-Hosterwitz, ca. 3 km von Versuchsstandort entfernt, ähnliche Topographie etc.) wurde die Berechnung nach 'Geisenheim' auch auf Basis dieser Werte durchgeführt. Tatsächlich basiert die 'Geisenheimer Bewässerungssteuerung' aber auf der (modifizierten) Verdunstungsberechnung nach PENMAN (ET_{PENMAN}) (PASCHOLD et al. 2010, KLEBER 2010), die um den Faktor 1,4 höher liegt als ET_0 (KLEBER 2010). Auch diese ET_{PENMAN} -Werte der Wetterstation Dresden-Hosterwitz wurden seitens des DWD freundlicher Weise zur Verfügung gestellt.

Die Niederschläge wurden 'vor Ort' mit einer Wetterstation des Versuchsbetriebes erfasst. Die so ermittelten Niederschlagswerte wurden auch bei der 'Agrowetter'-Berechnung zugrunde gelegt. Generell geben die dargestellten Niederschlags- und Verdunstungswerte sowie Bodenwassergehalte den Wert bzw. Zustand am Ende des angegebenen Tages (24:00 Uhr) wieder.

Die Beregnung der entsprechenden Parzellen (Haupteinheit) erfolgte mit einem Parzellen-Gießwagen mit Flachstrahldüsen. Um eine vollständige Infiltration sicherzustellen, wurden je Überfahrt nur 5, später 6 mm ausgebracht, so dass bis zu 5 Überfahrten pro Beregnungsgabe erforderlich waren. Die ausgebrachte Beregnungsmenge wurde jeweils mit Hilfe von bodennah aufgestellten Regenmessern überwacht.

Ergebnisse

Nach einem niederschlagsreichen Winter (156 mm Niederschlag vom 1. Nov. bis 15. März.) wurde am 18. März die FK der Versuchsfläche durch ziehen einer Bodenprobe bestimmt. Bei einer angenommen Bodendichte von $1,5 \text{ g/cm}^3$ wurde eine FK von 27,3 Vol.-% (0-30 cm) bzw. 25,3 Vol.-% (30-60 cm) ermittelt (Tab. 2). Die Kartieranleitung (KA 5, 2005) weist dagegen für einen stark lehmigen Sand (SI4, Rohdichte $1,5 \text{ g/cm}^3$) mit 30 Vol.-% eine etwas höhere FK aus. Dementsprechend wurde der bei der Berechnung der nFK zugrunde gelegte Todwassergehalt gegenüber der KA 5 (SI4: 12 Vol.-%) mit 11,0 Vol.-% ebenfalls leicht reduziert.

Beim Auflaufen der Erbsen (BBCH 09) Anfang Mai wurde ein Ausgangs-Bodenwassergehalt in 0-60 cm Tiefe von knapp 95 % nFK ermittelt. Im weiteren Verlauf fielen dann bis zum 3. Juni 77,5 mm Niederschlag, so dass bis zu diesem Zeitpunkt der Boden praktisch ständig auf FK aufgefüllt war (Abb. 1).

Anfang Juni setzten dann trockenere Witterungsbedingungen mit bis zu 5-6 mm ET_0/d ein (vgl. Abb. 2), die zu einem Absinken der Bodenfeuchte auf (rechnerisch) ca. 60 % nFK führten. Daraufhin wurde am 18. Juni in der Variante 'Intensiv' die erste Wassergabe in Höhe von 20 mm gegeben, womit der Bodenwassergehalt wie geplant wieder auf 80 % nFK anstieg. Danach folgten, ab Anfang Juli in Anlehnung an die 'Agrowetter'-Empfehlungen, weitere Wassergaben, so dass in der Variante 'Intensiv' insgesamt 138 mm verabreicht wurden und der Boden zwischenzeitlich immer wieder auf \pm FK aufgefüllt wurde. In der Variante 'Praxis' erfolgten zwei Beregnungsgaben mit insgesamt 44 mm, die Kontrolle blieb unberegnet.

