



LAND
BRANDENBURG

Ministerium für Landwirtschaft,
Umweltschutz und Raumordnung

Landwirtschaft, Gartenbau
und Ernährung



Leitfaden zur Berechnung landwirtschaftlicher Kulturen

Impressum

Herausgeber:

Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz
des Landes Brandenburg (MLUV)
Presse und Öffentlichkeitsarbeit
Heinrich-Mann-Allee 103
14473 Potsdam
Tel.: 0331/866-7016 oder -/866-7017
Fax: 0331/866-7018
E-mail: pressestelle@mluv.brandenburg.de
Internet: www.mluv.brandenburg.de

Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung
Ringstraße 1010 PF 1370
15236 Frankfurt (Oder) 15203 Frankfurt (Oder)
E-mail: poststelle@lvlf.brandenburg.de
Internet: www.mluv.brandenburg.de/info/lvlf

Autoren:

Dr. Andrea Lüttger, Oehnaland Agrargesellschaft mbH
Bärbel Dittmann, Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung
Dr. Heinz Sourell, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft

Internet Pilotprojekt Beregnung: www.mluv.brandenburg.de/info/beregnung

Schriftenreihe
des Landesamtes für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung
Abteilung Landwirtschaft und Gartenbau
Teltow, Groß Kreutz, Güterfelde, Paulinenaue, Wünsdorf
Reihe Landwirtschaft, Band 6 (2005) Heft VII

Druck:

Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung
Ringstraße 1010
15236 Frankfurt (Oder)
TZ 81/05

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Landesregierung Brandenburg herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung.

Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

**Leitfaden
zur Berechnung
landwirtschaftlicher Kulturen**

Einleitung

In Brandenburg fallen im Jahresdurchschnitt 500 mm Niederschlag. Das zur Verfügung stehende Wasser und die Verteilung der Niederschläge über das Jahr reichen oftmals nicht aus, den Wasserbedarf der Pflanzen zu decken. Deshalb ist bereits in den 70er Jahren damit begonnen worden, die Beregnung als wichtigen Bestandteil der Produktionssicherung auszubauen. Nicht erst seit dem Trockenjahr 2003 ist die Beregnung wieder stärker in den Focus der Betrachtung gelangt.

Abb. 1: **Kreisberegnungsanlage in Kartoffeln, Zellendorf (2002)**



In Brandenburg wurden 2001 ca. 25.000 ha beregnet. Das entspricht etwa 2 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche. In den letzten Jahren ist der Anteil der Beregnungsflächen nicht zuletzt durch die Förderung des Landes kontinuierlich weiter ausgebaut worden, so dass mittlerweile schätzungsweise knapp 30.000 ha beregnet werden (eigene Schätzung).

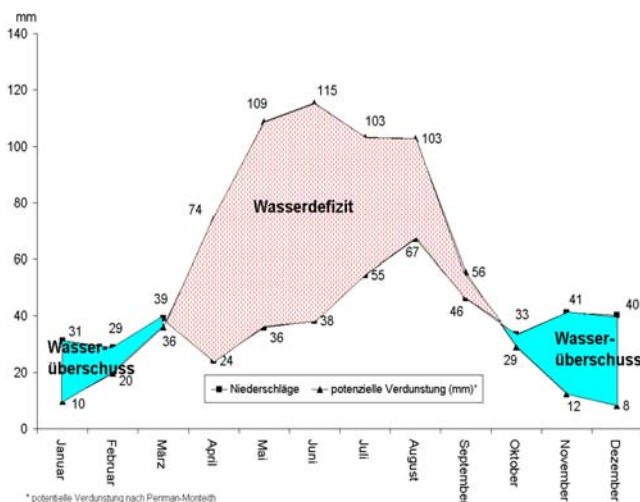
Die Beregnungsbedürftigkeit hängt von den natürlichen Gegebenheiten eines Standortes ab. Inwieweit die Pflanzen ihren Wasserbedarf decken können, hängt von den Faktoren **Klima**, **Boden** und **Pflanze** ab.

Klima

Die Niederschlagsverteilung zwischen den einzelnen Bundesländern ist sehr unterschiedlich. Allgemein lässt sich sagen, dass über die Hälfte (64%) der Flächen der neuen Bundesländer, aber auch Niedersachsens mit nur 400 – 600 mm Jahresniederschlag auskommen müssen. Der Anteil der Flächen in den alten Bundesländern, der mehr als 600 mm Jahresniederschlag ausweist, liegt dagegen bei über 70%.

Neben der Gesamtmenge an Niederschlag pro Jahr ist die Verteilung des Regens während der einzelnen Monate von entscheidender Bedeutung (Abb. 2).

Abb. 2: **Niederschläge und Verdunstung in Langenlipsdorf, Mittelwerte 2000 - 2004**



Die Klimabilanz aus dem südlichen Brandenburg von 2000 bis 2004 zeigt, dass ab April die Verdunstung die Höhe des Niederschlages übersteigt und ein Wasserdefizit entsteht.

Die Beregnung wird dann interessant, wenn die Menge des Niederschlages während der Vegetationszeit nicht ausreichend ist. Es entsteht eine negative Wasserbilanz. Die Aufgabe der Beregnung ist es, den Wasservorrat des Bodens zu ergänzen, so dass die Pflanzen auch Trockenzeiten gut überstehen können.

Wasser ist ein kostbares Produktionsmittel. Die Zusatzbewässerung muss so ausgerichtet sein, dass eine Überbewässerung vermieden wird, um die Auswaschung von Nährstoffen und Pflanzenschutzmitteln zu minimieren. Der gezielte Einsatz der Beregnung, die Wahl und der Betrieb der Beregnungsanlage tragen dazu bei, die Beregnungskosten so niedrig wie möglich zu halten. Ausschlaggebend für die Entscheidung zur geeigneten Beregnungstechnik sind die Schlaggröße, die zu beregnenden Kulturen und der Arbeits- und Kapitalbedarf.

Die ersten Fragen bei der Planung einer Beregnungsanlage beginnen bei der Höhe der Beregnungsgabe und der Menge an Zusatzwasser, die für die Beregnung der Kultur im Durchschnitt gebraucht werden.

Wie viel Zusatzwasser wird benötigt?

Abhängig vom Boden und der Kulturart können die Durchschnittswerte in Tab. 1 eine Orientierung geben.

