

## RATIONELLE STEUERUNG DER FELDBERECHNUNG

Mit der zunehmenden Anwendung der Feldberechnung wächst in der Praxis das Bedürfnis nach einer „einfachen Methode“ zur Steuerung der Regengaben. Die Wirtschaftlichkeit der Feldberechnung läßt sich auf die Dauer nämlich nur dann sichern, wenn es dem Berechnungswirt gelingt, auftretende Lücken in der natürlichen Wasserversorgung der Pflanzen mit möglichst geringem Aufwand an künstlich zugeführtem Wasser zu schließen. Dies setzt allerdings das sichere Erkennen solcher Mangelperioden voraus. In der Berechnungspraxis werden diese Voraussetzungen häufig zu wenig beachtet und die Wassergaben meist nur auf Grund einer oberflächlichen Beurteilung der Pflanzenbestände oder ganz nach dem Gefühl verabfolgt. Zwar ist es einem guten Berechnungswirt auf Grund langjähriger Erfahrungen durchaus möglich, zu brauchbaren Regeln für die Berechnung unter seinen Boden- und Klimaverhältnissen zu kommen. Ein solches Vorgehen kann aber auch zu einem falschen Einsatz der Berechnung führen, weil die Witterung von Jahr zu Jahr großen Schwankungen unterworfen ist und sich damit die Voraussetzungen für die Berechnung beständig ändern. Es wäre also falsch, in jedem Jahr nach demselben Schema zu berechnen.

### Wasserhaushalt von Boden und Pflanze

Methoden für die Steuerung der Feldberechnung können auf zwei Wegen erarbeitet werden: Entweder über eine genaue Kenntnis der Zusammenhänge zwischen Witterungsablauf und Pflanzenwachstum oder auf der Grundlage von Bodenfeuchtemessungen. Sowohl dem ersten – mehr indirekten – Vorgehen als auch dem zweiten, direkten Weg müssen die gesetzmäßigen Beziehungen im Wasserhaushalt von Boden und Pflanze zugrundegelegt werden. Deshalb erhält man nur dann einen vollständigen Einblick in diesen Fragenkomplex, wenn man bei der Entwicklung solcher Steuerungsmethoden sowohl die bodenphysikalischen als auch die pflanzenbaulichen und meteorologischen Zusammenhänge näher betrachtet.

Der Wasserhaushalt der Pflanzen ist auf das engste mit dem Wasserhaushalt des Bodens verknüpft. Beide werden wiederum von der Witterung beeinflusst. Ihr Ablauf entscheidet darüber, wie sich die Wasserversorgung der Pflanze und damit ihr Ertrag gestaltet. In dem Wechselspiel zwischen Boden, Pflanze und Witterung hat der Boden eine Mittlerrolle, denn er vermag das Wasser der natürlichen Niederschläge zu speichern und den Pflanzen in den niederschlagsfreien Witterungsperioden zur Verfügung zu stellen. Durch dieses Speicherungsvermögen kann der Boden Unregelmäßigkeiten in der Niederschlagsverteilung bis zu einem gewissen Grade ausgleichen. In dieser Hinsicht bestehen jedoch bedeutende Unterschiede zwischen den Bodenarten. Ein Tonboden kann unter natürlichen Bedingungen ein Mehrfaches an Wasser speichern wie ein Sandboden. In diesen Unterschieden der Speicher-

leistungen liegen die Ursachen für die verschiedene Berechnungsbedürftigkeit der Bodenarten unter gleichen Klimabedingungen.

Die natürlichen Niederschläge und das Speicherungsvermögen des Bodens bestimmen die Einnahmeseite des Boden-Wasserhaushaltes. Dagegen wird die Ausgabeseite vorwiegend durch den Wasserbedarf der Pflanzen beeinflusst. Dieser hängt im wesentlichen von zwei voneinander unabhängigen Einflüssen ab, nämlich von der augenblicklich herrschenden Witterung und von dem Entwicklungsstand der Pflanzen. Im Verlaufe der Pflanzenentwicklung sind die Phasen besonders wichtig, die sich durch ein starkes Wachstum der oberirdischen Teile auszeichnen. In diesen Zeiten sind stets die Voraussetzungen für einen Wasserverbrauch gegeben (kritische Wachstumszeiten). In welcher Höhe er tatsächlich eintritt, hängt jedoch von den Verdunstungsbedingungen der umgebenden Luft ab. Die Verdunstung ist umso höher, je größer das sogenannte „Sättigungsdefizit“ der Luft ist, das anschaulicher oft auch als „Dampfhunger“ bezeichnet wird.