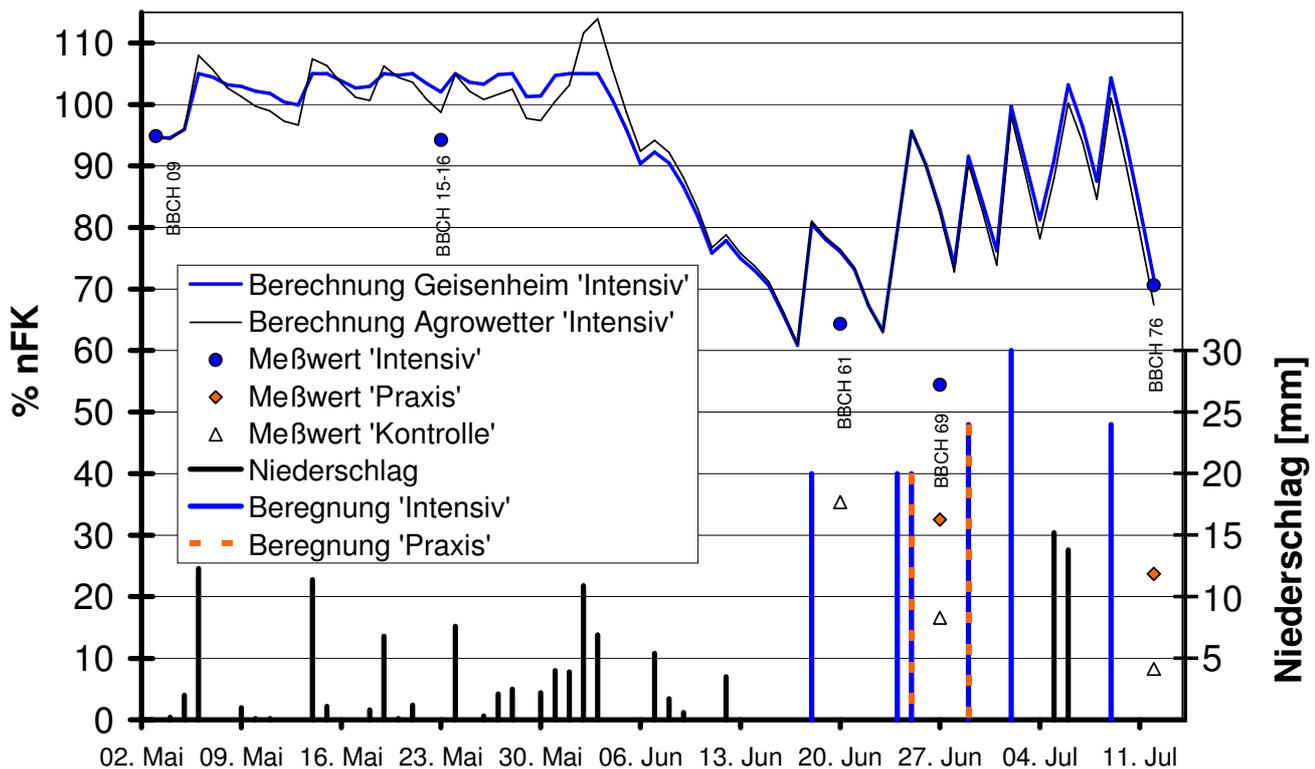


Abb. 1: Niederschlags- und Berechnungsmengen sowie Bodenwassergehalt (kalkuliert auf Basis von ET_0 bzw. gravimetrisch bestimmt) der Schicht 0-60 cm bei der Variante 'Intensiv' (Bodenwassergehalt 'Agrowetter' = Mittelwert der separat berechneten Werte für 0-30 cm und 30-60 cm Tiefe)

Die auf Basis der ET_0 -Werte berechneten täglichen Verdunstungswerte nach 'Geisenheim' stimmten weitgehend mit dem 'Agrowetter'-Ansatz überein (da rechnerisch nie eine Bodenfeuchte von 60 % nFK unterschritten wurde, war hier die berechnete $ET_{c\ adj} \approx ET_c$) (Abb. 2, dargestellt nur $ET_{c\ adj}$). Mit einer berechneten Verdunstung von 242,6 mm wies 'Agrowetter' aber einen geringfügig höheren Wert für die Kulturzeit aus als die eigene Berechnung nach 'Geisenheim', die auf 236,8 mm kam (Tab. 3). Auf Grund der eingeschränkten Wasserversorgung wurde seitens 'Agrowetter' für die Variante 'Praxis' nur eine $ET_{c\ adj}$ von 188,5 mm, für die 'Kontrolle' von 151,3 mm berechnet.

Entsprechend den nahezu identischen Verdunstungswerten verliefen die berechneten Bodenfeuchtegehalte der Variante 'Intensiv' in der zweiten Kulturhälfte ebenfalls nahezu deckungsgleich (Abb. 1). In der ersten, feuchten Kulturhälfte führten die unterschiedlichen Modellansätze für die Versickerungsberechnung aber zu einem etwas unterschiedlich Verlauf: Während sich nach dem modifizierten 'Geisenheimer Modell' der Boden auf maximal 105 % nFK auffüllte (und die darüber hinaus gehende Menge von insgesamt 40,1 mm als versickert angenommen wurde) und danach nur noch die Verdunstung zu einer Abnahme der Bodenfeuchte beitrug, kann sich nach dem 'Agrowetter-Ansatz' der Boden auch höher auffüllen, dann aber durch Verdunstung und Versickerung schneller das Wasser wieder verlieren. Insgesamt berechnete 'Agrowetter' eine Versickerung von 37,5 mm (Tab. 3).

Die jeweils beim Erreichen des nächsten Pflanzenstadiums in der Bewässerungsvariante 'Intensiv' gezogenen Bodenproben zeigten während der Kulturzeit zum Teil deutlich geringere Bodenfeuchten auf als mit den beiden Modellen auf Basis der ET_0 -Werte berechnet worden sind (Abb. 1). In der Phase 'Beginn Hülsenbildung' (BBCH 69) bis zur Ernte (BBCH 76) kam es dann aber zu einer Angleichung zwischen berechnetem und realem Bodewassergehalt, so dass für den Erntetermin der Bodenwassergehalt nahezu exakt prognostiziert wurde.

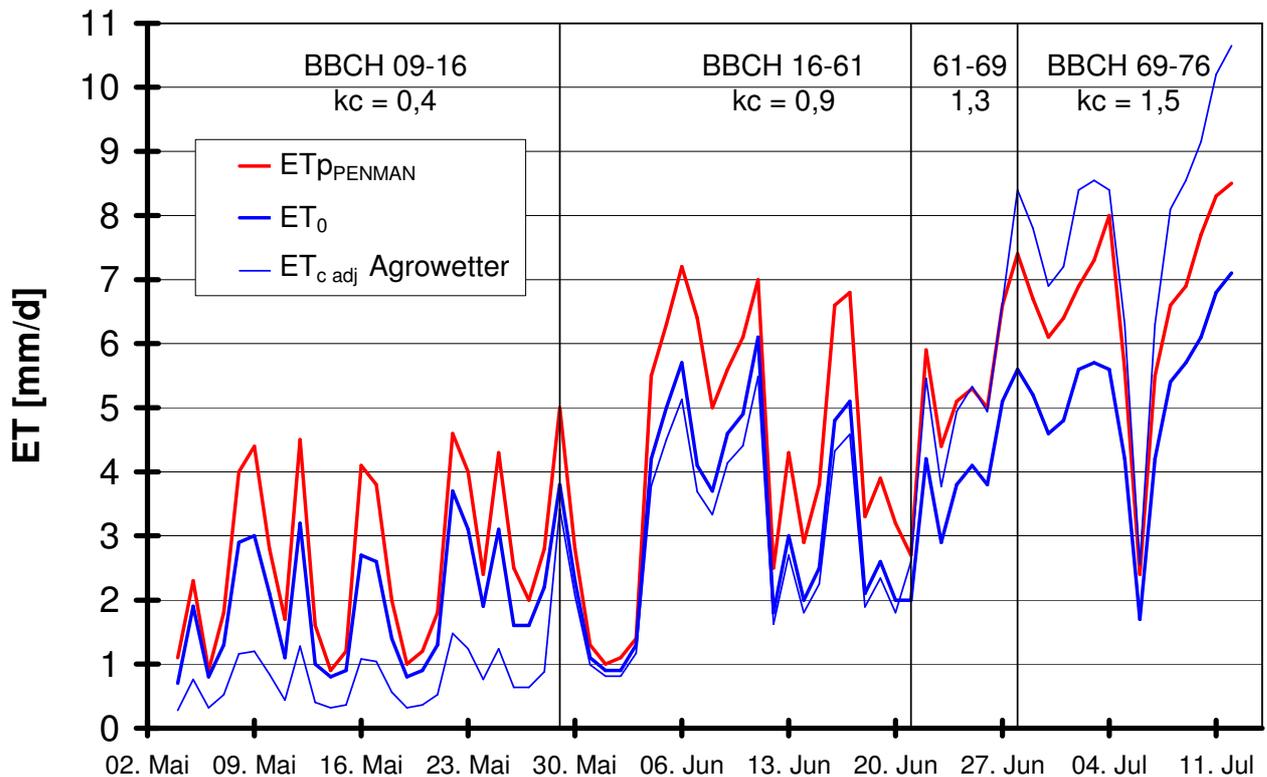


Abb. 2: Evapotranspiration nach PENMAN ($ET_{pPENMAN}$) und FAO Gras-Referenzverdunstung (ET_0) sowie aktuelle Evapotranspiration ($ET_{c\ adj}$) laut 'Agrowetter' (auf Basis ET_0) für die Variante 'Intensiv'