Tab. 1: **Richtwerte für den durchschnittlichen Zusatzwasserbedarf in mm/Jahr**

Kultur	Bodenwertzahl		
	20 - 30	35 - 50	55 - 70
Kartoffeln RG 1 und RG 2	80	70	55
Kartoffeln RG 3 und RG 4	100	80	60
Zuckerrüben	110	90	65
Mais	130	90	70
Braugerste	60	40	25
Feldgras	160	130	100

Das durchschnittliche Wasserdefizit während der Vegetationszeit von April – September liegt in Brandenburg bei etwa 120 - 140 mm. Extreme Trockenjahre wie das Jahr 2003 lassen ein Wasserdefizit von >200 mm entstehen. Entsprechend höher fallen dann natürlich die Zusatzwassergaben aus, so dass für Trockenjahre mit einer Erhöhung des mittleren Zusatzwasserbedarfs um rund 30 % gerechnet werden muss.

Um die Frage nach der Wasserspeicherkapazität für einen bestimmten Standort zu beantworten, sind Kenntnisse zur aktuellen Bodenfeuchte im durchwurzelten Bodenraum und zum Wasserhaltevermögen (nutzbare Feldkapazität, nFK) des jeweiligen Bodens erforderlich.

Boden

Die Bodenart und Zusammensetzung des Bodens sind ausschlaggebend dafür, wie viel Wasser ein Boden speichern kann. Die Beregnung der meisten landwirtschaftlichen Kulturen beginnt, wenn einem Boden die Hälfte seines speicherbaren Wassers entzogen wurde. Dabei ist es unerheblich, ob der Entzug durch Verdunstung oder durch den Verbrauch der Pflanzen zustande gekommen ist. Entsprechend der Bodenart und der Bodenwertzahl gibt Tabelle 2 eine Übersicht zur nutzbaren Feldkapazität.

Tab. 2: **Nutzbare Feldkapazität in Abhängigkeit der Bodenart und der Durchwurzelungstiefe**

	Sand	sandiger Lehm	lehmiger Sand	Lehm
Bodenwertzahl	20.....30	35.....50	55.....70	75.....85
nutzbare Feldkapazität (mm Wasser für 60 cm Bodentiefe)	32.....54	66.....104	90....180	160...300

Die nutzbare Feldkapazität und die Fähigkeit des Bodens Wasser nachzuliefern, hängen von den Bodeneigenschaften und der Bodentiefe ab. Die Verdunstung nimmt mit zunehmender Wassernachlieferungsfähigkeit des Bodens zu, grundwassernahe Böden können daher erhebliche Evaporationswerte aufweisen. Deshalb ist es notwendig, sich genauer mit den Bodeneigenschaften zu beschäftigen, wie auch schon die Spanne des Speichervermögens in Tabelle 2 erkennen ließ.

Neben den festen Bestandteilen befindet sich auch Luft im Boden, dessen Anteil je nach Bodenart variieren kann. In der Regel haben grobkörnige Böden weniger Luft (ca. 40 Vol. %) als feinkörnige Böden (bis zu 60 Vol. %). Ist der Luftanteil beim Boden höher, so ist zum einen die Bodendichte geringer und zum anderen kann theoretisch die gesamte Luft durch Wasser ersetzt werden.

Wenn dieser Zustand erreicht ist, spricht man von einem gesättigten Boden. Das ist z.B. im Winter bei gefrorenem Boden zu beobachten, wenn das Wasser aufgrund des gefrorenen Bodens nicht versickern kann. Unter normalen Bedingungen ist der Boden allerdings nicht in der Lage, das gesamte Wasser zu halten, da durch die Erdanziehungskraft immer das Bestreben besteht, dass das Wasser versickert. Als Feldkapazität (FK in Vol. %) bezeichnet man die Menge an Wasser, die in einem Boden, entgegen der Schwerkraft - vergleichbar mit einem Schwamm – gespeichert werden kann. Davon ist ein Teil an Tonmineralien fest gebunden. Gegen die Wasserbindungskräfte des Bodens "saugen" die Pflanzen über ihre Wurzeln Wasser aus dem Boden. Die Saugspannung der Pflanzen ist allerdings begrenzt und vermag nicht das gesamte Wasser aus dem Boden zu entnehmen. Der Zustand, bis zu dem die Pflanzen Wasser entnehmen können, wird als permanenter Welkepunkt (PWP in Vol. %) bezeichnet.

Obwohl die Pflanzenarten ein unterschiedliches Saugspannungsvermögen haben und die Böden das Wasser sehr differenziert über den nutzbaren Feldkapazitätsbereich abgeben, lassen sich wie in Tabelle 3 vereinfachte Regeln angeben.

Tab. 3: **Nutzbare Feldkapazität und Auswirkung auf die Pflanzenentwicklung**

nFK in %	Pflanzenentwicklung
< 30	die Pflanze steht unter Wasserstress, mit Ertragseinbußen ist zu rechnen
30 - 50	noch ausreichende Wasserversorgung der Pflanzen
50 - 80	optimales Wasserangebot
80 - 100	Beginn der Überversorgung, Gefahr von Sauerstoffmangel
> 100	Überversorgung und Sauerstoffmangel

Wie berechne ich die nFK meines Schlages?

Die Feldkapazität wird in Volumenprozent oder in mm durchwurzelbaren Bodenraum angegeben. Hierbei entspricht ein Vol. % einem mm Wasser in 10 cm Boden. Die nFK multipliziert mit der Bodentiefe ergibt den Wasservorrat bis 60 cm Tiefe am Beispiel des anlehmigen Sandes (Tab. 4), $13 \text{ Vol. \%} \times 60 \text{ cm Bodentiefe} / 10 = 78 \text{ mm}$.

Tab. 4: **Nutzbare Feldkapazität in Abhängigkeit von Bodenart und Durchwurzelungstiefe sowie Standardwerte für die Bewässerungsmenge bei einer Zielfeuchte von 80 %nFK**

Boden	nFK (mm) Vol. (%)	nFK (mm) bei 40 cm Bodentiefe	nFK (mm) bei 60 cm Bodentiefe	Bewässerungsmenge (mm) pro 10 cm Bodentiefe
Sand (S)	8	32	48	2,6
anlehmiger Sand (S)	13	52	78	4,3
lehmiger Sand (IS)	16	64	96	5,3
stark lehmiger Sand (sIS)	17	68	102	5,6
sandiger Lehm (sL)	19	76	114	6,3
Lehm (L)	17	68	102	5,6

Die Kartoffel bildet ihren Hauptwurzelbereich in bis zu 40 cm Tiefe aus und kann dementsprechend den Bodenwasservorrat nur bis in diese Tiefe ausschöpfen. Mais oder Zuckerrüben dagegen können den Boden bis in größere Tiefen erschließen und daher ein größeres Bodenvolumen für die Deckung ihres Wasserbedarfs nutzen. Die durchwurzelbare Bodentiefe ist abhängig vom Boden und der angebauten Kultur (Tab. 5).