Man hat nun festgestellt, daß der Wasserverbrauch der Pflanzen in enger Beziehung zum Sättigungsdefizit der Luft steht. Je höher das Sättigungsdefizit ist, desto größer ist auch die Abgabe von Wasserdampf durch die Blätter und Stengel der Pflanzen.

Obwohl das Verhalten der Pflanzen in dieser Hinsicht einer freien Wasserfläche oder unbedecktem Boden ähnelt, lassen sich die Ergebnisse von meteorologischen Verdunstungsmessungen nicht ohne weiteres auf die Transpiration der Pflanzen übertragen, weil die Pflanze in der Lage ist, die Transpiration durch Regulieren ihrer Spaltöffnung zu drosseln. Mit dieser Maßnahme kann die Pflanze aktiv ihren Wasserhaushalt beeinflussen und die Wasserabgabe an die Luft auf die Wasseraufnahme aus dem Boden abstimmen. Zu einem solchen Ausgleich der Wasserbilanz nimmt die Pflanze im allgemeinen aber erst dann ihre Zuflucht, wenn der Bodenwasservorrat unter einen Wert abgesunken ist, bei dem auch bei einer guten Durchwurzelung des Bodens nicht mehr genügend Wasser zu den Spaltöffnungen geschafft werden kann.

Wenn sich im Laufe einer Trockenperiode das Wasserdefizit ständig vergrößert, wird endlich eine Grenze erreicht, wo durch das Schließen der Spaltöffnungen auch die Stoffbildung in der Pflanze so stark in Mitleidenschaft gezogen wird, daß Ertragsausfälle eintreten.

### Kritische Wachstumszeiten

Die Agrarmeteorologie benutzt die Kenntnis dieser Zusammenhänge, um Methoden für die Wasserbilanzrechnung von Pflanzenbeständen zu entwickeln. Neben experimentellen Untersuchungen werden auch empirische Verfahren angewendet, die sich auf die statistische Auswertung langjähriger Er-

trags- und Witterungsreihen stützen und bei denen durch sorgfältige Analyse der Witterungselemente der Einfluß des Niederschlags, der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit auf den Ertrag verschiedener Kulturpflanzen auf den wichtigsten Bodenarten festgestellt wird. Von den mannigfaltigen Ergebnissen, welche auf diese Weise erarbeitet werden konnten, verdienen für die Berechnung die Erkenntnisse über die „kritischen Wachstumszeiten“ n. *Brouwer* bei den einzelnen Kulturpflanzen und die Regel von der „ansteigenden Wasserversorgung“ n. *Baumann* besondere Beachtung.

Die Kenntnis der kritischen Zeiten gibt dem Berechnungswirt wichtige Hinweise, wann die Wasserversorgung der Pflanzen schnell ins Minimum geraten kann und deshalb besonders sorgfältig beobachtet werden muß. So haben Kartoffeln und Erbsen einen besonders hohen Wasserbedarf ab Blühbeginn. Beim Getreide fällt diese Periode in die Zeit des Schoßens und Ährenschiebens und bei den Zuckerrüben erstreckt sie sich vom Blattschluß bis zum Zeitpunkt des stärkeren Absinkens der jahreszeitlichen Verdunstungsbeanspruchung (September). Die kritischen Zeiten sind bei denjenigen Pflanzen besonders stark ausgeprägt, deren Hauptwasserbedarf mit einer jahreszeitlich bedingten hohen Verdunstung zusammenfällt. So erklären sich die oft beträchtlichen Unterschiede im Wasserbedarf zwischen Winter- und Sommergetreide sowie zwischen Kartoffeln verschiedener Reifegruppen.

Da zwischen dem Wasserverbrauch der Pflanzen und der Verdunstungsbeanspruchung der Luft eine straffe Korrelation besteht, ist für den Einsatz der Feldberechnung nicht nur die phänologische Phase der Pflanze sondern in noch viel stärkerem Maße der Wasserstand des Bodens entscheidend.