Berechnet man (wie vom 'Geisenheimer Modell' vorgesehen) die Verdunstung auf Basis der $ET_{pPENMAN}$ -Verdunstungswerte (für die Kulturzeit der Erbse um Faktor 1,32 höher als ET_0), so wird der Bodenwassergehalt insbesondere für die Phase Blühbeginn (BBCH 61) und Ende der Blüte (= Beginn Hülsenbildung, BBCH 69) recht gut prognostiziert (Abb. 3).

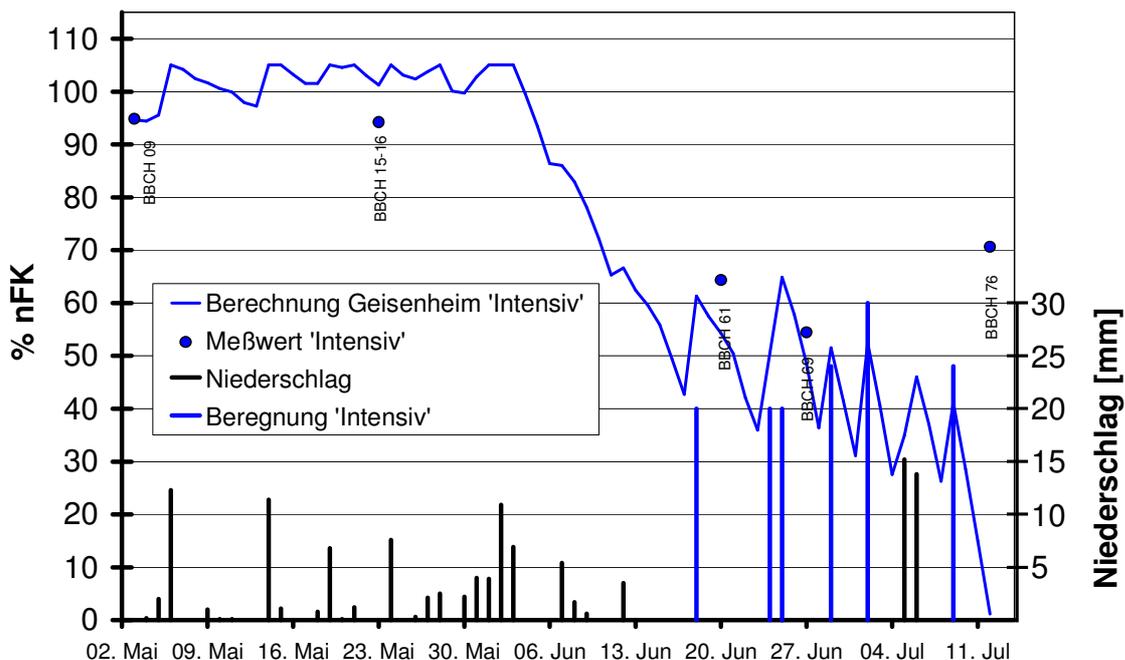


Abb. 3: Niederschlags- und Berechnungsmengen sowie Bodenwassergehalt (kalkuliert auf Basis von $ET_{pPENMAN}$ bzw. gravimetrisch bestimmt) der Schicht 0-60 cm bei der Variante 'Intensiv'

In der Phase bis zur Ernte kommt es offensichtlich aber zu einer massiven Überschätzung der Verdunstung, so dass für den Erntetermin eine Bodenfeuchte von 1,1 % nFK prognostiziert wird, obwohl der Boden tatsächlich rund 70 % nFK aufwies. Ursache für diese 'Fehleinschätzung' dürfte der mit 1,5 zu hoch gewählte kc-Wert sein (mit ca. 1,1 ergibt sich eine deutlich bessere Anpassung), der gerade bei den in der letzten Kulturphase herrschenden sehr hohen Verdunstungsraten (vgl. Abb. 2) zu einer großen Überschätzung von ET_c führte.

Insgesamt betrug die effektive Wasserzufuhr (Niederschlag + Beregnung - Versickerung) in der 'Intensiv'-Variante 216 mm. Bei 237 mm ET_c ('Geisenheim' auf Basis der ET_0 -Werte) ergibt sich ein Saldo von -21 mm bzw. eine entsprechende Abnahme des Bodenvorrates. Tatsächlich wurde in der Schicht 0-60 cm mit 22 mm eine nahezu exakt gleiche Abnahme des Wasservorrates gemessen. Bezogen auf die Schicht 0-90 cm betrug die Wassergehaltsänderung aber 38 mm, so dass eine geringfügig höhere Verdunstung und/oder Versickerung stattgefunden haben muss.

Der Bodenfeuchtigkeitsgehalt (0-60 cm) der 'Kontrolle' wurde vom 'Agrowetter'-Modul auf Basis der berechneten $ET_{c\ adj}$ -Werte zu Blühbeginn (BBCH 61) auf 54 % nFK geschätzt. Tatsächlich lag er mit 35 % nFK noch tiefer und fiel dann weiter bis zum Erntetermin auf nur noch 8 % ab (Abb. 4). Ganz offensichtlich wurde aber auch Bodenwasser der Schicht 60-90 cm genutzt, denn der Wassergehalt dieser Schicht fiel von 107 % nFK (BBCH 09) auf 23 % (BBCH 76) ab (Tab. 2). Die 'Praxis'-Variante entleerte sich bis auf 24 % nFK (0-60 cm), wie bei der Variante 'Intensiv' wurde auch hier der Endwert durch 'Agrowetter' nahezu exakt kalkuliert. Auch in dieser Variante war eine deutliche Abnahme der Bodenwassergehalte in 60-90 cm zu verzeichnen.