Tab. 5: **Wurzeltiefe einiger Kulturarten**

20 – 30 cm	Kopfsalat, Erdbeeren
30 – 60 cm	Bohnen, Gurken, Zwiebeln, Tomaten
bis 60 cm	Sommergetreide
60 – 90 cm	Wintergetreide, Mais
mehr als 90 cm	Zuckerrüben, Spargel

Um die Wasserspeicherfähigkeit eines Standortes zu ermitteln, sind die Bodenkennwerte und die nutzbare Bodentiefe in Erfahrung zu bringen. Sie braucht nur einmal errechnet werden. Die notwendigen Daten sind der Reichsbodenschätzung zu entnehmen.

Der Zeitpunkt der Zusatzwassergabe richtet sich nach der aktuellen Bodenfeuchte. Sie muss gemessen, bzw. bestimmt werden.

Wie ermittle ich die aktuelle Bodenfeuchte?

Grundsätzlich muss bei den Verfahren zur Bodenfeuchtebestimmung unterschieden werden, ob die Bodenfeuchte gemessen oder errechnet werden soll. Bei den **Messverfahren** werden in den Boden Sensoren eingebracht. Sie messen direkt oder indirekt die Bodenfeuchte. Die Ergebnisse lassen sich graphisch darstellen. Die Methode der **Bodenwasserberechnung** ist eine Bilanzierung der dem Boden zugeführten Wassermenge (Niederschlag, Beregnung) und den Wasserverlusten durch Pflanzenwuchs und Bodenverdunstung. Ausgehend von Bodenkennwerten (Feldkapazität, permanenter Welkepunkt, Durchwurzelungstiefe) und Witterungsdaten lässt sich das Entleeren und Auffüllen der Bodenwasservorräte rechnerisch ermitteln. Die Verdunstungsberechnung und damit die Abschätzung der sogenannten potenziellen Evapotranspiration wird durch den Einsatz verschiedener Berechnungsprogramme komfortabler und hat sich als sehr hilfreich erwiesen.

Tab. 6: **Übersicht zur Beregnungssteuerung und deren Kosten**

Gerät	Einsatzbereich	Genauigkeit	Handhabung	Kosten €/Stück
Tensiometer	0 – 85 kPa *	mittel	mittel	80,- €
Gipsblock	50 – 1.500 kPa	mittel	leicht	25,- €
Watermarksensor	20 – 180 kPa	mittel-gut	leicht	30,- €
TDR-/Theta-Sonde	0 – 100 % FK	sehr gut	mittel	75,- €
FD/Kapazitiv	0 – 100 % FK	sehr gut	mittel	75,- €
Wasserbilanz (Programm des DWD via Internet)	0 – 100 % FK	mittel-gut	leicht	65,- €**
Trocknung von Bodenproben	0 – 100 % FK	sehr gut	aufwändig	100,- €

Anmerkungen

Gerät 1 – 3: zusätzlich notwendig ist ein Lesegerät für ca. 300 – 500,-

Gerät 4: Lesegerät Theta-Sonde ca. 600,- €, TDR-Feldmessgerät ca. 3.000,- €

Gerät 5: Lesegerät FD-Sonde ca. 1.000,- €, Übertragung Daten per Funk + Software ca. 6.000,- €

* 1.000 kPa (KiloPascal) entsprechen einer Saugspannung von etwa 10 bar (100 m WS)

** Kosten pro Jahr und für 8 Schläge



Abb. 3:

Sensoren zur Bestimmung der Bodenfeuchte

(Sensor zur kapazitiven Bodenfeuchtebestimmung, Tensiometer, Gipsblock)

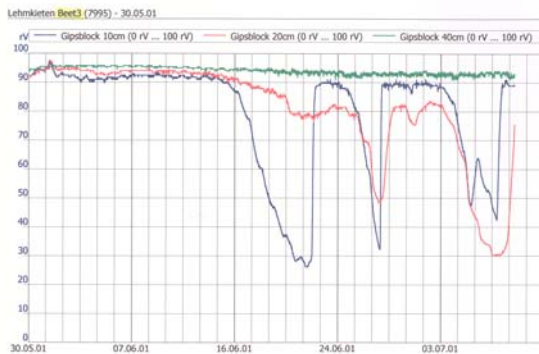
Messung der Bodenfeuchte mit Sensoren

Mittlerweile wird eine Fülle von Sensoren angeboten, die sich für die Messung der Bodenfeuchte eignen. Sie unterscheiden sich in der Genauigkeit, der Einsatzmöglichkeit, der Handhabung und in erster Linie im Preis. Grundsätzlich sollte man bei der Auswahl des in Frage kommenden Sensors für den praktischen Einsatz darüber nachdenken, ob es bei der Erfassung auf eine hohe Genauigkeit der

Daten ankommt, wie die Benutzerfreundlichkeit ist und wie sich der Zeitaufwand gestaltet, um die Aussage zu erhalten, die der Nutzer von der Technik benötigt.

Bei der Messung der Bodenfeuchte mit den leicht zu handhabenden und preiswerten Gipsblöcken erhält der Benutzer relative Werte zur Bodenfeuchte in Abhängigkeit von der Zeit.

Abb. 4: **Verlauf der Bodenfeuchte im Kartoffelbeet in 10 cm, 20 cm und 40 cm; Messung mit Gipsblöcken**



Die Abnahme der Bodenfeuchte in den einzelnen Bodenschichten kann graphisch gut verfolgt werden. Es ist bei der Beregnungssteuerung darauf zu achten, dass insbesondere die tieferen Schichten (> 30 cm) nicht zu sehr austrocknen.

Da die Werte relativ sind, sollte die Beregnungssteuerung mit Sensoren solange mit der Berechnung der Bodenfeuchte einhergehen, bis der Benutzer genügend Erfahrung hat, um die relativen Werte in Beziehung zur nFK zu setzen.

Durch Bodenunterschiede variieren die gemessenen Werte von Messpunkt zu Messpunkt sehr stark. Genauigkeit verspricht hier eine häufigere Messung. Damit sind jedoch ein höherer Aufwand (mehrmaliges Messen pro Tag) oder höhere Kosten durch die Datenübertragung per Funk verbunden. Im landwirtschaftlichen Bereich ist auch bei größeren Beregnungsbetrieben zu prüfen, ob die Einsparungen an Wasser und Energie ausreichend sein werden, um die Gerätekosten decken zu können.

Errechnen der Bodenfeuchte durch die Klimatische Wasserbilanz

Mit der Wasserbilanz wird das Gleichgewicht zwischen dem Wasser, das dem Boden durch Niederschlag und Beregnung zugeführt wird und dem Wasserverlust durch Pflanzenwuchs und Bodenverdunstung ermittelt. Ausgehend von Bodenkenndaten und Witterungsdaten lässt sich das Entleeren oder Auffüllen der Bodenwasservorräte rechnerisch verfolgen. Bei der Berechnung wird zu einem Zeitpunkt der Wassersättigung des Bodens begonnen. Dann wird der tägliche Wasserverbrauch eines Pflanzenbestandes summiert. Die Niederschläge und die Beregnungsmengen werden abgezogen. Solange der Eintrag an Wasser durch Niederschlag größer ist als der Verbrauch, ergibt sich eine positive Bilanz und die Bodenfeuchtigkeit nimmt zu. Steigt dagegen die Verdunstungsmenge stärker an als der Niederschlag, nimmt die Bodenfeuchte ab und es kommt zu einer negativen Wasserbilanz. Ab einem Schwellenwert entsprechend der Leistung der Beregnungsanlage sollte beregnet werden.