Die Regel von der „ansteigenden Wasserversorgung“ besagt, daß Pflanzen, die in ihrer Jugend mit wenig Wasser auskommen müssen, auch in der Hauptwachstumszeit geringere Ansprüche an die Wasserversorgung stellen. Demgegenüber verstärken hohe Bodenfeuchte und Wärme während der Frühentwicklung den Wasserbedarf in der Hauptentwicklungszeit.

Die Verdunstungsbeanspruchung der Luft läßt sich ohne weiteres von einer zentralen Stelle auch für ein größeres Gebiet ermitteln und daraus der ungefähre Wasserverbrauch großräumig bestimmen. Für die Abschätzung des Wasserstandes im Boden benötigt man aber noch die natürlichen Regenmengen. Deshalb muß für diese Messungen ein sehr enges Beobachtungsnetz vorhanden sein, weil die Sommerniederschläge infolge ihres meist gewitterartigen Charakters starke lokale Schwankungen aufweisen können.

Weist das Beobachtungsgebiet zudem wechselnde Bodenverhältnisse und örtliche Verschiebungen im Wachstum der betrachteten Pflanzenart auf, dann ergeben sich doch erhebliche Unsicherheitsmomente, die einen Überblick über die derzeitige Wasserbilanz der Bestände erschweren. Der einzelne Berechnungsbetrieb kann aus solchen „großräumig“ ermittelten Unterlagen deshalb immer nur bedingten Nutzen für den Einsatz der Feldberechnung ziehen, weil seine Verhältnisse mit hoher Wahrscheinlichkeit von der zugrundegelegten Norm abweichen.

Bei dem augenblicklichen Stand sind daher der meteorologisch-pflanzenbaulichen Steuerung der Feldberechnung im Einzelbetrieb Grenzen gezogen. Jedoch lassen sich diese Schwierigkeiten überwinden, wenn in den kritischen Zeiten die meteorologisch-pflanzenbauliche Methode durch Bodenfeuchtemessungen ergänzt wird. Die Messung des Wassergehaltes ist nach wie vor die sicherste Methode, um den Wasserhaushalt des Bodens in der Kulturschicht zu erfassen und Rückschlüsse auf die Wasserbilanz der Pflanze zu ziehen. Denn der augenblickliche Wassergehalt des Bodens ist das Ergebnis des Wechselspiels zwischen den Faktoren, welche sowohl die Wasserzufuhr und Wasserspeicherung als auch den Wasserverbrauch durch Verdunstung und Transpiration beeinflussen.

#### Pflanzennutzbare Wasser

Für die Steuerung der Berechnung ist die Kenntnis des augenblicklichen Wassergehaltes jedoch erst dann von Nutzen, wenn er den bodenkundlich und pflanzenphysiologisch wichtigen Grenzwerten des Bodenwassers zugeordnet werden kann. Diese Grenzwerte ergeben sich aus der Tatsache, daß weder der Boden unbegrenzt Wasser speichern, noch die Pflanze dem Boden die gesamte gespeicherte Wassermenge entziehen kann.

Die obere Grenze für die Menge des pflanzennutzbaren Wassers ist zugleich auch die Grenze des Bodenspeichervermögens. Man bezeichnet sie auch als Feldkapazität. Auf den meisten Böden wird sie 2 bis 3 Tage nach starken Niederschlägen erreicht, wenn das überschüssige Wasser weitgehend versickert ist. Am sichersten läßt sich die Größe der Feldkapazität jedoch durch Wassergehaltsmessungen im zeitigen Frühjahr bestimmen, weil der Wasserspeicher des Bodens durch die Winterniederschläge in der Regel dann aufgefüllt ist.

Der untere Grenzwert des nutzbaren Wassers ist erreicht, wenn die Pflanzen Dauerwelke zeigen. Durch dieses Merkmal läßt sich der „Welkepunkt“ im allgemeinen jedoch nur auf den leichteren Bodenarten und bei Blattfrüchten einigermaßen sicher feststellen. Für die schweren Bodenarten ist es zweckmäßiger, die Lage des Welkepunktes aus der 2-fachen Hygroskopizität nach *Mitscherlich* zu schätzen. Feldkapazität und Welkepunkt dürfen allerdings nicht als starre Größen angesehen werden. Bei Bestimmungen auf dem Felde können diese Werte Schwankungen in mehr oder weniger engen Grenzen aufweisen (Schwankungen des Grundwasserhorizontes). Diese Tatsache schmälert jedoch nicht ihre Bedeutung als Grenzwerte des nutzbaren Wassers.