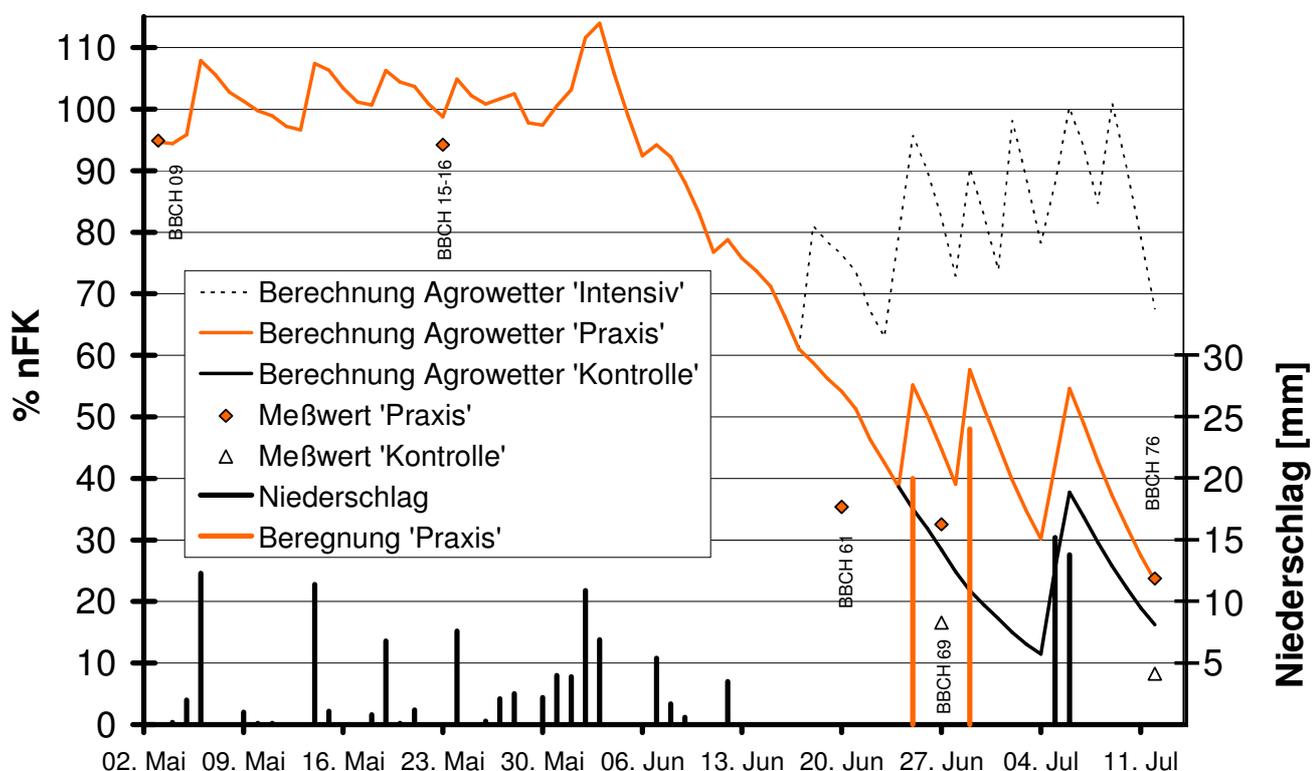


Abb. 4: Niederschlags- und Beregnungsmengen sowie Bodenwassergehalt (kalkuliert, gravimetrisch bestimmt) der Schicht 0-60 cm bei der Variante 'Praxis' und 'Kontrolle' laut 'Agrowetter' (Bodenwassergehalt = Mittelwert der von 'Agrowetter' separat berechneten Werte für 0-30 cm und 30-60 cm Tiefe)

Der Erbsenbestand bzw. die unterschiedlichen Varianten zeigten während der Kulturzeit keine auffälligen Trockenstresssymptome wie (mittägliches) Welken etc.. Optisch war nur eine größere Bestandeshöhe bei der 'Intensiv'-Variante auszumachen. Bei der Ernte fiel diese Variante allerdings durch stärkere Fäulnis in den unteren Blättern negativ auf (die Arbeitskräfte klagten bei dieser Variante über das 'schmierige' Dreschgut). Das diese Fäulnis zu Ertragsminderungen führte ist aber eher auszuschließen, da die Pflanzen 'oberflächlich betrachtet' einen sehr vitalen Eindruck machten.

Beim Frischmasseertrag zeigte sich ein signifikanter Sorten- und Bewässerungseffekt, wobei die 'Praxis'-Variante mit 120 dt/ha (Sortenmittel) den höchsten Ertrag zeigte, während 'Intensiv' und auch die 'Kontrolle' nur knapp 105 dt/ha erbrachten (Abb. 5). Eine signifikante Wechselwirkung zwischen Sorte und Bewässerung bestand nicht. Tendenziell ($p = 0,10$) zeigte (die als trockenresistent geltende) 'Puget' aber mit 31 % den größten Ertragszuwachs zwischen der 'Kontrolle' und der 'Praxis'-Variante, aber mit 24 % auch den stärksten Ertragsrückgang zwischen 'Praxis' und 'Intensiv'. Andererseits reagierte 'Naches' (entsprechend ihrer angegebenen Trockenresistenz) nur mit 10 % Ertragszuwachs zwischen der 'Kontrolle' und der 'Praxis'-Variante. Diese Sorte zeigte als einzige auch keinen Ertragsrückgang bei hoher Bewässerungsintensität.