Der optimale Beginn der Beregnung wird im Allgemeinen bei einem Absinken der nFK < 50 % angenommen, wobei die Spanne von 40 – 50 % nFK als wirtschaftlich angesehen werden kann. Das gilt beispielsweise für Kartoffeln mittlerer Reifegruppe. Frühkartoffeln sollten ab 45 % nFK beregnet werden, späte Reifegruppen zur Zeit des Knollenansatzes bis zur Blüte erst ab 35 % nFK. Spätestens hier wird deutlich, dass der Wasserbedarf neben der Speicherfähigkeit des Bodens und dem Klima entscheidend von der Kulturart und dem Entwicklungsstand der Pflanze abhängt.

Pflanze

Um die Wasserbilanz zu berechnen, benötigt man die täglichen Verdunstungswerte, die täglichen Niederschläge und die Werte des Wasserverbrauchs der entsprechenden Kultur in den einzelnen Wachstumsstadien (kc-Werte). Die Verdunstungswerte können über den Wetterdienst bezogen werden (Wetterfax, Internet über agrowetter). Die Verdunstung wird in mm/Tag angegeben und meist nach der Methode von Penman berechnet. Der Penman-Wert entspricht der Verdunstung eines gut mit Wasser versorgten Grasbestandes. Die täglichen Niederschläge können selbst gemessen oder auch dem Wetterfax entnommen werden. Die kc-Werte nach Paschold et al. (1992) für die wichtigsten landwirtschaftlichen Kulturen sind in Tabelle 7 angegeben. Für weitere Kulturen können unter <http://fh-web1.informatik.fh-wiesbaden.de/go.cfm/fb/103/lpid/16/sprachid/1/sid/45.html> die kc-Werte nachgelesen werden.

Tab. 7: **Pflanzenkoeffizienten (kc-Werte) für die Beregnungssteuerung der wichtigsten landwirtschaftlichen Kulturen**

Kulturart	Stadium 1	Stadium 2	Stadium 3	Stadium 4
Kartoffeln früh	nach Legen 0,5	ab Blatt- und Stängelbildung 0,8	Längenwachstum 1,0	Bestandesschluss 1,2
Kartoffeln spät	nach Legen 0,4	Triebe > 10 cm 0,6	Längenwachstum 0,9	Bestandesschluss 1,1
Körnermais	ab Auflaufen 0,4	ab 7-Blatt 0,7-1,1	Rispen- sch. – Ende Blüte 1,2	Kornausbild. – Teigreife 0,8-1,0
Sommergetreide	ab Auflaufen 0,3	Bestandesschluss 0,4-0,6	Schossen - Milchreife 1,0	
Wintergetreide	ab Auflaufen 0,2	Bestandesschluss 0,4-0,6	Schossen - Milchreife 1,0	
Zuckerrüben	ab Auflaufen 0,3	ab 5-Blatt 0,4	Bestandesschluss 1,0	Rübe > 12 cm 0,5-0,8
Feldgras	ab 10 cm Wuchshöhe 0,5			

Wie kann ich die klimatische Wasserbilanz errechnen?

Zur Berechnung der täglichen Wasserbilanz wird die folgende Formel verwendet:

$$\text{Tägliche Wasserbilanz} = \text{Verdunstung} \times \text{kc} - \text{Niederschlag}$$

Die Bilanzrechnung sollte immer zu einem Zeitpunkt beginnen, wenn der Boden wassergesättigt ist, z.B. im zeitigen Frühjahr. Als Beispiel wird ein anlehmiger Sand mit 60 cm Bodentiefe verwendet. Die Standardberegnungsgabe liegt bei 25 mm. Die zu beregnende Kultur ist Kartoffel (RG spät).

Beispiel für das Errechnen der täglichen Wasserbilanz

Datum	Verdunstung * (mm)	kc-Wert	- Niederschlag (mm)	= tägliche Wasserbilanz (mm)
10.6.	3,9	0,9	0	-3,5
11.6.	4,1	0,9	0	-3,7
12.6.	4,5	0,9	0	-4,1
13.6.	3,5	0,9	3	-0,2
14.6.	3,2	0,9	3	+0,1

Die Gesamtwasserbilanz von -11,4 mm ergibt sich aus der Aufsummierung der täglichen Wasserbilanzen. Ab einem Defizit von -25 mm sollte beregnet werden.

Die rasche Datenbereitstellung über Faxabruf und Internet erlaubt die individuelle Berechnung der Wasserbilanz im Betrieb. Komfortabler, aber auch teurer ist die Berechnung der Wasserbilanz mit dem eigenen PC durch entsprechende Softwareprogramme. Die Klimadaten werden hierbei von einer Station abgerufen oder vor Ort mit einer eigenen Wetterstation gemessen. Zusätzlich können für das Steuern der Beregnung Magnetventile ein- oder ausgeschaltet werden. Die Beregnungsprogramme, die über das Internet angeboten werden, sind sehr benutzerfreundlich und leicht zu bedienen. Unter www.agrowetter.de oder www.helm.de werden leistungsfähige Softwarelösungen angeboten.