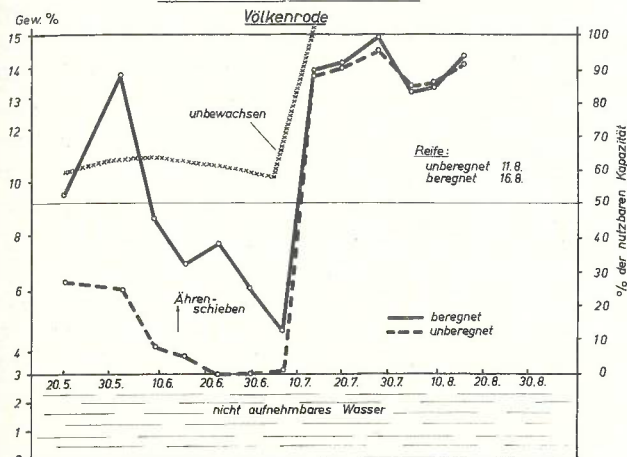
Die Wassermengen, welche die einzelnen Bodenarten maximal in pflanzennutzbarer Form speichern können, betragen für:

	Feldkapazität Gew. %	Welkepunkt Gew. %	Nutzbare Kapazität mm Regen je 10cm Bodentiefe
Sandboden	9	1,5	11
Lehmiger Sand	14	2	18
Lehm (Löss)	24	6	27
sand. ton. Lehm	22	9	20

Der augenblickliche Wassergehalt unter einem Pflanzenbestand liegt zwischen der Feldkapazität und dem Welkepunkt. Die ermittelte Wassermenge

kann man entweder auf 100 Volumeneinheiten des Bodens – in der Regel 100 Kubikzentimeter – oder auf 100 Gewichtseinheiten (100 Gramm) des absolut trockenen Bodens beziehen. Im ersten Falle erhält man den volumenprozentischen Wassergehalt, im

Verlauf des aufnehmbaren Bodenwassers  
So.-Weizen 1954, 10-20 cm Tiefe  
Völkenrode



Verlauf des aufnehmbaren Bodenwassers bei Sommerweizen in 10 bis 20 cm Tiefe Völkenrode 1954. Regengabe: 20.5. 30 mm – 18.6. 20 mm – 8.7. 10 mm.

zweiten Fall den gewichtsprozentischen Wassergehalt. Die beiden Formen des Wassergehaltes stehen über die Formel:

$$\text{WG in Vol. \%} = \text{WG in Gew. \%} \times \text{Raumgewicht des Bodens}$$

miteinander in Beziehung. Obwohl das Raumgewicht des Bodens Schwankungen aufweist, ist eine genaue Bestimmung für die Berechnungspraxis nicht unbedingt notwendig. Hinreichende Unterlagen ergeben sich auch bei Verwendung eines Durchschnittswertes von 1,5.

Man kann auf diese Weise den gewichtsprozentischen Wassergehalt, der verhältnismäßig einfach zu ermitteln ist, in den volumenprozentischen Wassergehalt umwandeln. Der volumenprozentische Wassergehalt eignet sich für alle Wasserbilanzrechnungen, weil er ohne weitere Umrechnungen den Wasserstand in mm Höhe für eine Bodenschicht von 10 cm Mächtigkeit anzeigt. Über diese Meßgröße ergibt sich eine direkte Beziehung zu den gleichfalls in Millimetern gemessenen Niederschlagsmengen.

#### Die Bestimmungsmethode und ihre Anwendung

Die Bodenproben für den gewichtsprozentischen Wassergehalt können mit einem geeigneten Bohrstock oder auch mit dem Spaten entnommen werden. Von jedem Einstich entnimmt man aus der betreffenden Tiefe etwa 100 g Boden und füllt sie am besten in ein luftdicht verschließbares Gefäß.