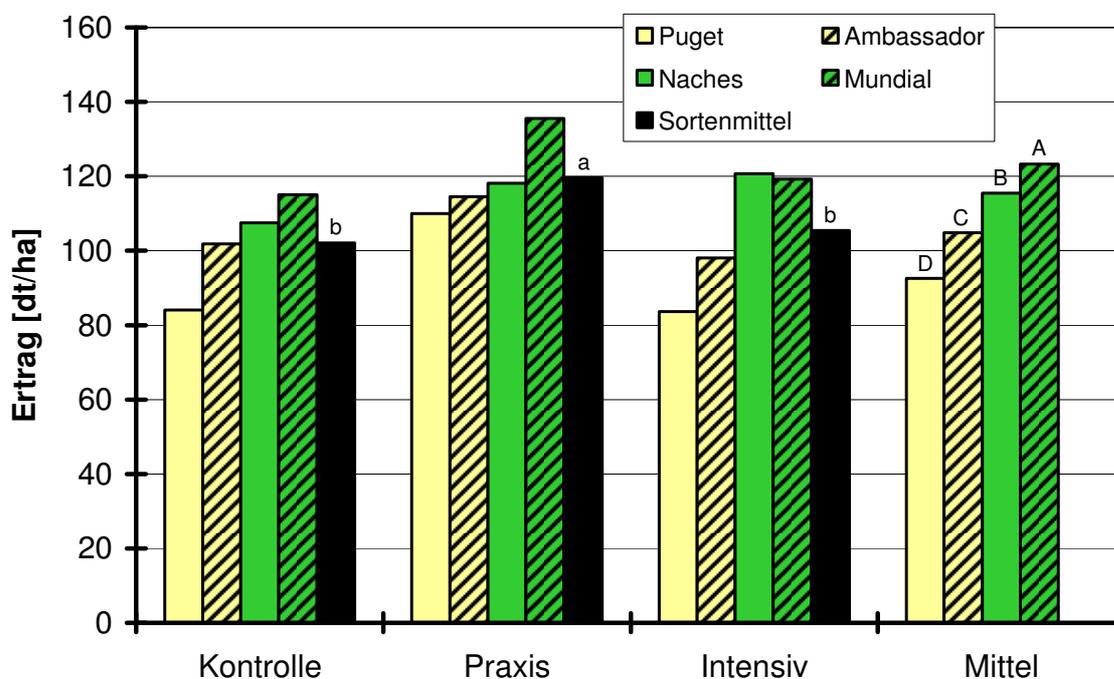


Abb. 5: Frischmasse-Ertrag (Rohware) in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte ($GD_{(\alpha<0,05)}$ Bewässerungseffekt: 13,7 dt/ha; Sorteneffekt: 7,6 dt/ha)

Der in den verschiedenen Bewässerungsvarianten einheitliche Erntetermin orientierte sich an der Reife der Variante 'Intensiv', die mit einem Tenderometerwert (TW) von ca. 120 geerntet werden sollte, was mit einem mittleren Wert von 116 auch gelang (Abb. 6). Die 'Praxis'-Variante bzw. die 'Kontrolle' zeigte mit rund 140 bzw. 170 Einheiten eine deutlich fortgeschrittene Reife, die einem Entwicklungsvorsprung von knapp 2 bzw. knapp 4 Normaltagen entspricht (vgl. LABER 2008). Eine Wechselwirkung zwischen Sorte und Bewässerung bestand nur tendenziell ($p = 0,08$).

PASCHOLD und MAYER (2005) berichten von einer 5 Tage früheren Ernte in einer Variante mit einer Bewässerung im Bereich von 20-50 % nFK gegenüber der mit 60-90 % nFK. Auch bei ANDERSON und WHITE (1974) reiften unberegnete Erbsen 5 Tage vor den beregneten, während MARTIN und TABLEY (1981) maximal eine Differenz von 4 Tagen (im Mittel 2 Tage) fanden.

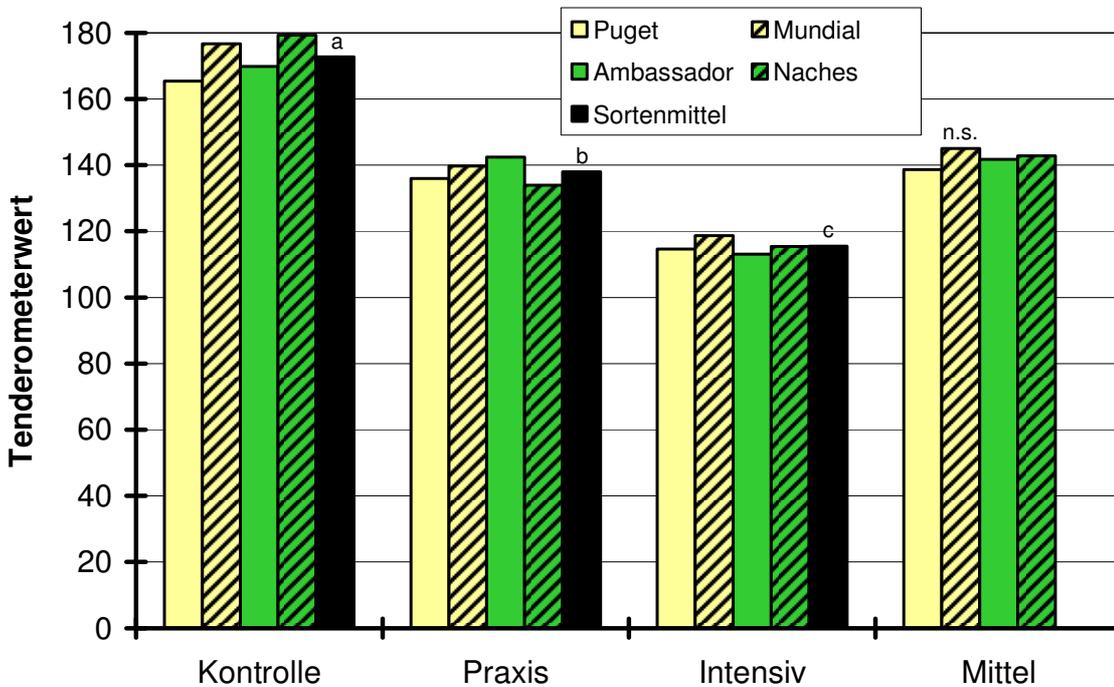


Abb. 6: Tenderometerwert der Erbsen in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte ($GD_{(\alpha<0,05)}$ Bewässerungseffekt: 16,5)

Korrigiert man den Ertrag auf einen einheitlichen TW von 120, so zeigen sich zwischen den Bewässerungsvarianten keine statistisch absicherbaren Ertragsunterschiede (Abb. 7). Auch eine Wechselwirkung zwischen Sorte und Bewässerung konnte nicht abgesichert werden.