Planung von Beregnungsanlagen

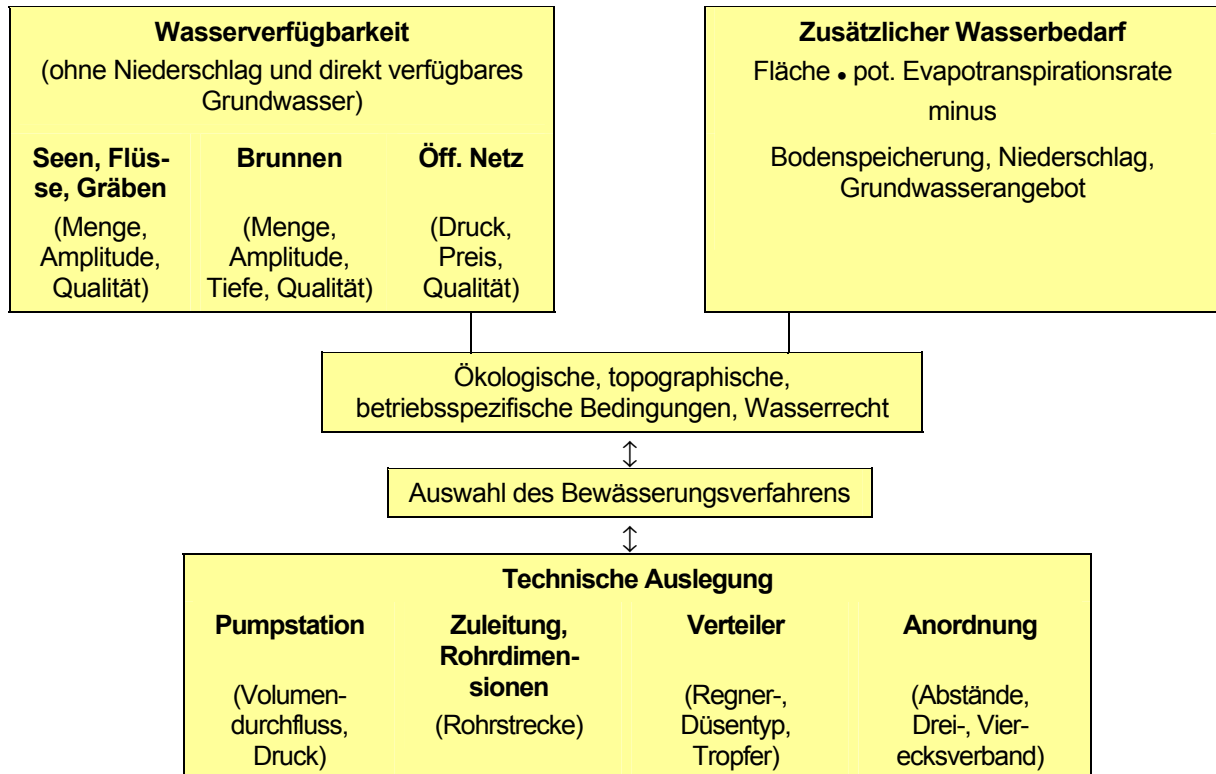
Bei der Planung von Beregnungsanlagen ist eine Vielzahl von Faktoren zu berücksichtigen. Sie sollte deshalb, soweit nicht auf regionale Erfahrungen zurückgegriffen werden kann, Fachleuten übertragen werden. Einen Überblick über wichtige Einflussgrößen gibt Abb. 5.

Die Wasserentnahme und der Bau einer Beregnungsanlage sind von einem Genehmigungsverfahren abhängig. In Brandenburg ist das Landesumweltamt die oberste Wasserbehörde. Die Landkreise und kreisfreien Städte fungieren als untere Wasserbehörden. Die Genehmigung über die Wasserentnahme erteilt je nach Zuständigkeit die obere oder untere Wasserbehörde. Die obere Wasserbehörde ist zuständig bei der Entnahme von mehr als 5.000 m³/Tag als Oberflächenwasser oder mehr als

2.000 m³/Tag als Grundwasser. Folgende Unterlagen sind bei der jeweiligen Wasserbehörde einzureichen:

- Ermittlung und Deckung des Wasserbedarfs, Bodenkarte und Schichtenverzeichnis, Lageplan
- Planungsunterlagen für wichtige Bauteile und maschinelle Anlagen
- hydraulische Berechnungen
- Kostenvoranschlag
- Wirtschaftlichkeitsberechnung
- teilweise eine ökologische Verträglichkeitsbilanz

Abb. 5: **Faktoren für die Planung einer Beregnungsanlage**



Die Auslegung einer Beregnungsanlage hat von folgenden Größen auszugehen:

- Beregnungsfläche (F)
- tägliche Betriebsstunden (t)
- Beregnungsturnus (T)
- Beregnungshöhe (H)

Die Beregnungsfläche und die täglichen Betriebsstunden sind betriebspezifische Daten. Der Beregnungsturnus ist der Evapotranspirationsbeanspruchung (Verdunstung) und der nutzbaren Feldkapazität (nFK) des Bodens anzupassen. Die jeweilige Beregnungshöhe richtet sich nach dem Bewässerungsziel sowie dem verbliebenen Wassergehalt und Wasserspeichervermögen des Bodens. Geschlossene Bestände erhalten im Mittel 20-25 mm, bei höherer Wasserspeichervermögen des Bodens bis zu 30 mm in einer Gabe.

Aus diesen Größen ergibt sich rechnerisch der stündliche Wasserbedarf (Q) nach der Gleichung

$$Q = \frac{F \cdot H \cdot 10}{T \cdot t} \quad \text{mit}$$

- Q = Wasserbedarf im m³/h
- F = Beregnungsfläche in ha
- H = Beregnungshöhe in mm
- T = Beregnungsturnus in Tagen
- t = tägl. Beregnungsdauer in h

Damit lassen sich durch entsprechende Umstellung der Formel bei vorgegebener stündlicher Wassermenge auch die anderen Größen wie die bewässerbare Fläche, die mögliche Beregnungshöhe, die notwendigen Tage für die Bewässerung oder die erforderlichen täglichen Betriebsstunden bestimmen.

Beispiel für die Beregnungshöhe:

$$H = \frac{Q \cdot T \cdot t}{F \cdot 10}$$

Mit dieser Gleichung kann auch berechnet werden, wie viel Wasser innerhalb eines Beregnungsturnus gefördert wird. Hieraus ist der gesamte Jahreswasserbedarf abzuleiten – eine Angabe, die für jedes Wasserrechtsverfahren benötigt wird.

Die Beregnungsdauer (A_h) je Aufstellung errechnet sich nach der Formel

$$A_h = \frac{H \cdot F \cdot 10}{Q}$$

mit $H =$ Beregnungshöhe in mm
 $F =$ Beregnungsfläche pro Aufstellung in ha
 $Q =$ Wasserbedarf in m³/h

Die in 10 Tagen beregnete Fläche wird auf der Basis einer Beregnungshöhe von 30 mm und den für das jeweilige Verfahren optimalen Schlagabmessungen errechnet.

Welche Beregnungstechnik steht zur Verfügung?

Beregnungssysteme werden in ortsfeste, teilortsfeste und bewegliche Anlagen unterschieden.

Ortsfeste Anlagen bestehen von der Pumpstation bis hin zum Regner aus festverlegten Rohrleitungen. In der Beregnungssaison brauchen jeweils nur die Regner aufgesetzt zu werden, der Betrieb kann weitgehend automatisiert erfolgen. Daher ist auch der Arbeitszeitbedarf gering. Diese Anlagen sind kapitalintensiv und werden in Dauerkulturen und Beregnungsfruchtfolgen verwendet.

Teilortsfeste Anlagen haben eine feste Pumpstation und Wasserentnahmestelle sowie eine meist unterirdisch verlegte Hauptleitung mit Hydranten. Ab Hydrant werden bewegliche Anlageteile benutzt. Dieses Verfahren eignet sich aus Kostengründen für Einzelbetriebe mit arrondierter Lage sowie für Beregnungsverbände.