Das Trocknen der Bodenproben in einem Trockenschrank kann in der Praxis durch die sehr einfache Alkoholbrennmethode umgangen werden. Dazu werden ungefähr 20 bis 30 g der gutgemischten Bodenprobe in ein flaches Blechgefäß (Durchmesser 8-10 cm, Höhe des Randes 2 cm) geschüttet und schnell gewogen. Anschließend wird der Boden gut gekrümelt dünn (0,5 bis 1 cm) ausgebreitet

und mit käuflichem Brennspritus so weit übergossen, daß die Bodenoberfläche gerade bedeckt ist. Dann wird der Brennspritus angezündet. Nach dem Erlöschen der Flamme wird nochmals mit Brennspritus abgebrannt und der ganze Vorgang eventuell noch ein drittesmal wiederholt. Damit beim Abbrengen des Spiritus auch die letzten Wassermengen verdunsten, muß der Boden jedesmal gegen Ende des Brennvorganges bis zum Erlöschen der Flamme gut gerührt werden. Den Zeitpunkt zum Rühren erkennt man leicht am oberflächlichen Abtrocknen des Bodens. Zum Wiegen der Proben genügt eine kleine Balkenwaage von 100 g Tragkraft. Der Zeitbedarf für eine Bestimmung beträgt 15 bis 20 Minuten. Da aber zehn Proben gleichzeitig verarbeitet werden können, ist das Verfahren in der Praxis für kleine Serien sehr gut geeignet.

#### Beispiel:

Nettogewicht des feuchten Bodens: 25,09 g  
 Nettogewicht des getrockn. Bodens: 22,81 g  
 Gewichtsverlust: 2,28 g

$$\text{Wassergehalt in Gew. \%} = \frac{2,28 \times 100}{22,81} = 10,0\%$$

Für die Beurteilung der augenblicklichen Wasserversorgung muß der gefundene Wassergehalt in Beziehung zur „nutzbaren Kapazität“ gebracht werden. Eine Möglichkeit hierzu bietet die Umrechnung in Prozente der nutzbaren Kapazität. Das folgende Beispiel gibt die Berechnung für einen anlehmigen Sandboden:

Feldkapazität: 14 Gewichts %  
 Welkepunkt = 2-fache Hygroskopizität 2 Gewichts %  
 Nutzbare Kapazität: 12 Gewichts % = 18 mm je 10 cm Bodentiefe.

Augenblicklicher Wassergehalt in der Schicht 10-20 cm: 8 Gew.%, davon pflanzennutzbar: 8-2 = 6 Gew.% oder 9.0 mm je 10 cm Bodentiefe.

$$\text{Augenblickliche Wasserversorgung: } \frac{6 \times 100}{12} = 50\%$$

der nutzbaren Kapazität in der Schicht 10-20 cm. Für die Beurteilung dieses Ergebnisses muß natürlich bekannt sein, bei welchem Stand der Wasserversorgung mit Schäden an den Pflanzenbeständen zu rechnen ist. Zurzeit fehlen hierfür noch die Unterlagen für die verschiedenen Bodenarten und Feldfrüchte.

Auf dem anlehmigen Sandboden des Völkenroder Versuchsfeldes z.B. wird die Schadensgrenze erreicht, wenn der Wasservorrat in der Bodenschicht von 10-20 cm Tiefe während einer längeren Trockenperiode um 20 % der nutzbaren Kapazität ausgeschöpft ist.

Im Beregnungsbetrieb wird man es vermeiden, daß der pflanzennutzbare Wasservorrat bis zur unteren Grenze absinkt und die Wasserzufuhr dementsprechend planen. In diesem Zusammenhang taucht die Frage auf, bei welchem Grad der Boden-Wasserversorgung das Optimum für das Pflanzenwachstum liegt. Sie ist für praktische Verhältnisse nicht einfach zu beantworten, weil auch hierzu entsprechendes Versuchsmaterial fehlt. Auf Grund unserer Erfahrungen neigen wir zu der Ansicht, daß es z.B. auf mittleren Sandböden keinen Vorteil bringt, den



*Der Botschafter der Vereinigten Staaten von Nordamerika, Exzellenz Professor Dr. James Bryant Conant, besuchte mit dem Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Dr. h.c. Heinrich Lübke, am 12. September 1955 die Forschungsanstalt für Landwirtschaft. An der Besichtigung nahmen der Botschafter Dr. h.c. Hans Schlange-Schöningen und Vertreter des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Niedersachsen teil.*

Wasservorrat über 50 % der nutzbaren Kapazität zu steigern. In der Praxis wird man nur während kürzerer Hitzeperioden in der Lage sein, mit Kunstregen eine optimale Bodenwasserversorgung aufrecht zu erhalten. Bei langen Trockenperioden sind hierzu meistens wirtschaftlich nicht tragbare Wassergaben notwendig. In solchen Ausnahmefällen ist es zu empfehlen, den Schwerpunkt der Wasserzufuhr auf die Kulturen zu legen, bei denen sich ein Wassermangel besonders nachteilig auswirkt.