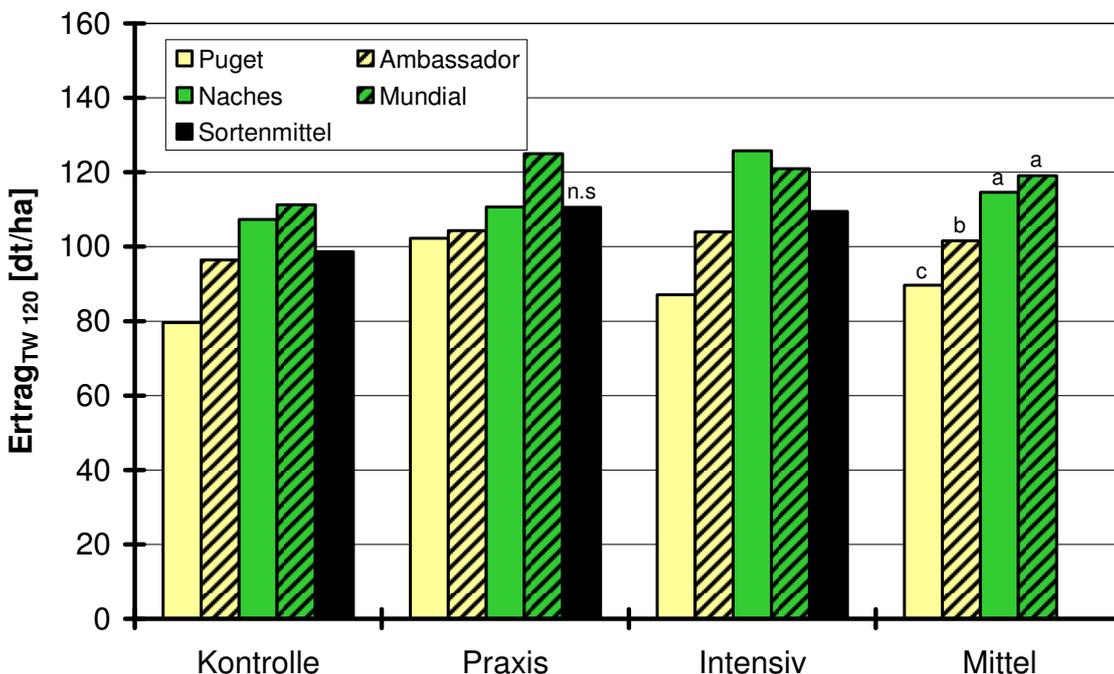


Abb. 7: Korrigierter Frischmasse-Ertrag (TW 120) in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte ($GD_{(\alpha<0,05)}$ Sorteneffekt: 7,9 dt/ha)

Dieses Ergebnis steht im krassen Widerspruch zu Ergebnissen in der Literatur. So beobachteten PASCHOLD und MAYER (2005) in einem Lysimeterversuch einen Abfall des Ertrages um 24 bzw. 56 %, wenn der Bodenwassergehalt statt bei 60-90 % nFK bei 40-70 % (40 mm Beregnungsdefizit) bzw. 20-50 % (104 mm) gehalten wurde.

Auch SORENSEN et al. (2003) ermittelten bei einer Variante die nur zur Blütezeit auf rund 30-40 % nFK abfiel einen "dramatischen" Ertragsrückgang von durchschnittlich 56 % (n = 2) gegenüber einer Variante, die ständig auf mindestens 70 % nFK gehalten wurde. Fiel der Wassergehalt nur während der Hülsen-Füllungsphase auf 14-33 % nFK ab, so betrug der Ertragsrückgang im Mittel 47 % (n = 4).

MARTIN und TABLEY (1981) fanden dagegen in unberechneten Erbsen im Mittel von 3 Versuchsjahren mit bis zu 3 Aussatterminen und mit bis zu 6 Sorten nur 17 % Ertragsminderung (Spanne: 0-40 %) gegenüber den allerdings nur maximal 2-mal berechneten Varianten.

ANDERSON und WHITE (1974) verzeichneten in unberechneten Erbsen einen Ertragsverlust von ca. 40% gegenüber einer 2-mal berechneten Variante (n = 1).

In Versuchen mit Körnererbsen fanden MARTIN und JAMIESON (1996), unabhängig vom Zeitraum in dem Trockenstress herrschte, umgerechnet einen Ertragsrückgang von je 14 %-Punkten je 100 mm Wasserdefizit.

Entsprechend der Abnahme an Ernterückständen mit abnehmender Beregnungsintensität (o. Abb., s. Tab. 4) nahm auch die gesamte Aufwuchsmenge ab (Abb. 8). Allerdings bestand eine signifikante Wechselwirkung zwischen Sorte und Bewässerung, die sich insbesondere bei der Sorte 'Puget' zeigte, die im Gegensatz zu den drei anderen Sorten zwischen der Variante 'Intensiv' und 'Praxis' keinen Abfall aufwies.

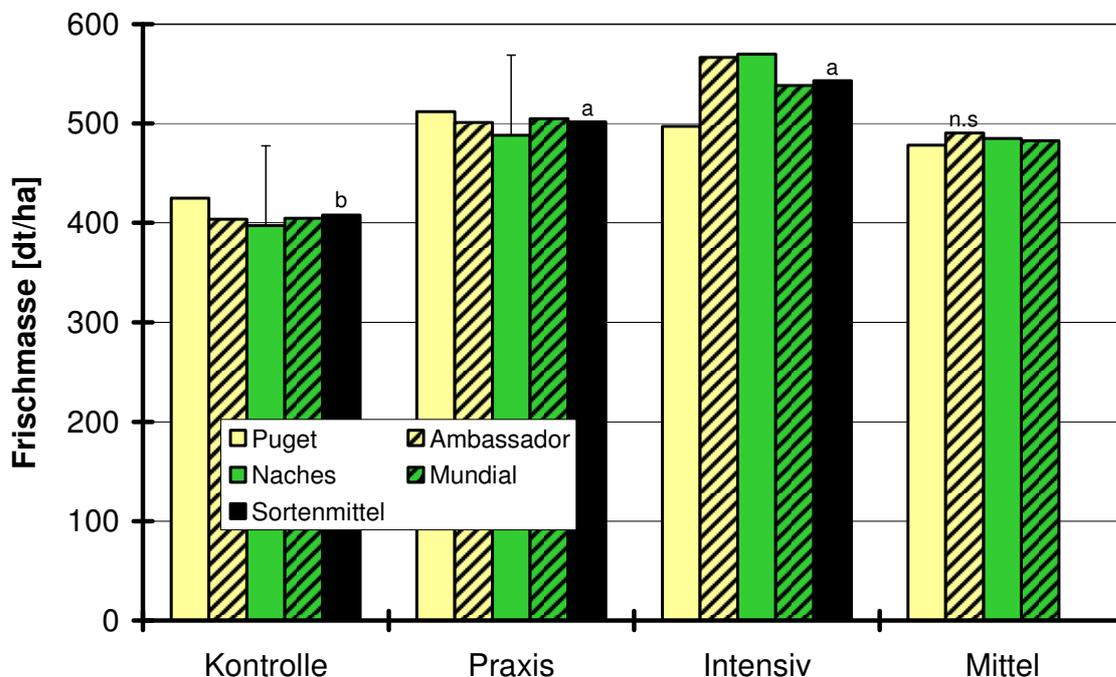


Abb. 8: Frischmasse-Aufwuchs in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte ($GD_{(\alpha<0,05)}$ Bewässerungseffekt: 71,2 dt/ha; Wechselwirkung: 80,4 dt/ha = I)