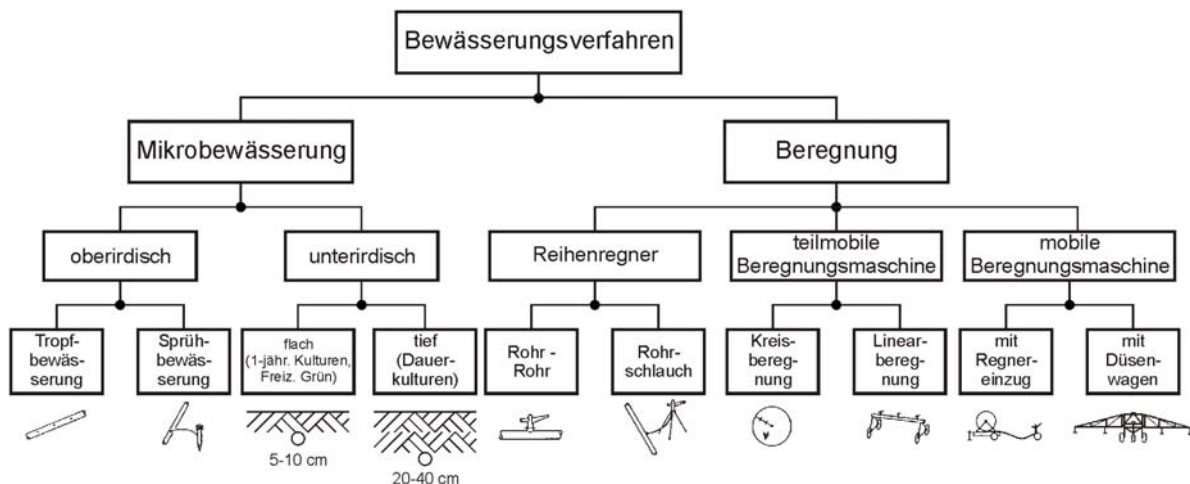
Bewegliche Beregnungsanlagen werden oberirdisch eingesetzt und müssen während der Beregnungsperiode auf- und abgebaut werden. Daher ergibt sich auch ein hoher Arbeitszeitbedarf. Oberflächenwasser oder oberflächennahes Grundwasser müssen in Feldnähe vorhanden sein. Die Kosten sind geringer als bei anderen Anlagenarten.

Weitergehende Informationen zur Beregnungstechnik sind unter www.fal.de im Institut für Betriebstechnik und Bauforschung zu finden.

Wie wird das Wasser verteilt?

Die Verfahren der Bewässerung lassen sich in fünf Gruppen unterteilen, die sich vor allem hinsichtlich ihres Einsatzes unterscheiden. Flächendeckend eingesetzte Bewässerungsverfahren sind vor allem bei Intensivkulturen und unter ariden Klimabedingungen zu finden. Mobil versetzbare Beregnungsverfahren sind vor allem in landwirtschaftlichen Kulturen unter humiden Klimabedingungen üblich.

Abb. 6: Verfahren der Feldbewässerung

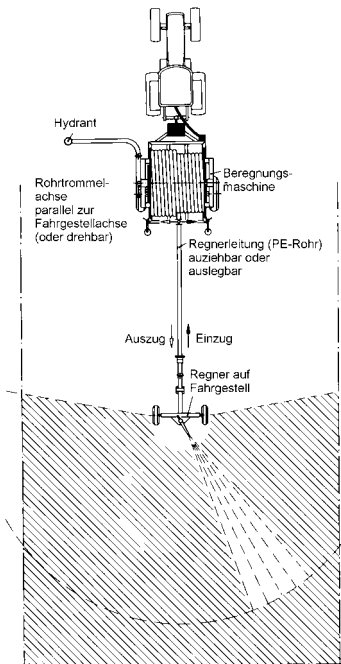


Zur **Mikrobewässerung** gehören die Verfahren der Tropfbewässerung, Sprühbewässerung und der Unterflurbewässerung. Auf diese Verfahren wird nicht näher eingegangen, weil sie für die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen nur eine geringe Bedeutung haben.

Bei den **Reihenregnerverfahren** werden entweder mehrere Regner direkt oder über Seitenschläuche mit der Regnerleitung verbunden. Es werden Mittelstark- oder Schwachregner eingesetzt. In der Praxis überwiegt die Rohrbewegung, die einen hohen Arbeitszeitbedarf beim Auf- und Abbau oder Umsetzen erfordert.

Mobile Beregnungsmaschinen sind entweder mit wickelbaren Rohren oder mit Schläuchen ausgerüstet. Mobile Beregnungsmaschinen sind nach Trommelanordnung zu unterscheiden (siehe Abb. 7).

Abb. 7: **Verfahrensablauf mobile Beregnungsmaschine mit Regnereinzug**



Mit fester Anordnung der Rohrtrommel quer zur Fahrgestellachse. Das wickelbare PE-Rohr kann nur ausgezogen werden.

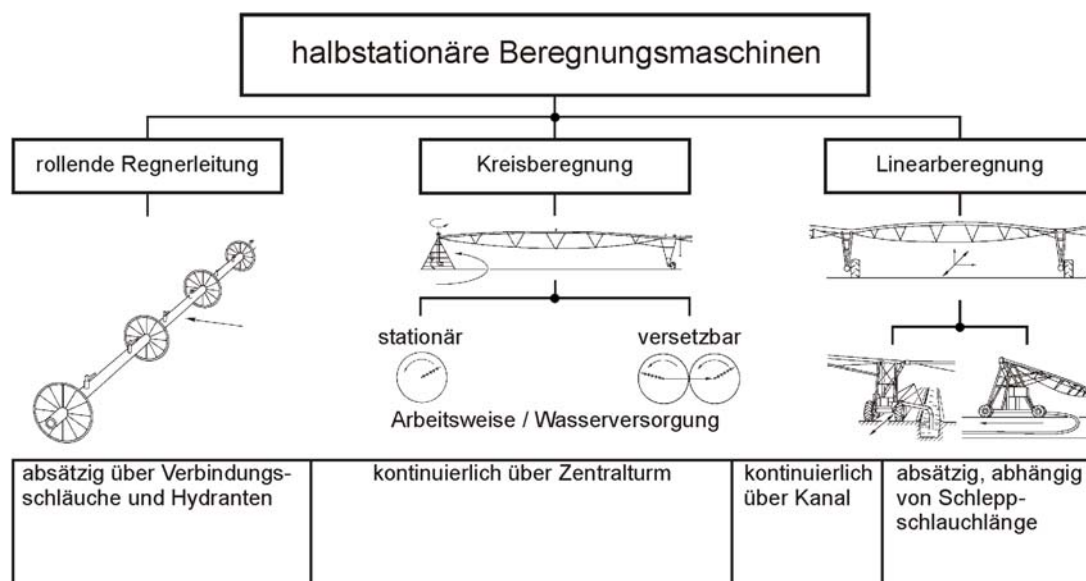
Mit fester Anordnung der Rohrtrommel **parallel** zur Fahrgestellachse. Das wickelbare PE-Rohr kann ausgelegt oder ausgezogen werden.