Selbstverständlich ist das geschilderte Verfahren zur Steuerung der Regengaben den Zufälligkeiten ausgesetzt, die sich aus der Unkenntnis der zu erwartenden natürlichen Niederschläge nach einer Berechnung ergeben. Daher empfiehlt es sich, die künstlichen Wassergaben nur so hoch zu bemessen, daß dem Boden noch freier Speicherraum für möglichen Naturregen zur Verfügung steht. Dies läßt sich naturgemäß durch kleinere Einzelgaben besser erreichen als durch große, bei denen die Gefahr besteht, daß der Boden durch spätere ergiebige Niederschläge nutzlos übernäßt wird und sogar Schäden an den Pflanzen entstehen. Diese Erfahrungen konnten besonders bei der Berechnung von Pflückerbsen gemacht werden, die sehr empfindlich gegen ein zu feuchtes Bestandsklima sind.

Die Höhe der Regengaben, die notwendig ist, um eine gewünschte Wasserversorgung zu erreichen, läßt sich unschwer bestimmen. Dazu braucht nur die Differenz zwischen der augenblicklichen Wasserversorgung und dem angestrebten Zustand in Millimeter Wasserhöhe errechnet zu werden.

Beispiel: Feldkapazität: 14 Gewichts %  
Welkepunkt: 2 Gewichts %

Nutzbare Kapazität: 12 Gewichts % = 18 mm je  
10 cm Boden

Augenblicklicher Wassergehalt in Gewichts % : 5  
Davon pflanzennutzbar : 3

Augenblickliche Wasserversorgung:  
 $\frac{3 \times 100}{12} = 25\%$  der nutzbaren Kapazität

Angestrebte Wasserversorg.: 50 % der nutzbar. Kapazität.

Das erfordert eine Zufuhr von 3 Gew.% Wasser oder  $3 \times 1,5 = 4,5$  mm Kunstregen je 10 cm Bodentiefe.

In Trockenperioden hält die so erreichte Wasserversorgung meist nur kurze Zeit vor, so daß in diesen Zeiten eine häufige Kontrolle der Bodenfeuchte notwendig ist. Eine allgemeine Regel für den Zeitabstand der Probenahme läßt sich zwar nicht aufstellen, doch genügt nach den 3-jährigen Erfahrungen auf dem Völkenroder Sandboden auch in kritischen Witterungsperioden eine Wiederholung der Proben im Abstand von 7–10 Tagen. Eine Möglichkeit, den zeitlichen Abstand zwischen den Messungen zu vergrößern, bietet die Einbeziehung der „klimatischen Wasserbilanz“, die aus Verdunstung und Niederschlag berechnet werden kann, in diese Betrachtung. Hierüber wird in Kürze berichtet. Die Zahl der Einstiche richtet sich nach der Bodenbeschaffenheit und Größe des Feldes. Auf gleichmässigen Böden genügen je Untersuchung 3 – 5 Proben. Je leichter der Boden, umso häufiger sollten auch die Kontrollen durchgeführt werden. Für die Beurteilung des Wasservorrates dürften im allgemeinen Proben aus der Krume in 10 – 20 cm und aus dem Untergrund in 30–40 cm (bei Rüben eventuell noch 60–70 cm) ausreichend sein. Entscheidende Bedeutung ist den Verhältnissen in der Schicht 10–20 cm beizumessen, weil hier die meisten Früchte ihre Hauptwurzelmasse entwickeln und sich in dieser Tiefe auch der Einfluß des Niederschlages auf die Bodenfeuchtigkeit deutlicher widerspiegelt als in tieferen Schichten.

Die vorgeschlagene Methode zur Steuerung der Feldberechnung dürfte den augenblicklichen Kenntnissen über die Zusammenhänge zwischen Bodenwasser, Witterung und Pflanzenwachstum entsprechen und einen Weg zur wirtschaftlichen Berechnung darstellen. Sie bietet dem einzelnen Berechnungsbetrieb die Möglichkeit, die Ergänzung des Bodenwassers durch Kunstregen mit einem geringen Aufwand an Mitteln rationeller zu steuern.