Mit 25 % fiel der Rückgang des FM-Aufwuchses ('Intensiv' zu 'Kontrolle') relativ (im Vergleich zu den unterschiedlichen Ertragsreaktionen) ähnlich ab wie bei PASCHOLD und MAYER (2005), die einen Abfall der Aufwuchsmenge von 37 % fanden, wenn der Bodenwassergehalt statt bei 60-90 % nFK bei 20-50 % gehalten wurde. Allerdings lag bei ihnen die Aufwuchsmenge auch in der 60-90 % nFK-Variante nur bei 265 dt/ha (auch die Erträge von max. 41 dt/ha lassen auf einen relativ 'dünnen' Bestand schließen), so dass der absolute Abfall mit 97 dt/ha geringer war als im hier beschriebenen Versuch (135 dt/ha).

Da zwischen der 'Kontroll'- und der 'Intensiv'-Variante kein Ertragszuwachs zu verzeichnen war, der FM-Aufwuchs aber deutlich zunahm, muss sich der Ertragsanteil am gesamten Aufwuchs deutlich vermindert haben. Tatsächlich fiel der Harvest-Index (HI) mit steigender Bewässerungsintensität von 25 % auf knapp 20 % ab (Abb. 9); die Erbsen sind somit durch die Wassergaben sprichwörtlich 'ins Kraut geschossen'. Es bestand allerdings auch eine signifikante Wechselwirkung zwischen Sorte und Bewässerung, die sich wiederum bei der Sorte 'Puget' zeigte, die im Gegensatz zu den drei anderen Sorten in der 'Praxis'-Variante den höchsten HI aufwies.

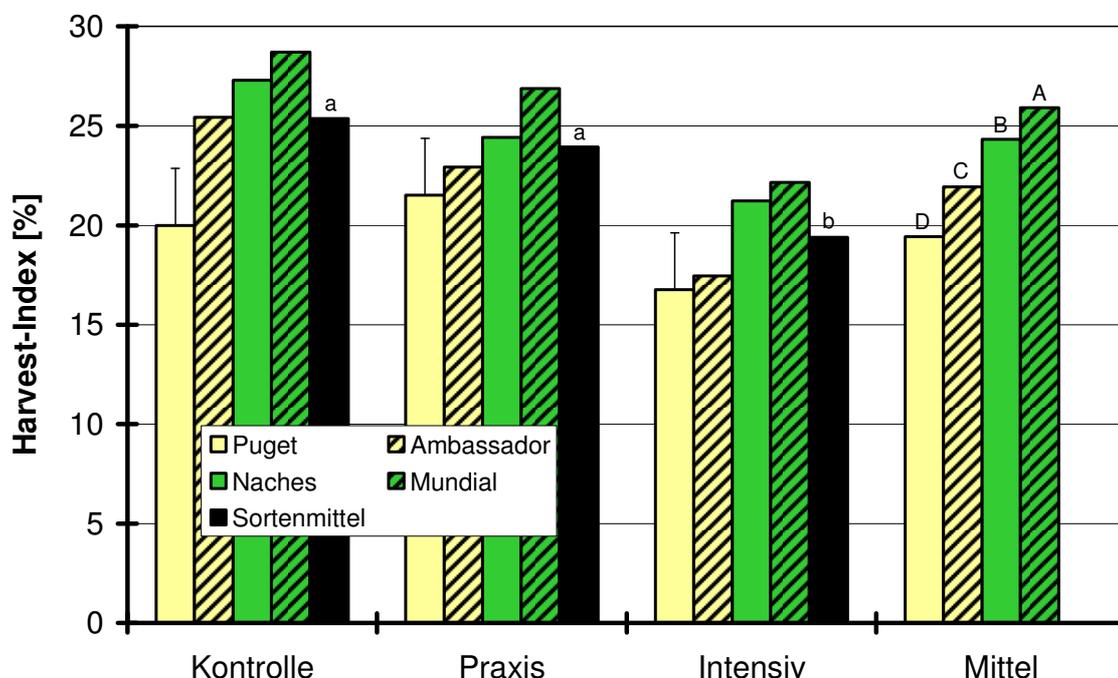


Abb. 9: Harvest-Index (Anteil Marktware am gesamten Aufwuchs) **in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte** ($GD_{(\alpha < 0,05)}$ Bewässerungseffekt: 2,2 %; Sorteneffekt: 1,3 %; Wechselwirkung: 2,9 % = I)

Auch nach den Ergebnissen des Bewässerungsversuches von PASCHOLD und MAYER (2005) ergibt sich eine Abnahme des HI mit steigendem Wasserangebot von 15 % (20-50 % nFK) auf 11 % (60-90 % nFK).

Fazit

Die insbesondere im letzten Kulturdrittel herrschenden sehr trockenen Bedingungen führten in der unberechneten Variante überraschender Weise nicht zu den in der Literatur beschriebenen starken Ertragseinbußen. Als plausibelste Erklärung kommt nur die Nutzung des Bodenwassers unterhalb von 60 cm Tiefe in Betracht, die bei den hier verwendeten Bewässerungsmodellen nicht mit einberechnet wird.