Mit drehbarer Rohrtrommelanordnung auf dem Grundrahmen. Das wickelbare PE-Rohr kann ausgelegt oder ausgezogen werden.

Bei gegenüberliegenden Feldstücken kann zum Ausziehen des wickelbaren PE-Rohres nur die Rohrtrommel um 180° gedreht werden, bei unveränderter Beregnungsmaschinenaufstellung.

Halbstationäre Beregnungsmaschinen sind im Betrieb beweglich, aber an einen Einsatzort gebunden. Hierzu gehören z. B. die Linear- und Kreisberegnungsmaschinen (siehe Abb. 8).

Abb. 8: **Verfahren halbstationärer Beregnungsmaschinen**



Der Einsatz dieser Verfahren setzt eine großstrukturierte Landwirtschaft mit Schlaggrößen ab 25 ha mit häufigen Beregnungseinsätzen voraus. Die Wasserverteilung erfolgt über Düsen oder

Regner bei einem Betriebsdruck von 2 bis 4 bar. Durch die baukastenartige Konstruktion dieser Anlagen werden sie bei Planungen unterschiedlichen Flächengrößen angepasst. Die durchschnittlichen Aufbaulängen betragen bei den Linear-Beregnungsmaschinen 400 m und bei den Kreisberegnungsmaschinen 400 m (Radius). Bei der Verwendung von Mini-Pivots sind auch kleinere Längen möglich.

Unterscheidungsmerkmale sind die Art des Antriebes (elektrisch, hydraulisch), die Steuerung, die Abmaße, die Ausrüstung für die Wasserverteilung usw. Bei den Kreis-Beregnungsmaschinen ist ein vollautomatisierter, unbeaufsichtigter Beregnungseinsatz möglich. Das Umsetzen an einen anderen Einsatzort ist theoretisch möglich, erfordert aber einen hohen Arbeitszeitaufwand.

Im Folgenden werden nur einige spezifische Daten zu Kreisberegnungsmaschinen dargestellt. Die wesentlichen technischen Kenndaten zur Anlagengröße, zum Betriebsdruck und zum durchschnittlichen Volumendurchfluss sind aus Tab. 8 zu ersehen.

Tab. 8: **Technische Kenndaten der Kreisberegnung**

Radius m	Rohrdurchmesser mm	beregnete Fläche ¹⁾ ha	Druck am Zentralturm ²⁾ bar	Volumendurchfluss m ³
200	133	16	2,0	bis 120
300	133	33	2,5	bis 150
400	168	57	3,0	bis 220
500	168	87	3,5	bis 280

1) mit 15 m Überhang und 10 m nutzbare Wurfweite eines Mittelstarkregners

2) Wasserverteilung über Düsen

Ein anderer wichtiger Einsatzparameter ist die Umdrehungszeit der Anlagen und die damit verbundene Pumpenleistung. Für drei verschiedene Beregnungshöhen und eine durchschnittliche Verdunstung pro Tag von 3,5 mm/d sind in Tabelle 9 die weiteren Kenndaten dargestellt.

Tab. 9: **Beregnungshöhe und abhängige Kenndaten zur Umdrehungszeit einer Kreisberegnungsmaschine**

Beregnungshöhe mm	Verdunstung pro Tag mm	notwendiger Turnus Tage	benötigte Beregnungszeit (Tage)	
			bei 120 m ³ /h	bei 240 m ³ /h
15	3,5	4,3	3,2	1,6
20	3,5	5,7	4,3	2,2
25	3,5	7,2	5,4	2,7

Auch eine Kreisberegnungsmaschine mit 400 m Radius kann mit 120 m³/h betrieben werden, ohne dass es zu Engpässen bei der Umdrehungsgeschwindigkeit kommt.

Bei der Berechnung der Festkosten der Beregnung ist die Bereitstellung der Energie der größte Kostenfaktor. Der weitaus größte Teil des Beregnungswassers in Brandenburg ist Grundwasser, welches mit hohem Energieaufwand aus teilweise erheblichen Tiefen gefördert werden muss. Bei den derzeit hohen Kosten für Dieselkraftstoff sollte bei der Planung der Beregnungsanlagen strombetriebenen Anlagen der Vorrang gegeben werden.

Strombetriebene Beregnungsmaschine	Kraftstoffbetriebene Beregnungsmaschine
Vorteile	
wartungsfrei, lange Lebensdauer	niedriger Kapitalbedarf
hohe Betriebssicherheit	
sehr gute Handhabbarkeit	Mehrfachnutzung möglich
geräuscharmer Betrieb	
Nachteile	
Bereitstellungs-, bzw. Anschlusskosten können sehr hoch sein	höherer Arbeitszeitbedarf (Wartung, Betanken) Verwendung von Schmierstoffen und Ölen

Letztendlich sind für die Auswahl der Beregnungstechnik der Kapitalbedarf und die Gesamtkosten von Interesse. Die festen Kosten werden pro ha und Jahr, die variablen zuerst pro mm Regengabe und anschließend pro ha und Jahr errechnet.

Tab. 10: **Kenndaten, Kapitalbedarf und Kosten verschiedener Beregnungsverfahren (3 Gaben ca. 30 mm/a)**

Verfahren	Anlagen- größe	Flächen- leistung	Kapitalbedarf		Fest- kosten	Energie	Arbeit + Schlepper	Gesamt- kosten
			€	€/ha				
		ha						
Kreis- beregnungs- maschine	Radius ¹ 425 m	57	61.959	1.087	157	40	8	205
	208 m	13,6	25.498	1.875	269	40	8	317
Mini Pivot	108 m	3,7	14.616	3.950	572	40	8	620
Linear- maschine	Baulänge 400 m	60	79.250	1.320	189	40	15	244
Rohrtrommel	500 m	27,5	22.851	831	124	71	21	216

Bei der Flächenleistung für die mobile Beregnungsmaschine ist anzumerken, dass sich die Flächenleistung pro Maschine verdoppelt, wenn man die Maschine zuerst in Getreide und danach zu Hackfrüchten einsetzt. Entsprechend verhalten sich der Kapitalbedarf pro ha und die Festkosten.