Tab. 2: Gravimetrisch bestimmte Bodenwassergehalte und % nutzbare Feldkapazität

Datum	BBCH	Variante	Bodenwassergehalt [mm] ²⁾			% nFK ³⁾		
			0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
18. Mrz ¹⁾		alle	82	76	81	100	100	100
03. Mai ⁴⁾	09	alle	78	75	85	92	98	107
23. Mai ⁴⁾	15-16	alle	75	77	75	85	103	87
20. Jun ⁴⁾	61	Kontr. + Prax.	47	51	64	29	42	64
		Intensiv	63	62	73	62	67	83
27. Jun ⁴⁾	69	Kontrolle	40	41	55	14	19	46
		Praxis	45	50	65	25	40	66
		Intensiv	62	54	67	59	50	70
12. Jul ⁴⁾	76	Kontrolle	36	37	44	7	10	23
		Praxis	46	42	52	27	20	39
		Intensiv	66	64	70	68	73	75

¹⁾: Bestimmung der FK. Wasserbilanz der Vortage (Niederschlag - ET₀): 15.3.: +10,3; 16.3.: +2,5; 17.3.: -0,5;

²⁾: Bodenwassergehalt der Schicht bei einer angenommenen Bodendichte von 1,5 g/cm³,
Ermittelt an Mischproben aus 8 Einstichen (2 Bodenproben pro Wiederholung), Trocknung bei 105 °C);

³⁾: zugrunde gelegter Todwassergehalt: 11,0 Vol.-%;

⁴⁾: Die Proben wurden jeweils am frühen Morgen des Folgetages gezogen und geben somit den Bodenwassergehalt am Ende des angegebenen Tages wieder

Tab. 3: Potentielle und aktuelle Verdunstung, Niederschläge und Beregnung sowie Versickerung in den verschiedenen Entwicklungsphasen

Phase BBCH	ET _p ¹⁾	ET ₀ ²⁾	ET _c ³⁾ Geisenheim		ET _{c adj} ⁴⁾ Agrowetter			Nieder- schlag	Beregnung		Versickerung	
			ET _p	ET ₀	Intens.	Praxis	Kontr.		Intens.	Praxis	Gei- senh. ⁵⁾	Agro- wetter ⁶⁾
09-16	63,7	46,6	25,5	18,6	19,1			49,6	0	0	21,5	23,3
16-61	99,0	74,5	89,1	67,1	68,7			39,1	20	0	18,6	13,8
61-69	35,0	25,9	45,5	33,7	34,8	28,6	23,3	0,1	40	20	0,0	0,0
69-76	100,3	78,3	150,5	117,5	120,0	72,1	40,2	29,0	78	24	0,0	0,4
09-76	298,0	225,3	310,5	236,8	242,6	188,5	151,3	117,8	138	44	40,1	37,5

¹⁾: ET_{pPENMAN} = potentielle Verdunstung nach modifizierter PENMAN-Gleichung;

²⁾: FAO Gras-Referenzverdunstung;

³⁾: potentielle Evapotranspiration des Erbsenbestandes in der Variante 'Intensiv', berechnet nach dem 'Geisenheimer Modell' auf Basis ET_{pPENMAN} (ursprünglicher Ansatz) als auch ET₀;

⁴⁾: aktuelle Evapotranspiration des Erbsenbestandes laut 'Agrowetter', bei Variante 'Intensiv' ≈ ET_c;

⁵⁾: auf Basis der ET₀-Verdunstung. In allen Varianten identisch;

⁶⁾: mit Ausnahme der 0,4 mm (nur in 'Intensiv') in der Phase BBCH 69-76 in allen Varianten identisch

Tab. 4: Erträge und Aufwuchsmengen der verschiedenen Varianten

Bewässerung Sorte ¹⁾	Kontrolle				Praxis				Intensiv			
	Pug	Amb	Nac	Mun	Pug	Amb	Nac	Mun	Pug	Amb	Nac	Mun
FM-Ertrag [dt/ha]	84	102	108	115	110	115	118	136	84	98	121	119
Tenderometerwert ²⁾	165	170	179	177	136	142	134	140	115	113	115	119
Ertrag _{TW 120} [dt/ha] ³⁾	80	96	107	111	102	104	111	125	87	104	126	121
Ernterückstände [dt/ha]	341	302	290	290	402	386	370	369	414	469	449	419
Aufwuchs [dt/ha]	425	404	397	405	512	501	488	505	497	567	570	538
Harvest-Index [%] ⁴⁾	20	25	27	29	22	23	24	27	17	17	21	22

¹⁾: Puget, Ambassador, Naches, Mundial; ²⁾: Mischprobe über die Wiederholungen (je 3 Messwiederholung.);

³⁾: Ertrag korrigiert auf eine Tenderometerwert von 120 nach der umgeformten Reife-Ertragsbeziehung von EVERAARTS u. SUKKELE 2000 (vgl. LATTAUSCHKE und LABER 2009);

⁴⁾: = FM-Ertrag ÷ Aufwuchs

Literatur:

- AGROWETTER 2009: Modellbeschreibung. Online-Hilfe zur Agrowetter Berechnungsberatung. auch www.dwd.de (Stand 30.01.2009)
- ANDERSON, J.A.D. und J.G.H. WHITE 1974: The relationship between green pea yield and tenderometer reading. *New Zealand journal of experimental agriculture* **2** (1), S. 31-33
- FORSCHUNGSANSTALT GEISENHEIM 2010: Geisenheimer Bewässerungssteuerung. Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Gemüsebau. www.fa-gm.de (Stand 6.9.2010)
- JANSSEN, W. 2010: Schriftliche Mitteilung zur Berechnung der Sickerwassermenge und der Verdunstungsberechnung bei der 'Agrowetter Berechnungsberatung'. Deutscher Wetterdienst, Offenbach
- Kartieranleitung (KA 5) 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe [Hrsg.], Schweizerbart, Stuttgart, 5. Aufl.
- KLEBER, J. 2010: Schriftliche Mitteilung zur verwendeten Referenzverdunstung bei der 'Geisenheimer Bewässerungssteuerung. Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Gemüsebau
- LABER, H. 2008: Abreifeverhalten bei den verschiedenen Markerbsen-Sortentypen praktisch gleich. www.hortigate.de
- MARTIN, R.J. und P.D. JAMIESON 1996: Effect of timing and intensity of drought on the growth and yield of field peas (*Pisum sativum* L.). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* **24**, S. 167-174
- MARTIN, R.J. und F.J. TABLEY 1981: Effects of irrigation, time of sowing, and cultivar on yield of vining peas. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 9(3&4), S. 291-297
- PASCHOLD, P.-J., J. KLEBER und N. MAYER 2010: Geisenheimer Bewässerungssteuerung. Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Gemüsebau. www.fa-gm.de (Stand 4.5.2010)
- PASCHOLD, P.-J. und N. MAYER 2005: Wasserbedarf von Erbsen in wägbaren Lysimetern. Tagung der Deutschen Gartenbauwissenschaftlichen Gesellschaft 2005, BHGL-Tagungsband **24/2005**, S. 45
- SORENSEN, J.N., M. EDELENBOS und L. WIENBERG 2003: Drought effects on green pea texture and related physical-chemical properties at comparable maturity. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **128** (1), S. 128-135