In der Anschaffung und folgerichtig in den Festkosten ist die Kreisberegnungsmaschine teurer als die mobile Beregnungsmaschine. Betrachtet man die variablen Kosten, dreht sich das Verhältnis um. Die Gesamtkosten sind unterschiedlich, je nach dem welche Flächenleistung man den mobilen Beregnungsmaschinen zuordnet. Vor- und Nachteile sind dem Verfahrensvergleich in Tabelle 11 zu entnehmen.

Tab. 11: **Verfahrensvergleich**

Mobile Beregnungsmaschine	Kreisberegnungsmaschine
Vorteile	
kleine und mittlere Betriebsgrößen	niedrige Verfahrenskosten
Anpassung an Feldform	niedriger Arbeitszeitbedarf
Anpassung an Feldfrucht	gute Wasserverteilung
vertretbarer Kapitalbedarf	geringer Energiebedarf
hohe Einsatzflexibilität	Mehrfachnutzung (Düngung) möglich
Nachteile	
höhere Verfahrenskosten	nur für große Feldflächen einsetzbar
höherer Arbeitszeitbedarf	flächengebunden
schlechtere Wasserverteilung	einheitliche Kulturen
hoher Energiebedarf	kaum rechteckige Flächenberegnung
keine Mehrfachnutzung	hoher Kapitalbedarf zur Anschaffung

Wirtschaftlichkeit der Beregnung

Vor der Neuanschaffung einer Beregnungsanlage und bei vorhandener Beregnungstechnik ist die Beregnungswürdigkeit, d.h. die Wirtschaftlichkeit zu prüfen. Die Beschaffung und der Betrieb der Beregnung sind nur dann wirtschaftlich, wenn langfristig der

Mehrerlös durch Beregnung (Mehrertrag x Preis)	höher ist	als die Kosten der Beregnung. (feste + variable Kosten)
--	------------------	---

Der Mehrerlös resultiert aus den höheren Erträgen und der meist besseren Qualität. Oft ist die Beregnung eine Voraussetzung zur Qualitätssicherung, da Ware unter einem qualitativen Mindeststandard nicht verkäuflich ist. Mit welchen Kosten bei den einzelnen Beregnungsverfahren gerechnet wurde, ist bereits in Tabelle 10 dargestellt. Die Festkosten können im Einzelfall abhängig von der Wasserbeschaffung und der -förderung stark abweichen.

Im Pilotprojekt Beregnung des Landes Brandenburg (1999-2004) zeigte sich, dass die Hackfrüchte (Kartoffeln und Zuckerrüben) das Zusatzwasser am effektivsten verwerten. In Feldversuchen des Landesamtes für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung (1996 bis 2003) wurde bei

Speisekartoffeln mittlerer Reifegruppe eindrucksschnittlicher Mehrertrag von 146 dt/ha erreicht. Das entspricht einem Ertragszuwachs von 140 kg je mm Beregnungswasser und Jahr. Erzielbare Mehrerlöse sind in Tabelle 12 dargestellt.

Tab. 12: **Auswirkung der Beregnung einiger Kulturen auf das Betriebsergebnis**

Versuchsergebnisse aus dem Pilotprojekt Beregnung des Landes Brandenburg (1999-2004) bei 25 BP ¹⁾, bei 35 BP ²⁾ und vom Standort Berge der Humboldt-Universität zu Berlin (1952-2000) ³⁾ bei 40 BP*

	Speisekartoffeln²⁾	Körnermais¹⁾	Winterweizen³⁾	Zuckerrüben³⁾	Braugerste¹⁾
Ertrag (dt/ha) - unberechnet - berechnet	380 526	61 82	58 68	517 630	43 55
Ertragsdifferenz (dt/ha)	146	21	10	113	12
Erlöse (€/ha) - unberechnet - berechnet	2.280,- 3.156,-	671,- 902,-	522,- 680,-	2.327,- 2835,-	387,- 605,-
Erlösdifferenz (€/ha)	876,-	231,-	158,-	508,-	218,-
Zusatzwasser (mm) * 2,50 €/mm Gesamtkosten	100 250,-	80 200,-	62 155,-	116 290,-	50 125,-
Beregnungskostenfreie Leistung (€/ha)	626,-	31,-	3,-	218,-	93,-
Speisekartoffeln mit 6,- €/dt, Qualitätsweizen (A) mit 10,- €/dt, Brotweizen (B) mit 9,- €/dt, Braugerste mit 11,- €/dt und Futtergerste mit 9,- €/dt, Körnermais mit 11,- €/dt und Zuckerrüben mit 4,5 €/dt, Mischkalkulation A/B Rüben mit 17% Zucker					

*Quelle: 50 Jahre pflanzenbauliche Versuchs- und Forschungstätigkeit am Standort Berge, HU-Universität zu Berlin (2001)

In Brandenburg dominieren leichte Böden mit geringem Wasserspeichervermögen bei einem gleichzeitig auftretenden jährlichen Wasserdefizit während der Hauptvegetationszeit von durchschnittlich 120 - 140 mm Wasser.

Als beregnungswürdige landwirtschaftliche Kulturen sind vorzugsweise Kartoffeln und Zuckerrüben zu nennen. Auch bei der Braugersten-, Mais-, und in geringem Umfang bei der Weizenberegnung werden positive beregnungskostenfreie Leistungen erreicht. Oftmals können durch die Beregnung erst die gewünschten Qualitäten erzielt werden. Die sonstige Getreideberegnung ist bei den derzeitigen Erzeugerpreisen mehrjährig nicht wirtschaftlich.

Auf der Basis der Richtlinie des Ministeriums für ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz über die Gewährung von Zuwendungen für einzelbetriebliche Investitionen in landwirtschaftlichen Unternehmen vom 12.05.2004, geändert mit dem Erlass vom 06.04.2005 ist im Bereich der Bewässerung die Förderung von

- Investitionen zur Wasserförderung und für Zuleitungen,
- Investitionen zur Wasserausbringung,
- Investitionen zum Bau von Wasserspeichern und Bewässerungsnetzen und
- Investitionen zum Errichten geschlossener Bewässerungssysteme möglich.

Die Bewilligungsbehörde ist die InvestitionsBank des Landes Brandenburg. Die Antragstellung erfolgt mit einem formgebundenen Antrag über die Hausbank an die InvestitionsBank.

**Ministerium für Ländliche Entwicklung,
Umwelt und Verbraucherschutz
des Landes Brandenburg**

Referat Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

Heinrich-Mann-Allee 103
14473 Potsdam
Telefon: 0331/866-7017
Fax: 0331/866 -7018
Internet: www.mluv.brandenburg.de
E-Mail: pressestelle@mluv.brandenburg.de

**Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft
und Flurneuordnung**

Ringstraße 1010
15236 Frankfurt (Oder)
Internet: www.mluv.brandenburg.de/info/lvlf
E-Mail: poststelle@lvlf.brandenburg.de

